

Eventos Técnicos & Científicos

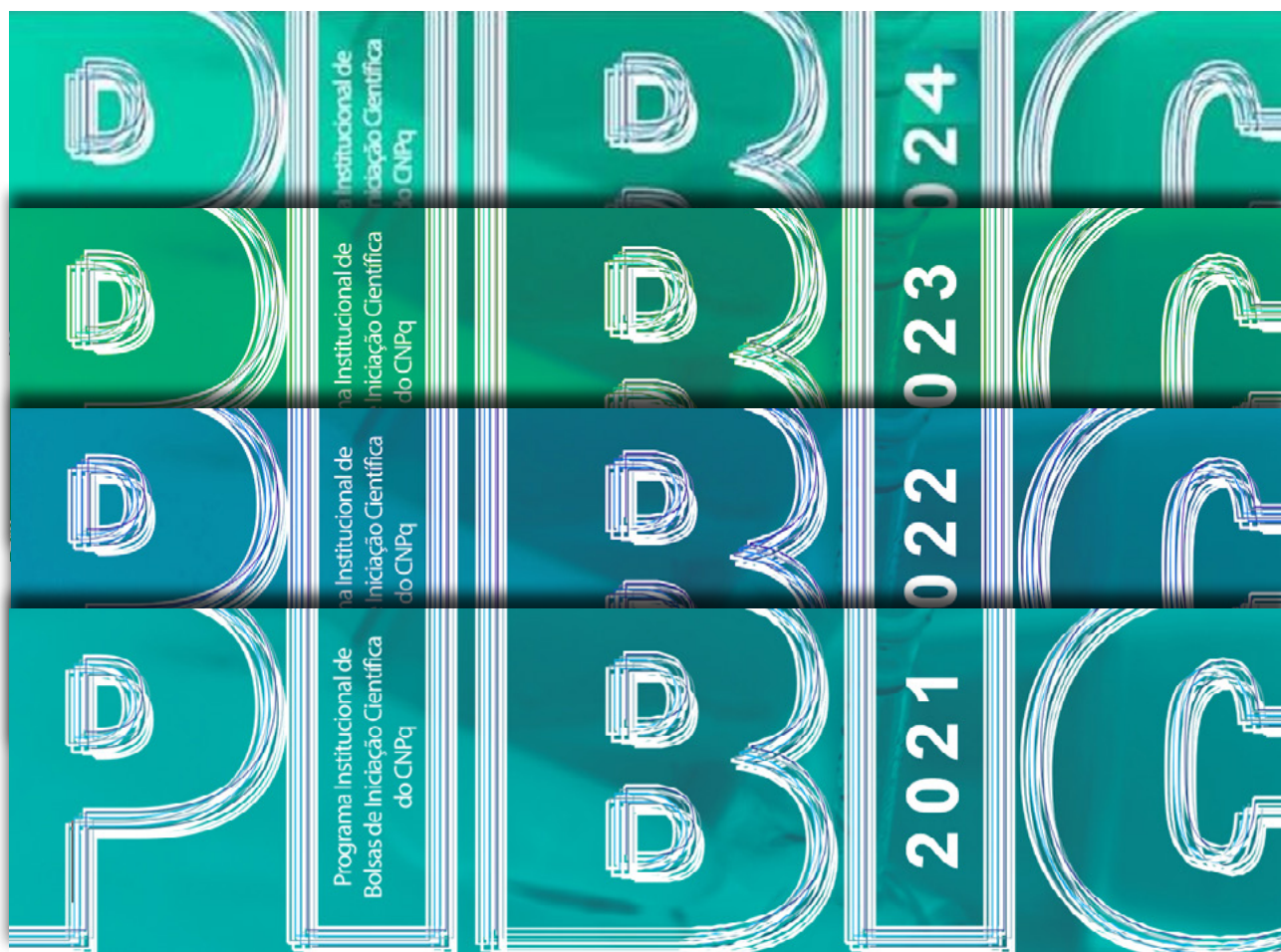
2

Junho, 2025

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



RESUMOS Seminários Pibic Embrapa Solos 2021–2024 Rio de Janeiro, RJ



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura e Pecuária***

Eventos Técnicos & Científicos 2

Junho, 2025

**RESUMOS
Seminários Pibic
Embrapa Solos 2021–2024
Rio de Janeiro, RJ**

***Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2025***

Embrapa Solos
Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1024.
Jardim Botânico
Rio de Janeiro, RJ
22460-000
www.embrapa.br/solos
www.embrapa.br/fale-conosco/

Edição executiva
Marcos Antônio Nakayama
Projeto gráfico
Alexandre Abrantes Cotta de Mello
Diagramação
Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Comitê Local de Publicações

Presidente

Ana Paula Dias Turetta

Secretário-executivo

Marcos Antônio Nakayama

Membros

Bernadete da Conceição Carvalho Gomes Pedreira

David Vilas Boas de Campos, Evaldo de Paiva Lima,

Helga Restum Hissa, José Francisco Lumbreras,

Joyce Maria Guimarães Monteiro, Lucia Raquel

Queiroz Pereira da Luz, Maurício Rizzato Coelho e

Wenceslau Geraldes Teixeira

Publicação digital: PDF

Os textos desta obra foram fornecidos pelos autores e seu conteúdo e normalização é de exclusiva responsabilidade dos mesmos, não refletindo necessariamente a visão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). A organização do evento não se responsabiliza pelo uso de quaisquer dados, afirmações e/ou opiniões inexatas ou que conduzam a erros.

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Solos

Seminário Pibic Embrapa Solos (2021–2024 : Rio de Janeiro, RJ).

Seminários Pibic Embrapa Solos 2021–2024. – Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2025.

PDF (257 p.). – (Eventos técnicos & científicos / Embrapa Solos, e-ISSN 0000-0000 ; 2).

1. Solo. 2. Pedologia. 3. Iniciação científica. 4. Pesquisa. I. Capeche, Claudio Lucas. II. Título. III. Série.

CDD (23. ed.) 631.4

Luciana Sampaio de Araujo (CRB-7/5165)

© 2025 Embrapa

Comissão organizadora

Presidente do Comitê Interno de Bolsistas e Estagiários (Cibe)

Cláudio Lucas Capeche
Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Membros do Comitê Interno de Bolsistas e Estagiários (Cibe)

Bernadete da Conceição Carvalho Gomes Pedreira
Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Liliane de Carvalho
Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Ligia Souza Brandão
Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Ricardo Arcanjo de Lima
Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Alexandre Abrantes Cotta de Mello
Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Catarina Maria Cavalcanti de Oliveira Maciel
Embrapa Solos, Recife, PE

Eliane de Paula Clemente Almeida
Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Evaldo de Paiva Lima
Embrapa Solos, Recife, PE

Flávia Cristiane Barbosa Benevides
Embrapa Solos, Recife, PE

Jacqueline Silva Rezende Mattos
Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP

Apresentação

A Embrapa Solos, por meio do Comitê Interno de Bolsistas e Estagiários (Cibe), do Setor de Gestão de Pessoas (SGP), do Comitê Técnico Interno (CTI), do Núcleo de Comunicação Organizacional (NCO) e avaliadores ad hoc internos, realiza todos os anos o processo de seleção de candidatos às bolsas de iniciação científica do Conselho Nacional de Pesquisa/CNPq. Desta forma, acolhe anualmente, de forma contínua, estudantes de graduação, via Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic) disponibilizadas pelo CNPq, com duração de 12 meses.

Os orientadores (pesquisadores e analistas) da Embrapa Solos desempenham um papel importante na formação do bolsista, orientando a elaboração e a execução do seu plano de trabalho científico. Por outro lado, eles reconhecem a relevância da contribuição dos bolsistas na execução de seus projetos de pesquisa, tornando o trabalho mutuamente produtivo e gratificante.

Ao final do período de vigência da bolsa Pibic, os alunos apresentam anualmente os resultados de seu trabalho científico no Seminário Pibic da Embrapa Solos, atendendo a uma demanda obrigatória do CNPq e beneficiando sua formação acadêmica.

A avaliação dos resumos técnico-científicos dos bolsistas, bem como de sua “performance” durante a apresentação oral dos Seminários Pibic contou com a participação das pesquisadoras Dra. Márcia de Fátima Inácio Freire (Jardim Botânico do Rio de Janeiro), da Dra. Maria Sônia Lopes da Silva (Embrapa Solos UEP Recife) e membros do Cibe.

A presente publicação (Anais dos Seminários Pibic 2021/2022/2023/2024) reúne 43 resumos técnico-científicos referentes aos trabalhos de pesquisa desenvolvidos pelos bolsistas de graduação/CNPq no período de 2020 a 2024.

Destaca-se a relevância que programas públicos como o Pibic promovem no desenvolvimento de novos cientistas e fortalecem a ciência brasileira, exemplificado na consolidação da parceria da Embrapa com o CNPq, a qual promove, por meio do avanço técnico-científico, a sustentabilidade agropecuária brasileira e a segurança alimentar e ambiental, contribuindo para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Este trabalho atende ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 – Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, estipulado pelas Nações Unidas (ONU).

Daniel Vidal Pérez

Chefe-Geral em exercício da Embrapa Solos

Sumário

Resumos do Seminário Pibic da Embrapa Solos de 2021	6
Resumos do Seminário Pibic da Embrapa Solos de 2022	45
Resumos do Seminário Pibic da Embrapa Solos de 2023	122
Resumos do Seminário Pibic da Embrapa Solos de 2024	187

Resumos do Seminário Pibic da Embrapa Solos de 2021

Simplificação do método da corda na avaliação da taxa de cobertura do solo em pastagens com diferentes níveis de degradação na região de Cachoeiras de Macacu-RJ ⁽¹⁾

Artur Nonato Vieira Cereto⁽²⁾; Guilherme Kangussu Donagemma⁽³⁾; Fabiano de Carvalho Balieiro⁽⁴⁾; Flavio Lessa Machado⁽⁵⁾; Roberson Machado Pimentel⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa Solos. ⁽²⁾ Graduando em Engenharia Agrícola e ambiental, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ., ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, D.S.C, pesquisador, Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ., ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, P.h.D, pesquisador, Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ., ⁽⁵⁾ Engenheiro Civil, mestrando, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ ⁽⁶⁾ Zootecnista, D. SC, professor, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ.

Resumo – A degradação de pastagens é um problema grave no Brasil. Urge o estabelecimento de metodologias simplificadas que facilitem o diagnóstico deste problema, principalmente para possibilitar o desenvolvimento de políticas públicas eficazes e a pequenos e médios produtores a tomada correta de decisões para a remediação desta situação. Um dos métodos passíveis de simplificação é o método da corda, utilizado na avaliação da taxa de cobertura do solo. Este trabalho objetivou avaliar simplificações desta metodologia. Foram definidos visualmente 4 níveis de degradação de pastagens, com 4 repetições de campo, no município de Cachoeira de Macacu- RJ, na época chuvosa. Foram comparados os resultados da avaliação da taxa de cobertura utilizando o método da corda usando espaçamento de 5 em 5 m (100 pontos) e 10 em 10m (50 pontos) com o espaçamento original de 1 em 1m (500 pontos). Ambos os métodos alternativos obtiveram resultados semelhantes aos do original (teste de Dunnet, $p>0,05$) e, portanto, podem ser utilizados sem perdas na qualidade dos resultados.

Palavras-Chave: Pastagens degradadas, Percentual de solo exposto, Percentual de Forrageira, Percentual de Planta daninha

Introdução

O Brasil apresenta extensas áreas com pastagens, estima-se em 158,5 milhões de ha, e que 50% desta área apresenta algum nível de degradação (IBGE, 2017). O IBAMA (1990) define que a degradação de uma área ocorre quando a vegetação e fauna nativas são destruídas, a superfície fértil é perdida, removida ou erodida e o regime de vazão do sistema hídrico sofre alteração. Em relação às pastagens degradadas, estas podem ser definidas como áreas com diminuição da produtividade agrícola (perda da capacidade de suporte), ou, em casos mais acentuados, pela perda da capacidade de manter a produtividade do ponto de vista biológico (acumular biomassa) (Dias-Filho, 2019). Em Cachoeiras de Macacu-RJ não é diferente. Esse município com extensão territorial de aproximadamente 95,4 mil ha possui cerca de 23,6 mil ha de área de pastagem, e abriga a quantidade de 29.478 cabeças de gado (IBGE, 2017). Segundo o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig, 2018), 2,5 mil ha destas pastagens possuem indícios de degradação. As causas de degradação do solo podem ser antrópicas, como no caso de manejo inadequado (Menezes, 2008), principalmente com uso de fogo na limpeza do pasto, taxas de lotação superiores às que o pasto é capaz de suportar e retirada da vegetação de cobertura, além de fatores como elevado índice de pluviosidade e se localizados encostas íngremes, ambos fatores presentes no Sudeste do Brasil. (Sattler et al., 2018). A metodologia para caracterizar os indicadores de degradação de pastagens, precisa ser aperfeiçoada, para ser mais prática. Isto limita o direcionamento das práticas e técnicas de recuperação das pastagens, as quais diferem de acordo com o nível de degradação da pastagem. Portanto, para facilitar, o diagnóstico das condições de degradação do solo, urge a necessidade de se estabelecer limites entre os níveis de degradação baseados em características do pasto e do solo, expressos em indicadores como a taxa de cobertura do solo, altura do pasto, profundidade das raízes e do horizonte A, que segundo Rocha Jr. et al. (2017) podem ser utilizados satisfatoriamente para a determinação do nível

de degradação do solo em bioma de Mata Atlântica. O diagnóstico do grau de degradação do solo é necessário para indicação de manejos adequados e mais sustentáveis, além de nortear a tomada decisão do produtor em relação à recuperação da pastagem degradada, que será o responsável por fazer a avaliação dos pastos de sua propriedade. Nesse sentido, a aferição da taxa de cobertura mensurada pelo método da corda (Rocha Junior. 2012, Lisboa et al. 2016, Valle, 2018) tem se demonstrado como um bom indicador para auxiliar a separação dos níveis de degradação das pastagens. Contudo, este método demanda tempo e mão de obra consideráveis para ser aplicado, sendo pouco atrativo para os produtores.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado no município de Cachoeiras de Macacu – RJ, na Fazenda Escola da Universidade Federal Fluminense e em propriedades nos seus arredores, onde foram separadas visualmente pastagens com 4 níveis de degradação, segundo metodologia elaborada por Spain e Gualdrón (1991): Nível 1 (degradação leve), caracterizada pela perda de vigor e qualidade do pasto, porém ainda com forrageira predominante; Nível 2 (degradação moderada), caracterizada pelo aumento da população de espécies invasoras; Nível 3 (degradação forte), presença ainda maior de espécies invasoras e presença de áreas com solo exposto; e Nível 4 (degradação muito forte), determinado pelo reduzida taxa de cobertura do solo (elevada área com solo exposto) e pela grande quantidade de plantas daninhas. Foram realizadas 4 repetições de campo para cada nível, totalizando 16 unidades experimentais. Em cada unidade experimental foi delimitada parcela de 500 m² no terço médio da encosta, em Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso Com predominância da forrageira *Urochloa humidicola*. Foi realizada a coleta duma amostra composta a partir da amostragem de três amostras simples por repetição para a caracterização química das pastagens degradadas. Foram determinados fósforo e potássio disponíveis, cálcio, magnésios e alumínio trocáveis, o C orgânico total, e o N total, o pH, o H +Al, a CTC efetiva, CTC potencial, e calculadas a saturação por bases (V%) e a saturação de alumínio (M%), conforme Teixeira et al. 2017. Foi avaliada a taxa de cobertura segundo o da corda (Costa et al. 2000), considerado padrão, no período chuvoso, com avaliação de 1 em 1 metro, totalizando 500 pontos para cada área. Sendo avaliado em cada ponto a presença forrageira predominante (FP), ou planta daninha (PD), ou solo exposto (SE). Nessas mesmas áreas foram avaliadas as metodologias alternativas, com a redução do número de pontos de observação, com avaliação de 5 em 5 m e de 10 em 10 m, assim a taxa de cobertura foi determinada com 100 e 50 pontos, respectivamente. Os valores obtidos do percentual de FP, do percentual de PD, e do percentual de SE foram submetidos ao teste de *Shapiro-Wilke* e de *Cochran & Bartlett*, respectivamente, ambos com significância de 5%, De modo a verificar a normalidade e homogeneidade das variáveis, quando necessário as variáveis foram transformadas para atender a esses requisitos. Os resultados foram, então, submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores referentes ao método padrão (500 pontos) foram comparados entre si através do teste de *Tukey* ($p < 0,05$). Por sua vez, para a comparação entre os métodos alternativos (com 100 e 50 pontos), com o método padrão foi realizado o Teste de *Dunnett*, a 5% de probabilidade. Todas as análises foram feitas com o uso do Software R Studio.

Resultados e Discussão

De forma geral, pode-se observar solos mais férteis nas pastagens com menores níveis de degradação (N1 e N2) em relação às pastagens mais degradadas (N3 e N4), conforme pode ser interpretado pela análise química (Tabela 1).

Essa constatação pode ser a causa imediata da degradação das pastagens, ou seja, as pastagens mais degradadas são a consequência do inadequado manejo da fertilidade do solo

Tabela 1- Caracterização química de pastagens em diferentes níveis de degradação em cachoeiras de Macacu-RJ.

Nível Degradação	Profundidade (cm)	pH (H ₂ O)	V (%)	Al (cmol/kg)	N (g/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	C (dag/kg)
N1	0-10	5,3	31	0,4	1,6	2,2	45	2,3
N1	10-20	5,1	17	0,7	1,2	1,3	25	1,7
N1	20-40	4,9	12	0,9	0,9	0,8	13	1,3
N2	0-10	5,1	22	0,8	1,7	1,8	42	2,3
N2	10-20	5,0	16	1,1	1,3	1,3	26	1,9
N2	20-40	5,0	14	1,2	1,0	0,9	16	1,4
N3	0-10	5,0	20	0,7	1,6	1,6	44	2,5
N3	10-20	4,9	15	1,2	1,4	1,0	26	1,6
N3	20-40	4,9	11	1,2	1,1	0,8	16	1,4
N4	0-10	4,8	11	1,3	1,4	0,8	32	2,1
N4	10-20	4,7	7	1,4	1,1	1,0	18	1,8
N4	20-40	4,8	6	1,3	0,8	1,0	14	1,2

N1:nível leve,N2:nível moderado,N3:nível Forte,N4:nível muito forte.

nessas áreas. Na avaliação química do solo o pH diminui em profundidade e aumenta a proporção de Al, independentemente da condição das pastagens. Por outro lado, os parâmetros relacionados a fertilidade do solo (V, N, P, K e C) são superiores nas camadas mais superficiais em todas as áreas. Essa melhor condição química em superfície ocorre pela maior atividade biológica (microrganismos e raízes) e acúmulo de matéria orgânica, assim como baixa mobilidade de alguns nutrientes em profundidade. As diferenças nas taxas de cobertura foram mais evidentes entre os níveis extremos de degradação (N1 vs N4), e principalmente, quando levados em consideração os indicadores de porcentagem de forrageira e solo exposto (Figura 1).

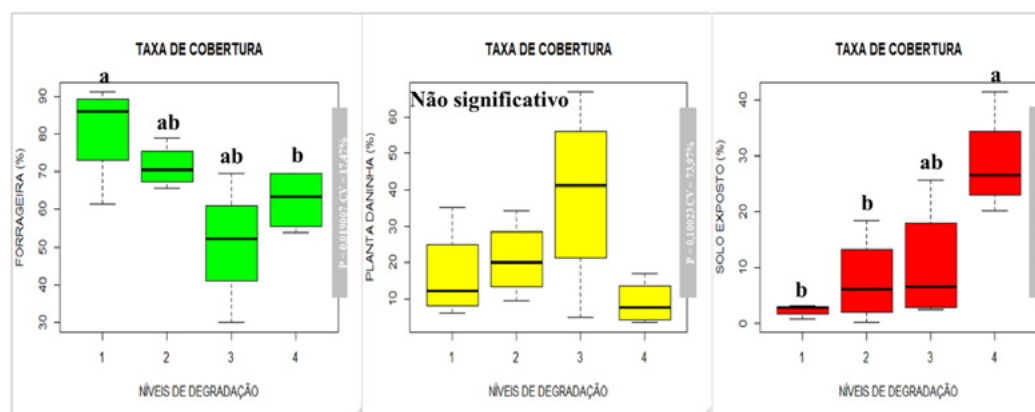


Figura 1. Taxa de cobertura em pastagens em diferentes níveis de degradação em cachoeiras de Macacu-RJ. Letras diferentes dentro de cada parâmetro indicam diferença significativa pelo teste de *Tukey* ($p < 0,005$).

Taxa de cobertura em pastagens em diferentes níveis de degradação em cachoeiras de Macacu-RJ. Letras diferentes dentro de cada parâmetro indicam diferença significativa pelo teste de *Tukey* ($p < 0,005$). Na avaliação da taxa de cobertura a porcentagem de forrageira predominantes foi observada diferença ($p=0,019$) apenas entre os tratamentos N1 e N3. Em relação à variável SE (Solo Exposto), os tratamentos N1 e N2 foram tidos como estatisticamente equivalentes e diferiram do tratamento N4 ($p=0,005$). Com relação à porcentagem de plantas daninhas, não houve diferença ($p=0,100$) entre os tratamentos. Conforme esperado, a taxa de cobertura de pastagem em áreas de degradação leve (N1), com média de 81,2%, é maior do que a das áreas com degradação forte (N3), com média de 51%. Isso responde a melhor qualidade do solo, nos níveis 1 e 2 e menor qualidade do solo nos níveis 3 e 4 (Tabela 2).

Tabela 2: Teste de Dunnett – FP (Forrageira Predominante), SE(Solo Exposto), PD(Planta Daninha)

Taxa de cobertura do solo nos níveis de degradação	Método da corda usado			
	Método 1 (500 pontos)	Método 2 (100 pontos)	Método 3 (50 pontos)	p-valor
N1 (leve)				
Forrageira (%)	81,25%	82,00%	81,50%	> 0,05
Solo exposto (%)	2,40%	2,25%	2,50%	> 0,05
Planta daninha (%)	16,35%	15,75%	16,00%	> 0,05
N2 (moderado)				
Forrageira (%)	71,40%	71,00%	70,00%	> 0,05
Solo exposto (%)	7,70%	9,75%	11,00%	> 0,05
Planta daninha (%)	20,90%	19,25%	19,00%	> 0,05
N3 (forte)				
Forrageira (%)	51,05%	49,75%	49,00%	> 0,05
Solo exposto (%)	10,35%	10,25%	9,00%	> 0,05
Planta daninha (%)	38,60%	40,00%	42,00%	> 0,05
N4 (muito forte)				
Forrageira (%)	62,50%	63,00%	58,50%	> 0,05
Solo exposto (%)	28,65%	28,25%	30,50%	> 0,05
Planta daninha (%)	8,85%	8,75%	11,00%	> 0,05

Nessa direção Valle (2018), e Lisboa et al. (2016), tiveram resultados semelhantes na separação de pastagens degradadas utilizando a taxa de cobertura em Na avaliação da taxa de cobertura a porcentagem de forrageira predominantes foi observada diferença ($p=0,019$) apenas entre os tratamentos N1 e N3. Em relação à variável SE (Solo Exposto), os tratamentos N1 e N2 foram tidos como estatisticamente equivalentes e diferiram do tratamento N4 ($p=0,005$). Com relação à porcentagem de plantas daninhas, não houve diferença ($p=0,100$) entre os tratamentos. Conforme esperado, a taxa de cobertura de pastagem em áreas de degradação leve (N1), com média de 81,2%, é maior do que a das áreas com degradação forte (N3), com média de 51%. Isso responde a melhor qualidade do solo, nos níveis 1 e 2 e menor qualidade do solo nos níveis 3 e 4 (Tabela 2). Nessa direção Valle (2018), e Lisboa et al. (2016), tiveram resultados semelhantes na separação de pastagens degradadas utilizando a taxa de cobertura em distintos níveis de degradação das pastagens.

Conclusões

O percentual de forrageira, percentual de solo exposto e de plantas daninhas nos diferentes níveis de degradação de pastagens não foi influenciado pelo método de cálculo, para o Cambissolo sob diferentes níveis de degradação de pastagens em Valença-RJ.

Recomenda-se 50 pontos para avaliação do percentual de forrageira, percentual de plantas daninhas e percentual de solo exposto, para o Cambissolo sob diferentes níveis de degradação de pastagens em Valença-RJ.

Agradecimentos

Agradecemos a os funcionários da fazenda escola da UFF pelo apoio ao trabalho de campo, e a Embrapa pela infraestrutura e recursos para essa pesquisa.

Referências

COSTA, O.V.; COSTA, L.M.; FONTES, L.E.F.; ARAÚJO, Q.R.; KER, J.C.; NASCIF, P.G.S. Cobertura de solo e degradação de pastagens em áreas de domínio de chernossolos no sul da Bahia. Revista brasileira de ciência do solo, v24, 843-856, 2000.

IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2000 – 2010 – 2012 – 2014**, 32p. 2017

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 96p. 1990

ROCHA JUNIOR, P.R. **Indicadores de qualidade de solo na determinação de níveis de**

degradação das pastagens. Tese (Mestrado em Solos e nutrição de plantas) Pós Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. 135p. 2012

LAPIG <https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/> 02/10/2018 [11] Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F., Cerrado: Ecologia e Flora, Embrapa Informação Tecnológica, 2, 1-279, 2018.

LISBOA, F.M.; DONAGEMMA, G.K.; BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; MENDONÇA, E.S. **Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v51, n.9., p. 1184-1193, 2016.

MENEZES, C. E. G. **Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do**

Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 177p. 2008.

SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C. E.;

SPAIN, J. M. (Ed.). **Establecimiento y renovacion de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de la investigacion.** Cali: CIAT, 1991. p. 269–283.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA G. K.; WENCESLAU, A. F.; TEIXEIRA, G. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573 p. 2017

VALLE, T.R.S. **Níveis de degradação as pastagens e qualidade de solo no médio vale do paraíba do sul.** Tese (Mestrado em Sistemas agropecuários) Pós graduação em Engenharia de Biossistemas. Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 109p. 2018.

SATTLER, D.; SELINGER, R.; NEHREN, U.; DE TORRES, F. N.; SILVA, A.S.; RAEDIG, C.; HISSA, H.R.; HEINRICH, J. Pasture degradation in South East Brazil – Status, Drivers and Options for sustainable land use under climate change. In: LEAL FILHO, W.; FREITAS, L.E. **Climate Change Adaption in Latin America – Managing Vulnerability, Fostering Resilience.** 1. ed. Cham: Springer, 2018 . p. 3-17.

Fracionamento físico da matéria orgânica do solo sob pastagem⁽¹⁾

Bruna de Carvalho Assunção⁽²⁾; David Vilas Boas de Campos⁽³⁾; Fabiano de Carvalho Balieiro⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq (Bolsa de Produtividade de FCB). ⁽²⁾ Discente de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Fluminense, ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador A, Embrapa Solos

Resumo – A pesquisa original do projeto objetivava analisar o efeito da adubação de sistema integrado na estabilização de carbono (C) no solo. Desta forma, a fração mais fina da matéria orgânica (<53µm), conhecida como matéria orgânica associada aos minerais, deve ser separada de forma eficiente da matéria orgânica leve. Este estudo se concentrou na avaliação o potencial de diferentes soluções (NaI em duas densidades, 1,40 e 1,8 g cm⁻³, NaOH, 1 mol L⁻¹, água e hexametáfosfato, 5g L⁻¹) na recuperação da fração particulada ou leve da matéria orgânica. Todas as etapas de preparo das amostras e soluções, filtragem, secagem e pesagem da fração leve foram realizadas nos laboratórios da Embrapa Solos. Os métodos de fracionamento diferiram na sua capacidade de recuperação da fração leve livre da matéria orgânica do solo de pastagens. Ambas as soluções de NaI foram capazes de extrair quantidade significativamente (p<0,05) superior da fração que as demais, sendo indicada para as próximas fases do projeto original.

Palavras-Chave: sistemas integrados, sequestro de carbono, mudanças climáticas.

Introdução

De forma generalizada nos solos, diversos mecanismos químicos (complexidade química intrínseca dos compostos de C, complexação com fração mineral ou interação organo-mineral) e físicos (grau de agregados) podem proteger os diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) da decomposição (Sollins et al., 1996).

Pastagens são exímias acumuladoras de C se bem manejadas. Porém, é interessante que o C aportado ao solo, esteja protegido dentro de agregados maiores, permitindo sua estabilidade em microagregados e via complexação/adsorção à fração mineral (Denef et al., 2007).

Este estudo é parte do projeto de PIBIC “Repensando a adubação de sistemas integrados com vistas à estabilização do C do solo”, em que se avalia a hipótese de que a humificação do solo pode ser incrementada a partir da adubação do solo, respeitando a estequiometria do *húmus* (em C:N:P:S equivalente a 10.000:833:200:96) (Kirkby et al., 2014).

Este trabalho traz um comparativo de diferentes soluções na recuperação da fração leve da matéria orgânica de um solo sob pastagem. A partir desse procedimento e treinamento, será selecionada a melhor solução para extração desta fração mais dinâmica da matéria orgânica, melhorando a eficácia na quantificação da fração mais estável da matéria orgânica do solo, objeto de estudo do projeto original.

Material e Métodos

Coleta e preparo do solo

Inicialmente foi feita a coleta do solo na Fazenda Santa Mônica, da Embrapa Gado de Leite que fica localizada na cidade de Vassouras, localizada no Centro-Sul do estado do Rio de Janeiro. As amostras de solo que foram utilizadas nesse experimento foram retiradas em parcelas do Núcleo de Tecnologia e Transferência em Intensificação Sustentável - NISA, que são de pastagens antigas e representativas das encostas do Médio Vale Paraíba do Sul. Foi realizada a coleta de aproximadamente 70 kg de solo, sendo predominantemente Argissolos. As amostras coletados eram de profundidades diferentes, sendo elas de p20 (0 - 20 cm) e p40 (20 - 40 cm) divididos em quatro sacos diferentes sendo dois de cada profundidade.

Na peneiração das amostras foi utilizada uma peneira de 4 mm por onde todo material foi passado para retirada do material orgânico mais grosseiro. Todo processo foi feito em capela no laboratório de preparação de amostras com o auxílio de algumas ferramentas: martelo de madeira, rolo de madeira, escova, pá, peneira (4 mm) e quatro caixas de 28 litros. Todo procedimento foi realizado pela bolsista utilizando luvas, máscara, óculos de proteção e jaleco.



Figura 1. Instrumentos de auxílio na peneiração
Fonte: própria

A amostra era retirada do saco em pequenas porções e espalhada dentro da capela com as mãos, em seguida foi feita a coleta de raízes e separação para que posteriormente fosse feita uma análise. Após esse procedimento foi utilizado o martelo ou o rolo para desmembrar a fração mais lábil da matéria orgânica do solo (leve livre e leve intra-agregado) com o cuidado de não prejudicar a estrutura da amostra. Após esse processo a amostra era coletada com o auxílio da pá e da escova e jogado na peneira, assim o material já peneirado era reservado na caixa de 28 litros. Esse processo era repetido diversas vezes até que todo material tivesse sido peneirado e separado em caixas com a devida identificação da profundidade do solo. Junto com o processo de peneiração foi realizada a retirada e separação de amostras de raízes de cada profundidade com o intuito de averiguar o tipo de vegetação predominante, se gramíneo ou floresta.

Durante a manipulação das amostras foi possível observar algumas diferenças típicas entre as amostras de solo p20 e p40. Na profundidade de de 0 - 20 cm foi encontrado um número significativo de raízes, além de ser relativamente mais úmido e ter uma alta atividade biológica, foi possível encontrar minhocas e algumas lacraias. Já no solo de profundidade de 20 - 40 cm encontramos poucas raízes ou apenas alguns fragmentos de raízes, baixa atividade biológica sendo predominante carcaças secas de animais que sofreram decomposição. Além disso, uma característica em destaque é a diferença de tonalidade das amostras de solos de cada profundidade, o solo mais próximo da superfície (p20) apresenta uma coloração marrom mais escura devido a alta atividade biológica ali presente.

As amostras de mesmo tipo p20 e p40 foram colocadas, separadamente, em tonéis com fecho hermético para que pudesse ser feita a sua homogeneização. Em cada tonel foi inserido toda amostra de solo p20 e após ser fechado ele foi revirado muitas vezes de forma a homogeneizar o conteúdo dentro. O mesmo foi feito para as amostras de solo p40.

Fracionamento físico da matéria orgânica

Com as amostras já homogeneizadas, na etapa de fracionamento da matéria orgânica foi feita, inicialmente uma separação e pesagem de 4 subamostras do solo da camada de 0-20cm (p20) com 5g cada. Cada subamostra foi caracterizada como uma repetição.

Foram rotulados frascos de A a F com 4 repetições cada (ex: A1,A2,A3 e A4). Foi feita a pesagem de cada frasco e após a regulagem da balança, foi adicionado 5g de amostra em cada um.

Rotulação:

A - Iodeto de Sódio (NaI) $1,80 \text{ g cm}^{-3}$

B - Iodeto de Sódio (NaI) $1,40 \text{ g cm}^{-3}$

C – NaOH ($1,0 \text{ mol L}^{-1}$)

D - Água

E - Hexametáfosfato (NHP)

Preparo de soluções

Em seguida foi feito o preparo das soluções que foram utilizadas em cada amostra. Na solução de NaOH foi adicionado 8g de soluto, com o cuidado para que ele não ficasse muito tempo em contato com o vidro, pois teria o risco de corrosão. Em seguida foi adicionado 80ml de água destilada. Com o auxílio de um funil a solução foi passada para um balão volumétrico de 200ml e foi adicionada mais água destilada até completar o volume. A solução de Hexametáfosfato foi feita de forma similar, mas a concentração final foi de 1g de soluto para 200ml de água destilada.

As soluções de NaI $1,40$ e $1,80 \text{ g cm}^{-3}$ foram produzidas com auxílio de um becker e um agitador magnético para homogeneização da solução, além do auxílio de um bastão de vidro e acessórios de proteção como luvas e óculos, devido a toxicidade do produto.

A solução NaI $1,80 \text{ g cm}^{-3}$ foi feita com 540g de soluto para 300ml de água destilada. Após a homogeneização foi preciso verificar a concentração da solução com o auxílio de um densímetro. Na imagem abaixo é possível observar que a concentração está correta pois o densímetro indica o valor exato de $1,80 \text{ g cm}^{-3}$.

Já a solução de NaI $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ foi mais fácil de homogeneizar, ficando com uma concentração baixa devido ao fato de adicionar mais solvente para a solução homogeneizar. O valor encontrado foi de



Figura 2. solução de NaI com um densímetro.

Fonte: própria

$140,46 \text{ g}$, o que indica que a concentração estava correta e pronta para ser utilizada. Nesse caso, utilizamos uma balança em função da ausência de um densímetro que atendesse tal faixa de densidade.

Ambas soluções de NaI ($1,40$ e $1,80 \text{ g cm}^{-3}$) foram guardadas em ambiente protegido e escuro e foram armazenadas em vidros âmbar.

A próxima etapa foi a adição de 35ml de solução de cada uma das soluções em seu respectivo frasco. Após esse processo os frascos foram movimentados suavemente para que pudesse misturar toda a amostra de solo à solução adicionada. Posteriormente, foram deixados em ambiente sombreado durante uma semana, tempo suficiente para que o material mais pesado se depositasse ao fundo e a matéria orgânica leve ficasse na superfície.

Filtragem da matéria orgânica leve

Enquanto o material foi deixado em repouso, os filtros que seriam necessários para a próxima etapa foram separados. Em uma bandeja, foram distribuídos 16 vidros de relógio e em cada um foi colocado um filtro. Em seguida essa bandeja foi levada a estufa em uma temperatura de 50°C e permaneceu lá durante uma semana. Após esse período, os filtros foram pesados em uma balança com precisão de 0,001g e os valores de cada um foram anotados em uma tabela. O processo de filtragem foi feito com o auxílio de um aparelho de sucção composto por: pipeta com ponta recortada, mangueira de borracha de silicone, bomba de vácuo e sistema de filtragem.

Utilizando os filtros que estavam na estufa, um por um, foi colocado no sistema de filtragem e, começando pela amostra E (Hexametáfosfato (NHP)), o processo de filtragem deu-se início. As soluções de iodeto foram deixadas como últimas para filtragem devido ao seu grau de toxicidade. Durante o processo foi necessário o auxílio de um pincel (0,8 mm) para que a matéria orgânica que ficasse retida nas laterais do recipiente, tampa e até mesmo no aparelho de filtragem, pudessem ser coletadas.



Figura 3. aparelho de sucção montado
Fonte: própria.

Após a filtragem de cada amostra, o filtro era retirado do sistema e devolvido ao vidro de relógio na bandeja. Ao final do processo, após todas as amostras terem sido filtradas, a bandeja foi levada novamente até a estufa e lá ficou por mais uma semana para que o material atingisse peso constante e seco. Dessa forma, passado o tempo necessário (72h), os filtros foram retirados da estufa apenas quatro amostras por vez, e eram colocados no dessecador devido a sua característica de serem frações higroscópicas. Assim, as amostras foram pesadas e os dados anotados na tabela para que posteriormente pudesse ser feita a análise estatística dos dados.

Análise estatística

Os dados obtidos de peso das frações leves em cada um dos métodos de fracionamento foram submetidos a análise de variância e as médias dos tratamentos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Assumiu-se o delineamento inteiramente casualizado para análise dos dados.

Resultados e Discussão

Os métodos de fracionamento diferiram na sua capacidade de recuperação da fração leve livre da matéria orgânica do solo de pastagens. Ambas as soluções de NaI foram capazes de extrair quantidade significativamente ($p < 0,05$) superior da fração que as demais.

Esses resultados corroboram com outros trabalhos e se deve em função da faixa de densidade que a fração leve livre possui, e associação que mantém com a fração mineral do solo. Ou seja, componentes também lábeis, mas que possuem densidade superior a dos demais líquidos testados (água, HMP e NaOH) não flutam como no NaI. Esses achados demonstram que a recuperação mais

eficiente da fração, melhora a composição da fração remanescente (organomineral), uma vez que impede a mistura das frações.

É importante ressaltar que a ausência de diferença estatística entre as soluções de NaI indicam que a solução menos densa deva ser utilizada em laboratórios de fracionamento, dada a economia com reagentes e periculosidade, uma vez que o usuário trabalharia com solução menos concentrada.

É importante ressaltar que os demais líquidos (água, HMP e NaOH) apresentaram capacidade de recuperação muito inferior a do NaI, justamente pela diferença de densidade dos líquidos.

A pequena diferença de recuperação do HMP e do NaOH, se deve a capacidade do NaOH dispersar melhor solos tropicais, permitindo que mais fração leve seja exposta e passível de ser flotada.

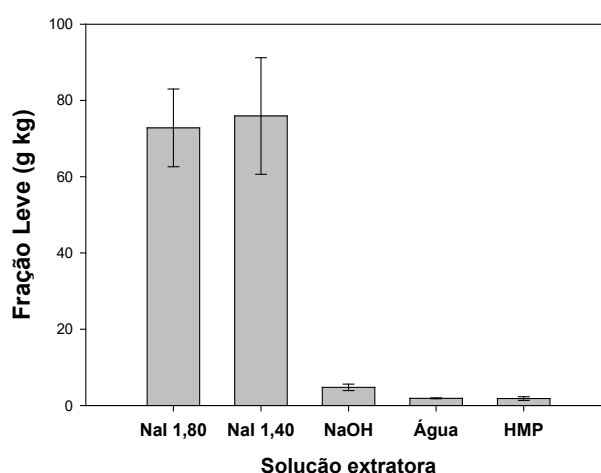


Figura 1. Uso de diferentes soluções extratoras para coleta de Fração Leve Livre em amostra de solo na profundidade 0 a 20 cm sob pastagem. (Barras de erros indicam o erro padrão da média de 4 repetições)

Conclusões

O iodeto de sódio, em ambas as densidades, recuperou maior quantidade de fração leve livre da matéria orgânica do solo de pastagem, permitindo inferir que a fração organo-mineral também foi melhor apresentada, pois impediu mistura das frações.

A menor concentração do NaI (1,40 g cm⁻³) é indicada para o fracionamento da fração leve livre, dada a economia em reagentes e menor periculosidade (concentração).

Dada a baixa recuperação dos demais métodos (NaOH, Hexametáfosfato e água), acredita-se que a mistura das frações (leve livre e organomineral) seja um impeditivo do uso dessas soluções e método usado nesse estudo, em laboratórios de rotina. Novos estudos serão conduzidos para contornar esse problema.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa e seu corpo de analistas e técnicos do laboratório, pelo auxílio, ao CNPq pela Bolsa concedida a Bruna Assunção e ao orientador, Fabiano Balieiro.

Referências

DENEFF, K., ZOTARELLI, L., BODDEY, R.M., SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 39, Issue 5, 2007, Pages 1165-1172.

KIRKBY, C. A. et al. Carbon-nutrient stoichiometry to increase soil carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 60, p. 77–86, maio 2013.

MACHADO, PLO de A. Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo: um procedimento para a estimativa pormenorizada do sequestro de carbono pelo solo. Embrapa Solos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2002

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, v. 74, n. 1, p. 65–105, 1 nov. 1996.

Produção de fertilizantes organominerais a partir de resíduos de cervejaria⁽¹⁾

Fernanda Lavra de Oliveira Lima⁽²⁾; Mariana Alves Figueiredo⁽³⁾; David Vilas Boas de Campos⁽⁴⁾; Ednaldo da Silva Araújo⁽⁵⁾; Caio Teves Inácio⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do projeto FERTORG. ⁽²⁾ Acadêmica do Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense; Bolsista PIBIC, Rio de Janeiro, RJ., ⁽³⁾ Engenheira Ambiental e Sanitarista, mestranda em Engenharia agrícola e ambiental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ., ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ., ⁽⁵⁾ Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Rio de Janeiro, RJ.

Resumo – O crescimento da indústria cervejeira no Brasil, terceiro maior produtor mundial, aumentou a geração de resíduos, sendo o bagaço de malte responsável por cerca de 80% desses resíduos. Simultaneamente, o agronegócio brasileiro enfrenta alta dependência de fertilizantes importados, principalmente formulações NPK, devido à baixa fertilidade natural dos solos. Diante disso, a produção de fertilizantes organominerais a partir de resíduos de cervejaria surge como uma alternativa sustentável para destinação de resíduos e melhoria da fertilidade do solo. Este estudo teve como objetivo produzir fertilizantes organominerais utilizando bagaço de malte e fontes de fósforo, além de avaliar a liberação de nutrientes em condições de laboratório. O experimento incluiu nove tratamentos fosfatados, sendo realizado em solos arenosos com coletas em sete períodos ao longo de 180 dias. Os resultados mostraram que os fertilizantes organominerais aumentaram a concentração de fósforo disponível, embora inicialmente apresentassem menor solubilidade que os comerciais. No longo prazo, seu desempenho foi compatível com os fertilizantes convencionais, destacando seu potencial para uso em sistemas agrícolas sustentáveis.

Palavras-Chave: bagaço de malte, fósforo, adubação.

Introdução

A indústria cervejeira cresceu cerca de 64% na última década, partindo de uma produção equivalente a 8,2 bilhões para 13,4 bilhões de litros anuais. Um mercado em constante expansão, mostrando o Brasil como o terceiro maior produtor da bebida no mundo. Acompanhando o aumento da produção de cerveja, ocorre o aumento dos resíduos gerados no processo. O bagaço de malte representa cerca de 80 % do total de resíduos gerados pelas cervejarias (CERVBRASIL, 2019).

O Brasil ocupa a quarta posição como maior consumidor mundial de formulações

NPK e, apesar da participação expressiva na economia nacional, o agronegócio brasileiro ainda sofre com a dependência da importação de fertilizantes, que correspondeu a aproximadamente 78% dos fertilizantes NPK (ANDA, 2016). O uso de fertilizantes é necessário (Freire et al., 2013), pois os solos brasileiros são originalmente de baixa fertilidade, apresenta intemperismo elevado, favorecendo as perdas de nutrientes, e os sistemas de produção têm se intensificado, aumentando a exportação dos nutrientes das áreas produtoras.

A produção de fertilizantes organominerais a partir de resíduos de cervejaria mostra-se promissora, pois atende à legislação ambiental por destinar corretamente os resíduos gerados, e contribui para a ciclagem de nutrientes e aumento da fertilidade do solo.

Assim, este projeto teve como objetivo a produção de fertilizantes organominerais a partir de resíduos de cervejaria e fertilizantes fosfatados e avaliação da liberação de nutrientes, em experimento, em condições de laboratório.

Material e Métodos

Tratamentos e amostragens

O resíduo utilizado na produção dos fertilizantes foi o bagaço de malte, seco em estufa à 40°C e moído. A partir da massa moída, o bagaço é misturado à diferentes fontes de fósforo e sua granulação em prato granulador é realizada. Com a formação de grânulos, os fertilizantes são, novamente, secos em estufa à 40°C e peneirados em peneiras de 4.00mm e 1.00 mm, de acordo com a legislação do Ministério da Agricultura para uso e comercialização de fertilizantes (MAPA, 2017).

Foram produzidos, no total, dois fertilizantes organominerais a partir do bagaço de cervejaria, como explicitado na tabela 1. No total, o experimento contou com nove tratamentos fosfatados: cinco fosfatados minerais e quatro organominerais NPK, além de um tratamento de controle, que não foi adicionado nenhum tipo de adubação.

Tabela 1. Fertilizantes fosfatados utilizados no estudo.

Fertilizante	Composição
Superfosfato Simples	20% P_2O_5
Superfosfato Triplo	48% P_2O_5
FNR	27% P_2O_5
Termofosfato	18% P_2O_5
MAP	56% P_2O_5
ORG 1	Organomineral NPK à base de Composto de Dejeito Suíno para Agricultura Orgânica
ORG 2	Organomineral NPK à base de Composto de Dejeito Suíno com micronutrientes
ORG 3	Organomineral NPK à base de resíduos de cervejaria
ORG 4	Organomineral NPK à base de resíduos de cervejaria para Agricultura Orgânica

Experimento em condições de laboratório

Esta etapa foi realizada em bancada, com copos plásticos, cada um contendo 100 g de solo arenoso da classe Planossolo Háplico e o equivalente a 10 mg de fósforo (variação de peso de acordo com os teores de P de cada fertilizante utilizado).

Com os nove fertilizantes mencionados anteriormente e uma testemunha, cada tratamento foi realizado triplicata e em blocos com tempos de coleta diferentes. No total, realizaram-se 7 coletas nos tempos 1, 15, 21, 30, 64, 90 e 180 dias após a adição dos fertilizantes no solo, totalizando 210 amostras. Durante o período de cada tratamento, tomou-se cuidado de manter a umidade na capacidade de campo e, ao serem coletadas, cada amostra foi seca em estufa à 40°C e homogeneizadas para dar seguimento as análises químicas.

Determinação de fósforo (Teixeira et al., 2017)

Para a determinação do fósforo disponível, utilizou-se a metodologia indicada pelo Manual de Métodos e Análise de Solo (2017), que se baseia no princípio da dissolução de minerais que contém fósforo e/ou no deslocamento do fósforo que se apresenta retido em superfícies sólidas do solo através de ânions.

O método utiliza 10g de cada amostra de solo tratado e 100 mL de uma solução de extrato de Mehlich para o preparo da solução de análise. Essa mistura é posta em agitação por 5 minutos e em repouso por uma noite. Ao final do período de repouso, 5 mL de cada solução de amostra era coletada e acrescentada de 10 mL de solução de molibdato de amônio e de uma pitada de ácido ascórbico. Elas eram agitadas e postas em repouso por 1 hora para o desenvolvimento da cor.

Em seguida, era feita a leitura em um espectrofotômetro digital no comprimento de onda de 660 nm. Em casos que a amostra apresentava elevada concentração, era feita uma diluição da mistura solo tratado - Mehlich antes da adição da solução de molibdato e do ácido ascórbico, até que fosse possível a leitura no aparelho.

Com os valores de absorvância obtidos na análise espectrofométrica, a concentração de fósforo disponível em cada amostra foi calculada através da fórmula

$$P = \frac{(L - b)}{a} \cdot d \cdot 10$$

Onde:

P – Concentração de fósforo disponível no solo, em mg kg⁻¹;

L – Leitura da amostra, em absorvância;

a – Coeficiente angular da reta dos padrões (intercepto);

b – coeficiente linear da reta dos padrões;

d – Fator de diluição do extrato de Mehlich (se não for necessária a diluição, considerar d = 1);

Valor 10 – fator que leva em consideração a diluição solo:extrator

Análise estatística

Os resultados foram comparados através de análises de variância (teste F; Pr<0,05) e comparados pelo teste de Tukey (Pr<0,05), utilizando o software estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2014).

Esse teste é utilizado em casos em que as amostras apresentam valores de grande variação, separando cada tratamento em blocos que sirvam como um pareamento considerável entre eles, com o ordenamento dos valores dentro desses blocos.

Resultados e Discussão

Com os resultados das sete coletas realizadas, foi possível observar que houve diferença estatística entre os tratamentos com fertilizantes e a testemunha, indicando que houve efeito da aplicação de fósforo. O Planossolo apresentou baixos teores de fósforo disponível, comprovando servir como testemunha do efeito de adubação fosfatada.

É possível observar que na primeira coleta (figura 1), os solos tratados com fertilizantes fosfatados comerciais apresentaram maiores valores de fósforo disponível do que os organominerais.

Porém, ao observar os resultados da coleta 7 (figura 2), é possível perceber que os organominerais também foram capazes de aumentar a concentração de fósforo.

Utilizando o software Sisvar para a estatística do projeto, foi possível visualizar o comportamento dos tratamentos durante os tempos de incubação, como na figura 3. Além disso, foi possível comparar os fertilizantes organominerais que foram adaptados para agricultura orgânica com os comerciais para o mesmo fim, como mostra a figura 4.



Figura 1. Gráfico da primeira coleta. Fonte: Autor



Figura 2. Gráfico da última coleta. Fonte: Autor

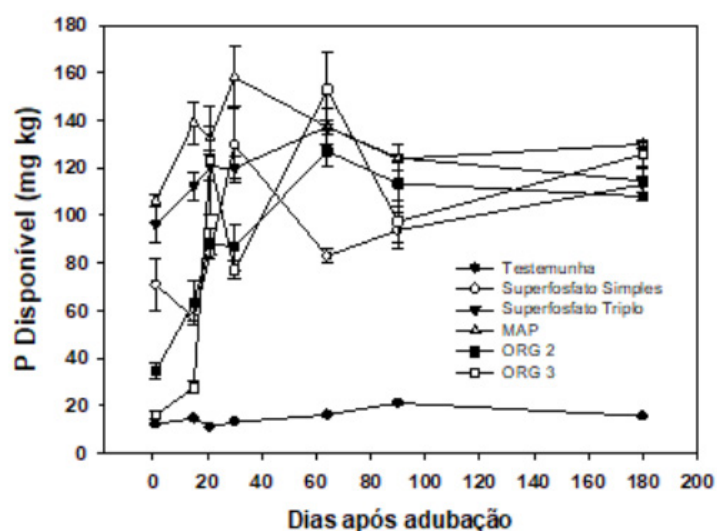


Figura 3. Fósforo disponível em amostras de solo adubados com diferentes fertilizantes fosfatados comerciais e organominerais em vários períodos de incubação (barras indicam erro padrão de 3 repetições). Fonte: Autor.

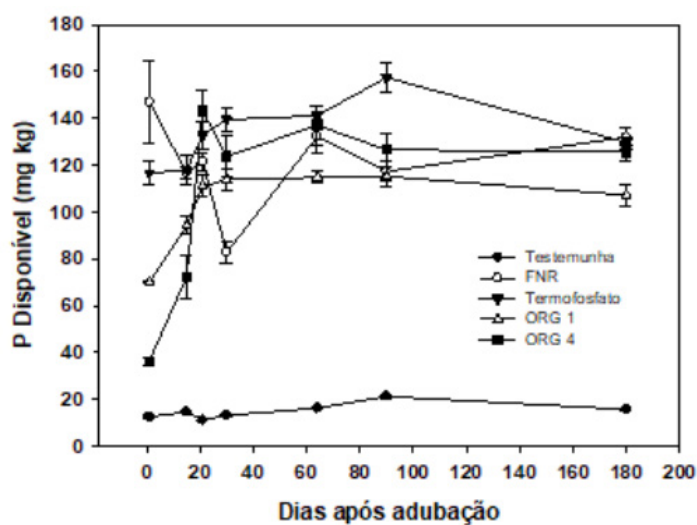


Figura 4. Fósforo disponível em amostras de solo adubados com diferentes fertilizantes adaptados para sistemas de produção orgânica (barras indicam erro padrão de 3 repetições). Fonte: Autor.

Conclusões

O Planossolo apresentou baixos teores de P disponível, comprovando servir como testemunha do efeito da adubação fosfatada.

Os fertilizantes organominerais apresentaram uma menor disponibilidade de fósforo em relação aos fosfatados comerciais, indicando serem de menor solubilidade.

Os fertilizantes fosfatados e os fertilizantes organominerais foram efetivos no aumento do fósforo disponível do solo.

Os fertilizantes organominerais adaptados para sistemas de produção orgânica apresentaram comportamento compatível aos fertilizantes comerciais usados para este fim..

Agradecimentos

À Embrapa Solos e ao CNPq pelo apoio financeiro e logístico durante o estudo

Referências

ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2015. São Paulo: ANDA, Comitê de Estatística, 2016. 178p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA - CERVBRASIL. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuario/

FREIRE, L. R. et al. Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro: Embrapa. Rio de Janeiro: Universidade Rural, 2013.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G.K; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G.. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.

Espectrômetro de fluorescência de raios X portátil (pXRF) para análise de metais em solos da Volta Grande do Xingu – Pará ⁽¹⁾

Wenceslau Geraldes Teixeira ⁽²⁾; Letícia Guimarães Pimentel ⁽³⁾; Wagner Fernando da Veiga e Silva ⁽⁴⁾; Denise Phal Schaan ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos de PIBIC/CNPq, ⁽²⁾ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico - RJ., ⁽³⁾ Engenheira Ambiental, Bolsista PIBC Embrapa Solos – CNPq, Rua Jardim Botânico - RJ., ⁽⁴⁾ Arqueólogo, Diretor da Inside Consultoria, Belém – PA., ⁽⁵⁾ Arqueóloga, Professora da UFPA – in memoriam.

Resumo – A região do médio Rio Xingu, na parte conhecida como Volta Grande do Xingu, tem um longo histórico de ocupação humana nas suas margens. Prospecções indicaram a existência de um grande número de sítios arqueológicos, e muitos desses com a presença de camadas de solos escurecidas, com a presença de artefatos cerâmicos e líticos. Os horizontes de solos modificados pelo homem, conhecidos na Amazônia como: as Terras Pretas de Índio (TPI). Essas áreas que aparentam ser sítios de habitação, se assentam em pequenos platôs em áreas planas. Como o objetivo de analisar as alterações causadas pelo Homem nas características do solo, foram avaliadas amostras de solo coletadas em diferentes camadas em dois perfis estratigráficos no Sítio Arqueológico Bom Jesus, localizado no município de Senador Porfírio - PA. As amostras foram analisadas quanto os teores totais de Ti, Fe, Zn, Mn, Cu e Sr utilizando a técnica da fluorescência de raios X (pXRF). Os aumentos da concentração destes elementos são causados pelas adições de resíduos orgânicos e manejo do ambiente. A elevada quantidade de fragmentos cerâmicos e líticos até mais de 50 cm de profundidade permite inferir uma longa e intensa ocupação do local. O aumento dos teores de Sr, Mn, Cu e Zn nos horizontes antrópicos também corrobora uma ocupação intensa dessas áreas. Os horizontes de solos antrópicos são um registro das atividades humanas e podem ser considerados artefatos arqueológicos. A preservação deste legado de civilizações pretéritas é dever da nossa sociedade.

Palavras-Chave: Terra Preta de Índio, Horizontes Antrópicos, Susceptibilidade Magnética, ICP, pXRF.

Introdução

A região da Volta Grande do Xingu (VGX) está situada numa área de encontro de formações cristalinas com sedimentar, esta parte do rio Xingu apresenta muitas cachoeiras e corredeiras. Situa-se sobre rochas cristalinas do Pré-Cambriano do planalto Xingu-Tapajós com altitudes situadas entre 150 m e 250 m. A vegetação caracteriza-se pela ocorrência das florestas ombrófila densa e aberta, que ocorrem em solos bem drenados. A floresta aluvial (matas de várzea) que ocorrem em áreas mais baixas e com drenagem limitada e vegetação associada aos afloramentos rochosos. Na área de estudos deste trabalho, grande parte da vegetação original foi substituída por pastagens, plantios e florestas secundárias. O clima atual nesta região é classificado como clima equatorial Aw, segundo a classificação de Köppen. Apresenta temperaturas médias de 26°C e a precipitação anual gira em torno de 1.680mm. Os solos predominantes nesta região são associações de Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos a Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, com também Neossolos Litólicos Distróficos, há na região a ocorrência de áreas de Nitossolos Vermelhos eutróficos (IBGE-Embrapa, 2001).

A VGX, localizada no médio curso do rio Xingu foi visitada e parcialmente descrita, incluindo os povos que ali habitavam por poucos viajantes entre os séculos XVIII e XX (Castro, 2020), a região continua sendo ocupada por diversas etnias indígenas (Faria, 2016). Karl von den Steinen percorreu a VGX durante duas expedições em 1884 e 1887 (Steinen, 1886; 1894). Após Karl von den Steinen, relatam brevemente a região da VGX, Henri Coudreau que passa por ali em 1896 (Coudreau, 1977) e o príncipe prussiano Adalbert Heinrich Wilhelm que esteve nessa região em dezembro de 1842 (Adalberto da Prússia, 2002). A primeira missão religiosa na VGX foi fundada pela Companhia de Jesus, acima da VGX, onde hoje se localiza a cidade de Altamira, na segunda metade do século XVIII, com o comando do jesuíta Roque

Hunderfund, com o aldeamento de índios das etnias Kuruaya, Xipaya, Arara e Juruna, entre outras. A missão é abandonada com a expulsão dos Jesuítas do Brasil em 1759, mas retomada posteriormente, com o nome de missão da Imperatriz, essa missão é relatada e descrita nos livros dos viajantes Henri Coudreau (Coudreau, 1977) e também pelo príncipe Adalbert Heinrich Wilhelm (Adalberto da Prússia, 2002). No final do século XIX e segunda metade do século XX, esta região tem uma intensificação de sua ocupação devido inicialmente a exploração das drogas do sertão (salsaparrilha, cacau e cravo) e posteriormente pela extração da borracha das seringueiras nativas (Coudreau, 1977). Em 1909, Emília Snethlage, pesquisadora da seção de Zoologia do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), realizou expedições à região do Xingu, com apoios dos Xipaya e os Kuruaya (Snethlage, 1912). Curt Nimuendajú (1948) viveu na região do médio e alto Xingu e nos afluentes Iriri e Curuá, entre 1916 e 1919, e relata dentre os povos indígenas dessa região as tribos de índios canoeiros, que viviam as margens dos rios (Juruna, Xipaya e Arupaí) e tribos que construíam suas moradias afastadas das margens em áreas de floresta (Kuruaya, Arara, Asuriní, Tacunyapé). O trecho encachoeirado do rio na VGX tornava difícil a navegação (Steinen, 1886) e funcionaram com barreiras a penetração ao longo do período colonial. O descimento de indígenas, a exploração, guerras, e epidemias e fim dos ciclos econômicos das drogas do sertão e da borracha são as causas da despopulação e dispersão dos grupos mencionados no baixo Xingu ao longo do tempo. Alguns grupos abandonaram a região e migraram para outras áreas parte do grupo permaneceu no Xingu, atualmente há três Terras Indígenas (TI Paquichamba e TI Juruna do km 17 e TI Arara da VGX). Parte das etnias indígenas originais se miscigenou e vivem em comunidades e na cidade de Altamira (Faria, 2016).

Técnicas não invasiva em avaliações de solos em geoarqueologia – Espectroscopia de Raios X

A espectroscopia de fluorescência de raios X é uma técnica analítica onde raios X são usados para excitar os átomos dos elementos presentes nas amostras em análise. O efeito da Fluorescência acontece quando os raios X primários alcançam os elementos e liberam os raios X secundários para serem detectados e analisados. O uso do pXRF apresenta vantagens como: facilidade de operação e simplicidade no preparo das amostras realizadas em análise em laboratórios. Não há alteração das propriedades das amostras, que poderão ser utilizadas em outras análises (Weindorf et al, 2014). Na avaliação de amostras de solos, a heterogeneidade das concentrações dos elementos, as diferenças de tamanho e textura das partículas influenciam os resultados, além da presença de ar e água ocupando seus poros (Melquiades et al., 2011; Kalnicky e Singhvi, 2001).

O objetivo deste estudo foi avaliar amostras de solos coletadas em camadas estratificadas do Sítio Arqueológico Bom Jesus, localizado na VGX, utilizando técnicas espectroscopia de raios X portátil (pXRF), como ferramenta para interpretação arqueológica do registro arqueológico.

Material e Métodos

No Sítio Arqueológico Bom Jesus, localizado as margens do rio Xingu, na região conhecida como Volta Grande do Xingu, no município de Senador Porfírio – PA (Figura 1), foram realizadas escavações arqueológicas em várias unidades de escavação sendo selecionadas duas destas para as análises que serão apresentadas neste trabalho. Das unidades de escavação UE-01 e EU-04 foram analisadas 36 amostras de solos coletas em diferentes profundidades (Tabela 1).

Para avaliações com utilização do espectrômetro de fluorescência de raios x portátil (pXRF). As amostras foram preparadas e as avaliações realizadas no Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no solo (LAMAS – Embrapa Solos, Rio de Janeiro). As amostras foram secas ao ar, maceradas em gral de ágata e peneiradas em malha de 2 mm, sendo então adicionadas em

Tabela 1. Teores totais de Titânio (Ti), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Estrôncio (Sr) avaliados com pXRF em amostras de solos das Unidades de Escavação 01 e 04 - Sítio Arqueológico Bom Jesus – Volta Grande do Xingu – Senador Porfírio – PA.

Espessura	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr
- cm -	mg kg-1					
Unidade de Escavação – 01						
0-10	6.987 ±179	1.399±82	48.808 ±3.987	48±2	115±6	114±9
10-20	7.035 ±889	1.192±221	45.961 ±8.629	50±10	113±4	106±20
20-30	7.905 ±299	1.216±68	54.506 ±756	41±2	99±1	106±3
30-40	7.961±101	1.141±32	50.756 ±894	37±4	91±4	85±1
40-50	8.314±1.232	948 ±193	49.834 ±11.236	46±16	109±27	70±16
50-60	8.484±602	701 ±76	56.001±8.343	43±8	98±35	57±7
60-70	8.955±132	486 ±23	63.775±3.949	37±10	64±7	47±3
70-80	8.702±1.012	71 ±29	75.393±9.769	30±15	45±14	36±5
80-90	9.018±848	-	78.380 ±8.604	21±6	53±31	34±4
90-100	8.616±457	14±1	87.184 ±8.480	23±9	34±6	33±5
100-110	9.198±202	-	89.663 ±7.481	15±7	35±15	35±4
110-120	9.740±362	65±5	97.238 ±2.916	12±2	29±8	34±1
120-130	8.949±157	-	102.361±2.401	13±3	28±2	34±2
130-140	8.536±517	16±2	95.213 ±16.132	34±16	43±15	32±4
140-150	9.096±166	-	114.225±3.387	12	28±9	33
150-160	8.955±283	-	103.898±16.616	19±12	64±59	32±4
160-170	9.240±160	-	118.122±5.555	11±1	31±12	34±2
170-180	8.372±930	-	110.418±17.946	24±9	47±26	28±4
180-190	9.280±393	-	128.280±4.440	14±3	26±10	30
190-200	9.350±392	-	125.773±4.651	11±2	19±1	34±3
Unidade de Escavação – 04						
0-10	5.851±142	1.630±88	37.984±2.181	47±1	154±2	139±8
10-20	6.558±389	1.741±149	41.688±3.390	53±5	168±11	153±9
20-30	6.977±314	1.808±131	44.759±4.495	62±5	171±19	142±13
30-40	7.188±285	1.776±68	44.530±565	57±5	166±23	143±3
40-50	9.695±336	759±18	74.778±3.131	32±2	88±13	52±1
50-60	6.685±760	1.545±241	37.558±3.985	71±8	161±11	126±16
60-70	7.718±136	1.722±79	45.41±2.778	53±8	158±21	128±10
70-80	8.947±282	1.360±55	54.509±3.580	39±5	128±27	80±6
80-90	9.242±366	786±64	61.853±5.532	36±12	103±31	61±5
90-100	9.499±432	263±6	67.300±7.678	34±16	65±27	45±4
100-110	10341±851	-	78.555±6.376	13±6	35±16	37±3
110-120	10.092±384	-	78.070±2.194	12±1	32±11	39±1
120-130	9.860±103	113±2	76.648±4.270	16±2	44±16	43±3

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Espessura	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr
- cm -	mg kg ⁻¹					
130-140	9.082±679	-	85.673±9.005	18±10	25±4	34±4
140-150	9.603±615	-	82.349±11.675	19±12	42±28	37±4
150-160	9.514±270	-	112.660±17.897	16±3	28±2	35±2
160-170	9.687±350	-	105.313±9.593	22±4	32±16	35±2

Nota: “-” = abaixo do limite de detecção. Os dados apresentados são médias aritméticas de três avaliações ± os valores do desvio padrão.

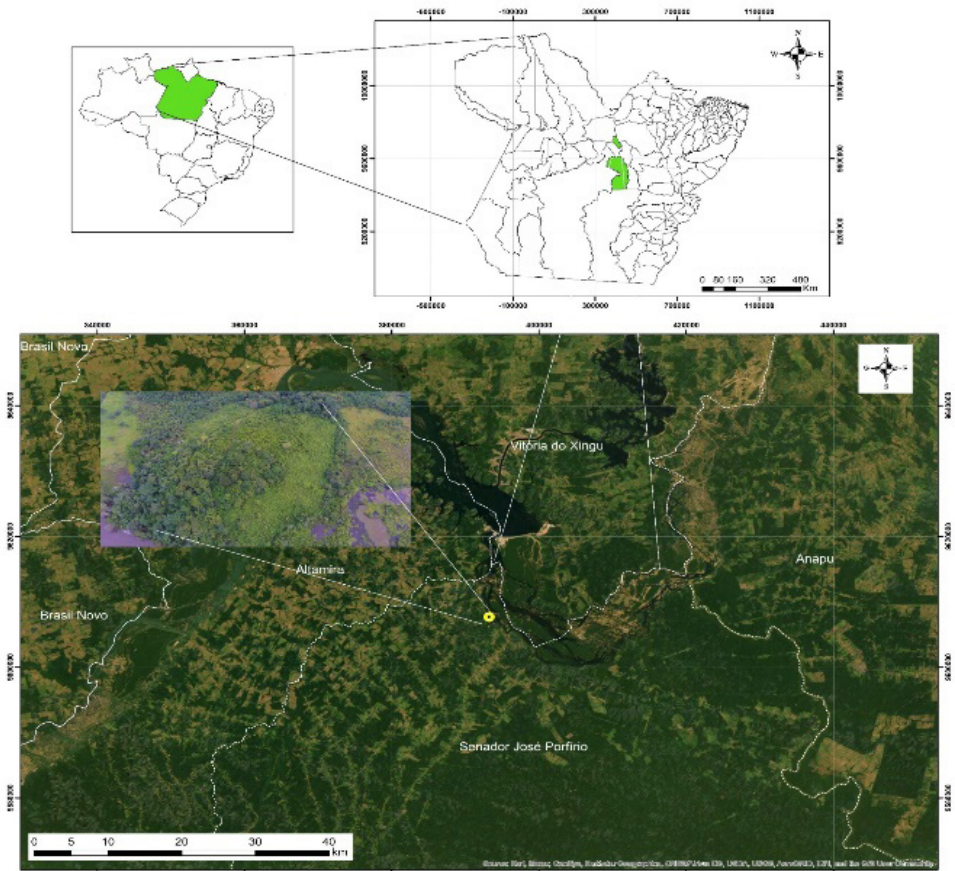


Figura 1. Localização do Sítio Arqueológico Bom Jesus – Volta Grande do Xingu – Senador Porfírio – Pará.

recipientes plásticos enumerados, com o auxílio de um funil. Foram então prensadas e niveladas com o uso de um bastão de vidro, visando uma coesão entre as partículas e um nivelamento da superfície. Foi feita a limpeza dos materiais e equipamentos com o uso de álcool e água destilada ao finalizar o preparo de cada amostra. As amostras preparadas desta forma foram então analisadas em triplicata por 90 segundo em cada ponto de leitura com o uso do pXRF (Innov –X DP- 6000 Delta Premium Handheld XRF Analyzer, Olympus, EUA). Para identificação e quantificação dos espectrogramas gerados foi utilizado o algoritmo de calibração interno denominado “Soil”. Os elementos de interesse analisados foram Titânio (Ti), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e estrôncio (Sn). Os valores médios das concentrações e o desvio padrão entre as leituras são apresentados em mg kg⁻¹. Foi analisada após cada 20 leituras uma amostra de solo certificada pelo *National Institute of Standards and Technology* – NIST amostra Montana 2711a), para aferição da capacidade de recuperação dos valores certificados dos elementos estudados.

Resultados e Discussão

O Sítio Arqueológico Bom Jesus (SABJ), localizado na margem direita do Rio Xingu, na região denominada de Volta Grande, fica localizado num platô de cerca 200 x 300 m, com declive para o nordeste, tem como coordenadas centrais (UTM 22 - 393215, 9607687). Essa região do rio Xingu tem um longo histórico de ocupação e a grande quantidade de artefatos líticos e cerâmicos, corrobora para ocupações de longo período. O SABJ é um típico sítio de Terra Preta de Índio, com os horizontes superficiais escurecidos em relação aos solos adjacentes e as camadas suprajacentes.

Nesta área foram realizadas 97 escavações arqueológicas (Silva et al., 2017), sendo escolhida para este estudo as amostras de solos coletadas em diferentes camadas nas Unidades de Escavação 01 (UE-01) e 04 (UE-04). Detalhes das escavações, incluindo a localização, a descrição, desenhos e dados e informações sobre os artefatos cerâmicos e líticos coletados em cada camada é descrito em Silva et al., (2017), e algumas informações são brevemente descritas aqui neste estudo para fins de correlação.

Nesta área se encontra um plantio de cacauzeiros, espécie exigente em fertilidade de solo, e seu bom desenvolvimento e produção é uma indicação de solos férteis.

Na UE-01 a coloração das camadas superficiais (0-20 cm) apresentou um predomínio de cores escuras com predomínio das cores 7,5 YR 2,5/1. Há um ligeiro clareamento nas camadas inferiores para cores amarronzadas 7,5 YR 3/2 (30-50 cm), com a presença abundante de artefatos, principalmente cerâmicos, até os 60 cm de profundidade. As cores nas camadas de 60-70, foram 7,5 YR 4/2 e não foram encontrados fragmentos cerâmicos ou líticos na camada entre 60-70, entretanto os dados de aumento da SM (Figura 8) e dos teores de P, Ca, Mg, Zn, Sr, Ba, Mn, (Figuras 9 e 11) indicam alterações antrópicas desta camada ou movimentação dos elementos químicos das camadas suprajacentes. Foram coletadas amostras com trado até a profundidade de 170 cm. As cerâmicas, que foram coletadas em as unidades de escavação, são predominantemente utilitárias (Figura 7), de manufatura roletada, tratamento de superfície alisado, bastante fragmentada, sendo a maioria de pequenas dimensões, o antiplástico na maioria dos fragmentos é areia ou rocha triturada (Silva et al, 2017).

Na UE-04 a coloração das camadas superficiais (0-20 cm) apresentou um predomínio de cores escuras com predomínio das cores 7,5 YR 2,5/1. Nas camadas entre 20-50 cm houve um predomínio das cores 7,5 YR 3/1 e nas camadas entre 40-70 cm predomina cores mais amarronzadas com valores de 7,5 YR 3/3. Na camada de 90-100 não foram encontrados fragmentos cerâmicos ou líticos, entretanto os aumentos da SM (Figura 8) e dos teores de P, Ca, Mg, Zn, Sr, Ba, Mn, (Figuras 10 e 12) indicam alterações antrópicas desta camada ou movimentação dos elementos químicos das camadas suprajacentes. Foram coletadas amostras com trado até a profundidade de 200 cm.

Avaliando teores de elementos químicos em amostras de sítios arqueológicos com a técnica da Fluorescência de Raios X

As análises da concentração de Ti mostram uma relativa uniformidade do material de origem das diferentes camadas de solo analisadas na EU 01 e 04, não indicando uma descontinuidade de material de origem nas camadas avaliadas (Tabela 1). O Ti é um dos elementos mais resistentes ao intemperismo, geralmente compões os minerais rutilo e anastásio. O pXRF apresenta uma boa precisão em avaliações da concentração de Ti, mesmo utilizando um preparo mínimo da amostra (Nogueira et al., 2017).

As análise dos teores de Fe mostram uma tendência contrária aos dos outros elementos avaliados com o aumento dos valores em profundidade (Tabela 1). Este aumento dos teores de Fe, neste estudo é relacionado a um aumento dos teores de argila em profundidade, e aos minerais de Fe se encontram principalmente nesta fração (óxidos e oxihidroxidos de Fe, por exemplo hematita e goethita). Este gradiente de argila é típico dos Argissolos, os solos predominantes nesta região (IBGE-Embrapa, 2001).

O aumento dos teores de Mn, Zn e Sr nos horizontes antrópicos até a profundidade de 50 cm na EU 01 e até a profundidade 70 cm na UE -04 (Tabela 1) concorda com as descrições de cores

e da presença de artefatos (Silva et al., 2017). Adicionalmente um ligeiro aumento dos teores de Cu corrobora as adições antrópicas no solo

Conclusões

As avaliações qualitativas e semiquantitativas com pXRF, equipamento ainda pouco utilizado na arqueologia brasileira se mostra bastante robusta para a avaliação de alterações químicas nas amostras de sedimentos e solos em especial de teores de Ti, Fe, Mn, Cu, Sr, com a vantagem de ser não destrutiva da amostra analisada. Os horizontes de solos antrópicos são um registro das atividades humanas e podem ser considerados artefatos arqueológicos. A preservação deste legado de civilizações pretéritas é dever da nossa sociedade.

Agradecimentos

A segunda autora agradece ao CNPq a bolsa de produtividade.

Referências

- ADALBERTO, P. P. **Brasil: Amazônia Xingu**. Brasília: Senado Federal, 2002. p. 382.
- CASTRO, A. *Um regime de opulência: grupos ceramistas da Volta Grande do rio Xingu*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Antropologia, UFPA, Belém, 2020.
- COUDREAU, H. **Viagem ao Xingu**. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1977. p. 166.
- FARIA, E. DA S. S. **Viagem Etno-histórica e Arqueológica ao Médio Xingu: Memória e História Indígena na Amazônia**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará: Belém, 2016.
- IBGE - EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE/EMBRAPA, 2001. mapa, color., 107 x 100 cm, escala 1:5.000.000.
- KALNICKY, D. J.; SINGHVI R. Field portable XRF analysis of environmental samples. **Journal of Hazardous Materials**, v. 83, p. 93-122, 2001.
- MELQUIADES, F. L.; BASTOS, R. O.; BIASI, G. E.; PARREIRA, P. S.; APPOLONI, C. R. Granulometry and moisture influence for in situ soil analysis by portable EDXRF. In V. R. Vanin (Ed.). AIP Conference Proceedings, 2011. **Anais**. v. 1351, n. 1, p. 317-320.
- NIMUENDAJU, C. Tribes of the lower and middle Xingu river. In: Julian H. Steward (ed.). **Handbook of South American Indians**. New York, 1948, 3: p. 213-243.
- NOGUEIRA, J. N.; TEIXEIRA, W. G.; VASQUES, G DE M. Uso de espectrômetro de fluorescência de raios X portátil (pXRF) para avaliação de teores de titânio (Ti) em amostras de solo. In Anais do Seminário Pibic Embrapa Solos - 2016-2017, **Anais**, 2017, p. 32-35. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 3p.
- SILVA, W. F. DO V., BARBOSA, L. A. DE S., SANTOS, M. F. DA S. **Programa de Estudos Arqueológicos e Educação Patrimonial da área de influência do Projeto Volta Grande, Senador José Porfírio, Pará**. 1ed. Belém: Inside Consultoria Científica, 2017, 635 p.
- SNETHLAGE, E. A travessia entre o Xingú e o Tapajoz. **Boletim do Museu Goeldi**, Belém, 1912, v. 7, p. 49- 92.
- STEINEN, K. von den. Durch Central-Brasilien: Expedition zur Erforschung des Schingú im Jahre 1884. F. A. **Brockhaus, Leipzig**, 1886, 440 p.
- STEINEN, K. von den. **Unter den Naturvölkern Zentral-Brasiliens. Reiseschilderungen und Ergebnisse der zweiten Schingú-Expedition 1887–1888**. Geographische Verlagsbuchhandlung von Dietrich Reimer, Berlin, 1894, 572 p.
- WEINDORF, D.C.; BAKR, N., ZHU, B. 2014. Advances in portable X-ray fluorescence (PXRF) for environmental, pedological, and agronomic applications. **Advances in Agronomy**, 2014, v. 128, p. 1-45.

Matéria orgânica e capacidade de troca catiônica nos solos arenosos no bioma Cerrado: avaliação de dados das camadas superficiais para fins de fertilidade⁽¹⁾

Raul Lima Xavier⁽²⁾; Ademir Fontana⁽³⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da bolsa de IC do CNPq. ⁽²⁾ Estudante de Zootecnia, Campo Grande, MS, ⁽³⁾ Pesquisador da Embrapa Solos, Campo Grande, MS.

Resumo – Os solos arenosos constituem um grupo relevante de solos, tendo por base a composição granulométrica com predomínio da fração areia em pelo menos 500 g kg⁻¹ e argila inferior a 200 g kg⁻¹. Pela sua composição predominantemente arenosa, tem baixa capacidade de acúmulo de matéria orgânica e ainda baixa capacidade de troca catiônica, a qual é muito dependente da matéria orgânica. Este estudo objetiva avaliar a distribuição da matéria orgânica e a correlação com a capacidade de troca catiônica em solos arenosos sob diferentes usos no bioma Cerrado. Foram buscados na literatura os trabalhos desenvolvidos em “solos arenosos” ou “textura leve” (areia $\geq$ 500 g kg⁻¹ e argila $\leq$ 200 g kg⁻¹). Diferentes usos foram agrupados conforme o tipo principal de uso e manejo. Quanto aos atributos, a granulometria (areia e argila), carbono orgânico (C org), matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC). As gramíneas em pastagem bem manejadas e cultivos anuais conjugados com SPD tem maior potencial para incorporar matéria orgânica ao solo, sendo a razão de estratificação de C uma forma eficaz para detecção da qualidade do solo quanto ao aporte e manutenção da MO. Há um potencial diminuição da capacidade reativa da matéria orgânica de até 20% e achatamento da tendência da correlação entre MO e CTC em cultivos degradados ou baixa qualidade do manejo.

Palavras-Chave: solos arenosos, teor e estoque de C e MO, estratificação de C, CTC.

Introdução

Um grupo de solos tendo por base a composição granulométrica tem recebido especial atenção, os solos arenosos e também muitas vezes definidos como “solos de textura leve”, os quais pela definição apresentada no Brasil devem contemplar a fração areia como predominante até a profundidade de 75 cm. Este grupo de solos prevê que o teor de argila pode chegar a 200 g kg⁻¹ (20%) e pelo menos 500 g kg⁻¹ (50%) de areia, englobando as classes texturais areia, areia-franca, franco-arenosa e parte da franca (Donagemma et al., 2016). Quanto ao potencial agrônomo, devido à herança da composição granulométrica, apresenta limitada capacidade de interação e geração de cargas, formação de agregados estáveis, assim como, da limitada quantidade de outros minerais com potencial fonte e retenção de nutrientes, tem sido definido como “solos frágeis” (Castro e Hernani, 2015).

Ao que confere o componente orgânico dos solos, em qualquer tipo, mas especialmente neste grupo de solo, com o aumento dos teores de matéria orgânica (MO), associa-se a expectativa de proporcionar sustentabilidade aos sistemas agrícolas e garantindo produção, produtividade, qualidade das terras, conservação do solo, água e biodiversidade. Como efeito do aumento da MO, é pressuposto a restauração e manutenção da fertilidade do solo – ciclagem e reciclagem de nutrientes, disponibilidade e retenção de nutrientes e, agregação. Especialmente no que confere a retenção de nutrientes, atribui-se à MO a maior parte da capacidade de troca catiônica (CTC) de solos tropicais, em virtude dos elevados valores da CTC dos compostos orgânicos quando comparado aos minerais de argila e óxidos (Meurer et al., 2015).

O objetivo geral é avaliar a distribuição da matéria orgânica e a correlação com a capacidade de troca catiônica em solos arenosos sob diferentes usos no bioma Cerrado.

Material e Métodos

No total foram obtidos 138 dados, sendo 123 dados até 20 cm de profundidade.

Os diferentes usos foram agrupados conforme a combinação do tipo principal de cultivo obtendo os seguintes usos ajustados: agrícola (algodão, cana-de-açúcar, feijão, milho), cerrado, pastagem, pastagem degradada, silvicultura e soja. Foi agrupado também por sistema de cultivo ou manejo em Plantio Convencional (PC), Plantio Direto (PD), Sistema Plantio Direto (SPD) e Integração Lavoura-Pecuária (iLP).

As camadas avaliadas concentraram-se na superfície, sendo harmonizados em função da variação das profundidades em quatro grupos: 0-10 (0-5; 5-10; 0-10 e 0-15 cm), 10-20, 0-20 (0-20; 0-25 e 0-30 cm). Os dados do grupo 0-20 cm contemplam trabalhos diferentes daqueles das camadas 0-10 e 10-20 cm.

Além das informações gerais de localização, cultivo e manejo em cada solo, granulometria (areia, silte e argila) e quando possível a areia grossa e areia fina, carbono orgânico (C org), matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC). Os teores de MO foram obtidos após a multiplicação do C org pelo fator 1,724 (fator de van Bemmelen).

Inicialmente os valores da CTC obtidos em base gravimétrica foram harmonizados para a base volumétrica por se tratar de avaliações para fins de fertilidade. A conversão foi realizada multiplicando o valor da CTC pela densidade da terra fina obtida pela função que usa o teor de areia total como variável preditora (Cordeiro et al., 2020).

Resultados e Discussão

Na camada de 0-10 cm, tendência de menores teores de C org para a pastagem degradada, agrícola e soja, enquanto, os maiores teores para a pastagem e soja ILP (Figura 1). Este padrão fica mais evidente na camada de 10-20 cm, sendo a soja em todos os sistemas, pastagem degradada e agrícola com teores médios inferiores aos demais usos, principalmente da pastagem (Figura 2). Para a soja ILP, observa-se um padrão diferenciado em relação a camada de 0-10 cm, com a diminuição do teor ao mesmo patamar do agrícola.

Na avaliação da camada de 0-20 cm, os padrões e tendências são distintos daqueles das Figuras 1 e 2 que expressam as camadas 0-10 e 10-20 cm. Nesta camada, as diferenças entre os usos e manejo destacam a menor média do C org e MO para o cultivo com soja ILP e maior para soja SPD (Figura 3).

A eficiência das gramíneas forrageiras em dispor no solo matéria orgânica e propiciar o maior acúmulo de MO é notadamente reconhecida e difundida para os ambientes tropicais. Esta capacidade

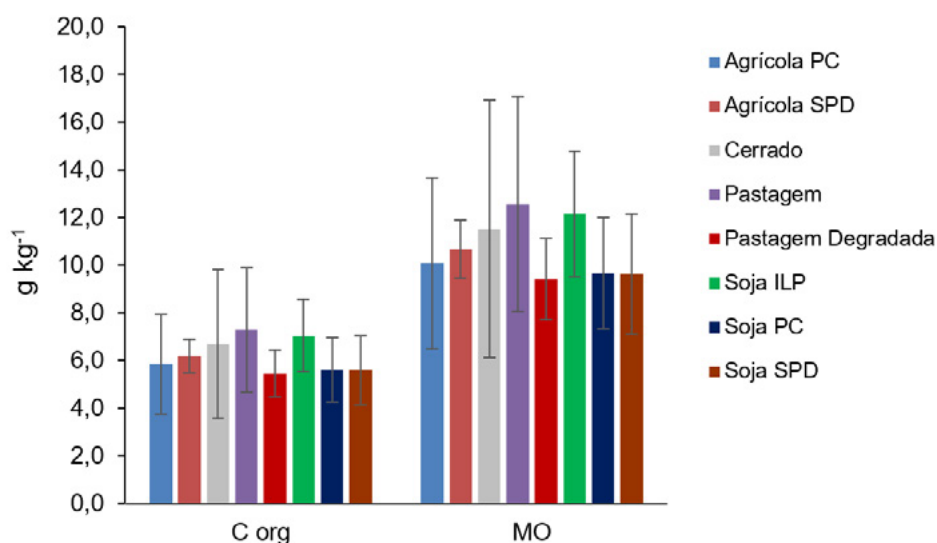


Figura 1. Teor de carbono orgânico (C org) e matéria orgânica (MO) nos diferentes usos na camada de 0-10 cm.

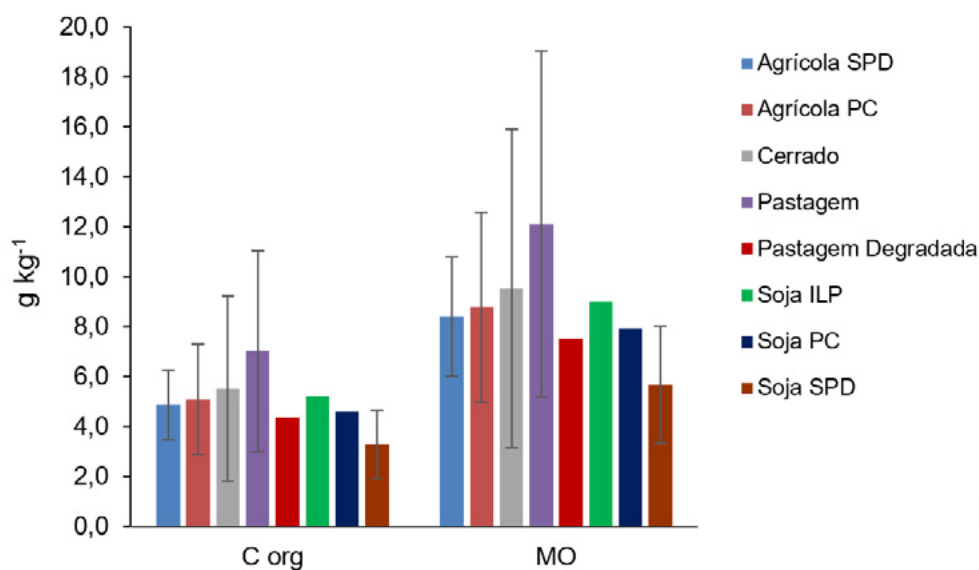


Figura 2. Teor de carbono orgânico (C org) e matéria orgânica (MO) nos diferentes usos na camada de 10-20 cm.

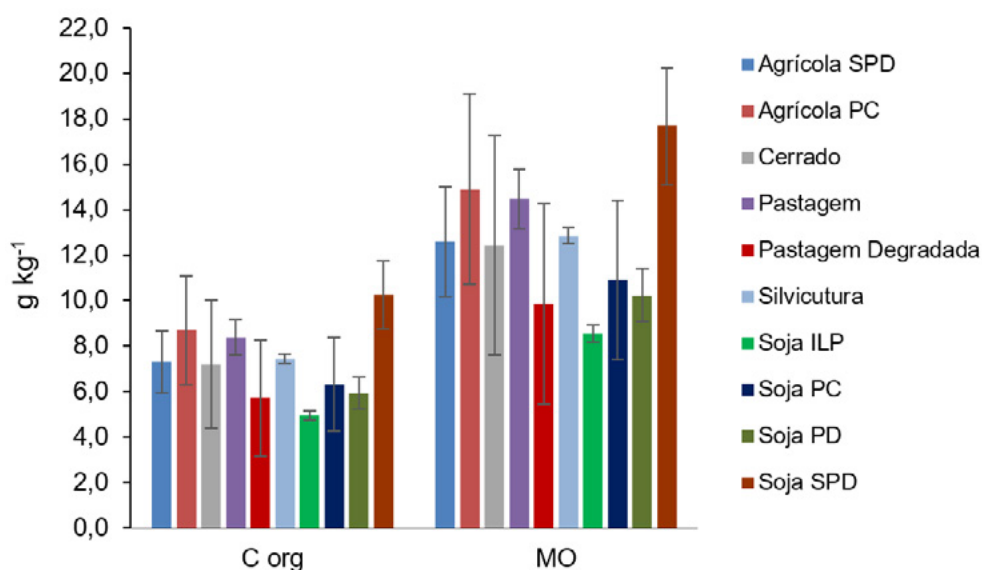


Figura 2. Teor de carbono orgânico (C org) e matéria orgânica (MO) nos diferentes usos na camada de 10-20 cm.

pode ser explorada e assim é possível com a melhoria das pastagens degradadas atingir para a região do Cerrado de 1,05 Mg C ha por ano de estoque, como sugerido no Plano ABC (Brasil, 2012).

Os valores da CTC entre as faixas de C org e MO nos usos mais intensivos apresentam menor amplitude, os quais são destacados pelos menores valores da razão de CTC (Tabela 1).

Notadamente os valores da CTC não têm aumento proporcional ao aumento da MO como do solo sob condição natural. Para a faixa de C org < 6, a razão CTC/C org é semelhante entre os solos cultivados (0,50 a 0,76 cmol_c g⁻¹) e o cerrado (0,49 a 0,76 cmol_c g⁻¹), enquanto, para a faixa de C org ≥ 6, a razão CTC/C org do cerrado é maior (0,34 cmol_c g⁻¹) que sob cultivado (0,21 a 0,29 cmol_c g⁻¹). Para esta última faixa, os solos cultivados apresentam entre 62 e 85% da CTC dos solos do cerrado, sendo a pastagem degradada com o menor valor.

Ao padrão de dispersão dos dados, correlação e também da razão de CTC, ao solo sob cerrado está a expectativa quanto a contribuição da MO para a CTC, cujos valores ficam entre 60 a 300

Tabela 1. Valores da CTC para as faixas de C org e MO nos diferentes usos até 20 cm.

C org (g kg ⁻¹)	MO (g kg ⁻¹)	Uso / Sistema de cultivo									
		Agrícola - PC	Agrícola - SPD	Cerrado	Pastagem	Pastagem degradada	Silvicultura	Soja - SPD	Soja - iLP	Soja - PC	Soja - PD
		CTC (cmol _c dm ⁻³)									
< 6,0	< 10,0	4,5	3,7	3,7	-	3,1	-	3,1	-	4,6	3,7
≥ 6,0	≥ 10,0	4,3	4,4	5,1	4,1	4,1	5,4	3,5	-	5,1	4,5
Razão da CTC	Razão da CTC	0,96	1,19	1,38	-	1,32	-	1,13	-	1,11	1,22

PC – Plantio Convencional; PD – Plantio Direto; SPD - Sistema Plantio Direto; iLP – Integração Lavoura-Pecuária. Razão da CTC (C org ≥ 6,0) / CTC (C org < 6,0).

cmol_c kg⁻¹ (0,6 a 3 cmol_c kg⁻¹ de CTC por 10 g kg⁻¹ de MO) (Stevenson, 1994). Outros valores de referência para a CTC, de 200 a 300 cmol_c kg⁻¹ (Meurer et al., 2015). Em comparação com alguns minerais de argila, como a caulinita que predomina nos solos tropicais, a CTC entre 2 e 15 cmol_c kg⁻¹ (Lim et al., 1980).

Conclusões

As gramíneas em pastagem bem manejadas e cultivos anuais conjugados com SPD apresentam maior potencial para incorporar matéria orgânica ao solo e fora detectado pelos maiores teores de C (forma absoluta).

Há um potencial diminuição da capacidade reativa da matéria orgânica de até 20% e achatamento da tendência da correlação entre MO e CTC em cultivos degradados ou de baixa qualidade do manejo.

Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC**. Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.
- CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. **Solos frágeis, caracterização, manejo e sustentabilidade**. 2015.
- CORDEIRO, F. R.; CESÁRIO, F.V.; FONTANA, A.; ANJOS, L. H. C.; CANTO, A. C. B.; TEIXEIRA, W. G. Pedotransfer functions: the role of soil chemical Properties units conversion for soil classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2020;44:e0190086.
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J. BORTOLON, E. BOROLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1003-1020, 2016.
- LIM, C. H.; JACKSON, M. L.; KOONS, R. D.; HEIMKE, P.A. **Kaolins: sources of different cation exchange capacities and cesium retention**. Clays Clay Miner., v. 28, p.223-229, 1980.
- MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção dos solos. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 6. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2015.
- STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions**. 2nd Edition, Wiley, New York. 1994.

Desenvolvimento de fertilizante fosfatado farelado a base rochas fosfáticas, escórias de siderurgia e micronutrientes para recuperação de pastagens degradadas⁽¹⁾

Gabriel Carlos Francisco⁽²⁾; Jéssica Franciele Kaminski Ramos⁽³⁾; Bruna Karina da Silva Oliveira⁽²⁾; Rosângela Stralio⁽⁴⁾; Vinícius de Melo Benites⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos o projeto SEG 30.18.00.050.00.00 - Recomendações agrônômicas e validação do uso de escórias de siderurgia para pastagens. ⁽²⁾ Graduando em Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ. ⁽³⁾ Mestranda em agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. ⁽⁴⁾ Engenheiro(a) Agrônomo(a), PhD em Ciências do Solo, Pesquisador(a) da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Resumo – O fósforo é um dos nutrientes essenciais para a produção vegetal e o setor de fertilizantes fosfáticos tem desenvolvido produtos parcialmente acidulados os quais são empregados baixos níveis de acidulação obtendo maior eficiência agrônômica. Nesta etapa do trabalho foram estudados processos de acidulação de rocha fosfática, visando o desenvolvimento inicial de fontes de fósforo para composição de misturas fertilizantes. Foi estudado o pó de rocha de Pratápolis – MG, visando melhorar sua eficiência agrícola. Avaliou-se a solubilidade e a caracterização granulométrica em frações de 7, 16, 32, 48, 60 e 200 mesh. Para a análise de solubilidade, foi proposta a quantificação em teor de P solúvel em água, ácido cítrico, citrato neutro de amônio e ácido nítrico. Os resultados indicam que há maior teor de fósforo solúvel nas amostras de maiores granulometrias comparadas às mais finas, além do pó de rocha apresentar elevação na sua solubilidade em água à medida que maiores níveis de acidulação foram aplicados.

Palavras-Chave: acidulação de rochas fosfáticas; pó de rocha; fósforo.

Introdução

O fósforo é um elemento essencial para o crescimento das plantas, responsável por várias funções cruciais ao desenvolvimento vegetal, atuando como transmissor de energia às células, a partir da fotossíntese e da respiração, como também na constituição estrutural de ácidos nucleicos, fosfolípidios, fosfoproteínas e coenzimas (GRANT et al., 2010). A limitação na disponibilidade deste nutriente primário nos estágios iniciais do desenvolvimento vegetal induz anormalidades que

podem ser irreversíveis, mesmo que ocorra suplementação posterior, pois esse elemento atua na raiz e sua limitação afeta a absorção de água e nutrientes. Apesar do fósforo ser amplamente distribuído na crosta terrestre, esse mineral ocorre sob única forma estável como íon ortofosfato, encontrado geralmente na forma de sais que são intitulados como fosfatos (VIEIRA, 2010).

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes fosfatados do mundo e o sexto maior produtor, com apenas 3% da produção mundial. A fabricação média deste fertilizante segue praticamente inalterada na última década, cerca de 2 milhões de toneladas desse produto por ano, insuficiente para atender as demandas internas do país. (ABISOLO, 2018). Assim como nos demais países agrícolas, o uso dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados prevalece, como é o caso dos superfosfatos e dos fosfatos de amônio, que possuem alta solubilidade em água e eficiência agrônômica (VIEIRA et al., 2010). Esses fertilizantes exigem altas quantidades de ácido sulfúrico, fosfórico e enxofre, que são na maioria das vezes importados e acabam acarretando elevação nos custos de produção. Outro entrave é relacionado ao alto teor de P_2O_5 exigido e à baixa concentração de impurezas, que acaba gerando perdas de até 40% do fosfato extraído das minas (GOEDERT, W. J; REIN, T.A; SOUZA, D. M.G, 1990).

No processo de produção de fertilizantes fosfatados, via ácido sulfúrico, existe uma alternativa que possibilita a redução do custo industrial, através da metodologia de acidulação parcial. A produção de Fosfato Parcialmente Acidulado (F.P.A), além de possibilitar o uso de matéria-prima com maiores teores de impurezas, também utiliza menores concentrações de ácido sulfúrico na sua síntese (CEKINSKI, BETTIOL, 1983).

A eficiência agronômica dos fertilizantes parcialmente acidulados é afetada por diversos fatores, dentre os quais estão a granulometria e origem da rocha fosfática, a solubilidade, o grau de ataque ácido empregado, a reatividade do mineral, a planta e as características físico-químicas do solo (FILHO; NETO, 1992). Para a avaliação da eficiência agronômica dos fosfatos parcialmente acidulados são realizadas análises de solubilidade em ácido cítrico 2%, ácido nítrico e citrato neutro de amônio (CNA) (KLIEMANN; LIMA, 2001). A legislação brasileira especifica que, para fosfatos parcialmente acidulados, a concentração de P_2O_5 solúvel em CNA+ água deve ser de 18% e em ácido nítrico de 25%.

Para que a solubilidade dos extratores seja válida é preciso relacioná-las com o índice de eficiência agronômica (IEA), que revela a capacidade em aumentar a produtividade por unidade de P aplicado. Existe uma carência de estudos relativos à eficiência agronômica de F.P.A e diante do alto custo pago nos fertilizantes fosfatados, da insuficiência em atender a demanda interna do país, e da vasta reserva nacional não explorada, se faz necessário o desenvolvimento e análise de novas fontes fosfáticas que promovam a melhoria com baixo impacto ambiental, conciliando isso com menos custos de produção, elevando assim o rendimento das culturas.

Neste trabalho busca-se desenvolver novas formulações contendo rochas fosfáticas que apresentem menor custo de produção e possam colaborar para suprir a demanda do mercado agrícola nacional. Neste sentido os estudos de acidulação com o pó de rocha de Pratápolis-MG, que tem despertado interesse comercial, foi estudado quanto à caracterização físico-química e viabilidade técnica do processo de acidulação parcial.

Material e Métodos

1. Distribuição granulométrica da rocha fosfática de Pratápolis:

As medições da granulometria foram realizadas utilizando o método de peneiramento a seco. Cada batelada do material foi acondicionada em um agitador de peneiras automático, programado para trabalhar 07 minutos por batelada na vibração 9.

A separação dos grânulos do material foi realizada através de 06 peneiras, com malhas de 7, 16, 32, 48, 60 e 200 mesh de tamanho, ou seja, de 2,8 mm a 0,075 mm de abertura.

2. Análise de solubilidade nas frações granulométricas:

O material foi moído até ser passante em peneiras de 48 mesh, pesou-se aproximadamente 0,3 g de cada fração (de 7 a 200 mesh) em tubo Falcon de 50ml. A determinação de solubilidade em água foi feita pela adição de 30mL de água ao tubo contendo a amostra que ficou em agitação em um agitador horizontal durante a noite. Realizou-se a filtração das mesmas com filtro WHATMANN nº 1 e uma alíquota de seu extrato foi recolhida e avolumada até atingir um fator de diluição de 1:13,3. A análise se seguiu através da metodologia de determinação de fosfatos em águas naturais (MURPHY; RILEY, 1962).

Para a determinação de solubilidade em ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) 2% a diluição foi de 1:200. Para a quantificação de P total, foi utilizado ácido nítrico (HNO_3) 10% com uma diluição de 1:1000. As amostras foram lidas no Espectrofotômetro Model Nova 1600UV', o qual foi realizado em triplicata.

3. Produção de fosfatos parcialmente acidulados a partir da rocha fosfática de Pratápolis:

O material foi alocado em três grupos separados em fração fina, média e grossa. A amostra fina foi constituída da fração granulométrica maior que 48 mesh que correspondeu a 40,68% da amostra total. A fração média entre 16 e 48 mesh foi equivalente a 24,25% do total. A fração grossa foi formada pela amostra das peneiras maiores que 16 mesh, resultando em 35,07% do total, porém não foi utilizada para fins de acidificação. Pesou-se 40 g da rocha fosfática em béquer de Teflon. O procedimento de acidificação foi realizado a partir do ataque com ácido sulfúrico 98,5% (H_2SO_4) em cada amostra, as quais receberam quantidades que variaram entre 0 a 60% de acidificação (Quadro 2).

As amostras foram incubadas em capela com exaustão por 72h e depois transferidas para estufa à 100°C onde permaneceram até secagem completa, durante 10 dias. Foram, então, moídas à 48 mesh e acondicionadas em tubos Falcon.

4. Análise de solubilidade das amostras aciduladas:

O procedimento adotado foi o mesmo descrito anteriormente nas amostras com comparação granulométrica. O ácido cítrico 2% foi substituído pelo Citrato de Amônio (CNA) e os fatores de diluição (F.D) se diferiram. Para solubilidade de P em água utilizou-se um fator de diluição de 1:200, em citrato de amônio o F.D foi de 1:250 e para análise de P total o F.D foi 1:1000.

5. Determinação do pH das amostras:

Foram pesados 2 g de cada uma das amostras juntamente com 20 mL de água, homogeneizados e então deixadas em repouso por cerca de 30 min, a partir disso foi realizada a leitura em pHmetro

Resultados e Discussão

A amostra de rocha fosfática de Pratápolis apresentou uma distribuição granulométrica em sua maioria de material fino, abaixo de 0,5mm de diâmetro o qual constitui 60,5% de todo o material analisado, enquanto o percentual de partículas consideradas grânulos (acima de 2,8mm) pode ser considerado insignificante (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição granulométrica percentual da amostra de rocha fosfática de Pratápolis utilizada no estudo, após processo de peneiramento a seco em agitador de peneiras.

Malha (mm)	Mesh	Massa retida (g)			Total	Média	%	% acumulado
		1	2	3				
0	Fundo	89,2	75,2	81,3	245,8	81,9	13,7	13,7
0,075	200	115,2	144,7	151,2	411,1	137,0	22,9	36,6
0,25	60	21,9	21,9	28,3	72,1	24,0	4,0	40,6
0,3	48	54,3	59,4	63,8	177,5	59,2	9,9	60,5
0,5	32	82,9	85,8	88,4	257,1	85,7	14,3	64,8
1	16	175,7	162,3	151,7	489,6	163,2	27,3	92,1
>2,8	7	57,7	44,7	36,5	138,9	46,3	7,8	99,9
TOTAL					1792,2	597,4	100	

A relação de P solúvel em água sobre o fósforo total de cada granulometria foi distinta, dando destaque à faixa granulométrica de 0,3-0,5mm (Figura 1). Os grânulos maiores, como $\geq 2,8$ mm, não apresentaram valores de solubilidade em água significativos, indicando não serem adequados para avaliação no processo de acidulação subsequente.

Na relação de solubilidade em ácido cítrico sobre fósforo total, destaca-se o material de menor granulometria, enquanto as médias não obtiveram grande variação entre elas (Figura 2). Diferentemente da solubilidade em água, em ácido cítrico a granulometria $\geq 2,8$ apresentou teores mais elevados de P. No entanto, nesta granulometria observou-se teores mais elevados de calcário em sua composição (dados não apresentados), o que prejudicaria seu uso na agricultura pois, para esse tipo de rocha, devidos às interações que ocorrem no solo, a prática agrônoma indica que não apresentam bons resultados na produtividade das culturas.

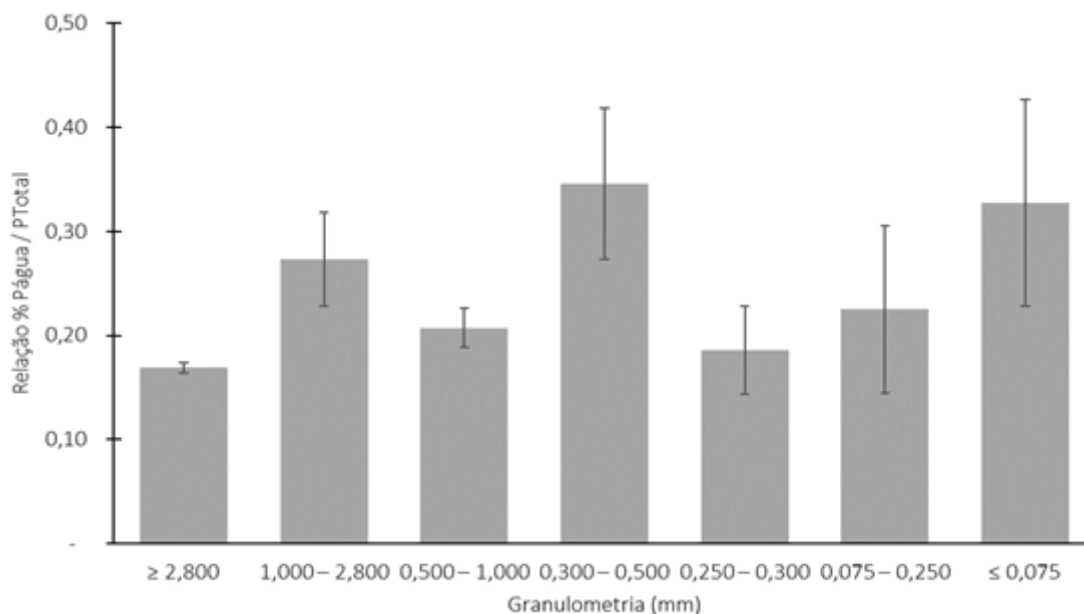


Figura 1. Relação da solubilidade em água e quantidade de P total das amostras de rocha fosfática de Pratópolis de acordo com as faixas granulométricas analisadas.

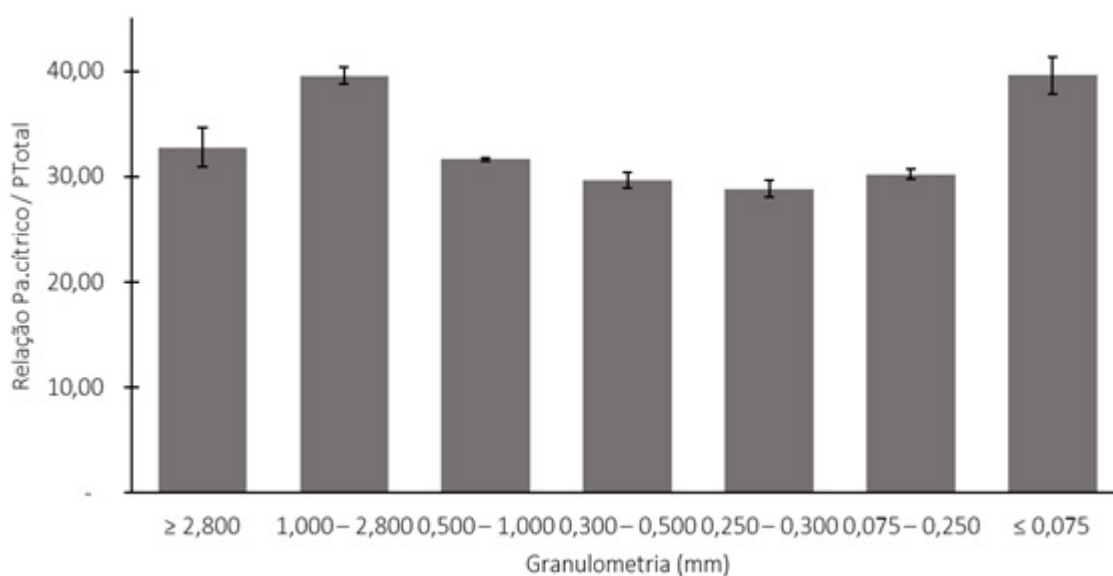


Figura 2. Relação da solubilidade em ácido cítrico e quantidade de P total das amostras fosfáticas em diferentes faixas granulométricas.

As amostras médias e finas originais apresentaram pH distintos, sendo a amostra média mais ácida em comparação à fina (Figura 3). Quanto às solubilidades, pode-se observar distintos comportamentos em níveis de acidulação até 60%.

Houve aumento linear da solubilidade de P em água e em CNA com o aumento do nível de acidulação empregado, como esperado visto que a acidulação eleva a solubilidade do fertilizante. Em ambas avaliações de solubilidade, a amostra fina apresentou maior solubilidade, resultado que pode ser explicado pela diferenciação granulométrica que resulta em maior área de contato com os extratores utilizados para as análises (Figuras 4 e 5).

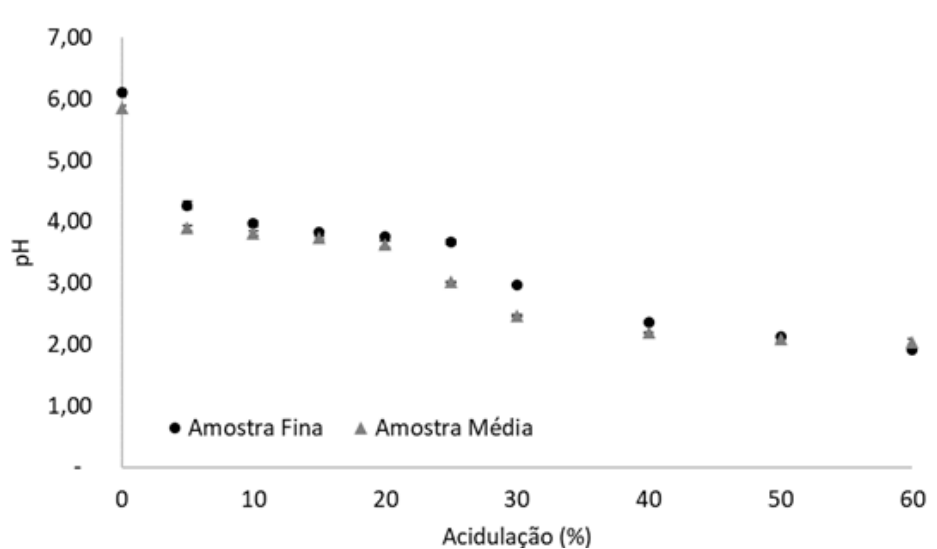


Figura 3. Relação entre as porcentagens de acidulação e o pH em água das amostras fina e média da rocha fosfática de Pratápolis.

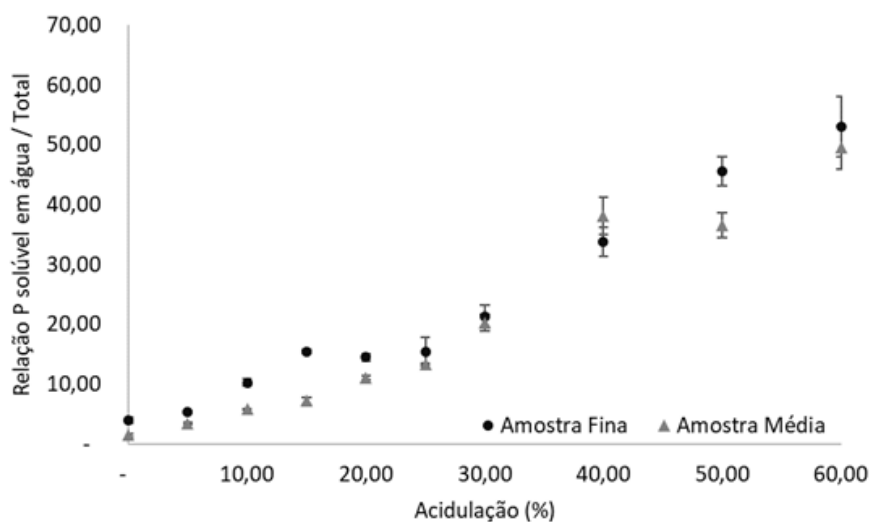


Figura 4. Relação da solubilidade em água e quantidade de P total da amostra fina e amostra média da rocha fosfática de Pratápolis com diferentes porcentagens de acidulação.

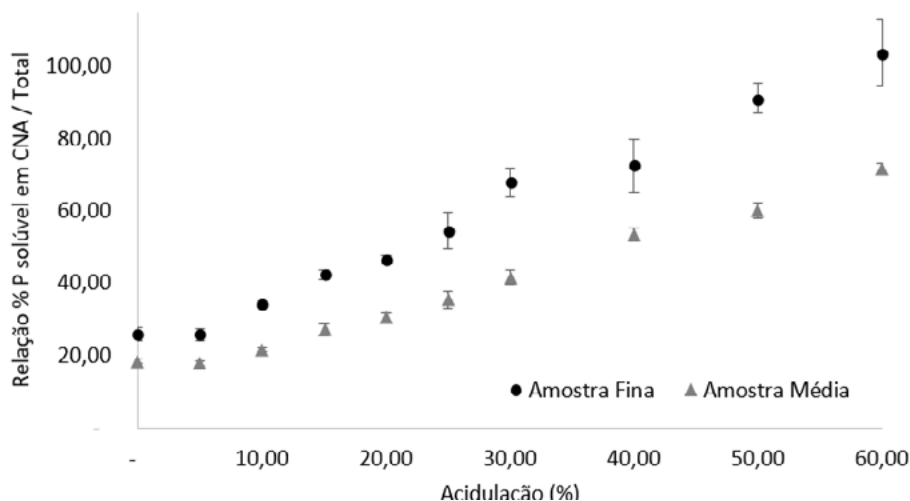


Figura 5. Relação da solubilidade em citrato de amônio neutro (CNA) e quantidade de P total da amostra fina e amostra média da rocha fosfática de Pratápolis com diferentes porcentagens de acidulação.

Conclusões

Pode-se afirmar que a faixa granulométrica com melhores resultados nas análises de solubilidade e teor de P foi a que contém a amostra fina, sendo indicada para a produção do fertilizante fosfatado pois, além disso, essa fração é prevalente na composição do material amostrado.

Para complementação dos resultados será necessária a análise de eficiência agrônômica dessas amostras nos diferentes níveis de acidulação da rocha, visto que o vegetal não assimilará todo o fósforo disponível pelo fertilizante, resultados que indicarão a melhor relação entre a produtividade vegetal e o processo industrial economicamente viável. Devido à exiguidade do tempo da bolsa atual, não foi possível proceder essas análises no período desse projeto, no entanto serão objeto de continuidade pela equipe do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes da Embrapa Solos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa CNPq/Embrapa/PIBIC pela bolsa de IC e à Embrapa Solos pela infraestrutura de apoio.

Referências

ABISOLO - Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. Anuário brasileiro de tecnologia em nutrição vegetal, 2018. Anuário Abisolo, 179 p. 2018.

GRANT, C.A et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Informações agrônômicas, nº 95, set. 2001. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf)>.

GOEDERT, W. J; REIN, T. A; SOUZA, D. M. G. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solos de Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.25, p. 521-530. Brasília, 1990.

J. MURPHY; J. P. RILEY. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, Analytica Chimica Acta, vol.27, p.31-36, 1962. DOI: 10.1016/S0003-2670(00)88444-5

VIEIRA, M.S. Bioquímica do fósforo. Bioquímica do tecido animal. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/fosforo_marcia.pdf>.

Estratégias socioecológicas e econômicas em agroecossistemas com barragens subterrâneas no Semiárido do Estado de Alagoas ⁽¹⁾

Adalberto Francisco da Silva Júnior ⁽²⁾; Maria Sonia Lopes da Silva ⁽³⁾; Luiz de França da Silva Neto ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa - Projeto ZonBarragem - 26.16.04.002.00.00. ⁽²⁾ Estudante de engenharia agrônoma, Universidade Federal Rural de Pernambuco, bolsista do PIBIC/CNPq, Embrapa Solos UEP Recife, PE. ⁽³⁾ Engenheira-agrônoma, pesquisadora da Embrapa Solos UEP Recife, PE. ⁽⁴⁾ Engenheiro-agrônomo, pesquisador da Embrapa Solos UEP Recife, PE.

Resumo – Este trabalho foi parte integrante do Projeto ZonBarragem e constituiu uma das estratégias que foi utilizada para validar o mapa de potencialidades de áreas para implantação de barragens subterrâneas (BS). Teve como objetivo analisar a contribuição da barragem subterrânea na resiliência de agroecossistemas à seca, no Semiárido do estado de Alagoas. Com este estudo se identificou as ações organizativas que estão possibilitando o redesenho do sistema de produção agrícola praticado pela família que detém um BS no seu agroecossistema e quais as estratégias utilizadas para o aumento ao acesso e usos múltiplos da água de chuva; para aumentos na produção, diversificação de cultivos, renda, geração de trabalho e riqueza, consequentemente o processo de emancipação social dos indivíduos, diminuindo a dependência de programas e benefícios do governo e potencializando, assim, a soberania do saber-fazer local

Palavras-Chave: Tecnologia social hídrica, Convivência com a seca, Resiliência de agroecossistemas, Inclusão socioproductiva.

Introdução

O Médio Sertão de Alagoas abrange uma área de 2.542,4 Km², representando aproximadamente 10% da área total do estado, que é de 27.933,1 Km². Possui uma população total de 153.422 habitantes, sendo composto por nove municípios: Carneiros, Dois Riachos, Olivença, Ouro Branco, Poço das Trincheiras, Santana do Ipanema, São José da Tapera, e Senador Rui Palmeira. Estes municípios estão distribuídos em três Microrregiões - Batalha, Palmeira dos Índios e Santana do Ipanema — e distam entre 160 km (Olivença) e 197 km Senador Rui Palmeira) de Maceió (ALAGOAS, 2009).

No território, a questão da produção de água para obtenção de alimentos para consumo humano e animal é uma prioridade que vem sendo considerada quando se trata da elaboração e execução de políticas públicas, destinadas a criar condições para o desenvolvimento rural sustentável da região. Atualmente, na região, existe um conjunto de tecnologias sociais hídricas que possibilita a captação e o armazenamento da água da chuva, viabilizando o seu uso para o abastecimento humano, animal e agrícola, garantindo a segurança alimentar das famílias dessa região (Silva et al., 2007). Dentre essas tecnologias, a barragem subterrânea se destaca pela oportunidade de produzir água suficiente para obtenção de alimentos e dessedentação animal.

A barragem subterrânea é uma tecnologia de captação e armazenamento da água de chuva dentro do solo. Ela pode ser instalada em leitos de rios, riachos e em locais situados em ponto estratégico da propriedade, onde escorre o maior volume de água no momento da chuva (linhas de drenagem/caminhos d'água) (Nascimento et al., 2015). Sua construção é feita escavando-se uma vala perpendicular ao sentido da descida das águas até a profundidade onde se encontra a camada mais endurecida do solo (camada impermeável/rocha), o que se dá, aproximadamente, até no máximo 6 m. Dentro da vala, estende-se um plástico com espessura de 200 micra por toda a sua extensão, que, em geral, varia de 30 a 100 metros de comprimento, constituindo-se no septo impermeável, também denominado de parede (Freitas et al., 2013). Após o plástico estendido, a vala volta a ser fechada com a terra que foi retirada. Na “parede”, recomenda-se construir um sangradouro/vertedouro, com 50 - 70 centímetros de altura e um comprimento que varia conforme a área de influência de captação de água. O plástico impermeabiliza a parede, barrando o escoamento da água de chuva, o que promove a sua infiltração

no solo, reduzindo, conseqüentemente, a evaporação. Dessa forma, a umidade do solo se prolonga por um período maior de tempo (3 a 5 meses), a depender das chuvas ocorridas, podendo chegar até quase o final do período seco no Semiárido (Silva et al., 2021). A barragem subterrânea favorece às famílias o cultivo com sucesso de grãos (milho e feijão), frutas, forrageiras, hortaliças, plantas condimentares, medicinais, flores, entre outras. Nos ambientes onde é possível, pode-se construir um ou mais poços dentro da área de captação/plantio da barragem subterrânea.

O presente trabalho, teve como objetivo avaliar a contribuição da barragem subterrânea na sustentabilidade socioecológica de um agroecossistema no Médio Sertão alagoano

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido na unidade agrícola da família de Seu Dedé e Dona Gilda, localizada no Sítio Bananeiras (9°32'10,33"S e 37°21'53,18"W), município de São José da Tapera, no Médio Sertão de Alagoas. A unidade agrícola familiar possui 48 ha, dos quais 15 ha são de reserva de caatinga. A propriedade foi uma herança que Seu Dedé recebeu do seu pai. Hoje, ele tem a posse da terra. A família vive numa casa simples, porém confortável. No sítio, moram Seu Dedé, sua esposa Dona Gilda, e sua genitora. Seu Dedé e Dona Gilda casaram-se em 1984 e dessa união foram gerados cinco filhos, dos quais três são homens (Luciano, Manoel e Marlon) e duas mulheres (Wilma e Giselda). Todos são casados com filhos, morando em suas respectivas casas, na Sede do Município de São José da Tapera.

Nos seus 33 ha destinados à exploração agropecuária, a família possui uma cisterna de alvenaria de 16 mil litros; dois barreiros existentes desde a época do seu pai; duas barragens subterrâneas, sendo uma delas construída com recursos próprios; roçados de macaxeira, milho e feijão; um pequeno pomar com mangueiras e coqueiros; plantas ornamentais e medicinais no entorno da casa; plantio de forragens; área experimental de melão da Universidade Federal de Alagoas (Ufal); área experimental de uva da Emater-AL; criação de galinhas, porcos e algumas cabeças de gado de leite.

O estudo buscou entender como a barragem subterrânea está colaborando com as dinâmicas sociais, ambientais e econômicas no agroecossistema de seu Dedé e dona Gilda. Para tanto, foram realizadas atividades de grupo, para estimular a participação da família na construção coletiva das ferramentas que melhor estimulassem a percepção que cada indivíduo possuía do ambiente e das transformações que ocorreram a partir da implantação da barragem subterrânea.

A avaliação da sustentabilidade do sistema agrícola foi baseada na metodologia do *Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad - MESMIS* (Maser et al., 1999), a partir de sete atributos gerais: produtividade, equidade, estabilidade, resiliência, confiabilidade, adaptabilidade/flexibilidade e autonomia. Para coleta de dados foram utilizadas algumas ferramentas do Diagnóstico Rural Participativo (DRP) (Verdejo, 2006): i) entrevistas abertas; ii) observação participante; iii) construção de mapas de recursos naturais do agroecossistema; iv) árvore de problemas; v) calendários agrícola, de atividades e sazonal.

O levantamento e a sistematização dos dados foram realizados por meio de espaços dialógicos com a participação ativa da família e técnicos de ATER. O roteiro da entrevista semiestruturada foi adaptado de Ferreira (2011).

Resultados e Discussão

Para a identificação dos subsistemas, a família desenhou mapas atuais do agroecossistema, (**Figura 1**), que nos permitiu observar a organização da propriedade, os reservatórios de água e os subsistemas. Essa atividade foi realizada a partir da percepção de Dona Gilda, Seu Dedé e de um dos filhos do casal, Manoel. E teve como objetivo constituir reflexão da família para a avaliação da sustentabilidade.

A avaliação da sustentabilidade foi representada em gráficos do tipo radar (ameba), construídos pela família, para as dimensões social, ambiental e econômica.



Figura 1. Mapa construído por Manoel, filho do casal

Na dimensão social (Figura 2) observa-se uma maior estabilidade quando comparada às dimensões ambiental e econômica. Percebe-se, claramente, a importância que as estratégias de convivência com o Semiárido utilizadas pela família estão conduzindo-a em direção a um agroecossistema mais sustentável, superando as limitações sociais e ambientais, tendo a barragem subterrânea como determinante para aperfeiçoar e equilibrar o sistema agrícola produtivo.

A assistência técnica fornecida pelas ONGs locais e instituições públicas (Emater, Embrapa e Universidades) está contribuindo para que a família exerça uma relação dialógica e de empoderamento, o que tem estimulado dinâmicas de transformação social e ambiental importantes no sistema agrícola familiar de Dona Gilda e Seu Dedé.

Na dimensão ambiental (**Figura 3**), percebe-se que o agroecossistema está utilizando desenhos produtivos estratégicos, que estão possibilitando maior resiliência frente às últimas secas que têm



Figura 2. Avaliação de sustentabilidade social. Níveis de sustentabilidade atribuídos: 1 - muito baixo; 2- baixo; 3 - razoável; 4 - bom; 5 -alto

castigado a região.



Figura 3. Avaliação de sustentabilidade ambiental. Níveis de sustentabilidade atribuídos: 1 - muito baixo; 2- baixo; 3 - razoável; 4 - bom; 5 -alto

Quando a barragem subterrânea chegou aqui trouxe junto com ela os técnicos e com eles aprendemos a manejar nossa propriedade de forma agroecológica, para que possamos manter a água, o solo e as plantas com mais sustento. Até agora, aqui em casa, não sofremos por falta de chuva, mesmo com a ocorrência de chuva, abaixo da média, desde 2010.

Manoel, filho de Seu Dedé, 2019

A fragilidade verificada no agroecossistema foi na dimensão econômica (**Figura 4**), nos indicadores de números 6 - variações dos custos e dos preços dos produtos, e 12 - participações e operações econômicas realizadas em grupos. No entanto, a partir da diversificação promovida pela barragem subterrânea, estão ocorrendo mudanças na adaptação e autonomia do sistema produtivo, principalmente na comercialização com a criação da cooperativa Casa do Produtor.



Figura 4. Avaliação de sustentabilidade econômica. Níveis de sustentabilidade atribuídos: 1 - muito baixo; 2- baixo; 3 - razoável; 4 - bom; 5 -alto.

A partir da vivência da família, verifica-se a importância da barragem subterrânea na motivação das atividades agropecuárias, no ambiente de troca que a água captada tem proporcionado, seja por alimentos, conhecimentos ou serviços.

Conclusões

O acesso à água, principalmente por meio da barragem subterrânea, está possibilitando à família algumas transformações socioecológicas positivas como o aumento da capacidade produtiva de seu sistema agrícola. Esse fenômeno está proporcionando estabilidade e resiliência do agroecossistema, devido à participação social da família e às estratégias de uso e manejo baseados na diversidade de cultivos do seu sistema de produção.

A adoção de barragem subterrânea, além de estar permitindo garantir a soberania alimentar, está proporcionando a autonomia da família, ampliando o sentimento comunitário e, consequentemente, a integração social, elemento fundamental para a população rural do Semiárido.

A barragem subterrânea, aliada às outras tecnologias de captação de água de chuva, está contribuindo positivamente na sustentabilidade socioeconômica e ambiental do agroecossistema estudado.

Agradecimentos

A Deus por permitir a realização do sonho de ser estagiário/bolsista da Embrapa. Ao CNPq pela concessão da bolsa. À Embrapa pela oportunidade de aprendizado. Aos meus orientadores, Maria Sonia Lopes da Silva e Luís de França da Silva Neto, pelos valiosos ensinamentos e valiosa experiência de convívio salutar.

Referências

ALAGOAS. Secretaria de Estado do Planejamento. **Anuário Estatístico de Alagoas**. Maceió, 2009.

FERREIRA, G. B. **Sustentabilidade dos agroecossistemas com barragens subterrâneas no Semiárido paraibano**. São Carlos: UFSCar, 2011. 139p. Dissertação de mestrado.

MASERA, O.; ASTIER, M.; LÓPEZ-RIDAURA, S. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS**. México: Mundi Prensa, 1999. 109 p.

NASCIMENTO, A. F. do. SILVA, M. S. L. da; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; PARAHYBA, R. da B. V.; AMARAL, A. J. do. **Caracterização geoambiental em áreas de barragens subterrâneas no Semiárido brasileiro**. Embrapa Solos UEP Recife, 2015. 54 p. (Embrapa Solos. Documentos, 180). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147975/1/Doc-180_BarragemSubterranea.pdf

VERDEJO, M. E. **Diagnóstico Rural Participativo**. Brasília: MDA/Secretaria da Agricultura Familiar, 2006, p. 65.

SILVA, M. S. L. da; RIBEIRO, C. A.; FERREIRA, G. B.; SILVA, J. S. da; BARBOSA, A. G. **Barragem subterrânea: sustentabilidade socioecológica e econômica de agroecossistemas do Semiárido do Nordeste brasileiro**. In: MOURA, F. de B. P.; SILVA, J. V. (org.). *Restauração na Caatinga*. 2. ed. rev. e ampl. Maceió: Edufal, 2021. cap. 13, p. 201- 218. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222222/1/Barragem-subterraneasustentabilidade-socioecologica-e-economica-2021.pdf>

Anexo 1. Cartaz Programa do Seminário Pibic 2021

PIBIC 2021
Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do CNPq

02 de setembro (quinta-feira)
8:00am até 1:00pm

Link para acesso: <https://meet.google.com/aea-fjuu-hec>

PROGRAMAÇÃO			
08h30	Maria de Lourdes Mendonça Santos Brefin - Chefe Geral da Embrapa Solos		Abertura
	Aluno	Orientador	Título
08h55	Artur Nonato Vieira Cereto (UFF)	Guilherme Kangussu Donagemma	Simplificação do método da corda na avaliação da taxa de cobertura do solo em pastagens com diferentes níveis de degradação.
09h20	Bruna de Carvalho Assunção (UFF)	Fabiano de Carvalho Balieiro	Métodos de separação da fração leve de solo de pastagem: contribuição à rotina de avaliação do C do solo.
09h45	Fernanda Lavra de Oliveira Lima (UFF)	David Vilas Boas de Campos	Produção de fertilizantes organominerais a partir de resíduos de cervejaria.
10h10	Letícia Guimarães Pimentel (UVA)	Wenceslau Geraldes Teixeira	O uso de espectrômetro de fluorescência de raios X portátil (pXRF) nas análises de Titânio, Manganês, Ferro, Cobre Zinco, Estrôncio e Bário em amostras de solo do Sítio Com Jesus - Volta Grande do Xingu – Pará.
10h35	Raul Lima Xavier (UCDB)	Ademir Fontana	Matéria orgânica e capacidade de troca catiônica nos solos arenosos no bioma Cerrado: avaliação de dados das camadas superficiais para fins de fertilidade.
11h05	Gabriel Carlos Francisco (UFRJ)	Rosângela Straliootto	Desenvolvimento de fertilizante fosfatado farelado a base de rochas fosfáticas para recuperação de pastagens degradadas.
11h30	Adalberto Francisco da Silva Júnior (UFRPE)	Maria Sônia Lopes da Silva	Avaliação do Sistema SmartSolos para Classificação de Solos do Brasil.
11h55	Encerramento		

Embrapa
Solos

Resumos do Seminário Pibic da Embrapa Solos de 2022

Indicadores de fertilidade do solo na separação de níveis de degradação de pastagens em Valença-RJ⁽¹⁾

Ana Elisa Nunes do Santos⁽²⁾; Guilherme Kangussu Donagemma⁽³⁾; Fabiano de Carvalho Balieiro⁽⁴⁾; Ademir Fontana⁽⁵⁾; Robson Machado Pimentel⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa. ⁽²⁾ Geografia, graduanda, Universidade Federal Fluminense, Rua Passo, da Pátria, 156, São Domingos, Niterói-RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de plantas, Pesquisador, Embrapa Solos, rua jardim botânico, 1024, jardim botânico, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Philosophy doctor, Pesquisador, Embrapa Solos, rua jardim botânico, 1024, jardim botânico, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁵⁾ Engenheiro Agrônomo, Philosophy doctor, Pesquisador, Embrapa Solos, rua jardim botânico, 1024, jardim botânico, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁶⁾ Zootecnista, Doutor em zootecnia, Universidade Federal Fluminense, Rod. João Goularte, 1300-1306 – Setenta, Cachoeiras de Macacu-RJ.

Resumo – No Brasil há diversas áreas com pastagens degradadas, no entanto há necessidade de se saber qual o nível de degradação. Nesse sentido, deve ser estudado os indicadores de fertilidade do solo, que separam melhor os níveis de degradação de pastagens. Além disso, uma vez, tendo os limites dos níveis de degradação com os indicadores de qualidade solo pode se direcionar a tomada de decisão do produtor na recuperação da pastagem degradada. Foram separados visualmente 4 níveis de degradação de pastagens: N1: Leve, N2: Moderado, N3: Forte, N4: Muito forte, com cinco repetições, no terço médio da encosta, em um Cambissolo háplico, no município de Valença-RJ no médio vale do Paraíba do Sul. Foi coletada uma amostra composta de dez amostras simples, na profundidade de 0-10 cm. Nessa amostra em cada nível de degradação e repetição, foram determinados indicadores de fertilidade do solo: saturação por bases (V%), pH e carbono orgânico do solo. Foi avaliada a taxa de cobertura do solo, no período seco e chuvoso, medindo a cobertura com forrageira, a cobertura com planta daninha de folha e de folha estreita, e a presença de solo exposto, pelo método da corda (VALLE, 2018) Foi realizada análise de variância geral (ANOVA), e o teste Tukey a 5% para comparar os valores das medias dos indicadores de fertilidade do solo: Saturação por bases (V%), pH e carbono orgânico do solo, visando identificar que melhor separam esses níveis de degradação. A saturação por bases (V%), e o pH não foram sensíveis na separação dos níveis de degradação das pastagens. O Carbono orgânico do solo foi sensível para separar o nível de degradação de pastagem N1, dos níveis de degradação de pastagens N2, N3 e N4.

Palavras-Chave: Carbono orgânico, pH, Saturação por bases, Pastagens Degradadas, *Urochloa Brizanta*.

Introdução

No Brasil, parte considerável dos imóveis ligados a agropecuária, tem pastagens degradadas na composição de sua paisagem. Segundo o IBGE (2017), o país apresenta extensas áreas com pastagens, estima-se em 158,5 milhões de hectares e desses, 50% apresentam algum nível de degradação. Na região do Médio Vale do Paraíba, não é diferente, principalmente pelo longo histórico de produção de leite, carne entre outros usos da terra. A bovinocultura do Médio Vale do Paraíba do Sul ainda hoje é marcada por manejo inadequado das pastagens, com taxas de lotação acima da capacidade de suporte, e queimadas para limpeza do pasto (MENEZES, 2008). Associado a isto, a geomorfologia da região caracteriza-se pelo predomínio de relevo fortemente ondulado alternando-se com montanhoso, o que favorece processos erosivos de diferentes intensidades e a degradação do solo (CARVALHO FILHO; LUMBRERAS; SANTOS, 2000; DANTAS, 2000; SANTOS et al., 2010). Estima-se que 50% das pastagens fluminenses estejam em algum nível de degradação (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2018). Há necessidade de se separar os níveis de degradação de pastagens, para auxiliar o produtor na tomada de decisão da recuperação das pastagens. Nesse sentido, há necessidade de selecionar os indicadores de fertilidade do solo que melhor separam os níveis de degradação de pastagens. Diante o exposto o objetivo desse trabalho é selecionar indicadores de fertilidade de solo que melhor separem os níveis de degradação de pastagens, e assim nortear a tomada de decisão dos produtores na recuperação das pastagens.

Material e Métodos

As pastagens foram separadas visualmente, com 4 níveis de degradação, de acordo com Spain e Gualdron (1991), em um Cambissolo háplico argiloso, com cinco repetições, no terço médio da encosta, sob *Urochloa Brizantha*, na região de Valença-RJ no Médio Vale do Paraíba do sul. Foram delimitadas parcelas de 500 m².

Foi coletada uma amostra composta de 10 amostras simples, na profundidade de 0-10 cm, no período das chuvas. Nessa amostra foram determinados, o pH, o H + Al, cálcio, magnésio, e alumínio trocáveis, e potássio e fósforo disponíveis (TEIXIRA et al 2017), foram calculadas a saturação por base, e a saturação por alumínio. Porém, para esse trabalho, foi objeto de estudo apenas o pH, o carbono orgânico total e a saturação por bases (V%).

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e comparação das médias dos indicadores entre os níveis de degradação e a mata, pelo teste Tukey a 5%.

Resultados e Discussão

Observa-se que o pH (Figura 1) e a saturação por bases (V%) não foram sensíveis aos níveis de degradação. Isso pode ser explicado pelo fato que o pH desses solos já é ácido, e não houve correção da acidez em nenhum dos níveis de degradação. Lisboa et al. (2016) trabalhando com Latossolo Vermelho Amarelo argiloso distrófico, ácido, também verificou que o pH não separou os níveis de degradação.

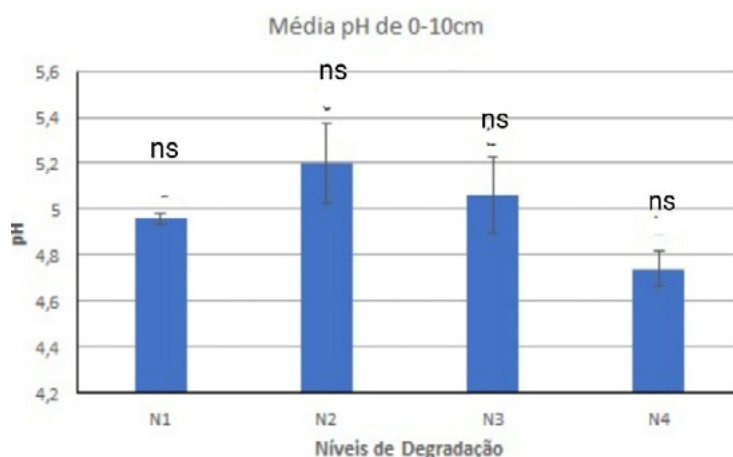


Figura 1. Médias dos valores de pH na profundidade 0-10 cm, em diferentes níveis de degradação de pastagens: N1:Leve, N2:Moderado, N3:Forte, N4: Muito Forte, em um Cambissolo háplico de Valença-RJ.

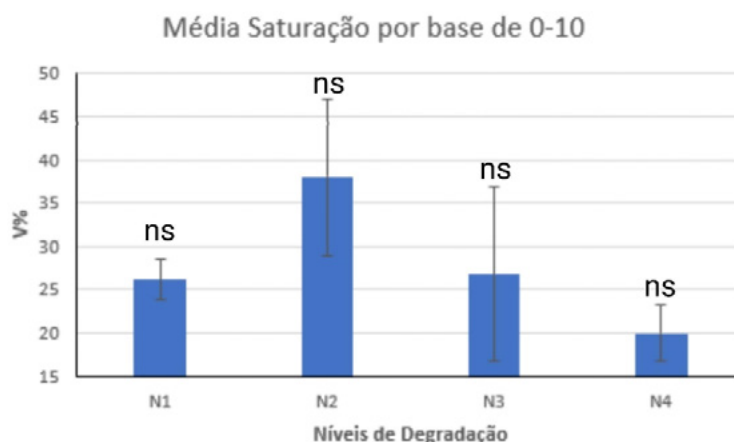


Figura 2. Médias dos valores de saturação por bases na profundidade 0-10 cm, em diferentes níveis de degradação de pastagens: N1:Leve, N2:Moderado, N3:Forte, N4: Muito Forte, em um Cambissolo háplico de Valença-RJ.

Já o carbono orgânico (Figura 3), separou o nível de degradação N1:leve, dos demais níveis de degradação; N2: Moderado, N3: Forte, e N4: Muito Forte. Isso está relacionado a maior perda de carbono, por erosão nos níveis 3 e 4, que apresentam maior percentual de solo exposto (Tabela 1), maior perda solo e assim menor teor de carbono. já na comparação do nível um com o nível 2, há maior presença de plantas daninhas no nível 2, e menor percentual de forrageira, e as plantas daninhas sobretudo folha larga, incorporam menos carbono ao solo, pois tem uma menor dinâmica radicular que o *Urochloa brizantha*. Lisboa et al 2016, trabalhando com Latossolo Vermelho Amarelo argiloso distrófico, também encontrou diferença do N1 para os demais no teor de carbono orgânico, e também atribuiu a perda diferencial do carbono por erosão, relacionada ao maior percentual de solo exposto, nos níveis mais elevados de degradação.

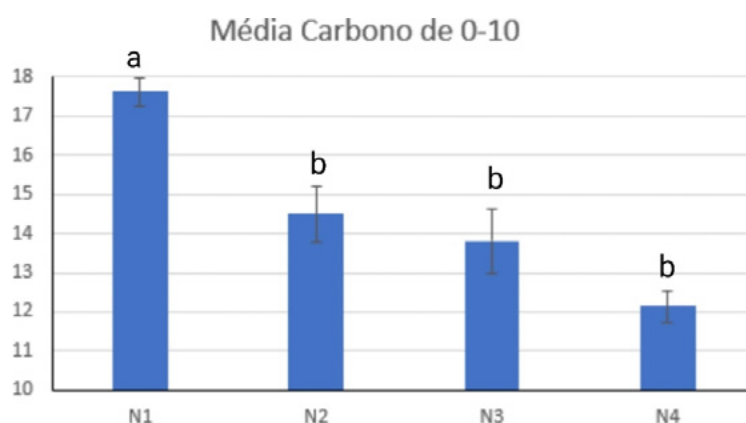


Figura 3. Médias dos valores de carbono orgânico na profundidade 0-10 cm, em diferentes níveis de degradação de pastagens: N1:Leve, N2:Moderado, N3:Forte, N4: Muito Forte, em um Cambissolo de Valença-RJ.

Tabela 1. Valores médios das classes de cobertura do solo segundo níveis de degradação e épocas de avaliação, em um Cambissolo de Valença-RJ

Cobertura	Época	Nível de degradação ¹			
		N1	N2	N3 ²	N4
		Área (%)			
Forrageira	Seca	96 B ³	63 AB	15 A	57 AB
	Chuvosa	98 B	63 AB	21 A	59 AB
Solo Exposto	Seca	2 A	2 A	36 A	39 A
	Chuvosa	1 A	4 A	27 A	31 A
Planta Daninha	Folha Larga	Seca	2 A	8 A	3 A
		Chuvosa	1 A	11 B	15 B
	Folha Estreita	Seca	0 A	26 B	46 B
		Chuvosa	0 A	22 B	35 B

Notas: ¹ N1: nível de degradação leve; N2: nível de degradação moderado; N3: nível de degradação forte; N4: nível de degradação muito forte.

² A avaliação da cobertura no N3 época chuvosa foi comprometida pela presença de vespeiro na unidade experimental, impedindo que 100% da área fosse percorrida.

³ Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os níveis de degradação para o tipo de cobertura numa determinada época de avaliação. Análise pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de nível de significância.

Conclusões

A saturação por bases, e o pH não foram sensíveis na separação dos níveis de degradação das pastagens. O Carbono orgânico do solo foi sensível para separar o Nível de degradação N1, dos níveis de degradação N2, N3 e N4. Recomenda-se serem empregadas práticas de manejo, na recuperação das pastagens dos níveis de degradação N2, N3 e N4, que levem ao aumento da matéria orgânica do solo.

Agradecimentos

A Embrapa pelos recursos financeiros ao trabalho. Aos produtores rurais, Sr. Rosalvo de Lima Costa e Sr. Fernando Tejerina pela disponibilização de áreas para esse trabalho.

Referências

CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J.; SANTOS, R. D. Os solos do Estado do Rio de Janeiro: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: EMBRAPA, 2000.

DANTAS, M. E. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro: estudo geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. CPRM: Brasília, 2000.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas: Plano ABC. Rio de Janeiro: Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento. 2018. 49 p.

IBGE. Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2000 – 2010 – 2012 – 2014, 32p. 2017

LISBÔA, F. M.; DONAGEMMA, G. K.; BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, E. D. S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, p. 1184-1193, 2016.

MENEZES, C. E. G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008

SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C. E.; SPAIN, J. M. (Ed.). *Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de la investigación*. Cali: CIAT, 1991. p. 269–283.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: Embrapa. 2017. 575 p.

VALLE, T.R.S. Níveis de degradação as pastagens e qualidade de solo no médio vale do paraíba do sul. Tese (Mestrado em Sistemas agropecuários) Pós graduação em Engenharia de Biossistemas. Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 109p. 2018.

β glicosidase e Arilsulfatase na separação de níveis de degradação de pastagens⁽¹⁾

Matheus Moreira da Silva⁽²⁾; Guilherme Kangussu Donagemma⁽³⁾; Roberson Machado Pimentel⁽⁴⁾; Fabiano de Carvalho Balieiro⁽⁵⁾; Flávio Lessa Machado⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa. ⁽²⁾ Engenharia Agrícola e Ambiental, graduando, Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 156, São domingos, Niterói-RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, doutor em solos e Nutrição de plantas, Pesquisador, Embrapa Solo, rua Jardim botânico, 1024, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁴⁾ Zootecnista, Doutor em Zootecnia, Universidade Federal Fluminense, Rod. João Goularte, 1300-1306 – Setenta, Cachoeiras de Macacu-RJ. ⁽⁵⁾ Engenheiro Agrônomo, Philosophy doctor em Ciência do Solo, Pesquisador, Embrapa Solo, rua Jardim botânico, 1024, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁶⁾ Engenheiro Civil, mestrando em Engenharia de Biosistemas, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ

Resumo – No Brasil, há uma vasta área com pastagens degradadas. No entanto há necessidade de saber qual nível de degradação, nesse sentido deve ser estudados os indicadores de qualidade de solo que separam melhor os níveis de degradação. Além disso, uma vez tendo limites dos níveis de degradação com os indicadores de qualidade de solo pode se direcionar a tomada de decisão do produtor na recuperação de pastagens degradadas. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar se as enzimas β glicosidase e Arilsulfatase são adequadas para separar níveis de degradação de pastagens. Foram separados visualmente 4 níveis de degradação de pastagens e uma mata (referência), no terço médio da encosta, em um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, no município de Cachoeiras de Macacu-RJ, com quatro repetições. Nesses níveis foram determinados os teores das enzimas do solo, β glicosidase e Arilsulfatase. Foi realizada a análise de variância e a média dos teores das enzimas entre os níveis de degradação, e entre a mata, foram comparadas utilizando o teste de media Scott, utilizando o programa R, para comparar os teores das enzimas nos níveis de degradação de pastagens e na mata, para verificar se separam de forma adequada os níveis de degradação de pastagens. Os teores das enzimas β glicosidase e Arilsulfatase foram sensíveis para separar a mata dos níveis de degradação de pastagens. O Teor de β glicosidase foi sensível para separar os níveis de degradação mais baixos N1 e N2, dos níveis de degradação mais elevados, N3 e N4. Para Arilsulfatase não houve diferença entre os níveis de degradação, no entanto, os teores menores que da mata demonstram piora na qualidade de solo, e necessidade de recuperação da sua qualidade mesmo no nível mais baixo de degradação.

Palavras-Chave: Enzimas do solo; Pastagens Degradadas; Urochloa Umidícula.

Introdução

No Brasil há uma vasta área com pastagens degradadas, 158,5 milhões de hectares, sendo 50% degradados (IBGE, 2017). Em Cachoeiras de Macacu-RJ, uma região agropecuária considerada economicamente importante do Rio de Janeiro, boa parte das pastagens se encontram em algum estágio de degradação, porém poucos estudos vêm sendo realizados na tentativa de separar os níveis de degradação de pastagens, utilizando indicadores de qualidade de solo. O desenvolvimento de técnicas de fácil acesso a produtores, técnicos, pesquisadores e extensionistas tornariam a avaliação da degradação de pastagens mais acessível e facilitaria a difusão no meio rural. No entanto há necessidade de se conhecer os níveis de degradação das pastagens, nesse sentido deve ser estudados os indicadores de qualidade de solo que melhor separam os níveis de degradação, e que sejam práticos e de baixo custo frente a outros. Nessa direção, o teor das enzimas β glicosidase e Arilsulfatase (Mendes et al 2018), é um indicador prático, importante para se conhecer a qualidade do solo. Além disso, essas enzimas permitem avaliar a saúde do solo (Mendes et al, 2020). As mesmas são sensíveis às alterações do manejo do solo, e apresentam uma relação estreita com o teor de matéria orgânica do solo e com a produtividade das culturas (Mendes et al, 2020). Essas enzimas são sensíveis à qualidade das pastagens, em pastagem de boa qualidade os valores dos teores dessas enzimas se aproximam dos teores em mata (Silva et al 2012), e quando as pastagens estão degradadas os seus teores são menores que no Cerrado (Ribeiro 2012). Há necessidade de se validar esses valores, para pastagens no bioma mata atlântica. Além disso é necessário verificar se separam níveis de degradação de pastagens. Nesse

sentido o teor dessas enzimas no solo tem um grande potencial para separar níveis de degradação de pastagens no bioma mata atlântica, e dessa forma nortear o produtor na tomada de decisão de recuperação das pastagens.

Material e Métodos

Tratamentos e amostragens

Foram separados visualmente 4 níveis de degradação de pastagens: N1:leve, N2:Moderado, N3: Forte, N4: Muito Forte, conforme Spain & Gualdron (1991), e uma mata(referência), com quatro repetições, no terço médio da encosta, em um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso distrófico, no município de Cachoeiras de Macacu-RJ, em uma parcela de 500 m². Foi realizada a caracterização química do solo, conforme Teixeira et al. (2017), em uma amostra composta de dez simples, e foi medida a altura do pasto pelo método da régua (Silva e Cunha, 2003). Foi coletada uma amostra composta de dez amostras simples, na profundidade de 0-10 cm. Nestes níveis de degradação e na mata. Foram determinados os teores das enzimas β glicosidase e Arilsulfatase, conforme (Tabatabai I, 1994).

Análise estatística

Foi realizada a análise de variância e a média dos teores das enzimas entre os níveis de degradação, e entre a mata, foram comparadas utilizando o teste de media Scott, utilizando o programa R.

Resultados e Discussão

Observa-se que a o teor da β glicosidase separa a mata dos níveis de degradação, especialmente dos níveis mais elevados N3:forte e N4: Muito forte, essa diferença esta relacionada a diminuição do carbono orgânico nos níveis 3 e 4 em relação os níveis 1 e 2 e o da mata (Tabela 1), o teor dessa enzima tem estreita relação com a matéria orgânica (Mendes et al. 2020), e com a redução do aporte de material orgânico pela pastagem, pois há menor biomassa nos níveis 3 e 4, já que é atua na decomposição da celulose (Tabatabai.1994). Em relação aos níveis 1 e 2, e em relação a mata que tem diversidade maior e quantidade maior de aporte de biomassa em relação aos níveis 3 e 4, como pode ser verificado pela altura do pasto (Figura 3). Já a mata não difere dos níveis 1 e 2, mais baixos de degradação, pois os valores do teor de carbono orgânico são semelhantes. Com relação ao teor da Arilsulfatase, o mesmo separa a mata dos níveis de degradação, uma vez que a diferença de carbono orgânico e bastante acentuada, e também essa enzima e mais afetada pela qualidade e quantidade do material orgânico aportado no solo pela mata, e menor pelos níveis de degradação, verificado pela altura do pasto.

Tabela 1. Carbono orgânico do solo, em mata em níveis de degradação de pastagem: N1:leve, N2:Moderado, N3: Forte, N4: Muito Forte, em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso distrófico, de Cachoeiras de Macacu-RJ

Tratamento	Carbono orgânico (g.kg ⁻¹)
Mata	23,50
N1	22,50
N2	23,43
N3	24,91
N4	20,76

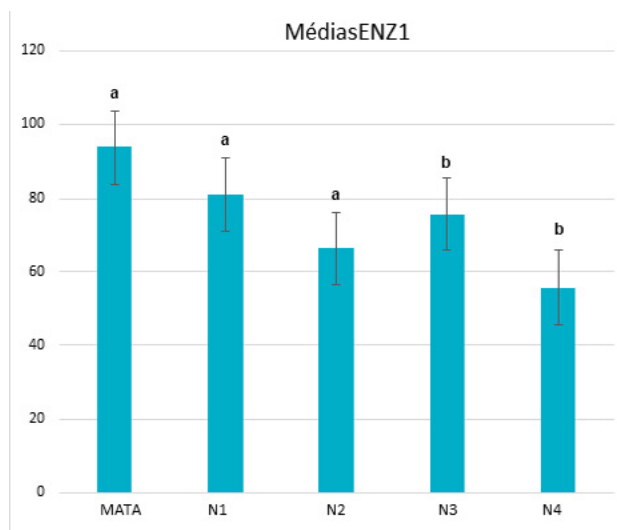


Figura 1. Teor Médio da enzima B glicosidase (mg de p-nitrofenol/kg de solo/h), em níveis de degradação de pastagens, N1:leve, N2:Moderado, N3: Forte, N4: Muito Forte, em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso distrófico, de Cachoeiras de Macacu-RJ

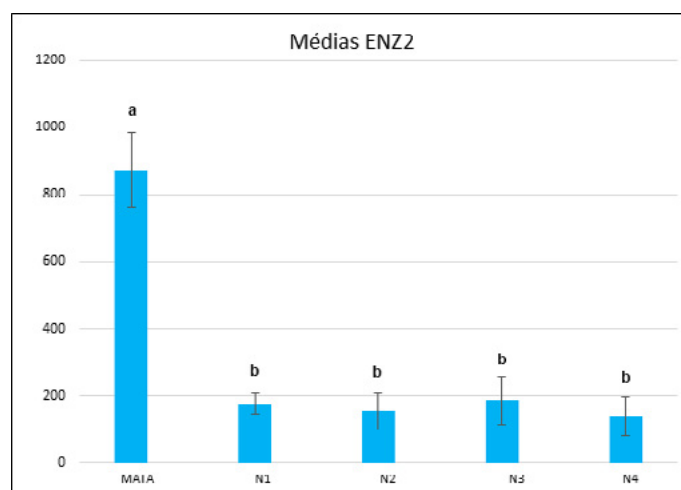


Figura 2. Teor Médio da enzima Arilsulfatase (mg de p-nitrofenol/kg de solo/h), em níveis de degradação de pastagens, N1:leve, N2:Moderado, N3: Forte, N4: Muito Forte, em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso distrófico, de Cachoeiras de Macacu-RJ

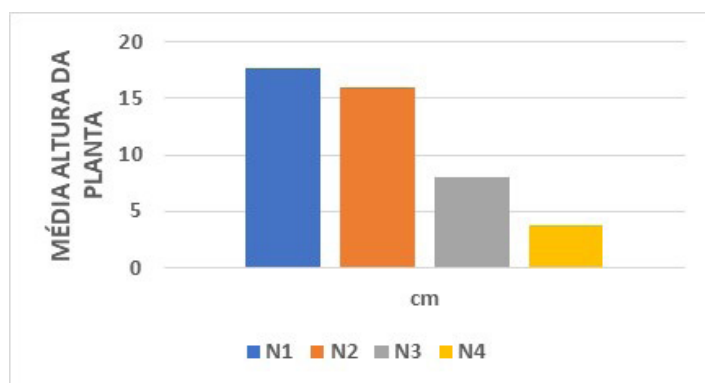


Figura 3. Altura média do pasto, em níveis de degradação de pastagens, N1:leve, N2:Moderado, N3: Forte, N4: Muito Forte, em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso distrófico, de Cachoeiras de Macacu-RJ

Conclusões

Os teores das enzimas β glicosidase e Arissulfatase foram sensíveis para separar a mata dos níveis de degradação de pastagens.

O Teor da β glicosidase foi sensível para separar os níveis de degradação mais baixos N1 e N2, dos níveis de degradação mais elevados, N3 e N4.

O teor da Arissulfatase não apresentou diferença entre nos níveis de degradação, no entanto, os teores menores que da mata demonstram piora na qualidade de solo, e a necessidade de recuperação da pastagem para alcançar uma saúde do solo melhor e maior produtividade das pastagens, mesmo no nível mais baixo de degradação.

Agradecimentos

A Embrapa pelos recursos financeiros. A fazenda Escola da UFF, pela disponibilização de áreas para pesquisa, e todo apoio no campo. E aos produtores ruais que disponibilizaram suas áreas para a pesquisa.

Referências

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017. Resultados definitivos. ISSN 0103-6157, Rio de Janeiro, v. 8, p.1-105, 2019. Disponível em: <<https://bityli.com/Pchnr>>. Acesso em 28 maio, 2020.

MENDES, I.C.; CHAER, G.M.; SOUSA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B.; DANTAS, O.D.; OLIVEIRA, M.I.L. LOPES, A.A.C.; SOUZA, L.M.: Bionalise de solo a mais nova aliada para sustentabilidade agrícola. Informações agrônômica NPTC, n 8, 11p. 2018.

MENDES, I.C.; CHAER, G.M.; SOUZA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B.; DANTAS, O.D.; OLIVEIRA, M.I.L.; LOPES, A.A.C.; SOUZA, L.M. Bionalise de solo a mais nova aliada para sustentabilidade agrícola. Nutrição de plantas e ciência e tecnologia, n.8, 2020.

RIBEIRO, G.H.S. Qualidade biológica de solos de cerrados em áreas degradadas e sob diferentes manejos de cana de açúcar. Universidade Católica de Brasília, Brasília, 140p. 2012

SILVA, S.C.; CUNHA, W.F. Métodos indiretos para estimar a massa de forragem em pastos de *Cynodon* spp. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n.8, p.981-989, 2003.

SILVA CF, PEREIRA, MG, MIGUEL DL, FERNANDES, JCF, LOSS A., MENEZES CEG. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paraíba do sul (RJ). Revista Brasileira de Ciência do solo, v.36, n.6, 1680-1689. 2012.

SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C. E.; SPAIN, J. M. (Ed.). *Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de la investigación*. Cali: CIAT, 1991. p. 269–283.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; AUGLE, S; BOTTOMLY, P.J.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A. & WOLLUM, A., eds. Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Madison, SSSA, 1994. v.5. p.775-833

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: Embrapa. 2017.

Utilização de carvão vegetal como base de fertilizantes organominerais fosfatados ⁽¹⁾

Fernanda Lavra de Oliveira Lima ⁽²⁾; Mariana Alves Figueiredo ⁽³⁾; David Vilas Boas Campos ⁽⁴⁾; Ednaldo da Silva Araújo ⁽⁵⁾; Francisco José Moura ⁽⁶⁾; Tatiana Leão dos Santos dos Reis ⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa Solos. ⁽²⁾ Acadêmica do Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense; Bolsista PIBIC, Rio de Janeiro, RJ. ⁽³⁾ Engenharia Ambiental e Sanitarista, mestranda em Engenharia agrícola e ambiental da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁵⁾ Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁶⁾ Engenheiro Metalúrgico, doutor em Engenharia Química, professor da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC - Rio, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁷⁾ Engenheira de Bioprocessos, Universidade federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

Resumo – O carvão proveniente de queimadas de lavouras e restos de atividades diárias vem sendo incorporado no solo por centenas de anos, sendo utilizado como adubo orgânico em alguns países. Tendo essa questão em vista, a pesquisa tem objetivo de avaliar o comportamento de fertilizantes organominerais a base de carvão vegetal em uma cultura de milho. Foram avaliados dois fertilizantes minerais fosfatados e dois organominerais produzidos na Embrapa Solos, em plantio em casa-de-vegetação, com quatro repetições cada. Após a aplicação, realizou-se a coleta das partes aéreas após 55 dias e analisou-se os pesos secos de cada parte. Houve diferença estatística da testemunha (sem adubação) para os fertilizantes, com os organominerais apresentando comportamento semelhante aos tratamentos minerais.

Palavras-Chave: adubação, milho, parte aérea, fosfato.

Introdução

O consumo global de fertilizantes com nutrientes primários aumentou mais de 60% nos últimos 50 anos, com grande demanda para fosfatos, potássio e nitrogênio (IFA, 2020). Em 2021, o consumo brasileiro de fertilizantes somou 45,85 milhões de toneladas, com 85% desses fertilizantes de importação, sendo as culturas de soja, milho e cana-de-açúcar as três demandas principais, respondendo por 73% do consumo anual (Anda, 2021).

A dependência da importação de fertilizantes ficou ainda mais evidente em 2021 com a sanção econômica imposta pela União Europeia sobre Belarus, impedindo a exportação de fertilizantes por meio dos países membros da EU e com a sanção imposta à Rússia decorrente a guerra entre com a Ucrânia limitou ainda mais a oferta de fertilizantes para o mundo (Osaki, 2022).

Tendo em vista a situação nacional, se faz necessário o incentivo a alternativas que diminuam essa dependência, com políticas de desenvolvimento e planejamento próprias para um uso mais eficiente.

Segundo legislação brasileira, os fertilizantes organominerais são produtos obtidos a partir de um componente mineral com um componente de fontes orgânicas (Brasil, 2009). Esse componente orgânico pode ser de origem vegetal e animal e, quando presente nos solos, auxilia a manter a estrutura física do solo, além de reter nutrientes e armazenar água (Cruz et al., 2017).

O carvão vegetal apresenta-se como uma fonte benéfica de nutrientes para o solo, contribuindo para o aumento da retenção de íons, reduzindo a lixiviação de matéria orgânica, aumentando a disponibilidade de nutrientes e intensificando a fixação biológica de nitrogênio. Sua aplicação na agricultura é inspirada nos solos de Terra Preta de Índio, que contém grande teor de carbono (Souza, 2011).

Dessa forma, procurou-se através deste estudo, avaliar o crescimento de uma cultura de milho tratada com organominerais à base de carvão vegetal.

Material e Métodos

A granulação do organomineral foi realizada no laboratório de Tecnologia em Fertilizantes da Embrapa Solos e o experimento em vaso em casa-de-vegetação na Embrapa Agrobiologia em Seropédica - RJ, utilizando solo do tipo Planossolo Háplico.

Tratamentos e amostragens

Foram escolhidos quatro fertilizantes para serem utilizados. Os organominerais foram produzidos contendo carvão vegetal, di-hidrogenofosfato de amônio (MAP) e termofosfato em sua composição (Tabela 1).

Tabela 1. Fertilizantes utilizados no experimento e composição dos fertilizantes organominerais.

Fertilizante	Composição
MAP	Fertilizante comercial
Termofosfato	Fertilizante comercial
ORG 1	Carvão vegetal + MAP
ORG 2	Carvão vegetal + Termofosfato

Ao todo, o experimento contou com cinco tratamentos com quatro repetições cada, sendo cada tratamento um fertilizante indicado anteriormente mais um tratamento de controle, que não sofreu adubação.

A montagem foi realizada em vasos contendo 1 Kg de solo e adicionando-se dez sementes de milho em cada. Após cinco dias foi realizado o desbaste, deixando duas plantas por vaso. A eles, foram adicionadas doses equivalentes a 100 mg de P dos fertilizantes. Em toda a duração do estudo, o solo foi mantido úmido para o crescimento da planta e a coleta realizada após 55 dias.

As porções aéreas das mudas foram cortadas, pesadas e direcionadas à secagem em estufa, com temperatura de 65°C por 72 horas. Após secas, elas foram pesadas novamente e moídas para a determinação de nutrientes seguindo a metodologia de Carmo et al. (2000). Essa secagem é necessária para interromper as reações enzimáticas que estão ocorrendo no material (Silva, 2009).

Análise estatística

Os pesos das partes aéreas foram comparados através de análises de variância (teste F; $Pr < 0,05$) e comparados pelo teste de Tukey ($Pr < 0,05$), utilizando o software estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2014).

Esse teste é utilizado em casos em que as amostras apresentam valores de grande variação, separando cada tratamento em blocos que sirvam como um pareamento considerável entre eles, com o ordenamento dos valores dentro desses blocos.

Resultados e Discussão

Após o período de incubação, foi possível observar que todos os tratamentos foram eficazes no plantio. Como mostra a figura 1, todos os vasos que foram tratados com fertilizantes tiveram maior eficácia no crescimento do milho.

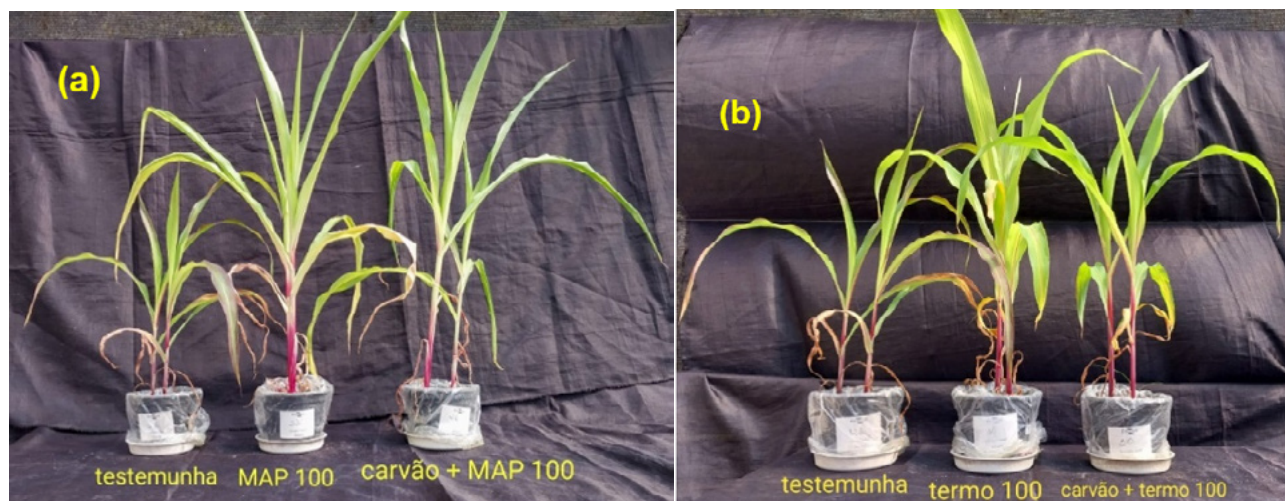


Figura 1. Comparação dos crescimentos entre os tratamentos. (a) Comparação da testemunha com os tratamentos com MAP e ORG 1; (b) Comparação da testemunha com os tratamentos termofosfato e ORG 2.

Ao comparar estatisticamente os pesos secos das amostragens aéreas, observa-se a diferença estatística entre os tratamentos com adubação e a testemunha (**Tabela 2**).

Tabela 2. Médias dos pesos secos das partes aéreas correspondente aos fertilizantes minerais e organominerais

Tratamento	Peso Seco
Testemunha	5,33 c
MAP	11,8 a
Termofosfato	7,43 bc
ORG 1	9,54 ab
ORG 2	6,27 bc

Médias seguidas de mesma letra na coluna de pesos não diferem significativamente por tukey 5%

Levando em consideração que a quantidade de fósforo em cada tratamento foi a mesma, os valores semelhantes dos tratamentos organominerais com os dos minerais de que são constituídos podem indicar que os organominerais possuem uma liberação de fósforo mais lenta.

Conclusões

Conclui-se que o solo utilizado como testemunha é indicado para o uso em estudos de adubação, pois é um solo com baixa concentração de nutrientes.

Houve efeito da aplicação dos fertilizantes, tanto dos minerais quanto dos organominerais.

O fertilizante mais efetivo no crescimento das plantas foi o MAP.

Os fertilizantes organominerais tiveram comportamento semelhante aos tratamentos de MAP e termofosfato, com o ORG 1 e MAP sendo iguais estatisticamente assim como o ORG 2 e o termofosfato, concluindo-se que tanto as fontes minerais quanto as organominerais proporcionam uma nutrição semelhante para as plantas.

É necessária a continuação do estudo, com diferentes análises das partes aéreas e do solo.

Agradecimentos

Agradeço à Embrapa Solos e ao CNPq pelo apoio financeiro e logístico durante o estudo.

Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº25, de 23 de julho de 2009. Diário Oficial [da] da República Federativa do Brasil, nº 173, 28 jul. 2009. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf> >. Acesso em: 07 set. 2022.
- CARMO, C.A.F. de S.; ARAUJO, W.S. de; BERNARDI, A.C. de C.; SALDANHA, M.F.C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41p. (Circular Técnica, 6).
- CARVALHO, M. A. B. de. Aplicação de carvão vegetal e nitrogênio influenciando propriedades físicas e químicas do solo e massa seca de arroz. 2014. 40f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal, 2014.
- CRUZ, A. C; PEREIRA, F. S.; FIGUEIREDO, V. S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 45, p. [137] -187, 2017.
- Conflito no Leste Europeu completa um mês e setor de fertilizantes segue apreensivo. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opinioao-cepea/conflito-no-leste-europeu-completa-um-mes-e-setor-de-fertilizantes-segue-apreensivo.aspx#:~:text=Em%202021%2C%20segundo%20a%20Anda,por%2073%25%20do%20consumo%20anual.> >. Acesso em: 07 set. 2022.
- IFA. **GLOBAL SUSTAINABILITY REPORT 2019**. Sustainability Report.2019
- SILVA, F.C. da. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes, 2nd ed.; **Embrapa Informação Tecnológica**: Brasília, Brazil, 2009; ISBN 978-85-7383-430-7
- SOUSA, A. M. B. Adição de carvão vegetal em cultivo de arroz irrigado: efeitos sobre os indicadores físicos e químicos do solo, desempenho do arroz; emissões de metano e viabilidade econômica do cultivo contínuo, em Arari-MA. 2011. Tese de Doutorado. UEMA.
- TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, I. W. (Ed.). As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: **EDUA/ Embrapa Amazônia Ocidental**, 2010. p. 286-297.

Soluções baseadas na natureza como geradoras de benefícios à população carioca ⁽¹⁾

Adalto de Oliveira Lima Neto ⁽²⁾; Ana Paula Dias Turetta ⁽³⁾; Aliny Patricia Flauzino Pires ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica. ⁽²⁾ Graduando em Ciências Biológicas, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), estagiário PIBIC. ⁽³⁾ Doutora em Agronomia, Pesquisadora Embrapa Solos /Jardim Botânico - Rio de Janeiro. ⁽⁴⁾ Doutora em Ecologia, Professora Adjunta da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Resumo – As unidades de conservação desempenham um papel fundamental na vida da população carioca. O Parque Estadual da Pedra Branca, tem um papel fundamental na qualidade de vida da população da Zona Oeste do Rio de Janeiro, através da provisão de diversos serviços ecossistêmicos. Esses benefícios podem oferecer soluções para diversos problemas enfrentados em uma das regiões mais densamente povoadas do Rio de Janeiro. Identificar informações disponíveis para desenhar tais estratégias é fundamental para esse processo. O objetivo deste trabalho é identificar as principais temáticas científicas trabalhadas dentro do Parque Estadual da Pedra Branca, às definindo em classes específicas de pesquisa. Foram observadas sete classes, dentro dos estudos científicos realizados na PEPB, em que cada categoria sintetiza uma parte temática dos 159 artigos revisados. Como desfecho, constatamos que existe um viés no panorama geral dos trabalhos acadêmicos oriundos do PEPB, e que se faz necessário estudos aprofundados sobre a relação da UC e a provisão de seus serviços ecossistêmicos para a comunidade do seu entorno.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas; Soluções baseadas na Natureza; Agricultura Sustentável e Serviços Ecossistêmicos.

Introdução

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), é o resultado de duas décadas de um intenso empenho do movimento ambientalista na criação e implementação de uma política pública voltada para a preservação da biodiversidade brasileira (Lei 9985/2000). As Unidades de Conservação são um exemplo de prática integradora entre a manutenção do patrimônio cultural e o natural, e por consequência, dos seus serviços ecossistêmicos, tais como o abastecimento hídrico e a regulação climática (Hassler, 2006).

Serviços ecossistêmicos são definidos como as contribuições diretas ou indiretas da natureza para a sociedade humana (Wang et al., 2021). Esses bens movimentam importantes setores da sociedade, podendo ser culturais até englobar o planejamento estratégico de um país (Díaz et al., 2015). Contudo, essa dinâmica vem sendo ameaçada pela crescente demanda por recursos naturais, que em conjunto com os efeitos das mudanças climáticas, acarretará em imensuráveis desafios econômicos, sociais e ambientais na gestão do território nacional, principalmente em grandes metrópoles globais (Grimm et al., 2008). Nesse cenário, grandes metrópoles como o Rio de Janeiro estarão imersas em vulnerabilidades socioambientais (Formiga-Johnsson et al., 2020). Frente a esta conjuntura, soluções que visem a remediação das mudanças climáticas fazendo uso da própria natureza, podem representar uma saída para a perda de recursos naturais.

As Soluções baseadas na Natureza (SbN) são definidas como ações que visam o uso sustentável dos recursos naturais, enquanto integram a proteção da natureza e a superação de problemas sociais (IUCN, 2020). As SbN são medidas sustentáveis, que além de apresentarem um alto potencial de preservação dos processos naturais, ainda atuam como uma minimizadora dos impactos climáticos que virão a afetar a população urbana das grandes metrópoles, principalmente comunidades tradicionais, comumente situadas nas proximidades das Unidades de Conservação de centros urbanos (European commission, 2020). Identificar e sistematizar as informações existentes sobre estes territórios possui um papel fundamental na definição de estratégias que visem implementar SbNs como saída possível para os desafios da sociedade.

O presente trabalho tem como objetivo identificar os principais temas de pesquisa realizados no Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), cidade do Rio de Janeiro, a fim de avaliar o potencial dos

serviços ecossistêmicos e o desenho de SbNs a partir da UC, especialmente para a população de seu entorno. O PEPB é considerado a maior floresta urbana do mundo e está ao redor de uma das áreas mais densamente povoadas do município. Possui diversas atividades econômicas em seu entorno, muitas das quais diretamente relacionadas aos serviços ecossistêmicos providos pelo PEPB.

Material e Métodos

Área de trabalho

O Parque Estadual da Pedra Branca ocupa 12% do território carioca, abrangendo uma área de aproximadamente 12.393,84 hectares. É composta majoritariamente pela Floresta Ombrófila Densa, típica da Mata Atlântica. A UC está situada na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, uma das regiões com menor IDH municipal e que abriga cerca de 41% da população carioca (INEA, 2019). Uma região com tipos de uso e ocupação do solo extremamente diversas, como moradia, agricultura, indústria, turismo e áreas de floresta em um avançado estágio de regeneração.

Metodologia aplicada

A fim de identificar a produção acadêmica relacionada a UC e o potencial uso para a caracterização do potencial de implementação das SbN através dos serviços ecossistêmicos do PEPB, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as pesquisas científicas executadas no PEPB.

Neste levantamento bibliográfico, foram integradas informações de quatro bases de dados distintas: utilizados dois termos para a busca: Google Scholar; Periódico Capes; Scielo e Web of Science. Foi utilizado como termos de busca: “Parque Estadual da Pedra Branca” e “Pedra Branca State Park”, nos títulos das publicações a fim de viabilizar as análises e ter uma amostragem centrada na análise da UC.

A partir desta busca, foi avaliada as áreas temáticas potenciais para a provisão de serviços ecossistêmicos providos pelo Parque Estadual da Pedra Branca. As publicações foram agrupadas de acordo com o tema principal da investigação em sete áreas, a partir dos resultados encontrados: agricultura; biodiversidade; ecoturismo; incêndio; políticas públicas; qualidade ambiental; sociedade e natureza. O uso do termo Agricultura se refere a trabalhos que discutem o uso agrícola dentro do contexto de uma unidade de conservação de uso sustentável. Biodiversidade foi a classificação dada a trabalhos que discutam as temáticas relacionadas à avaliação da fauna e flora. Ecoturismo abrangeu os estudos que analisavam o turismo dentro do PEPB. Incêndio é a síntese de trabalhos que avaliam o impacto e manejo de eventos de incêndio dentro da UC. Políticas públicas sintetizou todos os trabalhos que de alguma forma abrangeram o manejo do parque ou suas questões fundiárias. Qualidade Ambiental simboliza os artigos que avaliaram parâmetros bióticos e abióticos da UC. Já a classe Sociedade e Natureza emblema as publicações que retratam as dinâmicas socioambientais que tomam lugar na área de estudo. A partir desta avaliação, foram obtidas as informações primordiais para avaliar o potencial do PEPB para contribuir na geração de benefícios para a população em seu entorno.

Resultados e Discussão

Foram analisados 159 artigos relacionados ao PEPB e seu entorno. Esforços futuros, ainda no contexto deste trabalho, deverão complementar a análise a partir da busca utilizando Palavras-Chave contidas no corpo de texto do documento, dado que o montante avaliado, apesar de representativo, pode não contemplar toda a variedade de serviços ecossistêmicos trabalhados pela comunidade científica.

De acordo com o agrupamento definido, observa-se que o tema biodiversidade é aquele que ainda atrai o maior interesse no papel da UC. De forma geral, é reconhecido que mesmo dentro de estudos voltados para a temática sobre serviços ecossistêmicos, há o predomínio de estudos voltados na avaliação da biodiversidade (Pires et al., 2018) (Tabela 1).

Estudos voltados para aspectos mais relacionados à provisão de serviços ecossistêmicos, tais como aqueles relacionados à agricultura, ecoturismo e aspectos socioambientais somam 54

Tabela 1. Agrupamento temático do levantamento realizado, contemplando as sete áreas temáticas estabelecidas.

Temas abordados	Número de estudos
Agricultura	1
Biodiversidade	55
Ecoturismo	16
Incêndio	1
Políticas públicas	17
Qualidade ambiental	32
Sociedade e Natureza	37
TOTAL	159

estudos, estimativa equivalente aos estudos sobre biodiversidade. No entanto, é fundamental atentar o forte predomínio de aspectos socioambientais, que não necessariamente exploram o potencial direto da provisão de serviços ecossistêmicos, mas os fatores que regulam essa relação. Em especial, o conhecimento produzido sobre práticas agrícolas é subestimado, quando comparado ao potencial do PEPB e ao reconhecimento das atividades desenvolvidas na UC. Este certamente, deve ser tema central no entendimento do papel do PEPB, como território importante para o estabelecimento de estratégias que busquem garantir a segurança alimentar no município do Rio de Janeiro.

Os demais estudos buscam avaliar o grau de ameaça e caracterização ambiental da UC, bem como aspectos relacionados às políticas públicas a ela relacionadas. Tais aspectos são fundamentais para entender os vetores que podem comprometer o potencial do PEPB, como território central do desenho de SbN, em especial para a Zona Oeste do Rio de Janeiro.

Desta forma, estes três grandes eixos de atuação: biodiversidade, usos e ameaças devem seguir sendo explorados, porém destacando os potenciais relacionados ao uso da UC e seu potencial na provisão de serviços ecossistêmicos. O PEPB representa patrimônio de valor inestimável, voltado à manutenção da biodiversidade, à proteção de espécies ameaçadas e à promoção do desenvolvimento sustentável, além de proporcionar meios e incentivos para o desenvolvimento de pesquisas, educação ambiental e uso público (WWF, 2014).

Conclusões

O PEPB representa território chave na promoção do bem estar da população fluminense e reconhecer este potencial através da produção científica em seu território é primordial.

Nossos resultados demonstram que o viés existente no número de estudos e temáticas abordadas impedem de estabelecer um panorama consistente do papel do PEPB.

Estudos futuros devem levar em consideração o papel do PEPB na provisão de serviços ecossistêmicos essenciais para o bem-estar humano, em especial a segurança alimentar.

Comunidades tradicionais agrícolas remanescentes do Maciço da Pedra Branca, podem contribuir ativamente no entendimento do uso de técnicas agrícolas sustentáveis e influenciar positivamente a conservação de biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

Referências

Díaz, S. et al. 2015. The IPBES Conceptual Framework – connecting nature and people. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 14, 1–16

EC – European commission. Nature based solutions. 2020. Disponível em <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>

Formiga-Johnsson, Rosa Maria; Britto, Ana Lucia. Water security, metropolitan supply and climate change: some considerations concerning the Rio de Janeiro case. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, 2020. Disponível em <https://www.scielo.br/j/asoc/a/vhnpgf4ss5Bs6fVY5BmRGzF/abstract/?lang=pt>.

Grimm, N.; Faeth, S.H.; Golubiewski, N.E.; Redman, C.L.; Wu, J.; Bai, X.; Briggs, J.M. 2008. Global Change and the Ecology of Cities. *Science* vol. 319, Issue 5864, pp. 756-760.

Hassler, M. L. A importância das unidades de conservação no Brasil. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], v. 17, n. 33, 2006. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9204>.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/parque-estadual-da-pedra-branca>.

IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: first edition. Disponível em: <https://www.iucn.org/resources/publication/iucn-global-standard-nature-based-solutions-first-edition>.

LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm

Pires, A. P. F. et al. Biodiversity research still falls short of creating links with ecosystem services and human well-being in a global hotspot. *Ecosystem Services*, v. 34, p. 68–73, dez. 2018.

Wang, B.; Zhang, Q.; Cui, F. Scientific research on ecosystem services and human well-being: A bibliometric analysis. *Ecological Indicators*, v. 125, p. 107449, jun. 2021.

WWF – World Wide Fund for Nature. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?42642/Biodiversidade-em-unidades-de-conservacao--destaque-de-publicacao>.

Efeito da granulometria de rocha fosfática nacional sobre a produção de matéria seca de milho ⁽¹⁾

Bruna Karina da Silva Oliveira⁽²⁾; Jéssica Franciele Kaminski Ramos⁽³⁾; João Augusto Dourado Loiola⁽³⁾; Gabriel Carlos Francisco⁽²⁾; Rosângela Stralio⁽⁴⁾; Paulo César Teixeira⁽⁴⁾; Vinícius de Melo Benites⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq. ⁽²⁾ Graduanda em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. ⁽³⁾ Mestranda em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Solos.

Resumo – Sendo o fósforo um dos nutrientes principais na produção agrícola, o Brasil ainda é dependente importação de fertilizantes fosfatados, ocasionando a utilização de novas matérias primas que prezando pelos menores problemas ambientais e viabilidade econômica. Neste trabalho, utilizamos de alguns nutrientes classificados entre macronutrientes e micronutrientes para realização das análises e comparação de eficiência perante a amostra. Um dos processos realizados é o de granulação, que consiste na transformação de pós finos em grânulos livres de poeira e de fluxo livre que são fáceis de comprimir. Existem duas fases na qual o processo acontece, sendo elas úmida e seca, visando sempre as melhores condições para cada insumo.

Palavras-Chave: Fósforo, Massa seca, Nutrientes, Granulação, Fertilizantes.

Introdução

O fósforo desempenha um papel importante na formulação de ATP (Trifosfato de Adenosina), a principal fonte de energia utilizada no aparato fotossintético, divisão celular das plantas (PetAgronomia/UFSM, 2021) e na regulação da síntese proteica. Além disso, quando a aplicação desse macronutriente é adequado o mesmo atua como um dos minerais cruciais para o desenvolvimento da planta, sendo como suprimento externo gerando pouco impacto no crescimento de acordo com seu balanço de nutrientes e como suprimento interno gerando mais eficiência. Contudo, a taxa de crescimento relativo pode diminuir por razões outras que a nutrição inadequada. Nesse ponto, a taxa de crescimento das plantas deficientes e não deficientes pode ser a mesma, já que o fator mais limitante ao crescimento não é o suprimento de nutrientes. O agronegócio é responsável aproximadamente metade da exportação do país, sendo uma potência para estratégia de mercado. A produção de fertilizantes é conjunta a produção agrícola e a disponibilidade de seu insumo sendo produzido de forma economicamente viável. A dependência do país de fertilizantes fosfatados é de 23% do volume total, com 5,69 milhões de toneladas e aumento de 2% em relação a 2017, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Na agricultura brasileira, predomina o uso dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, obtidos a partir do tratamento ácido de rochas fosfáticas. Entretanto, a base para uma boa aplicabilidade são os nutrientes essenciais para completar o ciclo de vida da planta. Dentre os nutrientes mais importantes, destacam-se os macronutrientes primários N (nitrogênio), P (fósforo) e K (potássio), que, misturados, compõem as fórmulas NPK; macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S); e micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Silício (Si), entre outros. Os fertilizantes são classificados quanto à natureza da sua composição, à quantidade de nutrientes que os compõem e ao tipo de macronutriente primário que os caracteriza. No processo de granulação de fertilizantes as partículas primárias de pó são aderidas e misturadas, formando os grânulos. Neste processo de aumento de partículas pela técnica de aglomeração, é uma das operações mais significativas na produção de fertilizantes. A granulação pode ser dividida em duas fases, sendo uma úmida na qual a formação dos grânulos é feita adicionando um líquido de granulação ou seca, onde nenhum componente líquido é usado na formação dos grânulos, é usado para compostos extremamente sensíveis à umidade e ao calor. A faixa granulação utilizada neste projeto foi estabelecida entre maior que 4,8 mesh, 4, 2,8, 2 e menor que 1 mesh, para que fosse feita a análise de rendimento em cada um dos experimentos realizados com a matéria base. Todavia, uma das principais formas de suprir o P nos solos brasileiros é por meio da aplicação de fertilizantes acidulados,

como superfosfato triplo, superfosfato simples, monoamônio fosfato e diamônico fosfato. Além dos custos de produção, atualmente boa parte dos fertilizantes acidulados comercializados no Brasil é importada, o que aumenta os custos com transporte e armazenagem.

Material e Métodos

1. Caracterização das frações granulométricas

Segundo a Instrução Normativa nº 5 de 2016, as rochas moídas devem seguir uma especificação de natureza física, ou seja, deve ser realizada uma classificação granulométrica (farelo, pó ou filler) levando em consideração os percentuais de partículas passantes (p/p) em 6 frações granulométricas, +4,8 mm; -4,8 +2,8 mm; -2,8 +2,0 mm; -2,0 +0,84 mm; -0,84 +0,3 mm; e -0,30 mm. O material é classificado como filler se for 100% passante na peneira de 0,3 mm, como pó se 100% passante na malha de 2,0 mm e considerado farelo ao passar 100% das partículas na peneira de 4,8 mm. As medições da granulometria foram realizadas utilizando o método de peneiramento a seco. A separação dos grânulos do material foi realizada através de 6 peneiras, com malhas de 7, 16, 32, 48, 60 e 200 mesh de tamanho, ou seja, de 2,8 mm a 0,075 mm de abertura. Cada batelada do material foi acondicionada em um agitador de peneiras automático, programado para trabalhar 7 minutos por batelada na vibração 9 (Tabela 1). A partir desse resultado, o material foi separado em três frações granulométricas, sendo a fração fina, média e grossa. A amostra fina foi constituída da fração granulométrica passante em 48 mesh que correspondeu a 40,68% da amostra total. A fração média entre 16 e 48 mesh foi equivalente a 24,25% do total. A fração grossa foi formada pela amostra retidas em peneiras maiores que 16 mesh, resultando em 35,07% do total.

1.1 Granulação dos fosfatos parcialmente acidulados

Os fosfatos parcialmente acidulados, bem como a rocha in natura, foram granulados em prato granulador com 50 cm de diâmetro, na velocidade de 60 rpm e inclinação de 60°C. Utilizou-se 26 mL de água para cada 200 g de fosfato parcialmente acidulado em pó. Após granulação o material foi submetido à secagem em estufa a 65°C por 24 horas e fracionado em peneiras de 0,5 mm, 1 mm e 2 mm. A fração entre 0,5 e 1mm de todos os tratamentos foi utilizada nos experimentos em vaso. Adicionalmente, a fração de 1 a 2 mm do fosfato parcialmente acidulado com micro foi inserida no experimento em vasos como tratamento adicional.

A produção de matéria seca da parte (MSPA) aérea de milho foi determinada após 45 dias de cultivo. Foram determinados os teores de nutrientes absorvidos pela planta após digestão nitro perclórica da biomassa da parte aérea (Teixeira et al. 2017) e calculadas as quantidades de nutrientes absorvidas em cada vaso, multiplicando-se o teor dos nutrientes pela MSPA. Para todas os tratamentos foi calculado o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) usando a seguinte equação: $IEA = \frac{[(MSPA_Trat - MSPA_controle)]}{(MSPA_Trat\ completo - MSPA_Controle)} \times 100$, sendo MSPA: matéria seca da parte aérea; Controle: tratamento sem aplicação de P; Tratamento completo: tratamento com aplicação de P em solução na forma solúvel.

Resultados e Discussão

As diferentes granulometrias da rocha fosfática de Pratápolis, aciduladas com 20 % de ácido sulfúrico e a adição de micronutrientes resultou em melhor resposta agronômica. O maior rendimento se mostrou presente entre as granulometrias de 2,8 e 0,3 mesh como mostrado na tabela 1.

A acidificação da rocha, mesmo na forma farelada, pode ser uma estratégia para melhor o desempenho no primeiro ciclo, conservando parcialmente seu efeito residual. A figura 1 apresenta o desenvolvimento da matéria seca perante as porcentagens de acidulação em cada grânulo/ fração da rocha fosfática.

mm	Malha ABNT	Mesh	Quant. (g)	%	Acumulado %
4,8	4	4	18,239	0,68	0,68
2,8	7	7	151,857	5,63	6,31
2	10	9	186,279	6,91	13,22
1	18	163 mesh	404,422	15,00	28,22
0,84	20	20	83,666	3,10	31,32
0,3	50	48	626,324	23,23	54,55
<0,3	fundo	fundo	1225,36	45,45	100,00

Tabela 1. Distribuição granulométrica do fosfato de Pratápolis

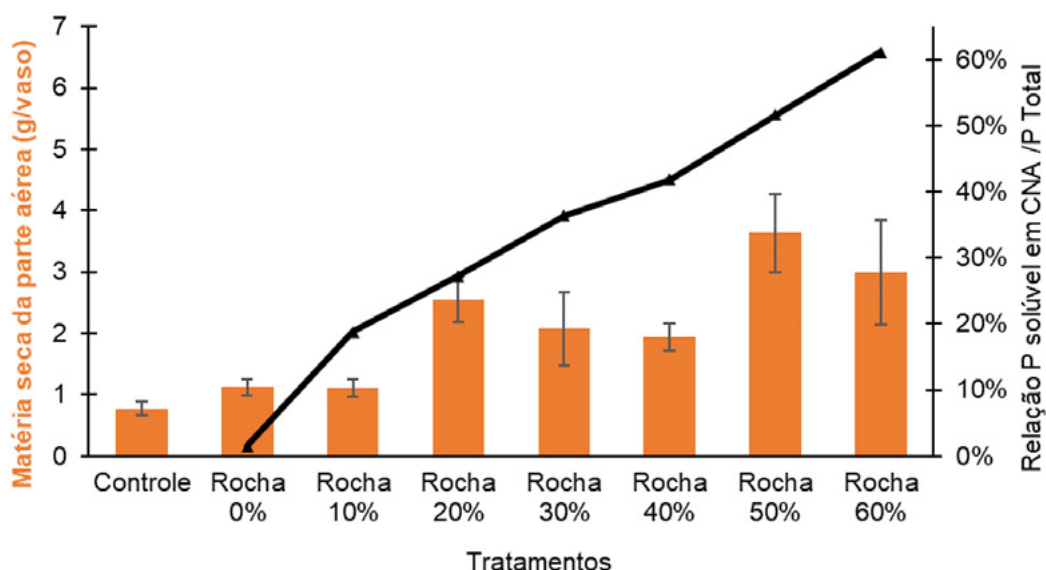


Figura 1. Matéria seca da parte aérea de milho e solubilidade do fósforo em função das diferentes faixas granulométricas e de moagem da rocha fosfática.

Conclusões

A microgranulação dos fosfatos parcialmente acidulados produzidos a partir da rocha fosfática de Pratápolis não altera sua eficiência em relação ao mesmo material na forma farelada e, portanto, viabiliza o seu uso nessa forma. O enriquecimento da rocha fosfática com micronutrientes nas doses utilizadas não tem efeito significativo sobre o crescimento do milho.

Agradecimentos

Os autores reconhecem e são gratos ao CNPq pela oportunidade e apoio financeiro, em especial à Embrapa Solos e Embrapa Agrobiologia pela condução e orientação da pesquisa.

Referências

- J. MURPHY; J. P. RILEY. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters**, Analytica Chimica Acta, vol.27, p.31-36, 1962. DOI: 10.1016/S0003-2670(00)88444-5
- WITHERS, P.J.A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T.S.; GUILHERME, L.R. G.; BENITES, V.M.; GATIBONI, L.C.; SOUSA, D.M.G.; NUNES, R.S.; ROSOLEM, C.A.; ANDREOTE, F.D.;

OLIVEIRA JR. A.; COUTINHO, E.L.M.; PAVINATO, P.S. **Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. Scientific Reports**, v.8, p.1-13, 2018.

ZIMMER, A.H.; MACEDO, M.C.M.; KICHEL, A.N.; ALMEIDA, R.G. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte**, 2012. 42 p. (Documentos, Embrapa Gado de Corte, 189).

RHEINHEIMER, D. S. et al. **Ciclo biogeoquímico do fósforo, diagnóstico de disponibilidade e adubação fosfatada**, 2020.

Rissi, Y. R. PET Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, 2021. Disponível em: < [A importância do Fósforo na cultura da soja – PET Agronomia \(ufsm.br\)](#)>

SciELO, Agronomic performance of phosphate fertilizers in an oxisol under no-tillage, 2010. Disponível em:< [SciELO - Brasil - Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto](#)>

Caracterização física e química do solo da área de plantio de barragem subterrânea de Alagoas ⁽¹⁾

Adalberto Francisco da Silva Júnior ⁽²⁾; Renata Andrade Lima ⁽³⁾; Talysson Daniel Santos da Silva ⁽⁴⁾; Maria Jesus Moraes Lima ⁽⁵⁾; Maria Sonia Lopes da Silva ⁽⁶⁾; Gizelia Barbosa Ferreira ⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa, no âmbito do Projeto ZonBarragem - 26.16.04.002.00.00. ⁽²⁾ Estudante de agronomia da UFRPE, bolsista do PIBIC/CNPq, Embrapa Solos UEP Recife, PE. ⁽³⁾ Estudante de agronomia do IFPE, Campus, Vitória de Santo Antão, Recife, PE. ⁽⁴⁾ Estudante de agronomia do IFPE, Campus, Vitória de Santo Antão, Recife, PE. ⁽⁵⁾ Estudante de agronomia do IFPE, Campus, Vitória de Santo Antão, Recife, PE. ⁽⁶⁾ Engenheira-agrônoma, pesquisadora da Embrapa Solos UEP Recife, PE. ⁽⁷⁾ Engenheira-agrônoma, professora do IFPE, Campus, Vitória de Santo Antão, Recife, PE.

Resumo – A barragem subterrânea é uma das tecnologias sociais que têm contribuído para o melhor convívio das famílias com o Semiárido por proporcionar o acesso à água para usos múltiplos, diminuindo os riscos da agricultura dependente de chuva. O presente estudo integra o Projeto ZonBarragem e teve como objetivo realizar a caracterização física e química da área de plantio de uma barragem subterrânea, localizada no município de Senador Rui Palmeira, no Médio Sertão do estado de Alagoas, Brasil. Para atingir o objetivo proposto foi aberta uma trincheira no centro da área de plantio da BS para descrição morfológica e coleta de amostras. Posteriormente, foi realizado o envio para o laboratório para análises físicas e químicas. Os resultados apontam para um solo originado de sedimentos fluviais, estratificado com variação de textura e teor de carbono orgânico em profundidade. Fertilidade natural baixa, relevo plano, e bom potencial para agricultura, inclusive para uso da irrigação, já que a barragem subterrânea dispõe de poço. Com base na caracterização morfológica e nos resultados das análises físicas e químicas o solo foi classificado como Neossolo Flúvico Ta típico (RY).

Palavras-Chave: semiárido, estocagem de água da chuva, tecnologia social hídrica, classificação de solos.

Introdução

A barragem subterrânea (BS) é uma das tecnologias sociais hídricas já validadas nas comunidades difusas do Semiárido alagoano, entretanto, alguns desafios têm-se enfrentado, principalmente, no que diz respeito a qualidade dos solos da sua área de plantio, visando o manejo mais adequado segundo suas características. A barragem subterrânea (Figura 1) é uma técnica de armazenar água da chuva dentro do solo que tem como objetivo o armazenamento da água de chuva no meio rural, para usos múltiplos, principalmente para produção de alimentos. Possui como função barrar o fluxo de água superficial e subterrânea através de uma parede construída transversalmente à direção das águas (Vasque et al., 2022).



Figura 1. Vala de parede aberta impermeabilizada com o plástico (A); vala sendo fechada com a terra retirada na abertura (B). Fotos A e B: Flávio Adriano Marques.

A barragem subterrânea pode ser instalada em leito de rios e riachos (de vazão média ou forte, a depender do modelo), em linhas de convergência de drenagem, em solos de textura arenosa a média, declividade de até 2%, profundidade de até 4, 5 m, ambiente de rochas cristalinas e sem ocorrência de sais.

Entre as tecnologias sociais hídricas de convivência com a seca, a barragem subterrânea é uma das que têm proporcionado ao pequeno agricultor rural de base familiar a estocagem das águas da chuva para produção de alimentos, contribuindo com a redução dos efeitos negativos dos longos períodos de estiagem, e que vem transformando a vida de muitas famílias agricultoras do Semiárido brasileiro, sob o ponto de vista de contribuir para a soberania e a segurança alimentar e nutricional, bem como, de gerar renda a partir dos produtos comercializados nas feiras municipais (Silva et al., 2021).

Em virtude de toda esta importância que a BS tem proporcionado às comunidades rurais mais vulneráveis do Semiárido brasileira, e, também, devido a região apresentar baixas precipitações e altas taxas de evapotranspiração, é fundamental que se faça estudos periódicos sobre a qualidade do solo e da água em áreas de barragem subterrânea, para evitar problemas de salinidade do solo.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização física e química do solo e da água da área de plantio de uma barragem subterrânea, localizada no Médio Sertão da região do Semiárido do Estado de Alagoas, após 15 anos de cultivo, visando fornecer informações que contribuirão para o melhor uso e manejo destes dois recursos naturais, bem como para a obtenção de melhores produções.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido em um agroecossistema com barragem subterrânea no Sítio Cacimbinhas, município de Senador Rui Palmeira, Alagoas, com coordenadas $9^{\circ} 24' 1,33''$ S e $37^{\circ} 13' 0,86''$ W e altitude média de 302 m (Figura 2), situado no terço inferior de elevação em relevo suave ondulado a plano.

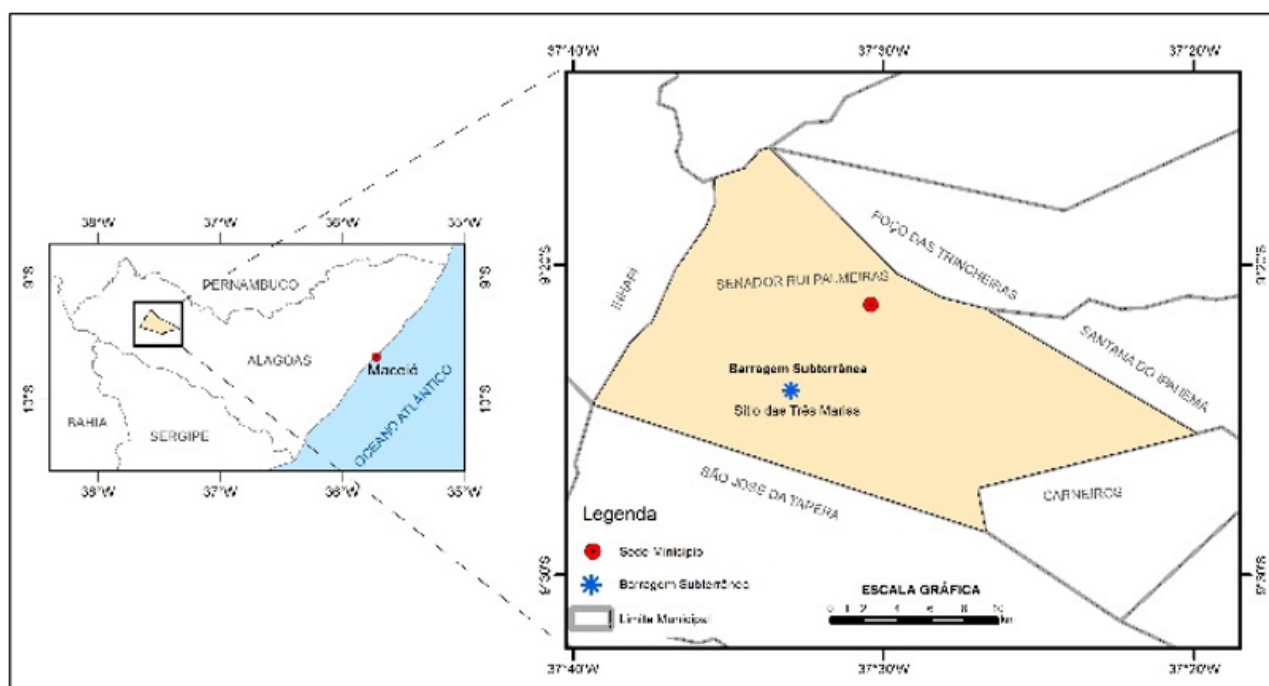


Figura 2. Localização da barragem subterrânea no município de Senador Rui Palmeira, AL

O município de Senador Rui Palmeira tem como principal atividade econômica a agricultura e como grande limitação a escassez de chuvas. Está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 m. Ocupa uma área de arco que se estende do sul de Alagoas até o Rio Grande do Norte. O relevo é geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados. Está localizado na região oeste do estado de Alagoas, limitando-se a norte com os municípios de Canapi e Poço das Trincheiras, a sul com São José da Tapera, a leste com Santana de Ipanema e Carneiros, a oeste com Inhapi (Figura2). A área municipal ocupa 359,71 km² (1,30% de AL), inserida na mesorregião do Sertão Alagoano e na microrregião de Santana do Ipanema. De acordo com Köppen o clima é classificado como BSh, temperatura média anual de 24,6 ° C e precipitação de 569 mm, vegetação Caatinga Hiperxerófila. O material de origem dos solos é formado por sedimentos colúvio-aluvionares que recobrem o embasamento cristalino. Solos predominantemente de Argissolos Amarelos, bem drenados; nos fundos de vales os solos são Neossolos Flúvicos, mal drenados; e nas cristas residuais ocorrem os solos Neossolos Litólicos, mal drenado.

A BS em estudo foi construída em 2007, em leito de rio, pelo Programa Uma terra Duas Águas (P1+2), que tinha como gestora a Articulação do Semiárido (ASA). A ASA constitui rede de entidades e movimentos populares da sociedade civil organizada, fundada em 1999, com atuação nos 09 Estados do Nordeste, parte de Minas Gerais e do Espírito Santo. Possui no seu regimento interno as coordenações estaduais, que compõem as ASA Estaduais. Na construção da BS, em estudo, teve a ASA Alagoas como executora por intermédio da Associação Centro de Apoio Comunitário de Tapera em União a Senador (Cactus), que constitui associação de agricultoras/es familiares que trabalha com a mobilização e organização das comunidades rurais através da formação e da implementação de alternativas de convivência em toda região semiárido do estado.

A BS está instalada em leito de rio, é do tipo submersível (formada por uma parede que parte da camada impermeável ou rocha até uma certa altura acima da superfície do terreno, objetivando barrar, além da água subterrânea, a superficial também), modelo ASA (barragens subterrâneas com poço tipo cacimbão na área de captação/plantio, sangradouro à base de concreto com muretas de proteção e instalação do Sistema Simplificado de Manejo da Água - SSMA), possui uma parede de plástico com 38 m de comprimento, sangradouro de 8 m de comprimento e um poço instalado na área de plantio, distando uns 10 m da parede.

A família tem a posse da terra e, além da BS, possui para melhor convívio com a escassez das chuvas uma cisterna de 16 mil litros de consumo humano, um barreiro, criação de bovinos, galinha caipira e caprinos. A propriedade é conduzida por duas irmãs, órfãs de mãe, as duas Marias. O pai vive em outra propriedade com a esposa do segundo casamento. As duas Marias têm mais uma irmã, a terceira Maria, casada e morando em São Paulo, que enquanto viveu lá dividiu seu tempo em cuidar dos animais, ser professora em escola local e cursar faculdade em cidade vizinha. Têm ainda dois irmãos que são casados, um morando na cidade de Senador Rui Palmeira e o outro na cidade de São Paulo. Atualmente, uma das Marias cuida da lida da casa e do terreiro no seu entorno, a outra Maria cuida da roça e do rebanho. A BS por ter sido a maioria do tempo manejada pelas Marias, é conhecida como a barragem subterrânea das Três Marias, mesmo hoje sendo apenas duas quem conduz.

No centro da área de plantio da BS foi aberta uma trincheira para descrição morfológica do perfil de solo, posteriormente, foi realizada a coleta de amostras por horizontes e enviadas ao laboratório para determinações dos atributos físicos (granulometria e densidade do solo) e químicos (pH, complexo sortivo, CE, cálculo da Soma de Bases, Valor T e PST). As determinações analíticas seguiram recomendações do Manual de Métodos de análises de solos da Embrapa (Teixeira, et al., 2017). De posse dos resultados das análises de laboratório se procedeu a classificação dos solos, conforme Santos et al., 2018. Foi coletada água do poço.

Resultados e Discussão

O solo da área de plantio da BS estudada apresenta sequência de horizontes do tipo Ap – 2C1 – 3C2 – 4C3, devido a sobreposição de camadas de distinta composição granulométrica e mineralógica, por estar localizada em leito de rio. A estrutura do horizonte superficial é do tipo granular, enquanto as camadas subsuperficiais apresentam partículas sem agregação, ou seja, grãos simples devido sua textura predominantemente de areia (Figura 3). A variação verificada nos resultados da granulometria deve-se a frequentes sedimentação que ocorrem neste tipo de solo. No que diz respeito a densidade do solo (DS), foi verificada uma variação entre 1,4 a 1,6 gcm⁻³, comportamento típico de solos arenosos.

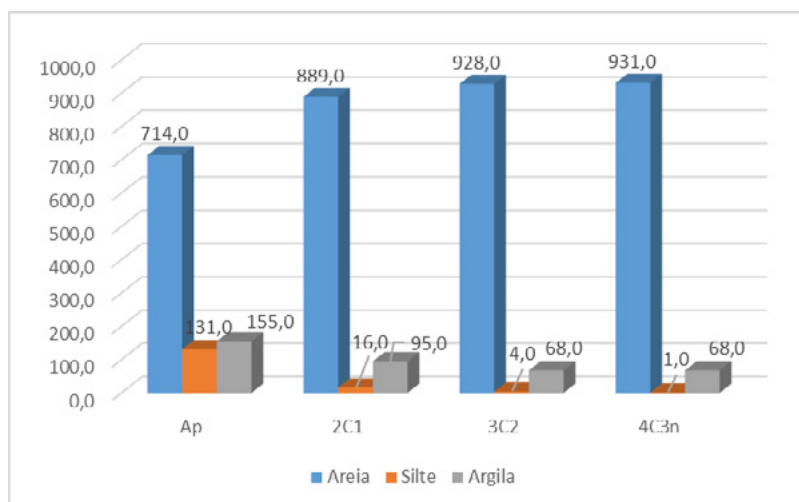


Figura 3. Distribuição do tamanho de partículas do Perfil da barra-gem subterrânea estudada.

Quanto caracterização química, os resultados analíticos encontram-se na Tabela 1. O solo apresenta reação à alcalina (pH acima de 7). Os teores de CO decrescem gradativamente em profundidade, exceto pela camada 4Cn (60-80 cm). Os valores de CO encontrados estão em concordância com os solos descritos em regiões semiáridas (Salcedo et al., 2015). Os altos valores de P disponível registrados não se deve unicamente ao uso agrícola, mas também há uma contribuição mineral, possivelmente relacionada ao material de origem. Os valores obtidos para o P em profundidade, provavelmente, devem-se a sua translocação por trata-se de solo arenoso e com flutuação do lençol freático, porém não se pode afirmar com certeza. Tais resultados merecem estudos mais aprofundados. A soma de bases (Valor S) e a CTC apresentaram valores baixos, o que é típico de solos do Semiárido, apesar da saturação por bases (Valor V) ser maior que 50%, tratando-se, portanto, de solos eutróficos. Os baixos valores de CEes (≤ 1 dS m⁻¹) indicam que a BS não apresenta acumulação de sais solúveis. Isso se deve provavelmente ao processo de renovação de água no período das chuvas, onde o excesso de sais é eliminado através do vertedouro, também se deve a retirada de sais pelo cultivo efetuado anualmente, bem como ao uso da água do poço. Pelos valores obtidos na percentagem de saturação por sódio (PST < 15%), em todos os horizontes, a BS não apresenta problemas de acumulação de sódio. A partir dos resultados das análises físicas e química da área de plantio da BS estudada, o solo foi classificado como Neossolo Flúvico Ta Estrófico típico (RY). A classificação da água do poço, conforme resultado da análise físico-química, foi enquadrada como C₁S₁.

Conclusões

O solo identificado e classificado na BS estudada é originado de sedimentos fluviais, estratificado com variação de textura e teor de carbono orgânico em profundidade. Fertilidade natural baixa,

Tabela 1. Resultados das análises físicas e químicas do solo da área de plantio da barragem subterrânea, município Senador Rui Palmeira, Alagoas.

Perfil Barragem subterrânea – Senador Rui Palmeira, AL										
Horizontes		Granulometria da Terra Fina (g kg ⁻¹)					GF ¹		S/A ²	
Símbolo	Prof. (cm)	Areia T	Areia G	Areia F	Silte	Argila	A N ³	(%)		
Ap	0-15	714,0	491,2	222,8	130,6	155,4	50,4	68	0,84	
2C1	15-30	889,0	769,4	119,6	15,6	95,4	51,1	46	0,16	
3C2	30-60	928,0	827,0	101,0	3,8	68,2	51,1	25	0,06	
4Cn	60-80	931,2	838,4	92,8	0,6	68,2	51,8	24	0,01	
DS	pH (1:2,5)	CO		P disponível	Bases trocáveis (cmol _c kg ⁻¹)				Acidez extraível (cmol _c kg ⁻¹)	
(kg dm ⁻³)	H ₂ O	KCl	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺
1,50	6,5	-	9,70	80	3,27	0,93	0,22	0,17	0,0	0,20
1,57	7,6	-	3,40	60	1,78	0,64	0,11	0,14	0,0	0,22
1,59	7,8	-	1,30	10	1,01	0,63	0,08	0,08	0,0	0,06
1,55	7,5	-	1,60	7	0,90	0,58	0,06	0,10	0,0	0,06
Soma de bases (cmol _c kg ⁻¹)		Valor T (cmol _c kg ⁻¹)		Saturação por base (%)	Saturação por alumínio (%)	Saturação por sódio (%)			CEes (dS m ⁻¹)	
4,59		4,79		96	0	4			0,79	
2,66		2,89		92	0	5			0,74	
1,79		1,85		97	0	4			0,32	
1,64		1,70		96	0	6			0,37	

¹GF – Grau de Flocculação; ²S/A - Relação Silte /Argila; ³Argila Natural; Areia T - Areia Total; Areia G - Areia Grossa; Areia F - Areia.

relevo plano, e bom potencial para agricultura, inclusive para uso da irrigação, já que a BS dispõe de poço. Em síntese, é um solo que tem sua dinâmica relacionada à sedimentação e à hidrologia resultante do barramento da água em decorrência da construção da barragem subterrânea, para armazenamento de água nas linhas de drenagem. Conforme resultados das análises físicas e químicas o solo em estudo foi classificado como Neossolo Flúvico Ta típico (RY).

Agradecimentos

À família agricultora, pela participação no trabalho e cessão de sua barragem subterrânea para a execução deste trabalho. Ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica. À Embrapa por financiar a pesquisa e pelo apoio logístico de infraestrutura, principalmente de transporte, laboratórios e biblioteca.

Referências

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, , 2018. 356 p. : il. color.

SILVA, M. S. L. da; MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; LIMA, A. de O.; RIBEIRO, C. A.; BARBOSA, A. G.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; AMARAL, A. J. do; MELO, R. F. de; PARAHYBA, R. da B. V. **Barragem**

subterrânea: acesso e usos múltiplos da água no Semiárido brasileiro. Brasília, DF: Embrapa, 2021. 45 p. il. color.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. e amp. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. il. color.

VASQUES, G. de M.; RODRIGUES, H. M.; HUBER, E.; TAVARES, S. R. de L.; MARQUES, F. A.; SILVA, M. S. L. da. Ground penetrating radar (GPR) models of the regolith and water reservoir of an underground dam in the Brazilian semiarid region. **Journal of Applied Geophysics**, v. 206, 104797, 2022.

Deep learning e segmentação semântica de imagens para diagnóstico de níveis de degradação de pastagem ⁽¹⁾

Luan Porto⁽²⁾; Margareth Simões⁽³⁾ ; Rodrigo P D Ferraz⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq (Bolsa PIBIC) e do Projeto ReinserTEC/Embrapa Solos. ⁽²⁾ Engenharia de Sistemas e Computação (em curso na UERJ), Estudante de graduação, Bolsista PIBIC da Embrapa Solos - Rio de Janeiro. ⁽³⁾ Engenheira, Doutora, Pesquisadora da Embrapa Solos e Professora do Dep. de Engenharia de Sistemas e Computação (UERJ/DESC)- Rio de Janeiro. ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Solos - Rio de Janeiro.

Resumo – Estima-se que 80% das pastagens cultivadas presentes do Brasil encontram-se em algum nível de degradação. O processo de degradação pode ser identificado quando a produção de forragem diminui, consequentemente, o aumento das áreas descobertas. Há também o surgimento de plantas novas de espécies invasoras, competindo por nutrientes. Este trabalho objetivou avaliar técnicas de segmentação semântica de fotografias para diferenciação de plantas invasoras/daninhas (diversas famílias botânicas), plantas forrageiras (família gramínea), solo exposto e palhada (material seco). Estas técnicas se baseiam em aprendizagem supervisionado por meio do modelo de segmentação semântica DeeplabV3+. Primeiramente com o objetivo de treinar o modelo, foi usado amostras do banco de dados The GrassClover Image Dataset for Semantic and Hierarchical Species Understanding in Agriculture. Para aproximar o modelo para as pastagens brasileiras, um pequeno banco de dados foi construído a partir das fotografias ortogonais, retiradas da plataforma Atlas das Pastagens. Após o processo de treinamento com os dois bancos de imagens, o modelo foi avaliado a partir de diferentes imagens separadas para este propósito. Os resultados demonstraram satisfatórios com valores de MIoU de 87,6% com o primeiro banco de imagens e 75,4% com segundo banco de imagens. Conclui-se que as técnicas de visão computacional, aprendizado de máquina e segmentação semântica de imagens apresentam potencial para subsidiar a classificação da degradação de pastagens.

Palavras-Chave: Visão Computacional, Aprendizado de máquina, Redes neurais convolucionais, Plano ABC.

Introdução

O Brasil é um dos líderes em produção pecuária do mundo, onde é caracterizado, em sua maioria, pela exploração extensiva baseada em sistema de pastejo sob pastagens naturais ou cultivadas com baixo emprego encontrado de capital e tecnologia. Um dos problemas da relativa baixa produtividade do setor é devido ao mal estabelecimento e/ou ao mal manejo das pastagens que condicionam a baixa capacidade de suporte e o desencadeamento de processos de degradação. Estima-se que 80% das pastagens cultivadas presentes do Brasil encontram-se em algum nível de degradação, sendo que essa problemática afeta diretamente a sustentabilidade da pecuária (Paulino et al., 2012).

Degradação das pastagens é definido por Macedo e Zimmer (1993) como um processo evolutivo da perda do vigor, de produtividade, da capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais em razão de manejos inadequados.

Por sua vez, Dias-Filho (2011) considera que a degradação das pastagens pode ocorrer em função de dois processos distintos, aos quais o autor denominou de: “degradação agrícola” e “degradação biológica”. Na degradação agrícola, a degradação é caracterizada pela mudança na composição botânica da pastagem, isto é, aumento na proporção de plantas daninhas arbóreo-arbustivas e da consequente diminuição na proporção de forragem. Portanto, na degradação agrícola, a produtividade da pastagem, do ponto de vista agrônomo, estaria temporariamente diminuída ou inviabilizada, como consequência da pressão competitiva exercida pelas plantas daninhas sobre as plantas forrageiras, causando, portanto, queda acentuada na capacidade de suporte da pastagem.

Uma pastagem está em processo de degradação quando a produção de forragem diminui com a redução da sua qualidade e quantidade, mesmo nas épocas favoráveis ao seu crescimento. Há diminuição na área coberta do solo pela pastagem e existe pequeno número de plantas novas, provenientes da ressemeadura natural. O aparecimento de espécies invasoras de folha larga, competindo por nutrientes e de processos erosivos pela ação das chuvas, promovendo a colonização da pastagem por gramíneas nativas (Filho et al., 1992).

Para contribuir com a solução deste problema é proposto neste trabalho uma abordagem de segmentação semântica automática entre plantas daninhas, gramíneas, solo exposto e material seco (palhada) a partir de fotografias, através das técnicas de Visão Computacional e Aprendizado de Máquina.

A segmentação é de fundamental importância para a fase de análise do processo de classificação, pois por meio dela torna-se possível extrair informações valiosas a partir das imagens digitais (Saldanha; Freitas, 2009). A tarefa de segmentação semântica é complexa e é uma das poucas áreas de visão computacional em que o desempenho das redes neurais profundas está além da performance humana.

O objetivo desse artigo foi avaliar o desempenho do modelo Deeplabv3+ para segmentação semântica de fotografias ortogonais de pastagens contendo gramíneas, plantas invasoras, solo exposto e palhada, visando subsidiar a classificação da degradação de pastagens.

Material e Métodos

Ferramentas

O modelo de segmentação semântica (Hafiz; Bhat, 2020) DeepLabV3+ foi construído no ano de 2018 com uma arquitetura FCN (Fully Convolutional Network) (Long et al., 2015). Apresentado por Chen et al. (2018) o modelo pode ser acessado gratuitamente no repositório <https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/deeplab>, desenvolvido na linguagem de programação Python junto com a biblioteca Tensorflow. Para este trabalho, foi usado a versão de julho de 2020 do modelo Deeplabv3+, Python na versão 2.7.18 e Tensorflow na versão tensorflow-gpu 1.15. O ambiente escolhido para executar o modelo foi a ferramenta Google Colaboratory, a ferramenta torna possível o desenvolvimento de aplicações de machine learning através do navegador além da disponibilidade de placas gráficas que aceleram o processo de treinamento dos modelos.

Bancos de imagens

A obtenção de imagens relacionadas a pastagens segmentadas é geralmente um grande desafio. A base mais promissora encontrada é denominada como The GrassClover Image Dataset for Semantic and Hierarchical Species Understanding in Agriculture (Skovsen et al., 2019). O conjunto de imagens é composto por 8000 imagens sintéticas de alta resolução com anotações perfeitas, divididas em 15 classes.

O primeiro banco de imagens é constituído por 100 imagens, escolhida de forma aleatória, do Dataset GrassClover. Devido às limitações do ambiente de execução, que não suportava a realização das imagens do tamanho original, cada imagem foi dividida em pequenas imagens de tamanho máximo de 512 x 512 pixels resultando em 17196 imagens. A escolha do recorte das imagens e não do redimensionamento foi optado devido às perdas de informações no processo de diminuição da imagem, sendo assim, afetando a acurácia do modelo de segmentação semântica.

Fora os recortes das imagens, o número de classes foi alterado de 15 para 3 classes. A fim de atender o objeto do trabalho, às classes diferentes de Solo Exposto e Gramíneas foram remarcadas como Plantas Invasoras, com a finalidade de atender a definição de plantas invasoras segundo Voll et al. (2005), como plantas que crescem onde não são desejadas.

Para trazer a solução para as pastagens brasileiras, o segundo banco de imagens foi construído a partir das fotografias ortogonais de pastagens brasileiras, retiradas da plataforma Atlas das

Pastagens (<https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>). Cada imagem foi recortada seguindo a mesma regra do primeiro banco de imagens.

A partir das imagens recortadas, cada recorte foi segmentado manualmente com o auxílio do editor de imagens GIMP e de um algoritmo construído em Python pelos autores. Por ser um processo penoso, o segundo banco é constituído por 110 imagens com 4 classes, além das classes Solo Exposto, Gramínea e Planta Invasora; foi adicionada a classe Palhada.

O exemplo das imagens dos bancos de dados, seguido da segmentação, podem ser observados na figura 1.

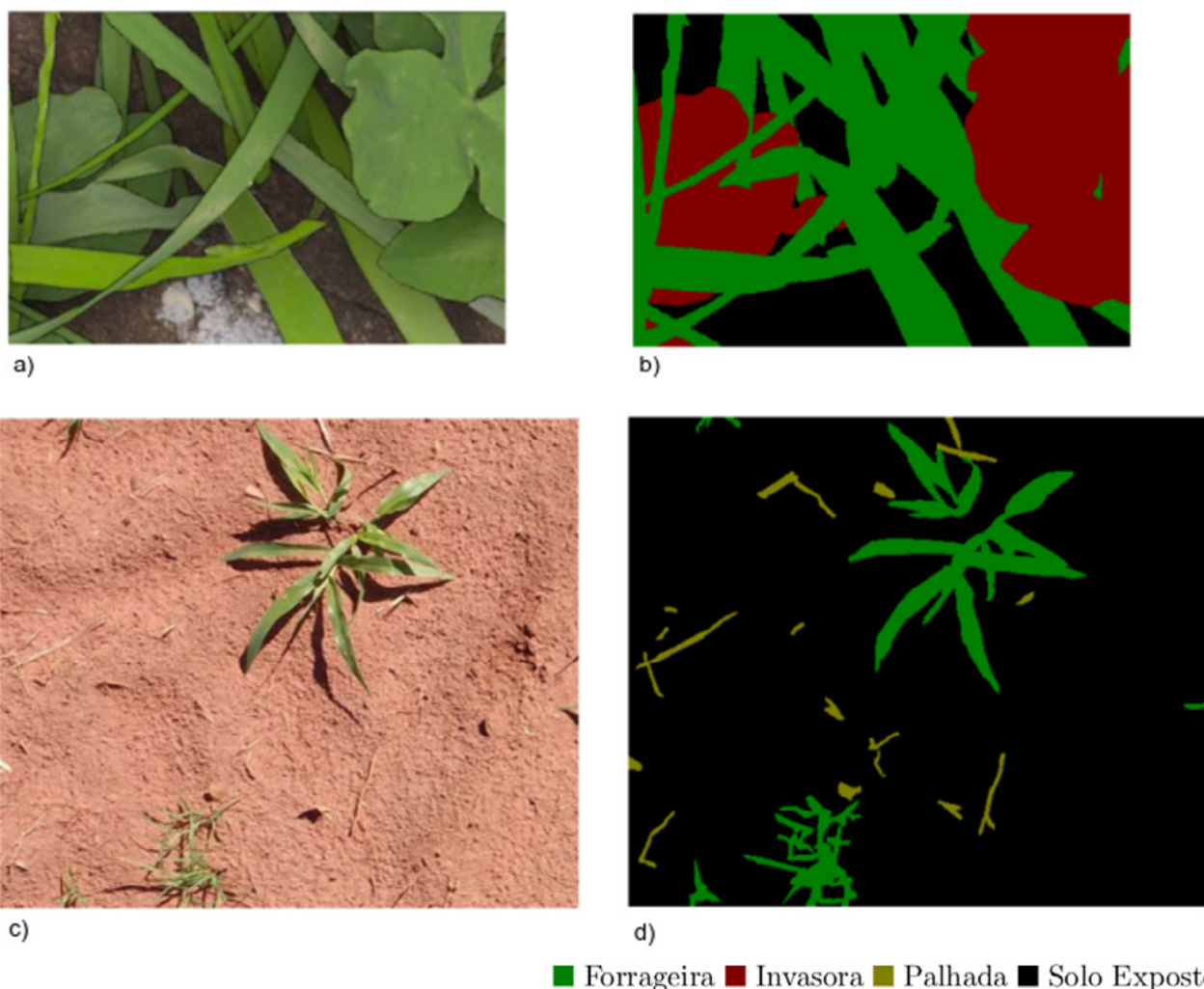


Figura 1. Exemplos das imagens dos bancos de dados; a) e b) pertencem ao primeiro banco de imagens, onde b) é a segmentação semântica de a); c) e d) pertencem ao segundo banco de imagens, onde, d) é a segmentação semântica de c)

Metodologia

O desenvolvimento desta pesquisa foi efetuada através das etapas descritas a seguir:

- Acesso ao data set The GrassClover;
- Seleção das 100 imagens, recorte e remarcação;
- Seleção das fotografias do Atlas das Pastagens, recorte e segmentação;
- Configuração do modelo DeepLabV3+ na plataforma Google Colab;

- Divisão dos Bancos de imagens em $\frac{2}{3}$ para treinamento e $\frac{1}{3}$ para validação
- Treinamento com o primeiro banco;
- Validação com o primeiro banco;
- Treinamento com o segundo banco, usando os pesos adquiridos no primeiro treinamento;
- Validação com o segundo banco.

Os bancos foram treinados e validados utilizando os três extratores de características disponíveis: Xception 65, MobileNet V2 e ResNet 101. As configurações para o processo de treinamento com o primeiro banco foram definidos de acordo com a **tabela 1**.

As configurações com o segundo banco foram as mesmas do primeiro, porém as variáveis training_number_of_steps foi igual a 60000 e tf_initial_checkpoint recebeu o local dos pesos resultantes do primeiro treinamento. Essa técnica é conhecida como Transferência de Aprendizado (Akram et al., 2018) que é utilizada para melhorar o desempenho dos modelos de aprendizado supervisionado quando há poucas amostras.

Para avaliação, o modelo foi configurado de acordo com a **tabela 2**.

Tabela 1. Parâmetros na frase de treinamento.

Parâmetros	RNC		
	Xception 65	MobileNet V2	ResNet 101
training number of steps	50000	50000	50000
atrous rates	6,12,18	6,12,18	6,12,18
output stride	16	16	16
decoder output stride	4	4	4
train crop size	512,512	512,512	512,512
train batch size	1	1	1
optimizer	adam	adam	adam
fine tune batch norm	False	False	False
initialize last layer	False	False	False
last layers contain logits only	True	True	True

Tabela 2. Parâmetros na frase de validação.

Parâmetros	RNC		
	Xception 65	MobileNet V2	ResNet 101
atrous rates	6,12,18	6,12,18	6,12,18
output stride	16	16	16
decoder output stride	4	4	4
eval crop size	512,512	512,512	512,512

Análise estatística

Para avaliação dos modelos de segmentação semântica, as seguintes métricas podem ser utilizadas: Precision, Pixel Accuracy, Intersection Over Union (IoU), Mean Intersection Over Union (MIoU) e F1-Score. Todas as métricas citadas, podem ser encontradas a partir da matriz de confusão seguindo as equações a seguir:

$$PixelAccuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$Precisão = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$S = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1-Score = \frac{Precisão \times S}{Precisão + S}$$

$$IoU = \frac{TP}{TP + FN + FP}$$

$$MIoU = \sum_{i=1}^n IoU / n$$

Resultados e Discussão

Após os treinamentos, as matrizes de confusão dos resultados com o primeiro banco de imagens podem ser observadas na **figura 2**.



Figura 2. Matrizes de confusão utilizando o primeiro banco de imagens; a) Matriz de confusão Xception 65; b) Matriz de confusão com MobileNet V2; c) Matriz confusão com ResNet 101

As matrizes de confusão dos resultados com o segundo banco de imagens podem ser observadas na **figura 3**.



Figura 3. Matrizes de confusão utilizando o segundo banco de imagens (Imagens do Brasil) ; a) Matriz de confusão Xception 65; b) Matriz de confusão com MobileNet V2; c) Matriz confusão com ResNet 101

A partir das matrizes de confusão dos dois bancos de imagens, podemos calcular as métricas de avaliação citadas anteriormente. As **tabelas 3 e 4** apresentam os resultados do primeiro e segundo banco de imagens, respectivamente.

Tabela 3. Resultados utilizando o primeiro banco de imagens (The GrassClover Image Dataset for Semantic and Hierarchical Species Understanding in Agriculture)

	Solo	Invasora	Gramínea	Total
Xception 65				
Precisão	97,7%	93,8%	85,1%	-
Sensibilidade	97%	94%	85,3%	-
F1-Score	97,3%	94%	85%	-
IoU	94,8%	88,7%	74,2%	-
MIoU	-	-	-	85,9%
Pixel Accuracy	-	-	-	92,3%
MobileNet V2				
Precisão	95,5%	90,3%	86,6%	-
Sensibilidade	98,8%	94,8%	74,3%	-
F1-Score	97,1%	92,5%	79,9%	-

Continua...

Tabela 3. Continuação.

	Solo	Invasora	Gramínea	Total
IoU	94,5%	86,1%	66,6%	-
MIoU	-	-	-	82,4%
Pixel Accuracy	-	-	-	90,3%
Resnet 101				
Precisão	97,4%	93,6%	90,6%	-
Sensibilidade	97,8%	96,4%	83,8%	-
F1-Score	97,6%	95%	87,1%	-
IoU	95,3%	90,5%	77,1%	-
MIoU	-	-	-	87,6%
Pixel Accuracy	-	-	-	93,5%

Tabela 4. Resultados utilizando o segundo banco de imagens (Imagens do Brasil).

	Solo	Invasora	Gramínea	Palhada	Total
Xception 65					
Precisão	85,5%	78,1%	77,6%	65,5%	-
Sensibilidade	87,2%	70,5%	82,9%	62%	-
F1-Score	86,4%	74,1%	80,1%	63,7%	-
IoU	76%	58,9%	66,9%	46,7%	-
MIoU	-	-	-	-	62,1%
Pixel Accuracy	-	-	-	-	79,3%
MobileNet V2					
Precisão	83,3%	75%	67,1%	68,1%	-
Sensibilidade	91,1%	45,1%	82,6%	55,6%	-
F1-Score	87%	56,3%	74,1%	61,2%	-
IoU	77%	39,2%	58,8%	44,1%	-
MIoU	-	-	-	-	54,8%
Pixel Accuracy	-	-	-	-	76,3%
Resnet 101					
Precisão	88,7%	95%	86,1%	77,1%	-
Sensibilidade	91,3%	83%	91,6%	73,3%	-
F1-Score	89,9%	88,6%	88,8%	75,2	-
IoU	81,8%	79,6%	79,8%	60,2	-
MIoU	-	-	-	-	75,4%
Pixel Accuracy	-	-	-	-	86,8%

A **figura 4** mostra a comparação das imagens obtidas pelo modelo no primeiro banco de imagens. Já os exemplos do segundo banco, podem ser observados na **figura 5**.

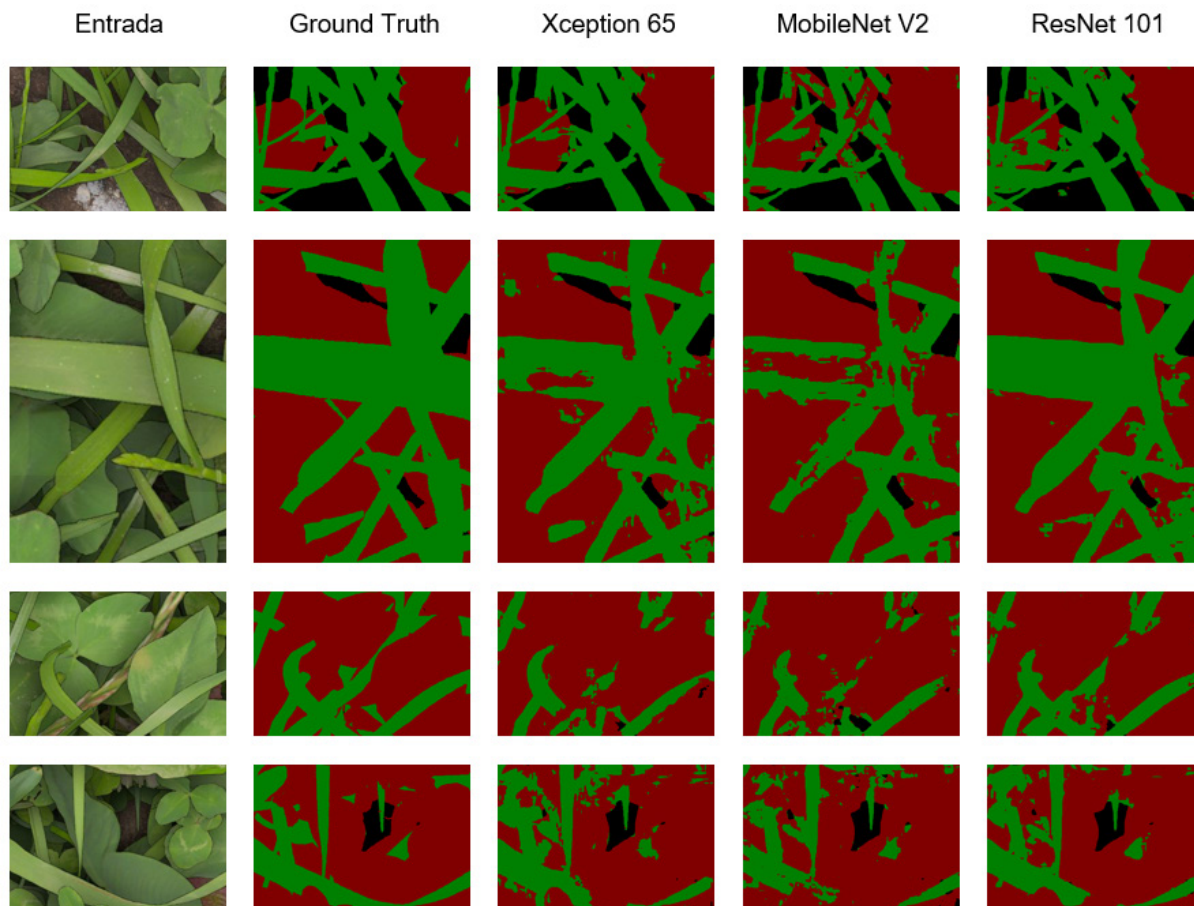


Figura 4. Predições do modelo utilizando o primeiro banco de imagens (The GrassClover Image Dataset for Semantic and Hierarchical Species Understanding in Agriculture)

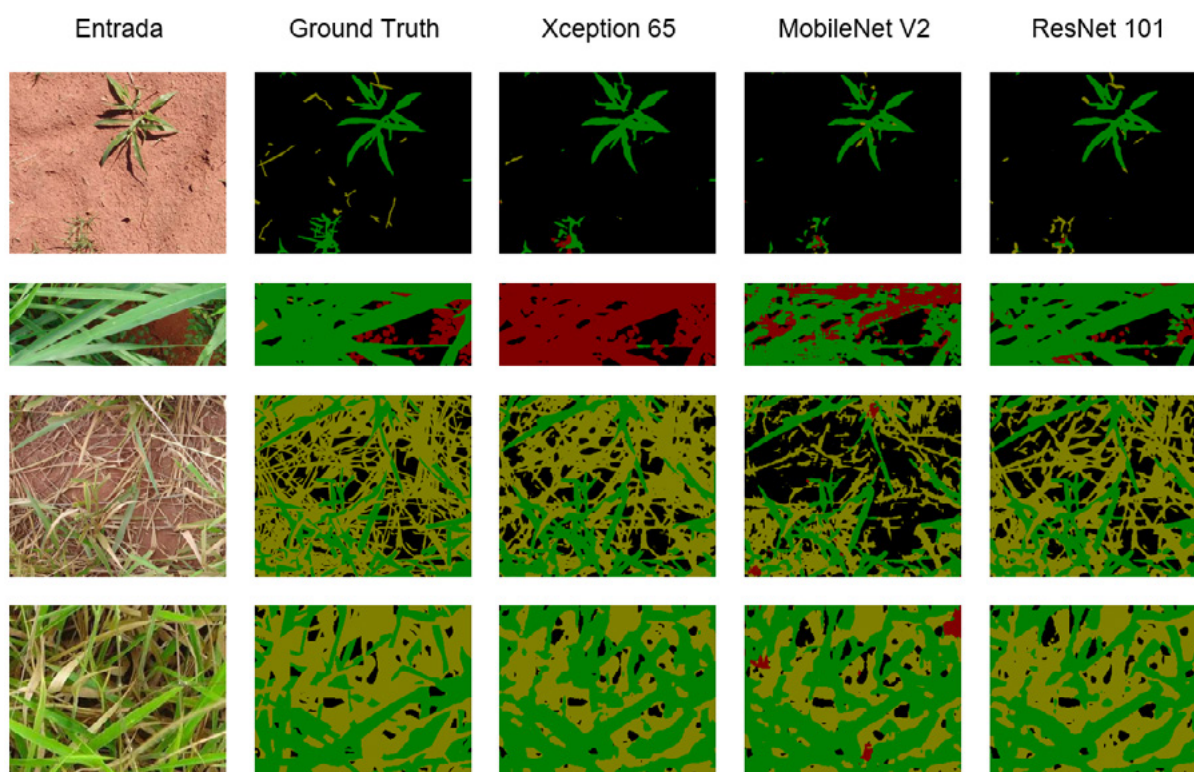


Figura 5. Predições do modelo utilizando o segundo banco de imagens (Imagens do Brasil)

Conclusões

Inicialmente foi necessário o uso do conjunto de dados The GrassClover Image Dataset for Semantic and Hierarchical Species Understanding in Agriculture, banco de imagens mais promissor encontrado que atendesse o objetivo deste trabalho. Depois da rotulação das classes para adequar o banco de imagens e recortes devido às limitações de hardware, o modelo DeepLabV3+ mostrou-se ser uma arquitetura confiável com resultados de MIoU até 87,6% utilizando o extrator de características ResNet 101.

Para tornar o modelo funcional com pastagens nacionais, um pequeno banco de imagens foi construído com fotografias do Brasil. Utilizou-se a técnica de transferência de aprendizado com os pesos obtidos no treinamento anterior, com objetivo de aumentar a eficiência do modelo com um pequeno montante de imagens. Diferente dos primeiros resultados, nesta etapa pode-se observar um destaque utilizando a rede convolucional ResNet 101 em comparação às demais redes, tendo os melhores resultados com as métricas apresentadas neste trabalho: precisão, sensibilidade F1-score, IoU, MIoU e Pixel Accuracy; os valores de cada métrica pode ser observado na **tabela 4**, destacados em negrito.

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que o modelo DeepLabV3+ é apto em realizar a segmentação semântica nos dois bancos apresentados neste trabalho, sendo assim, o modelo pode subsidiar a classificação da degradação de pastagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa (Projeto REINSERTEC) e a UERJ que deram o suporte técnico-científico e acadêmico necessário para a realização do presente trabalho. Agradecem ainda ao CNPq pelo financiamento na forma de bolsa de iniciação científica (PIBIC)

Referências

- CHEN, L.-C. et al. **Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation**. In: Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV). [S.l.: s.n.], 2018. p. 801–818.
- DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. rev. atual. e ampl. Belém, PA, 2011.
- FILHO, C. S.; MONTEIRO, F. A.; CORSI, M. **Recuperação de pastagens degradadas de brachiaria decumbens**. 1. efeito de diferentes tratamentos de fertilização e manejo. Pasturas Tropicales, v. 14, n. 2, p. 7–13, 1992.
- LONG, J.; SHELHAMER, E.; DARRELL, T. **Fully convolutional networks for semantic segmentation**. In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. [S.l.: s.n.], 2015. p. 3431–3440.
- MACEDO M. C. M.; ZIMMER, A. H. **Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária**. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMA DE PASTAGENS, 2., Jaboticabal. Anais., Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, 1993., p. 216–245, 1993.
- PAULINO, V.T.; SCHUMANN, A.M.; SILVA, S.C.; RASQUINHO, N.M.; SANTOS, K.M. **Impactos ambientais da exploração pecuária em sistemas intensivos de pastagens**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.33, n.266, p.17-24, 2012.
- SALDANHA, Marcus FS; FREITAS, C. **Segmentação de imagens digitais: Uma revisão**. Divisão de Processamento de Imagens-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São Paulo, 2009.
- SKOVSEN, S. et al. **The grassclover image dataset for semantic and hierarchical species understanding in agriculture**. In: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. [S.l.: s.n.], 2019.
- VOLL, E. et al. **A dinâmica das plantas daninhas e práticas de manejo**. [S.l.]: Embrapa Soja Londrina, 2005. v. 260.

Efeito da aplicação de diferentes frações granulométricas de rocha fosfática de Pratápolis em plantas de milho⁽¹⁾

João Augusto Dourado Loiola⁽²⁾; Vinícius de Melo Benites⁽³⁾; Gabriel Carlos Francisco⁽⁴⁾; Jéssica Franciele Kaminski Ramos⁽⁵⁾; Everaldo Zonta⁽⁶⁾; Paulo César Teixeira⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa, da Mineração Morre Verde LTDA (25100.20/0009-3) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). ⁽²⁾ Bolsista Cnpq, Discente de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). ⁽³⁾ Pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Solos). ⁽⁴⁾ Discente de Engenharia química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. ⁽⁵⁾ Mestranda em Agronomia (Ciência do Solo) do Departamento de Solos da UFRRJ. ⁽⁶⁾ Professor Titular do Departamento de Solos da UFRRJ.

Resumo – O objetivo do trabalho foi avaliar, em casa de vegetação, frações granulométricas de uma rocha sedimentar fosfática de Pratápolis- MG (FR) em relação à produção de matéria seca e acúmulo de fósforo em milho. As frações granulométricas foram: rocha “tal e qual”, grossa, fina, “tal e qual” moída e passante em 48 mesh, grossa moída e passante em 48 mesh e média moída e passante em 48 mesh. As granulometrias foram comparadas com fonte solúvel (fosfato monocalcico) aplicada em solução. O experimento foi arranjado no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Em três ciclos sequenciais de 45 dias cada, determinou-se a matéria seca (MSPA) e acúmulo de fósforo na parte aérea das plantas de milho. A eficiência relativa das FR em relação à fonte solúvel e ao controle foi determinada para MSPA. A fração média apresentou MSPA acumulada dos três cultivos estatisticamente semelhante à fonte solúvel. No acúmulo de fósforo, a fonte solúvel de P, quando aplicada de forma completa e parcelada, foi estatisticamente superior aos demais tratamentos. As frações fina, grossa e grossa moída não influenciaram significativamente o acúmulo de P em relação ao controle no 1º cultivo e no acumulado dos três cultivos. A fonte solúvel, quando aplicada de forma completa e parcelada, apresentou maior acúmulo de fósforo na parte aérea em relação aos FR nas diferentes granulometrias. A eficiência relativa das frações da rocha fosfática aumentou no acumulado dos três cultivos em relação ao primeiro cultivo, mostrando potencial efeito residual.

Palavras-Chave: Rocha fosfática, Zea mays L., Rochagem, Adubação fosfatada, granulometria

Introdução

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes fosfatados do mundo (ANDÁ, 2021). Em 2019, o País consumiu 5,2 milhões de toneladas de P_2O_5 , sendo que nos últimos cinco anos obteve uma taxa de crescimento de consumo de 3,2 % a.a. A produção interna de fertilizantes fosfatados não supre a demanda do país, tornando-o dependente das importações de fertilizantes fosfatados, que em 2020 foi de 72% (ANDÁ, 2021; BRASIL, 2021).

A grande maioria dos solos brasileiros possui alto grau de intemperismo, alta acidez trocável, baixo teor de fósforo e uma alta capacidade de fixação de fósforo, formando ligações químicas com minerais de ferro e alumínio. Desta forma, há demanda de maiores quantidades de fertilizantes fosfatados para contornar as perdas por fixação (Raij, 2011).

O fosfato natural (FR) é um produto proveniente da moagem da rocha fosfática contendo teores variados de P_2O_5 , e diferente solubilidade em ácido cítrico (2% relação 1:100) dependendo de sua origem. Segundo Horowitz & Meurer (2003), fosfatos naturais apresentam maior índice de eficiência agrônômica quanto mais finamente moídos.

Nos fosfatos naturais, a liberação do nutriente ocorre de mais forma lenta em relação às fontes solúveis, podendo diminuir os processos de fixação de fósforo, além de ter efeitos residuais mais prolongados no solo (Resende et al., 2006).

O objetivo do trabalho foi avaliar agronomicamente diferentes frações granulométricas de uma rocha sedimentar fosfática de Pratápolis-MG em relação à produção de matéria seca e acúmulo de fósforo em plantas de milho, em ensaio em vasos.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Solos da UFRRJ, município de Seropédica-RJ. Utilizou-se como substrato, amostras de solo da camada de 0-20 cm de profundidade, classificado como Latossolo Vermelho conforme Santos et al. (2018). As amostras foram secas ao ar, tamisadas em peneira de 4 mm, e posteriormente incubadas com CaCO_3 (p.a.). A caracterização química do solo, após correção, foi feita conforme Raij et al. (2001) e Teixeira et al. (2017) apresentando as seguintes características químicas: $\text{Na}_{\text{Mehlich}}$ ($0,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); K_{resina} ($5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); $\text{Mg}_{\text{resina}}$ ($4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); $\text{Ca}_{\text{resina}}$ ($29 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); H+Al ($39 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Al_{KCl} ($0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$); pH H_2O (5,8); pH CaCl_2 (4,95); V% (47); $\text{P}_{\text{Mehlich}}$ ($0,4 \text{ mg dm}^{-3}$) e P_{resina} (3 mg dm^{-3}).

A rocha fosfática utilizada neste estudo advém de jazida sedimentar de Pratápolis-MG, pertencente à Mineração Morro Verde. A fração grossa continha as seguintes características mineralógicas: 51,8% de quartzo; 32,8% de fluorapatita e 15,5% de mica; a fração média continha 47,5% de quartzo; 46% de fluorapatita e 6,5% de mica; a fração fina continha 50,5 % de quartzo, 41,7% de fluorapatita e 6,9 % de mica.

As diferentes frações granulométricas da rocha fosfática foram analisadas quimicamente e os resultados entroncam-se na Tabela 1.

A distribuição total de óxidos da rocha tal e qual, determinada por fluorescência de raios-x, apresentou os seguintes resultados, P_2O_5 (16,5%); CaO (21,6%); Al_2O_3 (8,54%); Fe_2O_3 (7,92%); K_2O (1,6%); MgO (0,51%); MnO (0,54%); Na_2O (0,23%); BaO (0,16%); SiO_2 (37,7%); TiO_2 (0,52%).

Tabela 1. Fósforo total (P_{total}) e solúvel em ácido cítrico ($\text{P}_{\text{cítrico}}$) em diferentes frações granulométricas de rocha fosfática de Pratápolis.

Descrição	Ident.	Diâmetro	P_{total}	$\text{P}_{\text{cítrico}}$
mg P g ⁻¹				
Todas as frações	RTQ	todos	11,31	6,22
Grossa	RG	>1mm	9,21	1,69
Média	RM	0,3<Ø<1mm	14,04	7,26
Fina	RF	<0,3mm	9,56	5,77
Tal e qual moída	RTQm	<0,3mm	11,31	6,22
Grossa moída	RGm	<0,3mm	9,21	1,69
Média moída	RMm	<0,3mm	14,04	7,26

Tratamentos e amostragens

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições e 10 tratamentos. As unidades experimentais foram compostas de vasos plásticos de 2 dm^{-3} , contendo 1,8 kg de solo. A planta indicadora foi o milho híbrido BM 3066. Os tratamentos consistiram de: 1) Rocha pura “tal e qual” - RTQ (incluindo todas as frações granulométricas, continha $11,31 \text{ mg P g}^{-1}$), 2) rocha grossa - RG ($\text{Ø} > 1\text{mm}$, continha $9,21 \text{ mg P g}^{-1}$), 3) rocha média - RM ($1 < \text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, continha $14,04 \text{ mg P g}^{-1}$), 4) rocha fina - RF ($\text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, continha $9,56 \text{ mg P g}^{-1}$), 5) rocha “Tal e qual” moída - RTQm ($\text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, continha $11,31 \text{ mg P g}^{-1}$), 6) rocha grossa moída - RGm ($\text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, $9,21 \text{ mg P g}^{-1}$), 7) rocha média moída - RMm ($\text{Ø} < 0,3 \text{ mm}$, continha $14,04 \text{ mg P g}^{-1}$), 8) Fosfato monocálcico aplicado em solução em aplicação única no 1º cultivo - PS, 9) Fosfato monocálcico aplicado em solução, de forma parcelada - PSp (50 % no 1º e 50% no 2º cultivo) e 10) tratamento controle, sem aplicação de fósforo. Para os tratamentos 5, 6 e 7, as correspondentes frações granulométricas foram moídas até atingirem diâmetro $< 0,3 \text{ mm}$. Todos os tratamentos, com exceção do

controle, receberam o total equivalente a 100 mg de P kg⁻¹ de solo ou 180 mg de P vaso⁻¹ de forma incorporada no volume total do solo antes do 1º cultivo, com exceção do tratamento com fonte solúvel parcelada, cuja aplicação foi com 50% no 1º e 50% no 2º cultivo. A definição da dose de fósforo foi realizada em experimento preliminar analisando curva de resposta a P para o referido solo.

Em todas as unidades experimentais foram semeadas oito sementes e, em seguida, foram adicionados 100 mL de solução nutritiva contendo 100 mg kg⁻¹ de N (Sulfato de amônio), 80 mg kg⁻¹ de K (Sulfato de potássio), 80 mg kg⁻¹ de Mg (Cloreto de Magnésio), 0,15 mg kg⁻¹ de Mo (Molibdato de sódio), 1 mg kg⁻¹ de B (Ácido Bórico), 4 mg kg⁻¹ de Cu (Sulfato de cobre), 8 mg kg⁻¹ de Mn (Cloreto de manganês), 4 mg kg⁻¹ de Zn (Sulfato de Zinco). Três dias após a emergência foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso.

Após os 45 dias de cada plantio, as plantas foram seccionadas ao nível do solo. As amostras foram transferidas para estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Após a secagem, foi determinada a massa seca seguida de moagem do material em moinho tipo Wiley. A determinação de nutrientes nas amostras vegetais foi realizada conforme Malavolta et al. (1997).

Determinou-se a eficiência relativa (ER) dos fertilizantes de acordo com a equação seguinte.

$$ER = \frac{(MSPA_tratamento) - (MSPA_controle)}{(MSPA_trat\ PS) - (MSPA_controle)} \times 100$$

Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett (5% de significância) e ao teste de Shapiro-Wilk (5% de significância). Os dados que não atenderam os requisitos dos testes, foram tratados com Box-Cox ou raiz quadrada. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software R. Os pacotes utilizados foram easyanova (Arnhold, 2013), e ggplot2 (Wickham, 2016).

Resultados e Discussão

No primeiro plantio, o tratamento com aplicação de solução de fosfato monocálcico p.a. na dose de 100 mg/kg (Fsfc) foi estatisticamente superior aos demais tratamentos em relação à produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e acúmulo de P (Figura 1). A fonte solúvel, mesmo aplicada com metade da dose (parcelado), ainda foi superior aos demais tratamentos com aplicação do fosfato de rocha nas diferentes granulometrias, o que pode ser justificado pela alta solubilidade do fosfato monocálcico p.a e a rápida disponibilização de fósforo para a solução do solo (Vitti et al., 2003). Os dois tratamentos proporcionaram médias superiores no acúmulo de fósforo quando comparados ao fosfato natural nas diferentes frações granulométricas. Ainda, entre os tratamentos com fosfato de rocha, a fração média se destacou tanto na MSPA quanto no acúmulo de P em relação aos demais FR, o que pode ser explicado pela maior solubilidade em ácido cítrico desta fração (Tabela 1). As frações fina, grossa e grossa moída não influenciaram significativamente o acúmulo de P em relação ao controle no 1º cultivo e no acumulado dos três cultivos (Figuras 1 e 2). Os demais tratamentos se mostraram superiores ao controle. Horowitz & Meurer (2003) verificaram que o acúmulo de fósforo na parte aérea, resultante da aplicação de fosfatos naturais, foi superior ao do controle, indicando que fosfatos, nesta forma, também podem suprir fósforo às plantas.

A cominuição, por meio do processo de moagem da rocha, facilita a solubilização do fosfato, por meio do aumento da superfície dos minerais, contribuindo para maior ação dos agentes intempéries (Brito et al., 2019). Entretanto, a mineralogia das diferentes frações granulométricas pode explicar a razão de a fração média ter se destacado em relação às demais.

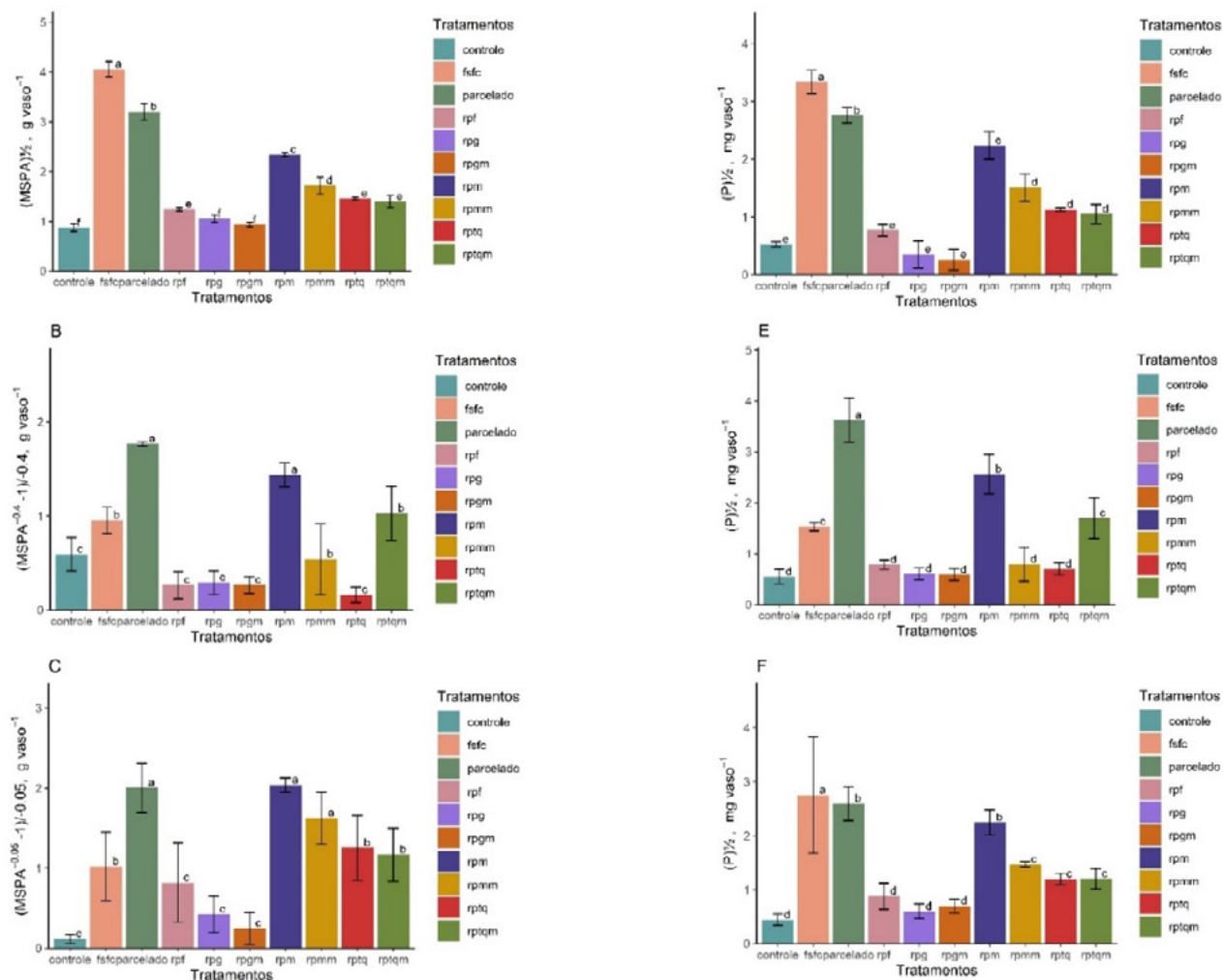


Figura 1. Massa seca (MSPA) e acúmulo de fósforo (P1/2) na parte aérea de plantas de milho no primeiro (A e D), segundo (B e E) e terceiro (C e F) plantios em funcao da aplicação de diferentes frações granulométricas de rocha fosfática de Pratápolis e de fonte solúvel de P. Letras diferentes representam diferença significativa, letras iguais representam semelhança estatística a 5% Scott-Knott. Controle (sem fósforo), fsfc (solução de fosfato monocálcico), parcelado (solução de fosfato monocálcico parcelada em 2 cultivos), rpf (fração rocha fina), rpg (fração rocha grossa), rpgm (fração rocha grossa moída), rpm (fração rocha média), rpmm (fração da rocha média moída), rptq (rocha “tal e qual”) e o rptqm (rocha “tal e qual” moída)

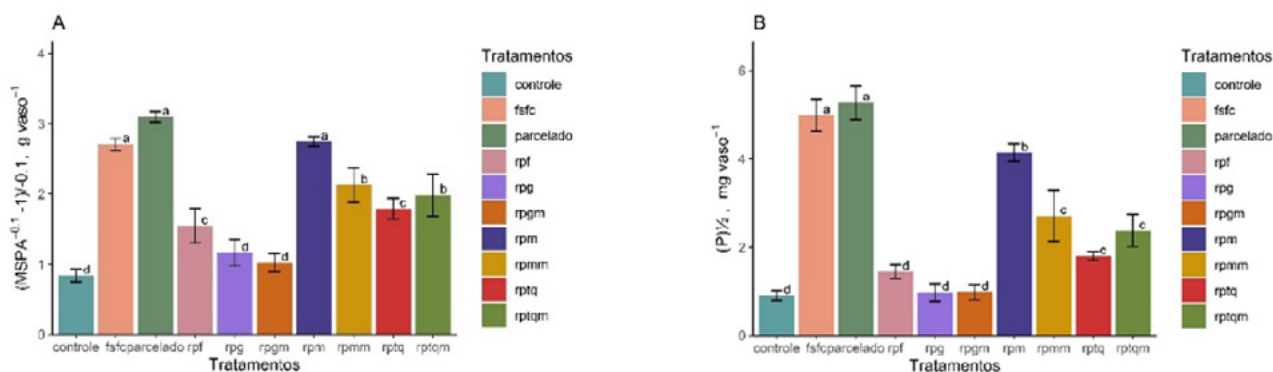


Figura 2. Massa seca (A) e acúmulo de fósforo (B) na parte aérea das plantas de milho acumulado nos três cultivos sequenciais. Letras diferentes representam diferença significativa, letras iguais representam semelhança estatística a 5% Scott-Knott. Controle (sem fósforo), fsfc (solução de fosfato monocálcico), parcelado (solução de fosfato monocálcico parcelada em 2 cultivos), rpf (fração rocha fina), rpg (fração rocha grossa), rpgm (fração rocha grossa moída), rpm (fração rocha média), rpmm (fração da rocha média moída), rptq (rocha “tal e qual”) e o rptqm (rocha “tal e qual” moída)

Na avaliação da matéria seca acumulada dos três plantios (Figura 2), os tratamentos com as fontes solúvel, solúvel parcelada e a fração média exibiram médias estatisticamente iguais e superiores aos demais tratamentos. No acúmulo de fósforo nos três plantios (Figura 2), os tratamentos com fonte solúvel apresentaram médias estatisticamente semelhantes e superiores aos demais tratamentos. O tratamento com a fração média também obteve maior acúmulo de P quando comparado aos demais FR.

A fração média apresentou a maior eficiência relativa (ER) na produção de biomassa acumulada dos três cultivos entre as diferentes frações granulométricas, em relação aos tratamentos controle e com fonte solúvel aplicada em dose única, com 38% no 1º cultivo e 105% no acumulado dos três cultivos (Figura 3) enquanto a fração grossa, independente da moagem, apresentou os piores resultados. De maneira geral, a ER aumentou para todas as frações granulométricas quando considerado o acumulado nos três cultivos em relação ao 1º cultivo. A fonte solúvel, aplicada de forma parcelada nos dois primeiros cultivos, apresentou a maior eficiência relativa no acumulado dos três cultivos, mostrando que o parcelamento de P em cultivos sequenciais foi mais eficiente que a aplicação em dose única no 1º cultivo.

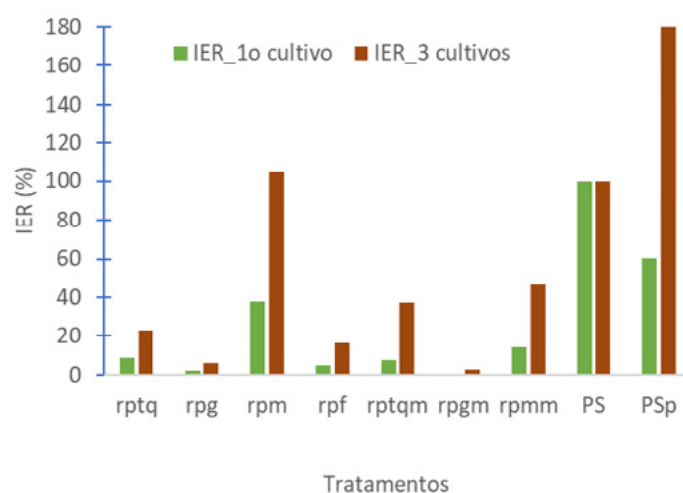


Figura 3. Índice de eficiência relativa (IER) para produção de matéria seca da parte aérea de plantas de milho em função da aplicação de rocha fosfática com diferentes granulometrias, referente ao 1º cultivo e ao acumulado em três cultivos. PS (solução de fosfato monocálcico em dose única no 1º cultivo), PSp (solução de fosfato monocálcico parcelada nos dois primeiros cultivos), rpf (fração rocha fina), rpg (fração rocha grossa), rpgm (fração rocha grossa moída), rpm (fração rocha média), rpmm (fração da rocha média moída), rptq (rocha “tal e qual”) e o rptqm (rocha “tal e qual” moída)

Conclusões

A fração granulométrica média de rocha fosfática de Pratápolis apresentou produção de matéria seca da parte aérea acumulada em três cultivos estatisticamente semelhante à aplicação de fonte solúvel.

A fonte solúvel, quando aplicada de forma completa e parcelada, apresentou maior acúmulo de fósforo na parte aérea em relação aos fosfatos nas diferentes granulometrias.

A eficiência relativa das diferentes frações da rocha fosfática aumentou no acumulado dos três cultivos em relação ao primeiro cultivo, mostrando potencial efeito residual dessas fontes.

Referências

- ARNHOLD, E. Pacote no ambiente R para análise de variância e análises complementares. **Revista Brasileira de Pesquisa Veterinária e Zootecnia**, v.50, n.6, p.488-492, 2013.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2020**. São Paulo: ANDA, Comitê Estatístico, 2021.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050) Brasília: SAE, 2021. 195p.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p.41-47, 2003.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in soil science and plant analysis**, v.15, n.12, p.1409-1416, 1984.
- OELKERS, E.H. General kinetic description of multioxide silicate mineral and glass dissolution. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.65, p.3703–3719, 2001.
- RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 218p.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RESENDE, A.V.D., FURTINI NETO, A.E., ALVES, V. M.C., MUNIZ, J.A., CURTI, N., & LAGO, F.J.D. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.3, p.458-466, 2006.
- SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., DOS ANJOS, L.H.C., DE OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, L.F., COELHO, M.R., & CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- TEIXEIRA, P.C., DONAGEMMA, G.K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: EMBRAPA. 573p. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>
- VITTI, G.C.; WIT, A., FERNANDES, B.E.P. Eficiência agrônômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: Simpósio fósforo na agricultura brasileira. São Pedro: ANDA, p.726,2003.
- WICKHAM, H. ggplot2: **Elegant graphics for data analysis**. New York, NY: Springer, 2016.

Efeito priming e espectroscopia NIR-VIS para avaliar adição de fontes orgânicas e mineral no solo ⁽¹⁾

Glauter Henrique Sotero Martins ⁽²⁾; Juliana Junqueira Pedras Cabral⁽³⁾; Renan Camilo Brites Silva ⁽⁴⁾; Rosângela Straliotho ⁽⁵⁾; Fabiano de Carvalho Balieiro ⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. ⁽²⁾ Graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, bolsista da Embrapa. ⁽³⁾ Graduada em Ciências Biológicas Licenciatura pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. ⁽⁴⁾ Graduando em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, bolsista PIBIC/CNPq. ⁽⁵⁾ Pesquisador(a), Embrapa Solos. ⁽⁶⁾ Pesquisador(a), Embrapa Solos.

Resumo – Este estudo, de médio prazo (1-2 anos), pretende avaliar as mudanças nos compartimentos lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo, bem como contribuir para evolução de ferramentas de detecção da quantidade e qualidade de carbono do solo, de áreas que tiveram aplicação de diferentes resíduos orgânicos ou organominerais. Diferentes fontes e doses de carbono foram incorporadas a um Cambissolo catalisando taxas de incremento da humificação. Espectros das misturas nas diferentes doses foram coletados em infravermelho próximo. Resultados preliminares demonstram potencial da técnica em segregar os resíduos assim que adicionados ao solo. Há expectativa de que essas diferenças diminuam com o tempo. Semestralmente pretende-se adquirir novos espectros e realizar o fracionamento físico das amostras para entender a sensibilidade da técnica na detecção de fontes diferenciadas de C e o impacto destes nos estoques e qualidade do C das frações.

Palavras-Chave: priming effect; Plano ABC+; estoque de C do solo; sequestro de C pelo solo.

Introdução

A agropecuária é um importante motor da riqueza econômica brasileira. A partir de seus diferentes segmentos, o agronegócio representa cerca de 27,4% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (CEPEA, 2022).

Decorrente dessas atividades, resíduos orgânicos diversos passam a representar fontes de matéria prima para produção de combustíveis, insumos químicos e energia. Apenas as agroindústrias de cana-de-açúcar, arroz, mandioca, trigo, citrus, coco e material graminóide oriundo da produção de sementes de gramíneas geram, juntos, 597 toneladas de resíduos anualmente (Ferreira-Leitão et al., 2020). Embora boa parte desses resíduos ainda sejam descartadas em aterros, sem uso mais nobre, o fortalecimento de cadeias emergentes de produção de insumos organominerais tem sido estimulado pelo Plano Nacional de Fertilizantes (PNF, 2021) de forma a tornar o país menos dependente das exportações de insumos minerais, ao mesmo tempo que estimulam a economia circular no agronegócio brasileiro e a melhoria da qualidade de solos marginais.

A entrada de diferentes materiais orgânicos ao solo pode afetar positiva ou negativamente a matéria orgânica nativa do solo, sendo esse efeito chamado *priming effect* (Kuzakov et al., 2000). Sob aspecto ecológico e agronômico, o efeito *priming* negativo é mais interessante na medida em que minimiza perdas de C nativo, com possibilidades (também) de incremento dos estoques de C oriundos das mudanças proporcionadas pela entrada de material orgânico e o tamanho/quantidade da biomassa microbiana construída com tal alteração de manejo. Assim, estudos que demonstram como diferentes resíduos afetam a matéria orgânica do solo (MOS) são importantes quando se pretende melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, e seus estoques de C.

Este estudo, de médio prazo (1-2 anos), pretende avaliar as mudanças nos compartimentos lábeis e estáveis da MOS, bem como contribuir para evolução de ferramentas de detecção da quantidade e qualidade de C do solo, de áreas que tiveram aplicação de diferentes resíduos orgânicos ou organominerais. Pretende-se contribuir com o Plano ABC+ (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) (BRASIL, 2021) que tem como objetivo financiar produtores interessados na adoção de práticas agrícolas que promovam a manutenção ou incremento do C no solo. Como a análise de C do solo destas áreas é obrigatória, em fases de monitoramento das áreas auditáveis pretende-se

contribuir com o avanço do uso da espectroscopia do Infravermelho próximo e visível (Vis-NIR), na detecção da qualidade e quantidade do C do solo.

A espectroscopia baseada no Vis-NIR é uma das técnicas alternativas mais promissoras para serem utilizadas em análises rotineiras de solo preconizada pela química verde, uma vez que esta técnica é considerada rápida, não destrutiva, requer mínimo ou nenhum tratamento amostral, além de considerável redução na geração de resíduos químicos e trabalho (Souza, 2014; de Santana et al., 2021). Esse trabalho apresenta resultados preliminares com o uso de equipamento portátil, porém com uma faixa espectral mais restrita que vai de 900 até 1700nm. Já é possível fazer análises confiáveis e precisas pela tecnologia vis-NIR e quantificar o C total e estocado em faixas espectrais mais amplas que vão de 780 a 2500nm (SPEC SOLO, 2018)

Material e Métodos

Amostras de solo e resíduos orgânicos incorporados

Amostras de Cambissolo (0-20cm) sob pastagem antiga (mais de 30 anos com *Brachiaria* (Syn. *Urochloa brizantha*) e representativa das encostas do Médio Vale Paraíba do Sul foram coletadas na Fazenda Santa Mônica, município de Valença, RJ. Aproximadamente 70 kg de solo foram secos ao ar e peneirados (<4mm) para retirada do material orgânico mais grosseiro e manutenção da estrutura física natural dos agregados. Após a peneiração, a amostra foi colocada na «bombona» de 200L e o material foi homogeneizado para então ser armazenado para o experimento em recipientes fechados à temperatura ambiente. Foi determinado o teor de umidade, após secagem em estufa a 105°C, e a capacidade de campo (CC) das amostras de solo.

Diferentes fontes de carbono foram incorporadas à 200g de solo seco. A mistura foi feita cuidadosamente de forma a evitar quebra dos agregados, em sacos plásticos. Em seguida, a mistura foi transferida e acondicionada em potes plásticos de 350 ml. As fontes de carbono adicionadas ao solo, foram: composto de hortaliças (CH); composto suíno (CS); fertilizante organomineral (ORG); bagaço de malte (BM); biochar/carvão (BIO) e carbonato de cálcio (CC).

O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente casualizado, com 24 tratamentos, sendo estes a combinação de resíduos ou fertilizante organomineral, e carbonato de cálcio (CaCO_3), com 4 doses distintas. Um tratamento adicional, denominado testemunha absoluta, foi adicionado ao desenho experimental, e representa a ausência de adição de qualquer resíduo fonte de C. A fonte inorgânica de C (CaCO_3) foi incluída no desenho experimental de forma a mimetizar a aplicação de corretivos a base de carbonato, tal como o calcário. Foram estabelecidas 4 repetições, perfazendo um total de 100 unidades experimentais (UE).

A partir dos teores de C de cada resíduo/insumo adicionado e de posse da informação do total de C estocada na camada de 0-20cm do solo coletado, foi estimada a quantidade de C a ser adicionada de cada fonte para que os estoques fosse elevados para 0,2%; 0,4%; 0,8%; 1,2% de C (Minasny et al., 2016). Foi estabelecida uma taxa física de fixação dos resíduos de 30%. Desse modo foi definido estequiometricamente a quantidade de cada resíduo por dose (Tabela 1) de acordo com a concentração de carbono total de cada composto (Figura 1).

Obtenção dos espectros NIR e tratamento estatístico dos dados:

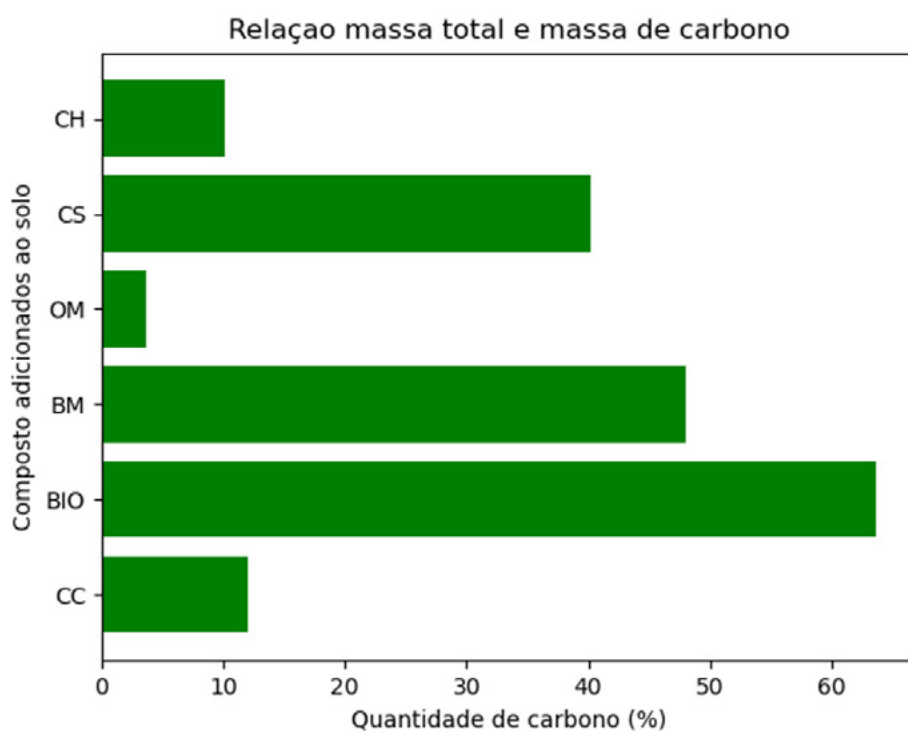
Os espectros NIR foram coletados antes do umedecimento do solo e antes das unidades experimentais terem sido levadas a estufa. Para tanto, foi utilizado um NIR portátil (modelo DLP® NIRscan™ Nano EVM), os dados foram captados por uma média de 64 leituras e salvos em absorbância na faixa de 900 até 1700nm.

Tabela 1. Quantidade de cada uma das fontes de carbono (g da fonte de C/pote de 200g de solo seco) adicionada a cada unidade experimental, em cada dose de carbono (D1 a D4) adicionada ao solo no experimento.

Fonte de Carbono	D1 0,2%	D2 0,4%	D3 0,8%	D4 1,2%
CH	0,4090	0,8181	1,6362	2,4543
CS	0,1143	0,2286	0,4573	0,6859
ORG	1,1831	2,3662	4,7324	7,0986
BM	0,0982	0,1963	0,3926	0,5890
BIO	0,0207	0,0414	0,0827	0,1241
CC	0,3324	0,6649	1,3298	1,9946

CH=composto de hortalças; CS=composto suíno; ORG=fertilizante organomineral; BM=bagaço de malte; BIO=biochar/carvão; CC= carbonato de cálcio.

Figura 1. Relação percentual entre a massa total dos compostos adicionados ao solo e a respectiva massa de carbono.



CH=composto de hortalças; CS=composto suíno; ORG=fertilizante organomineral; BM=bagaço de malte; BIO=biochar/carvão; CC= carbonato de cálcio.

Condução do experimento

A partir do momento em que a umidade das unidades experimentais (UE) foi corrigida para 60% da CC, o experimento foi iniciado, sendo necessário a manutenção de umidade a cada 15 dias e a temperatura controlada em estufa a 27°C.

As novas aquisições de espectros serão coletadas a cada 6 meses. Para essas análises o procedimento será retirar uma alíquota correspondente a 10cm³ de cada unidade experimental a qual será depositada em placa de Petri para secagem a 40°C por 48h posteriormente coletado o espectro NIR. O primeiro espectro será obtido na amostra bruta e em seguida a amostra será destorroada por martelo de borracha (SOUZA, 2014).

Análise dos dados

Com os espectros das misturas e utilizando o Python se procedeu a análise de componentes principais das UE de forma a identificar padrões de similaridade e dissimilaridade entre as misturas (PELLICCIA, 2018).

Resultados e Discussão

O solo de pastagem amostrado apresenta teor médio de matéria orgânica [$\sim 34 \text{ g.kg}^{-1}$], mas uma densidade elevada [$1,42 \text{ g.cm}^{-3}$] para solos argilosos. Embora a pressão de pastejo seja baixa na Fazenda, acredita-se que o uso por décadas sob pastejo, justifica tal valor.

Com o conjunto de espectros das UE e respectivas informações ou impressões digitais, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA). Os espectros NIR apresentam muitos dados similares impossibilitando diferenciá-los por picos ou visualmente as diferenças entre espectros quando as amostras estão no mesmo meio (solo) (Figura 2). A análise multivariada, PCA, se mostra eficiente em matrizes com alto nível de correlação possibilitando agrupar os espectros similares em regiões distintas (PELLICCIA, 2018)

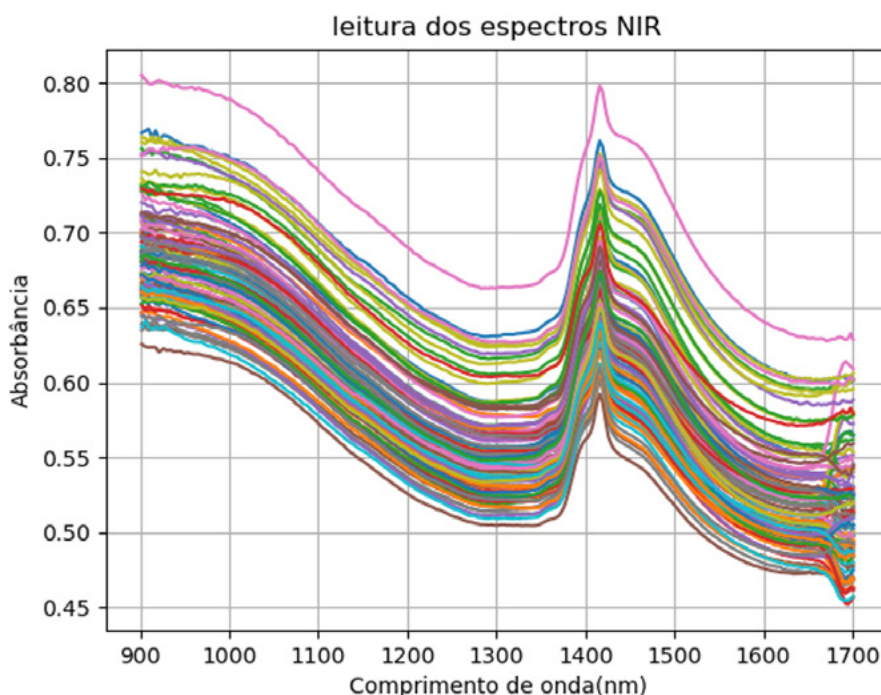


Figura 2. Leitura dos espectros NIR sem tratamento de dados em valores de absorção.

A figura 2 mostra os espectros obtidos a partir de todos os diferentes tratamentos, indicando similaridade entre elas. Os dados precisam ser melhor analisados, mas de forma generalizada e analisando a dispersão das amostras em relação às duas Componentes principais (PC), pouca sensibilidade da técnica parece existir na segregação dos resíduos. Uma análise mais detalhada deverá ser feita para se avaliar o efeito de doses dos resíduos. A PC2 foi responsável por separar as amostras de solo sem resíduos, de parte das UE que receberam os materiais.

Vale comentar que para realizar uma análise conclusiva em relação a determinar da quantidade de carbono nas amostras será necessário realizar uma calibração das componentes principais, possivelmente por método de mínimos quadrados parciais (PLS) e regressão por vetores de suporte (SVR).

A figura 3 apresenta a dispersão de todas as UE em duas componentes principais.

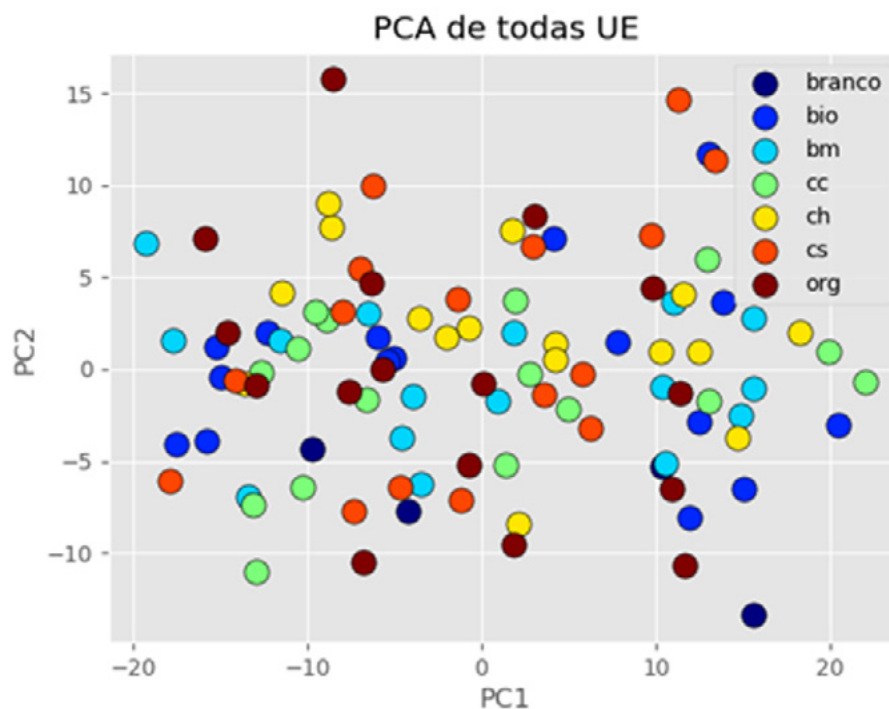


Figura 3. Análise multivariada de componentes principais (PCA) das 100 unidades experimentais (UE). Materiais adicionados ao solo: composto de hortaliças (CH); composto suíno (CS); fertilizante organomineral (ORG); bagaço de malte (BM); biochar/carvão (BIO) e carbonato de cálcio (CC) e tratamento sem adição de fonte de carbono ao solo (branco).

Conclusões

Os dados preliminares indicam que a espectroscopia NIR na faixa espectral 900 até 1700nm tem potencial para ser aplicada no estudo de detecção de fontes de C quando a fonte é aplicada recentemente, mas a equipe ainda precisa trabalhar melhor os dados obtidos. Novas avaliações e validações externas ao longo do tempo serão realizadas de modo a aprimorar a análise dos dados e o uso da técnica, de modo a avaliar sua aplicabilidade e definir a metodologia de avaliação para diferenciação das fontes de C adicionadas ao solo, bem como seu impacto nos estoques de C do solo.

Agradecimentos

A Embrapa e ao CNPq pela concessão das bolsas de Iniciação Científica e pela infraestrutura para a realização dos experimentos. FCB agradece o CNPq pela Bolsa de Produtividade concedida. Os autores agradecem o Analista André Marcelo de Souza pela orientação na aquisição dos espectros do experimento.

Referências

ARIAS, D. *et al.* Agriculture productivity growth in Brazil: recent trends and future prospects. **Journal Of Agriculture**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 12-27, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209154/1/Agriculture-Productivity-Growth-in-Brazil.pdf>. Acesso em: 11 set. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 10.991, de 11 de março de 2022.** Institui o Plano Nacional de Fertilizantes 2022–2050 e o Conselho Nacional de Fertilizantes e Nutrição de Plantas. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.991-de-11-de-marco-de-2022-385453056#:~:text=D%20E%20C%20R%20E%20T%20A%20%3A,data%20de%20publica%C3%A7%C3%A3o%20deste%20Decreto>. Acesso em: 11 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030: Plano Operacional / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. – Brasília : Mapa/DEPROS, 2021. 133p. ISBN: 978-65-86803-63-1.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Esalq/USP PIB do agronegócio cresceu abaixo das projeções. PIB Agronegócio, 15 de março de 2020. Acessado em 11 de setembro de 2022: [dtec.pib_agronegocio_dez2021.14mar2022_vf \(usp.br\)](https://dtec.pib_agronegocio_dez2021.14mar2022_vf.usp.br)

DE SANTANA, F. B.; DE SOUZA, A. M.; BALIEIRO, F.C.; MIORANZA, M.; RODRIGUES, R. A. R.; POPPI, R. J. Monitoring Mineral- Associated Organic Matter in Tropical Pastures using Near Infrared Spectroscopy. *Braz. J. Anal. Chem.*, 2021, 8 (32), pp 78–90.

FERREIRA-LEITÃO, Viridiana; GOTTSCHALK, Leda Maria Fortes; FERRARA, Maria Antonieta; NEPOMUCENO, Alexandre Lima; MOLINARI, Hugo Bruno Correa; BON, Elba P. S.. Biomass Residues in Brazil: availability and potential uses. **Waste And Biomass Valorization**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 65-76, 7 fev. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-010-9008-8>.

KUZYAKOV, Yakov; FRIEDEL, J. K.; STAHR, Karl. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 11-12, p. 1485-1498, 2000.

MINASNY, Budiman; MALONE, Brendan P.; MCBRATNEY, Alex B.; ANGERS, Denis A.; ARROUAYS, Dominique; CHAMBERS, Adam; CHAPLOT, Vincent; CHEN, Zueng-Sang; CHENG, Kun; DAS, Bhabani S.. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, [S.L.], v. 292, p. 59-86, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. de O. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. **ES Engineering and Science**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016. DOI: 10.18607/ES201653398. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/3398>. Acesso em: 11 set. 2022.

PELLICCIA, Daniel. **HomeClassificationPrincipal Components AnalysisClassification of NIR spectra using Principal Component Analysis in Python Classification of NIR spectra using Principal Component Analysis in Python**. 2018. Disponível em: <https://nirpyresearch.com/classification-nir-spectra-principal-component-analysis-python/>. Acesso em: 11 set. 2022.

SOUZA, ANDRÉ MARCELO DE; Figueiras, P. R. ; Coelho, M. R. ; FONTANA, A. ; WINKLER, T. C. B. ; VALDERRAMA, P. ; POPPI, RONEI JESUS . Validation of the near infrared spectroscopy method for determining soil organic carbon by employing a proficiency essay for fertility laboratories. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 24, p. 293-303, 2016.

SOUSA, André Marcelo de. **Specsolo uma tecnologia inovadora**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/8668/specsolo>>. Acesso em: 5 set. 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022

VAZ JUNIOR, Silvio. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável. **Embrapa Agroenergia-Documentos (INFOTECA-E)**, 2020.

Níveis de referência do carbono orgânico em Latossolos e Argissolos dos biomas brasileiros

Angélicy Milena Vivian ⁽¹⁾; *Ademir Fontana* ⁽²⁾; *Eliane de Paula Clemente* ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Engenheira Agrônoma, Graduanda, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, MS. ⁽²⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Solos, Campo Grande, MS. ⁽³⁾ Engenheira Florestal, Doutora, Pesquisadora da Embrapa Solos, Sete Lagoas, MG.

Resumo – A avaliação qualitativa e/ou quantitativa na forma de níveis de carbono orgânico (C org) contribui para o monitoramento da intensidade do cultivo agrícola, considerando sobretudo as variações das práticas e arranjos produtivos sobre o componente orgânico do solo. Estabelece subsídios ao monitoramento para as marcas-conceito Carne Carbono Neutro (CCN), Carne Baixo Carbono (CBC) e pela mudança de uso no inventário nacional de emissões e remoções de gases de efeito estufa por ações antrópicas. O objetivo do trabalho foi estabelecer níveis de referência do C org nos Latossolos e Argissolos dos biomas brasileiros. Foram utilizados dados advindos do Sistema de Informações de Solos Brasileiros (BDSolos) nas classes dos Argissolos (536 perfis e 2.555 horizontes) e Latossolos (480 perfis e 2.396 horizontes) sob vegetação natural em cada bioma brasileiro. Os horizontes genéticos com espessuras variadas, foram harmonizados em camadas arbitrárias com as seguintes espessuras: 0-10; 10-20; 20-30; 30-40, 0-20; 20-40; 0-30 e 10-30 cm. Foram obtidas as medidas de tendência central (média, moda e mediana) do C org em cada camada e por solo e bioma. Na sequência, foram estabelecidos os níveis (baixo, médio e alto) do C org de cada uma das camadas em cada solo e bioma, a partir do valor da média diminuído ou adicionado o desvio médio. Os valores limites dos níveis de C org nos Latossolos são substancialmente superiores aos Argissolos nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia, enquanto, os Argissolos têm valores superiores na camada de 0-10 cm na Caatinga.

Palavras-Chave: monitoramento, componente orgânico, uso e cultivo.

Introdução

O solo funciona como sumidouro de carbono (C), estocando em forma orgânica o C proveniente do CO₂ atmosférico pela fotossíntese. Por esta capacidade intrínseca dos solos em acumular C e associado aos cultivos que favorecem o aporte e a conservação da matéria orgânica (MO), destaca-se a potencial contribuição na mitigação do efeito estufa.

O uso dos teores de C do solo como parâmetro para o monitoramento das emissões ou remoções antrópicas de GEE em solos cultivados se deve a sensibilidade da fração orgânica que compõem o solo as ações impostas pelos diferentes manejos, além de apresentar elevada correlação com muitos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Os padrões do C que considerem os diversos tipos de solos, pode ser obtido em cada camada e nas diferentes classes de solos e biomas. As camadas mais superficiais dos solos são majoritariamente mais afetadas pelo cultivo agrícola.

Neste sentido, os inventários de emissões e remoções antrópicas de GEE fazem uso da comparação dos teores de C de áreas cultivadas em relação às áreas de referência e definidas a partir de teores absolutos em solos sob vegetação nativa em cada bioma. Por outro lado, em uma forma qualitativa de avaliação do C, o padrão de distribuição ao longo do perfil de solo e a razão de estratificação e/ou o gradiente de C são eficazes para o monitoramento da qualidade dos diferentes cultivos.

Considerando que no Brasil há grande variabilidade de solos nos diferentes biomas e, ainda, fisionomias de vegetação em cada bioma, diferentes padrões e magnitudes dos teores de C são esperados. Contudo, níveis de C ou MO que permitem avaliar de forma qualitativa os diferentes solos e biomas são generalizados (Tomé Jr., 1997) ou como a proposta do bioma Cerrado por classe de textura na camada de 0 a 20 cm (Souza; Lobato, 2004).

Na Austrália, ao nível de maior detalhe, pelo tipo de cultivo, por exemplo, para as vinícolas em diferentes classes de textura do solo, os teores de MO são baixos quando inferiores a 9,0 g kg⁻¹ nos

solos de textura arenosa e altos quando superiores a $34,0 \text{ g kg}^{-1}$ nos solos francoargilosos e argilosos (Vitinotes, 2006).

O objetivo do trabalho foi estabelecer níveis de referência do C org nos Latossolos e Argissolos dos biomas brasileiros.

Material e Métodos

Levantamento dos dados em perfis de solo

Foram utilizados dados do Sistema de Informação de Solos Brasileiros – BDSOLOS nas classes dos Argissolos e Latossolos com informações gerais de localização, uso em cada perfil de solo, a granulometria (areia, silte e argila) e os atributos químicos SB, V%, CTC, C org.

Sequência de atividades na planilha de dados

1. Organização dos horizontes na sequência de acordo com a profundidade inicial e final.
2. Perfis completos até no máximo 2,5 m.
3. Perfis com pelo menos 1 horizonte de cada posição do perfil: superficial, transicional e subsuperficial.
4. Uso (Natural e Agropecuária) (MapBiomas).
5. Harmonização em Camadas: 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60; 60-80; 80-100; 0-20, 0-30; 20-40; 10-30 cm.
 0-10= horizontes que iniciam em 0,0 cm e profundidade final $\leq 14,0$ cm ou iniciando > 0 cm e profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) \leq 10,0$;
 11-20= horizontes que iniciam > 5 cm e com profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) > 10,0$ e ≤ 20 cm;
 21-30= horizontes que iniciam > 15 cm e com profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) > 20,0$ e ≤ 30 cm;
 (4) 31-40= horizontes que iniciam > 25 cm e com profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) > 30,0$ e ≤ 40 cm;
 41-60= horizontes que iniciam > 35 cm e com profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) > 40,0$ e ≤ 60 cm;
 61-80= horizontes que iniciam > 50 cm e com profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) > 60,0$ e ≤ 80 cm;
 81-100= horizontes que iniciam > 70 cm e com profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) > 80,0$ e ≤ 100 cm;
 0-20= horizontes que iniciam em 0,0 cm e profundidade final $\leq 28,0$ cm ou iniciando > 0 cm e profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) \leq 20,0$;
 21-40= horizontes que iniciam > 15 cm e com profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) > 20,0$ e ≤ 40 cm.
 11-30 = horizontes que iniciam > 5 cm e com profundidade média $(\text{inicial} + \text{final} / 2) > 10,0$ e ≤ 30 cm;
 0-30= horizontes que iniciam em 0,0 cm e profundidade final $\leq 42,0$ cm ou iniciando > 0 cm e profundidade $(\text{inicial} + \text{final} / 2) \leq 30,0$;
6. Bioma: na ausência da descrição do bioma, foi obtido a partir da localização do perfil ou município no mapa de biomas do IBGE (2019).
7. Revisão de dados de C org inferiores a $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ nos trabalhos originais (muitos dados estavam em %).
8. Exclusão de horizontes:
 O, BC, CB, C e F;
9. Exclusão de perfis e horizontes:
 - Ausência de C org e granulometria
 - C org $\geq 80 \text{ g kg}^{-1}$
 - CTC $> 50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$
 - Silte $> 400 \text{ g kg}^{-1}$ nos B latossólicos

Análise dos dados

1. Análise de consistência e validação dos dados foi feita a partir da avaliação das correlações entre atributos como Argila x C org; C org x CTC, SB e V% nos horizontes A e B. Foi excluído valores outliers. Os biomas Pampa e Pantanal não apresentam dados em número suficiente para estas avaliações.

2. Níveis (baixo, médio e alto): estabelecidos em três intervalos de valores a partir do valor da

média. O valor limite do nível baixo (diminuição do valor da média pelo valor do desvio médio), valor limite do nível alto (somado do valor da média pelo valor do desvio médio), valor do intervalo médio é aquele do limite baixo até o alto.

Resultados e Discussão

Com base nos teores médios e com desvio médio foram obtidos os níveis/classes/faixas de C org (baixo, médio e alto) para as diferentes camadas e nas classes dos Latossolos e Argissolos para os Cerrado, Amazônia, Mata Atlântica e Caatinga (Tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Não foram obtidos os níveis de C org para os biomas Pampa e Pantanal, uma vez que os dados são insuficientes e om forte relação com a baixa ocorrência destes solos nestes biomas.

Entre as camadas, destaca-se as diferenças expressivas até 30 cm de profundidade para todos os solos e biomas.

Entre os solos, os valores limites dos níveis são substancialmente maiores nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm nos Latossolos no Cerrado (Tabelas 1 e 2), na Mata Atlântica (Tabelas 3 e 4) e na Amazônia (Tabelas 5 e 6), sendo de forma diferenciada nos Argissolos na Caatinga (Tabelas 7 e 8), onde tem maiores valores, contudo somente na camada de 0-10 cm.

Nos Latossolos sob Mata Atlântica e Cerrado, o valor do limite superior do nível médio é maior até as camadas mais profundas, padrão que não ocorre nos demais biomas.

Tabela 1. Níveis de C org (g kg⁻¹) nas camadas dos Latossolos para o Cerrado.

Nível	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	0-20	20-40	0-30	10-30
Baixo	< 12,0	< 8,0	< 8,0	< 5,0	< 4,0	< 3,0	< 3,0	< 10,0	< 6,0	< 8,0	< 7,0
Médio	12,0-28,0	8,0-18,0	8,0-16,0	5,0-10,0	4,0-9,0	3,0-8,0	3,0-8,0	10,0-23,0	6,0-14,0	8,0-21,0	7,0-16,0
Alto	> 28,0	> 18,0	> 16,0	> 10,0	> 9,0	> 8,0	> 8,0	> 23,0	> 14,0	> 21,0	> 16,0

Tabela 2. Níveis de C org (g kg⁻¹) nas camadas dos Argissolos para o Cerrado.

Nível	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	0-20	20-40	0-30	10-30
Baixo	< 9,0	< 5,0	< 4,0	< 4,0	< 3,0	< 3,0	< 2,0	< 7,0	< 4,0	< 5,0	< 4,0
Médio	9,0-27,0	5,0-11,0	4,0-10,0	4,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0	2,0-4,0	7,0-22,0	4,0-8,0	5,0-20,0	4,0-10,0
Alto	> 27,0	> 11,0	> 10,0	> 5,0	> 5,0	> 5,0	> 4,0	> 22,0	> 8,0	> 20,0	> 10,0

Tabela 3. Níveis de C org (g kg⁻¹) nas camadas dos Latossolos para o Mata Atlântica.

Nível	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	0-20	20-40	0-30	10-30
Baixo	< 15,0	< 8,0	< 6,0	< 6,0	< 5,0	< 4,0	< 4,0	< 11,0	< 9,0	< 10,0	< 7,0
Médio	15,0-33,0	8,0-17,0	6-17,0	6,0-15,0	5,0-15,0	4,0-12,0	4,0-12,0	11,0-27,0	9,0-22,0	10,0-27,0	7,0-16,0
Alto	> 33,0	> 17,0	> 17,0	> 15,0	> 15,0	> 12,0	> 12,0	> 27,0	> 22,0	> 27,0	> 16,0

Tabela 4. Níveis de C org (g kg⁻¹) nas camadas dos Argissolos para o Mata Atlântica.

Nível	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	0-20	20-40	0-30	10-30
Baixo	< 7,0	< 6,0	< 5,0	< 5,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 7,0	< 5,0	< 6,0	< 5,0
Médio	7,0-17,0	6,0-11,0	5,0-13,0	5-9,0	3,0-7,0	3,0-5,0	3,0-4,0	7,0-17,0	5,0-10,0	6,0-16,0	5,0-10,0
Alto	> 17,0	> 11,0	> 13,0	> 9,0	> 7,0	> 5,0	> 4,0	> 17,0	> 10,0	> 16,0	> 10,0

Tabela 5. Níveis de C org (g kg⁻¹) nas camadas dos Latossolos para o Amazônia.

Nível	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	0-20	0-40	0-30	10-30
Baixo	< 15,0	< 8,0	< 7,0	< 6,0	< 4,0	< 3,0	< 3,0	< 10,0	< 6,0	< 9,0	< 7,0
Médio	15,0-36,0	8,0-14,0	7,0-14,0	6,0-13,0	4,0-8,0	3,0-6,0	3,0-5,0	10,0-26,0	6,0-12,0	9,0-24,0	7,0-14,0
Alto	> 36,0	> 14,0	> 14,0	> 13,0	> 8,0	> 6,0	> 5,0	> 26,0	> 12,0	> 24,0	> 14,0

Tabela 6. Níveis de C org (g kg⁻¹) nas camadas dos Argissolos para o Amazônia.

Nível	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	0-20	20-40	0-30	10-30
Baixo	< 12,0	< 6,0	< 4,0	< 4,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 8,0	< 4,0	< 7,0	< 5,0
Médio	12,0-34,0	6,0-13,0	4,0-9,0	4,0-9,0	2,0-6,0	2,0-5,0	2,0-4,0	8,0-26,0	4,0-9,0	7,0-24,0	5,0-12,0
Alto	> 34,0	> 13,0	> 9,0	> 9,0	> 6,0	> 5,0	> 4,0	> 26,0	> 9,0	> 24,0	> 12,0

Tabela 7. Níveis de C org (g kg⁻¹) nas camadas dos Latossolos para o Caatinga.

Nível	0-10	10-20	20-30*	30-40	40-60	60-80	80-100	0-20	20-40	0-30	10-30
Baixo	< 5,0	< 4,0	< 3,0	ID	ID	ID	ID	< 5,0	< 3,0	< 5,0	< 4,0
Médio	5,0-16,0	4,0-9,0	3,0-7,0	ID	ID	ID	ID	5,0-13,0	3,0-6,0	5,0-13,0	4,0-9,0
Alto	> 16,0	> 9,0	> 7,0	ID	ID	ID	ID	> 13,0	> 6,0	> 13,0	> 9,0

* Obtido com poucos dados. ID: insuficiência de dados.

Tabela 8. Níveis de C org (g kg⁻¹) nas camadas dos Argissolos para o Caatinga.

Nível	0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	0-20	20-40	0-30	10-30
Baixo	< 8,0	< 4,0	< 4,0	< 2,0	< 2,0	< 1,0	ID	< 5,0	< 3,0	< 4,0	< 3,0
Médio	8,0-14,0	4,0-8,0	4,0-7,0	2,0-6,0	2,0-6,0	1,0-4,0	ID	5,0-14,0	3,0-7,0	4,0-13,0	3,0-9,0
Alto	> 14,0	> 8,0	> 7,0	> 6,0	> 6,0	> 4,0	ID	> 14,0	> 7,0	> 13,0	> 9,0

ID: insuficiência de dados.

Conclusões

Os valores limites dos níveis de C org apresentam diferenças expressivas até 30 cm de profundidade.

Os valores limites dos níveis de C org nos Latossolos são substancialmente superiores aos Argissolos nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia, enquanto, os Argissolos têm valores superiores na camada de 0-10 cm na Caatinga.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica da primeira autora.

Referências

MAPBIOMAS. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 07 de abr. 2021.

Sistema de Informação de Solos Brasileiros. <http://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 05 de set de 2022.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do Solo e Adubação**. EMBRAPA Cerrados, 2004. 416p.

TOMÉ Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p

Vitinotes. **Classification of soil organic matter in viticultural soils of different texture in South Australia**. 2006.

Ajuste de equações de retenção de água em solos do Sul da Amazônia⁽¹⁾

Gabriela Dias⁽²⁾; Wenceslau Geraldes Teixeira⁽³⁾; Fernando Igne Rocha⁽⁴⁾; Aline Pacobahyba de Oliveira⁽⁵⁾; José Francisco Lumberras⁽⁶⁾; Ederson da Conceição Jesus⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Projeto Monitoramento do distúrbio da microbiota de solos amazônicos durante a conversão da floresta a pasto e suas consequências sobre saúde animal (02.17.00.010.00.03.003). ⁽²⁾ Graduanda em Ciência Ambiental - UFF, Bolsista Pibic na Embrapa Solos, Rio de Janeiro - RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Geociologia, Pesquisador na Embrapa Solos - RJ. ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos, Pós-doutorando na USDA-ARS, EUA. ⁽⁵⁾ Engenheira Agrônoma, Doutora em Solos, Pesquisadora na Embrapa Solos - RJ. ⁽⁶⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos, Pesquisador na Embrapa Solos - RJ. ⁽⁷⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos, Pesquisador na Embrapa Agrobiologia - RJ.

Resumo – A avaliação da curva característica de retenção de água de um solo fornece informações para a avaliação de sua aptidão agrícola, de risco climático e orienta o manejo mais adequado, assim como possibilita estudos de modelagem hidrológica, da produtividade de cultivos e em estudos geotécnicos e ecológicos de distribuição da vegetação. O objetivo deste estudo foi estimar os valores de água disponível e ajustar as curva de retenção de água de horizontes selecionados em áreas de pastagens e floresta sendo quatro sob Latossolos Amarelos e uma num Cambissolo Háplico localizadas no município de Manicoré e Lábrea no sul do estado do Amazonas. Os resultados mostraram que os solos apresentaram um bom ajuste para curvas unimodais para o Latossolo e Cambissolo e uma melhoria significativa no ajuste bimodal para ambos. A curva de retenção de água (CRA) dos solos estudados é melhor descrita pelo modelo bimodal, exceto os horizontes A1 (perfil P12), Ap, AB e BA (perfil P13) do Latossolo Amarelo, e o horizonte Bic2 (perfil P14) do Cambissolo Háplico. Os valores de AD variaram entre 1,0 e 0,2 mm/cm.

Palavras-Chave: Amazônia, Ajuste, Curva de retenção

Introdução

A avaliação da capacidade de retenção de água de um solo contribui com a avaliação de sua aptidão agrícola, de risco climático e orienta o manejo mais adequado; assim como possibilita estudos de modelagem hidrológica, da produtividade de cultivos e estudos geotécnicos e ecológicos de distribuição da biodiversidade da flora e fauna. Valores obtidos das umidades volumétricas de determinados solos na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e das estimativas da água disponível (AD) são parâmetros essenciais no manejo da irrigação e no zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) (Teixeira et al., 2021, Araújo et al., 2022). A disponibilidade de água no solo passível de ser absorvida pelas raízes plantas assim como os potenciais para estimativas da CC e PMP para diferentes espécies e solos são motivos de debate e interpretações (Bonfante; Bouma, 2015). Há muitos anos modelos matemáticos e técnicas de simulação são utilizados para descrever de forma dinâmica a natureza da água no sistema solo-planta. A capacidade de um solo em reter água e disponibilizá-la para as plantas é representada pela curva de retenção de água (CRA), a qual relaciona a fração volumétrica de água (θ) a uma dada tensão matricial (h) (Jorge, et al. 2010). Portanto, um aumento da tensão matricial significa uma redução da água presente no solo (Hillel, 1998).

Muitos modelos matemáticos foram elaborados para descrever a CRA. Contudo, o modelo proposto por van Genuchten (1980) continua sendo o mais utilizado, uma vez que ele consegue representar essa função para a maioria dos solos estudados. Entretanto, o modelo de van Genuchten não é capaz de se ajustar adequadamente a solos com distribuição bimodal de poros, estes solos se ajustam melhor a modelos bimodais como o proposto por Durner (1994). Apesar do conhecimento de que vários solos do Brasil apresentam destruição de poros bimodal estes modelos ainda são pouco utilizados para ajustes de solos do Brasil (Carducci et al. 2011, Teixeira et al. 2001). O objetivo deste trabalho foi ajustar e comparar os modelos unimodal (van Genuchten) e bimodal (Durner) que

descreve a retenção de água em função do potencial matricial (CRA) de cinco áreas com predomínio de Latossolo Amarelo e Cambissolo Háplico localizadas no município de Manicoré - Amazonas.

Material e Métodos

As áreas amostradas foram nas Fazenda Santa Helena (P10 e P11), Fazenda Santa Luzia (P12 e P13) e Fazenda Laranja Doce (P14 e P15). Detalhes e caracterização dos perfis e áreas amostrais estão disponíveis em Rocha (2022), localizadas nos municípios de Manicoré e Lábrea no Sul do estado do Amazonas. Os perfis de solos descritos e amostrados para caracterização físico-química e avaliação da retenção de água em diferentes potenciais, foram de duas classes de solo: uma área com ocorrência de Latossolo Amarelo (dystrophic Latosol) sob pastagem com predomínio da espécie capim mombaça (*Megathyrsus maximus*) - perfis P11 e P13 - e brachiaria (*Urochloa brizantha*) - perfil P15 - e uma área sob floresta primária - perfis P10 e P12. Foi também amostrada uma área de floresta primária com predomínio de Cambissolo Háplico (haplic Cambisol) - perfil P14. Foram coletadas amostras de solos indeformadas em triplicata, em quatro horizontes dos perfis P10 a P13 e três horizontes dos perfis P14 e P15. As análises de retenção de água foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus. As umidades volumétricas do solo foram determinadas por gravimetria após atingir o equilíbrio nas tensões matriciais de 0; 1; 3; 6; 10 kPa em mesa de tensão. Posteriormente as amostras foram submetidas às tensões de 33; 110 e 500 kPa e 1500 kPa em câmeras de Richard, segundo os procedimentos descritos em Teixeira e Bhering (2017). Os dados foram convertidos utilizando a densidade do solo para valores de umidade com base volumétrica. Calculou-se a água disponível (AD) no solo subtraindo o valor da umidade na capacidade de campo (10 kPa) da umidade no ponto de murcha permanente (1500 kPa) para cada área com diferentes solos nos diferentes horizontes. Os pares de umidade (volumétrica – m³ m⁻³) e tensões de equilíbrio foram ajustados às equações de van Genuchten (1980) com a restrição de Mualem (1976), descrita abaixo:

$$\theta(h)_{\square} = [1 + (\alpha|h|)^n]^m, m = 1 - 1/n$$

Em que Θ_s e Θ_r são, respectivamente, o volume de água na saturação e residual (m³m⁻³); h é a tensão matricial da água no solo (cm de água – em módulo); α , n e m são parâmetros de empíricos do modelo. Foram também ajustados para a equação bimodal de Durner (1994) :

$$\theta(h)_{\square} = \sum_{i=1}^k \square w_i [1 + (\alpha|h|)^{n_i}]^{-m}, m = 1 - 1/n$$

Os parâmetros da equação de Durner são como definidos previamente, sendo k o número de sub curvas (modas) e w_i é um fator de peso dado para cada moda, satisfazendo $0 < w_i < 1$. Para o ajuste de ambas as equações, denominadas de curva de retenção de água (CRA) foi utilizado o software HYPROP (Meter, 2015). Os dados de tensão potencial matricial são apresentados e plotados em log₁₀ cmH₂O, denominado de unidade pF. Foi utilizado como critério para qualidade e comparação dos ajustes das equações uni (VG) e bimodal (Durner) os menores valores da raiz do erro quadrático médio (RMSE - Root Mean Square Error em inglês).

Resultados e Discussão

Os conteúdos de água disponível (AD) foram classificados (Teixeira et al., 2002) entre valores muito altos para todos os horizontes do Latossolo Amarelo (perfis P10 e P11), valores muito baixos

nos horizontes A2, A3 e Bw1 do Latossolo Amarelo (perfil P12), valores muito altos para os horizontes superficiais do Latossolo Amarelo (perfis P13 e P15) e valor alto somente no horizonte A do Cambissolo Háplico (perfil P14). (Tabela 1).

Tabela 1. Umidade volumétrica [linhas] retidas em amostras do Latossolo Amarelo e Cambissolo Háplico após serem submetidas a diferentes tensões.

Perfil	Sistema	Profundidade cm		pF 0,0	pF 1,0	pF 1,5	pF 1,8	pF 2,0	pF 2,5	pF 3,0	p.F 3,7	pF 4,2	AD
				θ [m ³ m ⁻³]									
P10	Floresta	0-8	Média	0,47	0,393	0,301	0,220	0,146	0,121	0,109	0,103	0,055	0,091
			Desvio Padrão	0,05	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	
		8-19	Média	0,382	0,349	0,332	0,253	0,162	0,138	0,133	0,130	0,078	0,084
			Desvio Padrão	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
		19-35	Média	0,344	0,325	0,307	0,254	0,171	0,157	0,143	0,136	0,101	0,070
			Desvio Padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	
		85-150*	Média	0,376	0,348	0,295	0,228	0,162	0,142	0,136	0,133	0,113	0,050
			Desvio Padrão	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
P11	Pasto	0-6	Média	0,508	0,451	0,368	0,271	0,167	0,147	0,135	0,123	0,082	0,085
			Desvio Padrão	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	
		6-22	Média	0,433	0,380	0,359	0,308	0,207	0,187	0,182	0,176	0,127	0,080
			Desvio Padrão	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	
		22-38	Média	0,402	0,383	0,356	0,308	0,221	0,209	0,204	0,200	0,150	0,072
			Desvio Padrão	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
		68-102	Média	0,395	0,371	0,352	0,313	0,245	0,224	0,218	0,213	0,168	0,077
			Desvio Padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
P12	Floresta	5-13	Média	0,549	0,325	0,232	0,204	0,128	0,124	0,123	0,120	0,045	0,083
			Desvio Padrão	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
		13-28	Média	0,486	0,332	0,252	0,220	0,112	0,111	0,110	0,108	0,093	0,019
			Desvio Padrão	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		28-52	Média	0,425	0,364	0,285	0,251	0,156	0,139	0,128	0,123	0,131	0,025
			Desvio Padrão	0,05	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	
		89-127	Média	0,349	0,328	0,288	0,245	0,134	0,131	0,126	0,121	0,120	0,014
			Desvio Padrão	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Perfil	Sistema	Profun- didade		pF 0,0	pF 1,0	pF 1,5	pF 1,8	pF 2,0	pF 2,5	pF 3,0	p.F 3,7	pF 4,2	AD
		cm		θ [m ³ m ⁻³]									
P13	Pasto	0-9	Média	0,473	0,378	0,294	0,251	0,189	0,174	0,165	0,163	0,104	0,085
			Desvio Padrão	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	
		9-22	Média	0,455	0,413	0,364	0,320	0,266	0,245	0,234	0,233	0,163	0,103
			Desvio Padrão	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
		22-47	Média	0,446	0,397	0,354	0,319	0,270	0,265	0,252	0,249	0,204	0,066
			Desvio Padrão	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	
		100- 150*	Média	0,408	0,370	0,306	0,261	0,145	0,142	0,132	0,128	0,120	0,025
			Desvio Padrão	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	
P14	Floresta	0-5	Média	0,787	0,318	0,282	0,261	0,197	0,149	0,146	0,133	0,120	0,077
			Desvio Padrão	0,62	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
		5-14	Média	0,336	0,272	0,247	0,225	0,158	0,140	0,135	0,131	0,130	0,028
			Desvio Padrão	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
		49-68	Média	0,332	0,259	0,229	0,211	0,167	0,162	0,158	0,151	0,150	0,017
			Desvio Padrão	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
P15	Pasto	0-11	Média	0,336	0,318	0,288	0,254	0,161	0,144	0,137	0,118	0,106	0,055
			Desvio Padrão	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	
		11-22	Média	0,324	0,299	0,277	0,254	0,203	0,188	0,186	0,177	0,159	0,044
			Desvio Padrão	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	
		48-84	Média	0,326	0,288	0,241	0,206	0,150	0,146	0,145	0,139	0,125	0,025
			Desvio Padrão	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	

Os coeficientes das equações de van Genuchten e Durner (Tabela 2) mostram que a retenção da água em diferentes potenciais, para maioria dos horizontes estudados é melhor descrita pelo modelo bimodal, exceto os horizontes A1 (perfil P12), Ap, AB e BA (perfil P13) do Latossolo Amarelo, e o horizonte Bic2 (perfil P14) do Cambissolo Háplico, visto que não há diferença significativa entre os valores do RMSE no modelo unimodal e bimodal. As CRA de todos os solos e seus horizontes são apresentados nas Figuras 1, 2 e 3. A seleção de modelos que apresentam uma melhor descrição da relação entre a umidade e potencial próximo a saturação (potenciais menores que pF 2) é fundamental para estudos de simulação de fluxos em áreas de alta pluviosidade como na Amazônia, pois estas incertezas na descrição próxima da saturação do solo se refletem de forma exponencial na equação que descreve a condutividade hidráulica em função do potencial (Durner, 1994, van Genuchten, 1980).

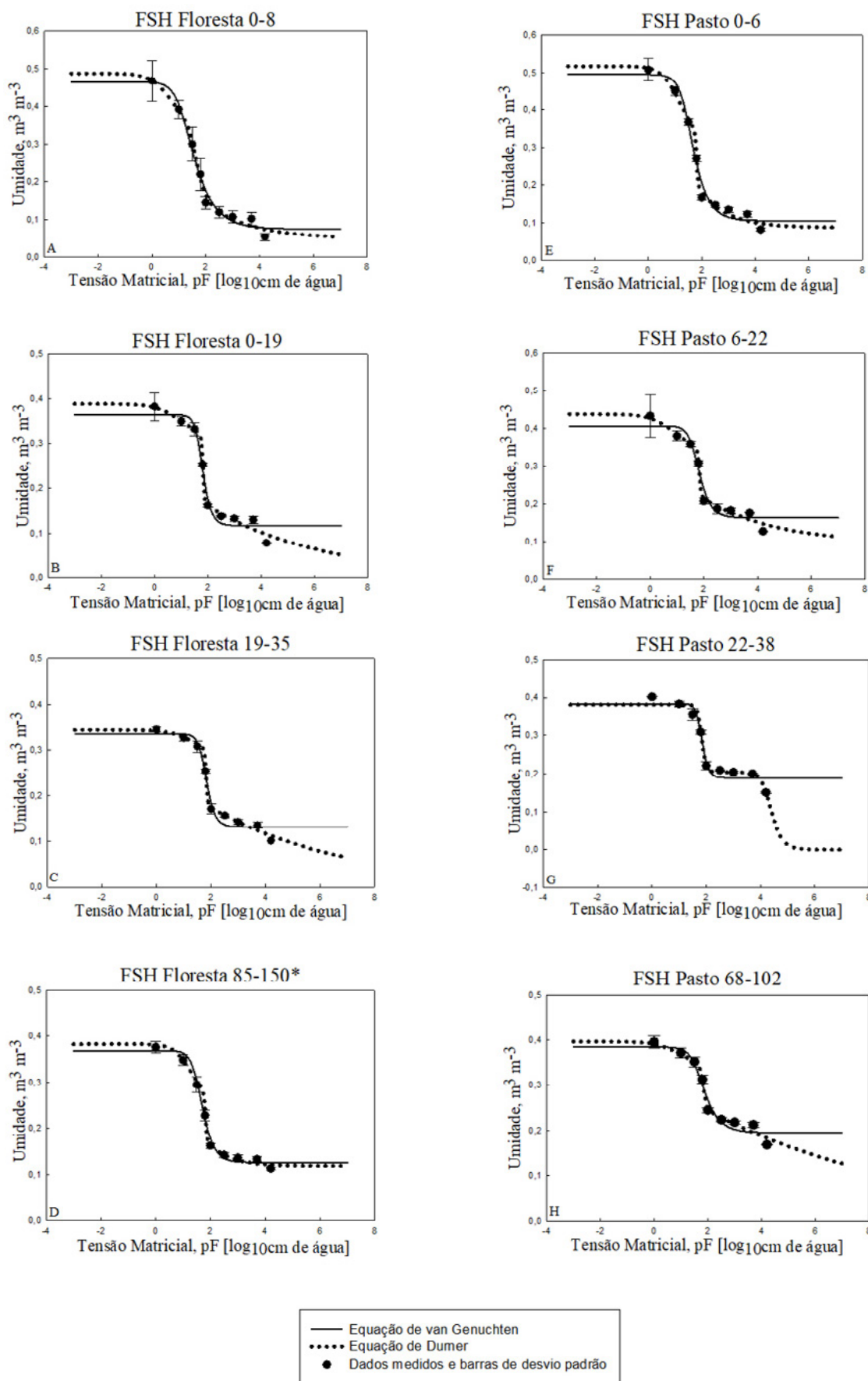


Figura 1. Funções de retenção da água ajustadas para amostras de Latossolo Amarelo (Floresta) nos horizontes A, AB, BA e Bw3 e para amostras de Latossolo Amarelo (Pasto) nos horizontes Ap, AB, BA e Bw2 para os modelos unimodal (van Genuchten, 1980) e bimodal (Durner, 1994).

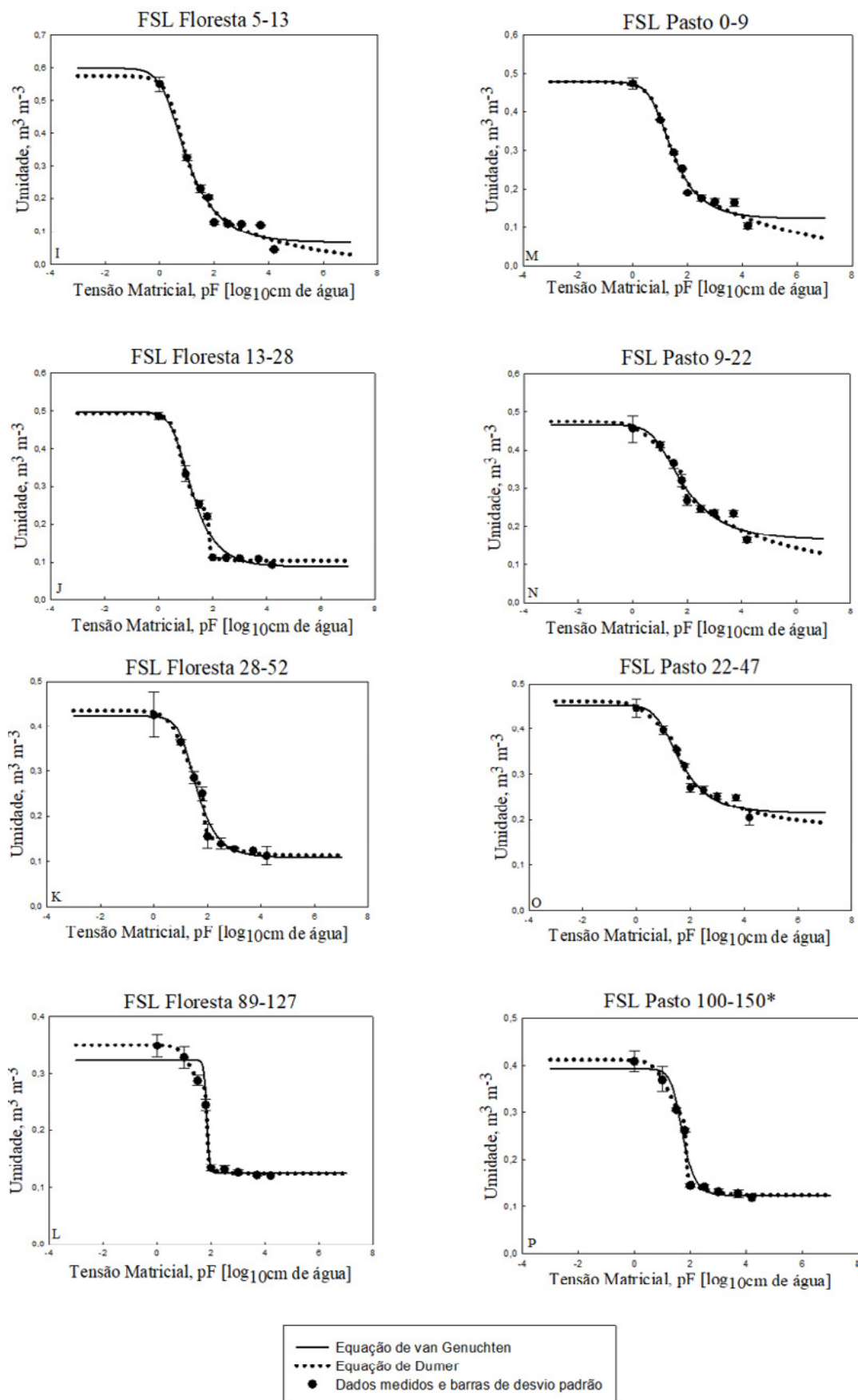


Figura 2. Funções de retenção da água ajustadas para amostras de Latossolo Amarelo (Floresta) nos horizontes A1, A2, A3 e Bw1 e para amostras de Latossolo Amarelo (Pasto) nos horizontes Ap, AB, BA e Bw3 para os modelos unimodal (van Genuchten, 1980) e bimodal (Durner, 1994).

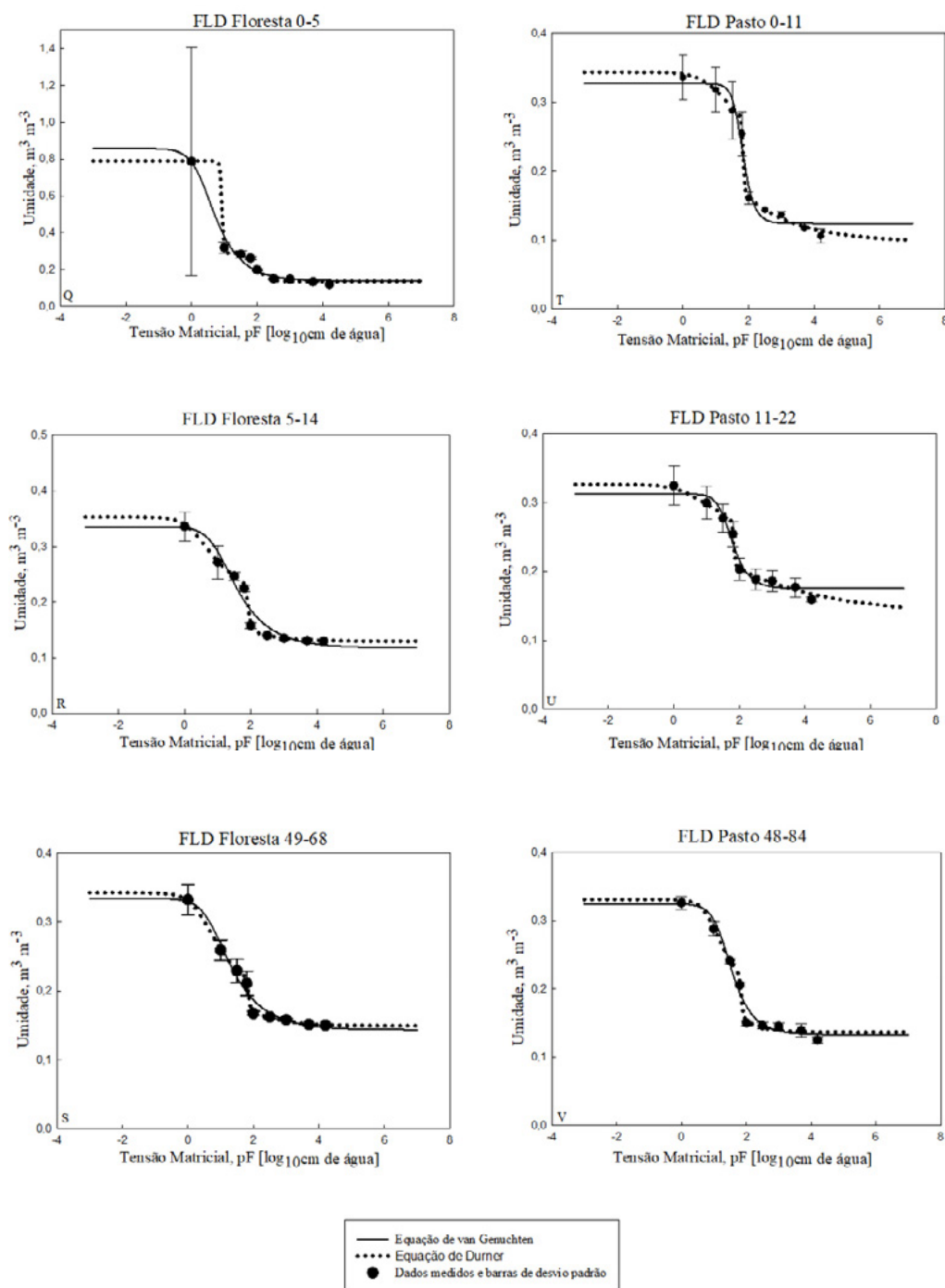


Figura 3. Funções de retenção da água ajustadas para amostras de Latossolo Amarelo (Floresta) nos horizontes A, BA1 e Bic2 e para amostras de Latossolo Amarelo (Pasto) nos horizontes Ap, BA1 e Bw1 para os modelos unimodal (van Genuchten, 1980) e bimodal (Durner, 1994).

Tabela 2. Parâmetros das funções de retenção de umidade para diferentes profundidades do Latossolo Amarelo da Fazenda Santa Helena, no município de Manicoré - AM.

Parâmetros	Fazenda Santa Helena							
	Floresta				Pasto			
	0-8	8-19	19-35	85-150*	0-6	6-22	22-38	68-102
Função Unimodal - van Genuchten								
θ_s (m ³ m-3)	0,466	0,364	0,334	0,368	0,495	0,407	0,384	0,384
θ_r (m ³ m-3)	0,076	0,117	0,132	0,126	0,106	0,163	0,188	0,195
α (cm-1)	0,068	0,019	0,018	0,027	0,036	0,021	0,016	0,023
n	1,694	3,153	3,214	2,484	2,039	2,489	4,100	2,030
RMSE	0,015	0,018	0,015	0,011	0,020	0,021	0,018	0,014
Função Bimodal - van Genuchten - Durner								
θ_s (m ³ m-3)	0,489	0,388	0,343	0,383	0,517	0,438	0,381	0,396
θ_r (m ³ m-3)	0,051	0,000*	0,000*	0,118	0,087	0,092	0,000*	0,000*
α_1 (cm-1)	0,5*	0,494	0,149	0,016	0,146	0,015	0,015	0,467
n1	1,265	1,099	1,087	15,000	1,419	15,000	5,648	1,057
W1	0,616	0,613	0,643	0,392	0,669	0,353	0,466	0,766
α_2 (cm-1)	0,025	0,016	0,015	0,100	0,016	0,5*	0,000	0,015
n2	3,241	15,000	15,000	1,550	15,000	1,155	2,663	7,472
W2	0,384	0,387	0,357	0,608	0,331	0,647	0,534	0,234
RMSE	0,010	0,009	0,007	0,006	0,010	0,010	0,009	0,007

Tabela 3. Parâmetros das funções de retenção de umidade para diferentes profundidades do Latossolo Amarelo da Fazenda Santa Luzia, no município de Manicoré - AM.

Parâmetros	Fazenda Santa Luzia							
	Floresta				Pasto			
	5-13	13-28	28-52	89-127	0-9	9-22	22-47	100-150*
Função Unimodal - van Genuchten								
θ_s (m ³ m-3)	0,599	0,498	0,423	0,324	0,476	0,465	0,453	0,393
θ_r (m ³ m-3)	0,066	0,088	0,108	0,125	0,123	0,164	0,214	0,124
α (cm-1)	0,5*	0,176	0,063	0,015	0,130	0,112	0,106	0,027
n	1,435	1,602	1,704	8,795	1,516	1,341	1,462	2,457
RMSE	0,022	0,023	0,016	0,015	0,017	0,017	0,014	0,018
Função Bimodal - van Genuchten - Durner								
θ_s (m ³ m-3)	0,576	0,494	0,434	0,350	0,477	0,474	0,461	0,411
θ_r (m ³ m-3)	0,000*	0,104	0,113	0,124	0,000*	0,092	0,183	0,125
α_1 (cm-1)	0,5*	0,014	0,145	0,014	0,088	0,5*	0,025	0,096
n1	1,132	15,000	1,581	15,000	1,950	1,010	3,452	1,795
W1	0,408	1,000	0,738	0,616	0,443	0,852	0,239	0,574
α_2 (cm-1)	0,289	0,188	0,014	0,081	0,5*	0,000	0,5*	0,014
n2	1,790	2,239	15,000	2,151	1,087	15,000	1,198	15,000
W2	0,592	0,000	0,262	0,384	0,557	0,148	0,761	0,426
RMSE	0,021	0,006	0,003	0,003	0,016	0,014	0,012	0,003

Tabela 4. Parâmetros das funções de retenção de umidade para diferentes profundidades do Latossolo Amarelo e Cambissolo Háplico da Fazenda Laranja Doce, no município de Manicoré - AM.

Parâmetros	Fazenda Laranja Doce					
	Floresta			Pasto		
	0-5	5-14	49-68	0-11	11-22	48-84
Função Unimodal - van Genuchten						
θ_s (m ³ m ⁻³)	0,857	0,336	0,334	0,327	0,312	0,325
θ_r (m ³ m ⁻³)	0,137	0,118	0,143	0,124	0,175	0,133
α (cm ⁻¹)	0,5*	0,100	0,189	0,018	0,025	0,055
n	1,661	1,502	1,502	2,989	2,243	1,880
RMSE	0,029	0,017	0,009	0,013	0,010	0,011
Função Bimodal - van Genuchten - Durner						
θ_s (m ³ m ⁻³)	0,790	0,353	0,334	0,344	0,326	0,331
θ_r (m ³ m ⁻³)	0,135	0,130	0,143	0,098	0,136	0,137
α_1 (cm ⁻¹)	0,012	0,012	0,189	0,015	0,015	0,014
n1	3,166	9,336	1,502	15,000	15,000	15,000
W1	0,234	0,378	1,000	0,446	0,353	0,311
α_2 (cm ⁻¹)	0,120	0,5*	0,326	0,154	0,5*	0,112
n2	14,998	1,510	1,018	1,275	1,152	1,845
W2	0,766	0,622	0,000	0,554	0,647	0,689
RMSE	0,008	0,002	0,009	0,004	0,004	0,004

Conclusões

Após o estudo concluímos que os valores de água disponível (AD) variaram entre 1,0 e 0,2 mm/cm..

Tanto o Latossolo quanto o Cambissolo apresentam um bom ajuste para curvas unimodais, ainda que haja uma melhoria significativa no ajuste bimodal para ambos.

Portanto, a curva de retenção de água (CRA) dos solos estudados é melhor descrita pelo modelo bimodal, exceto os horizontes A1 (perfil P12), Ap, AB e BA (perfil P13) do Latossolo Amarelo, e o horizonte Bic2 (perfil P14) do Cambissolo Háplico.

Agradecimentos

A CAPES, pela concessão da bolsa PIBIC à primeira autora. Ao orientador Wenceslau Teixeira e a todos os integrantes do Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo (LAMAS), pelo apoio e ensinamentos durante a pesquisa.

Referências

- BONFANTE, A.; BOUMA, J. The role of soil series in quantitative Land Evaluation when expressing effects of climate change and crop breeding on future land use. *Geoderma*. 259-260, 2015. p. 187-195.
- CARDUCCI, C. E. OLIVEIRA, G. C. SEVERIANO, E. C. ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:77-86, 2011.
- DURNER W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research*. 30: 211-223, 1994.

HILLEL, 1998.

JORGE, Ricardo Falqueto; CORÁ, José Eduardo; BARBOSA, José Carlos. Número mínimo de tensões para determinação da curva característica de retenção de água de um Latossolo Vermelho Eutrófico sob sistema de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 34, p. 1831-1840, 2010.

METER, 2015. Operation Manual HYPROP 2, METER Group AG, Munich, Germany. http://library.metergroup.com/Manuals/18263_HYPROP_Manual_Web.pdf.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Res. Res.*, 12;513-522, 1976.

Rocha, F. I., Ribeiro, T. G., Fontes, M. A., Schwab, S., Coelho, M. R. R., Lumbreras, J. F., ... & Jesus, E. D. C. Land-Use System and Forest Floor Explain Prokaryotic Metacommunity Structuring and Spatial Turnover in Amazonian Forest-to-Pasture Conversion Areas. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, p. 909, 2021.

TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes et al. Predição da água disponível no solo em função da granulometria para uso nas análises de risco no zoneamento agrícola de risco climático. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2021. Boletim técnico, v. 272, 2021.

TEIXEIRA, W. G.; BHERING, S. B. Retenção de água no solo pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017, p. 34-46.

TEIXEIRA, W. G. Land use systems effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey Ferralsol in the Central Amazon. *Bayreuther Bodenkundliche Berichte*. Bayreuth, v.72, 1-255 p, 2001.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 44: 892-898, 1980.

Teores de carbono e nitrogênio do solo sob diferentes coberturas no Cerrado goiano

Letícia Siqueira Gomes de Paula⁽¹⁾; Ana Paula Guimarães⁽²⁾; David Vilas Boas de Campos⁽³⁾; Erika Flavia Machado Pinheiro⁽⁴⁾; Celso Wainer Manzatto⁽⁵⁾;

⁽¹⁾Graduanda em Ciência Ambiental/UFF, bolsista do laboratório IABS, Embrapa Solos. ⁽²⁾Pós doutoranda, UFRRJ/ Embrapa Solos. ⁽³⁾Pesquisador, Embrapa Solos. ⁽⁴⁾ Professora, IA – UFRRJ. ⁽⁵⁾ Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente.

Resumo – Ao longo dos anos tem sido crescente preocupação mundial com o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). No Brasil, o setor agropecuário foi o que mais contribuiu com as emissões de GEE, apresentando valores na ordem de 34%, no ano de 2016. Com a grande contribuição do setor agropecuário brasileiro tornou-se notável a necessidade de quantificar o estoque de carbono no solo pela sua grande capacidade em armazenar C, o que se dá pela adição de matéria orgânica ao solo (MOS). Nesse contexto, esse trabalho teve como principal objetivo executar análises químicas e físicas das amostras de solo e analisar o estoque de carbono e nitrogênio presente no solo nos sistemas de produção agropecuária referentes ao projeto Agricultura de Baixo Carbono e Desmatamento Evitado Para Reduzir a Pobreza no Brasil – Projeto Minerva. O projeto foi desenvolvido em quatro etapas: i) coleta de amostras indeformadas de terra, ii) processo de maceração do solo, iii) análise de solo em equipamento CHN, iiiii) organização de um banco de dados com os resultados. Como muitas amostras não chegaram a ser maceradas e enviadas para quantificação do carbono no solo, estamos apresentando os resultados preliminares.

Palavras-Chave: carbono, nitrogênio, análise de solo, MOS, gases de efeito estufa (GEE).

Introdução

Ao longo dos anos tem sido crescente preocupação mundial com o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). No Brasil, o setor agropecuário foi o que mais contribuiu com as emissões de GEE, apresentando valores na ordem de 34%, no ano de 2016 (MAPA, 2020). No entanto, medidas para minimizar ou compensar as emissões GEEs no setor agropecuário tem sido tomada.

A função do solo em estocar carbono pode contribuir na mitigação das emissões de GEE e, consequentemente, na redução do aquecimento global.

A magnitude e a taxa de sequestrar e estocar C nos solos podem variar muito, dependendo dos diferentes biomas, solos, climas, usos e manejos do solo, relevo entre outros fatores e processos de formação do solo (Batjes, 2019).

O estoque de carbono no solo também está diretamente relacionado as práticas de manejo adotadas pelo agricultor, onde práticas conservacionistas contribuem para o aumento da adição e da qualidade de matéria orgânica (MO) e teor de carbono no solo.

A MO tem, como principal elemento em sua composição, 58 % de C logo o conhecimento da sua dinâmica no sistema solo-planta-atmosfera contribui para o entendimento de como os sistemas agrícolas podem afetar a quantidade e a qualidade da MOS e consequentemente a sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuária

Assim o carbono do solo, contido na MOS, é uma importante fração do estoque de carbono, considerando o ciclo global do carbono no sistema solo-planta-atmosfera, e seu monitoramento no tempo, assim como dos teores da fertilidade do solo, são requisitos indispensáveis para avaliar a efetividade dos sistemas que pretendem produzir com baixa emissão de carbono.

Material e Métodos

As amostragens de terra foram realizadas entre de novembro de 2021 a fevereiro de 2022, em um total de 30 fazendas, localizadas nos biomas Cerrado, Amazônico e Mata Atlântica, onde realizamos inicialmente a seleção das áreas de intervenção do projeto e posteriormente as coletas das amostras de terra para compor a linha de base e monitoramento do carbono orgânico do solo (COS).

Nas fazendas selecionadas, cada área agrícola homogênea e área de floresta (área referência) foi considerada como um ponto amostral dentro da área de intervenção. A quantidade de pontos amostrais variou entre 5 a 14 pontos de coleta, por fazenda, dependendo da área da propriedade e dos diferentes manejos adotados.

Para cada ponto amostral, dentro das propriedades, foram coletas amostras de terra deformadas para quantificação do C, N e fertilidade do solo e indeformadas para determinação da densidade do solo.

Para a amostragem de terra indeformada foram abertas trincheiras, onde as amostras foram coletadas com auxílio do anel de Kopecky, na parede do perfil do solo, nas profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 cm. A terra presente no anel foi transferida para sacos plásticos previamente identificados para posterior análise de densidade do solo utilizando o método do anel volumétrico descrito em EMBRAPA (2017). Amostras deformadas de terra também foram coletadas nas mesmas profundidades, para análises de C, N e fertilidade do solo. Essas amostras foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas em peneiras de diâmetro de 2,0 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e posteriormente moídas em moinho de rolo até formar um pó.

A análise de fertilidade do solo está sendo realizada conforme a metodologia descrita em EMBRAPA, (2017). A concentração de carbono orgânico total e nitrogênio está sendo determinada pelo método de combustão a seco (EMBRAPA, 2017).

O estoque de C e N no solo está sendo calculado multiplicando-se a quantidade de C no solo em uma determinada camada pela sua densidade aparente e as massas dos volumes de solo estão sendo corrigidas de acordo com SISTI et al. (2004).

No presente trabalho apresentamos resultados parciais de uma propriedade localizada no Bioma Cerrado.

Resultados e Discussão

A coleta foi realizada na fazenda identificada como fazenda 13, no Bioma Cerrado no estado de Goiás.

Nesta fazenda a densidade do solo variou entre 1,09 Mg m⁻³ a 1,69 Mg m⁻³ entre a área de mata e os sistemas de Soja PD, SILP e eucalipto (Figura 1). Na camada de 0-10 cm de profundidade a área sob floresta, apresentou densidade do solo de 1,09 Mg.m⁻³, menor valor para esta profundidade quando aos demais sistemas de manejo adotados. Nas áreas sob cultivo de eucalipto a mais de 20 anos, soja PD e SILP, a utilização de máquinas e/ou pastejo animal podem estar favorecendo o aumento da DS tanto na camada mais superficial do solo, 0-10 cm de profundidade, como nas camadas subsuperficiais do solo (10-20 cm e 20-30 cm de profundidade).

A camada superficial do solo, 0-10 cm, possui maior teor da matéria orgânica favorecendo a redução da densidade do solo e consequentemente maior porosidade do solo. Já nas camadas inferiores, com maior densidade, pode estar sob efeito compactação do solo devido a utilização de arados e maquinários pesados. O que chama a atenção, são os valores mais altos de densidade, como 1,68 g. cm⁻³, uma vez que valores de densidade do solo maiores que 1,75 g cm⁻³ já são um indicador de baixa porosidade do solo, podendo causar restrições ao crescimento das raízes e a má circulação de ar e água através do solo (Reinert et. al., 2008).

No perfil do solo, as áreas sob SILP 1 e 2 e a área sob soja PD -1 apresentaram maiores concentração de C que a área sobre floresta na profundidade de 0-10 cm o que se manteve até a camada de 20-30 cm (Figura 2). Os teores de C na área sob floresta variou 15,7 e 6,9 g C.kg solo⁻¹ enquanto a concentração de N ficou entre 0,50 e 0,40 g N.kg solo⁻¹. A diminuição dos teores de C no solo sob floresta e nos demais sistemas de manejo adotados em profundidade no solo, foi de aproximadamente 50% quando comparamos as camadas de 0-10 cm e 20-30 cm, o que é esperado uma vez que a distribuição de raízes sempre diminui com a profundidade no solo (Figura 2 e Figura 3).

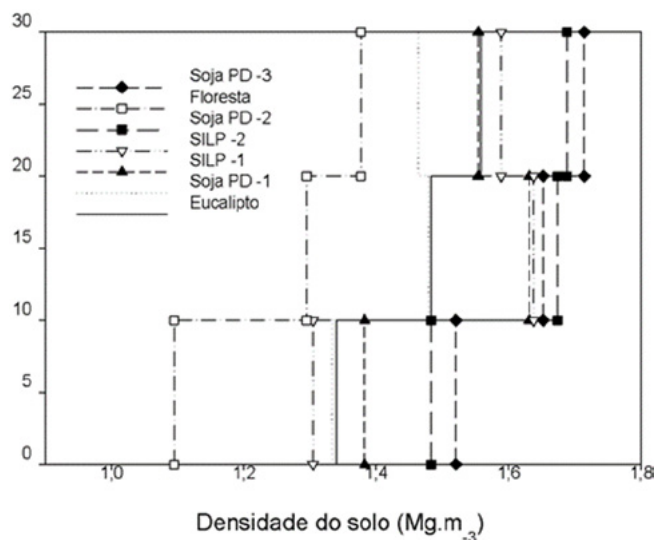


Figura 1. Densidade do solo até a profundidade de 30 cm, sob floresta, eucalipto, Soja sob plantio direto e SILP (sistema de integração lavoura pecuária).

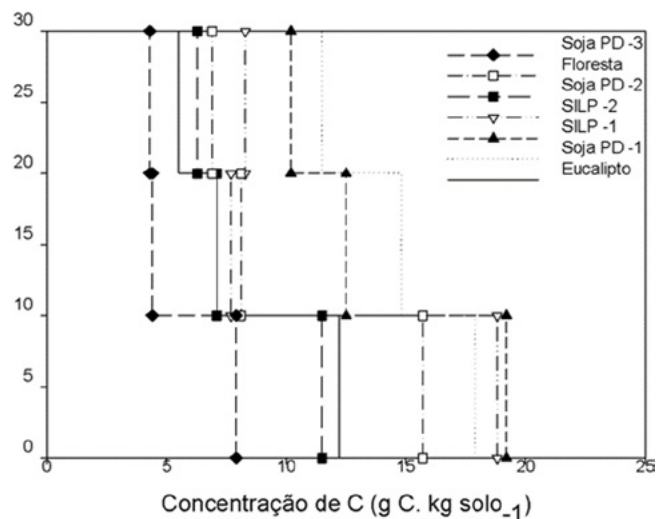


Figura 2. Concentração de C no perfil do solo até a profundidade de 30 cm, sob floresta, eucalipto, Soja PD - plantio direto e SILP (sistema de integração lavoura pecuária).

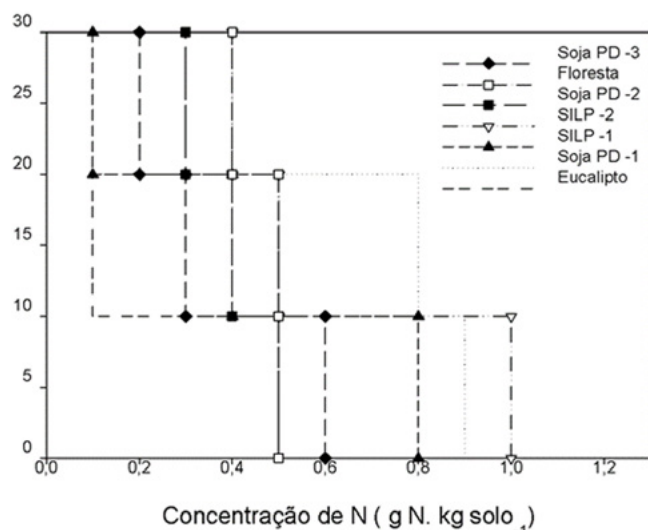


Figura 3. Concentração de N no perfil do solo até a profundidade de 30 cm, sob floresta, eucalipto, Soja PD - plantio direto e SILP (sistema de integração lavoura pecuária).

Em relação a concentração de N no solo, na camada de 0-10 cm, os valores variaram de 0,50 a 1,0 g N.kg solo⁻¹ e todos os sistemas de cultivo apresentaram maiores valores, quando comparados a área sob floresta, provavelmente devido a adição de esterco bovino adicionado nessas áreas.

Observa-se que a concentração de N na área sob floresta se manteve praticamente estável até 30 cm de profundidade, enquanto nos demais sistemas, principalmente na profundidade de 20-30 cm, a concentração diminui em profundidade.

Essa diminuição pode ser devido à grande exportação de N pela cultura da soja e/ou à rápida mineralização dos resíduos de soja e milho geralmente utilizados nestes sistemas de cultivos.

Conclusões

A densidade do solo, foi menor na profundidade 0-10 cm. Nas áreas de mata os valores foram menores em comparação com as áreas sob pastagem, soja PD e SILP.

Os valores mais elevados de densidade do solo nos sistemas de cultivo, como o de plantio direto e SILP de algumas áreas, assim como da diminuição dos teores de C e N quando comparados a área de floresta, podem indicar que o manejo não está sendo bem conduzido apesar das técnicas adotadas favorecerem o aumento do teor de matéria orgânica no solo e consequentemente C e N, além de melhorar a estrutura e porosidade do solo, e com isso diminuir a densidade do solo. Ou, o tempo de implementação das práticas ainda ser pouco para que todos os benefícios desse manejo se expressem nas propriedades físicas e químicas do solo.

Agradecimentos

Fazenda Sete Léguas, IABS

Referências

ASSAD, Eduardo D., et al. "Sequestro de carbono e mitigação de emissão de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados." ILPF: Inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, p. 153-167, 2019.

BATJES, NH. Technologically achievable soil organic carbon sequestration in world croplands and grasslands. Land Degrad Dev. v.30. p.25–32. 2019. <https://doi.org/10.1002/ldr.3209>

Campanha MM, Nogueira RS, Oliveira TS, Teixeira AS, Romero RE. "Teores e estoques de carbono no solo de sistemas agroflorestais e tradicionais no semiárido brasileiro Sobral": EMBRAPA; 2009. Circular Técnica n. 42.

CARVALHO, João Luis Nunes, et al. "Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil." Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 277-290, 2010.

DIEKOW J., MIELNICZUK J., KNICKER H., BAYER C., DICK D.P., KOGEL-KNABNER I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. Soil & Tillage Research, v.81, p.87-95. 2005.

EMBRAPA. "Manual de métodos de análise de solo" Rio de Janeiro: CNPS; 2017.

FONTANA, Ademir, et. "Carbono e Nitrogênio total: Analisador elementar." Manual de Métodos de Análise de solo. Brasília, DF: [s. n.], 2017. cap. 4, p. 394-396.

HAMADA, Emília, et al. "Projeções de variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil ao longo do século 21." Embrapa Meio Ambiente- Capítulo em livro científico, p-17-49, 2017.

OLIVEIRA, Patricia Perondi Anchão, et al. "Protocolo para quantificação dos estoques de carbono do solo da rede de pesquisa Pecuária." 20p. Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 116; ISSN: 1980-6841.

PINHEIRO, Érika Flávia Machado, et. al. "Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter." ResearchGate, [s. l.], p. 1-6, jan. 2015.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Bulk density critical limits for normal root growth of cover crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.32, p. 1805-1816. 2008.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional and no-tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*. v.76, p. 39–58. 2004.

TEIXEIRA, Paulo César, et al. editores técnicos. “Manual de métodos de análise de solo.” – 3 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.: il. color. ISBN 978-85-7035-771-7.

Precipitação de estruvita em laboratório ⁽¹⁾

Rafaela Lopes Silva⁽²⁾; David Vilas Boas de Campos⁽³⁾; Fernanda Lavra de Oliveira Lima⁽⁴⁾; Patrícia Magalhães Lima de Aguiar Freire⁽⁵⁾; Caio de Teves Inácio⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa Solos. ⁽²⁾ Acadêmica do Curso de Processos Químicos do Instituto Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁴⁾ Acadêmica do Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. ⁽⁵⁾ Engenheira Química pela PUC Rio, mestranda em Engenharia Ambiental pela UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁶⁾ Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Resumo – A estruvita ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) é um mineral cristalino estável em pH alcalino. Este projeto tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica da precipitação de estruvita em águas residuárias. A estruvita precipitada dessas águas é uma via de recuperação eficiente de nutrientes para uso agrícola tornando o mineral promissor como fertilizante. O presente experimento foi realizado em bancada com a utilização de reagentes comerciais. O reagente cloreto de magnésio (MgCl_2) utilizado como fonte de magnésio, o fosfato de monopotássio (KH_2PO_4) como fonte de fosfato e o cloreto de amônio (NH_4Cl) como fonte de amônio. Foram avaliados dois fatores: pH (7,5; 8,0; 8,5; 9,0 e 9,5) e a estequiometria dos reagentes $\text{PO}_4\text{:NH}_4\text{:Mg}$, (1:1:1, 1:1:1,5 e 1:1:2), buscando as melhores condições de precipitação. As variáveis de pH se mostraram consideravelmente expressivas em relação a quantidade de material precipitado, porém a estequiometria utilizada nas proporções de magnésio não foi tão significativa para a precipitação do produto formado. As análises morfológicas dos precipitados obtidos foram feitas após os ensaios por meio de energia dispersiva de raios-X, as composições elementares do fósforo, nitrogênio e magnésio através de análises de Espectroscopia e análises elementares, respectivamente.

Palavras-Chave: Precipitação, Estruvita, Fertilizante, Águas residuárias, Análise elementar.

Introdução

A Estruvita é uma substância branca e cristalina composta por amônio, fósforo e magnésio. Ela possui concentrações equimolares cuja fórmula química é ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Seus cristais possuem uma estrutura ortorrômbica definida permitindo que a sua presença possa ser identificada qualitativamente através da técnica de Difração de raios X (DRX) por comparação entre intensidade, picos produzidos e a base de dados para a estrutura cristalina (DOYLE e PARSONS, 2002).

A Estruvita é um mineral estável a pH alcalino e promissor como fertilizante de liberação lenta em solos de pH ácido. Ela solubiliza lentamente e conseqüentemente pode ser aplicada com menos periodicidade nas plantas, ou seja, há um melhor aproveitamento na absorção dos nutrientes antes que sejam perdidos no solo.

Em comparação aos adubos minerais convencionais a estruvita possui os três macronutrientes fundamentais (N, P e Mg) em um só mineral. Esses nutrientes são inseridos ao mesmo tempo no solo sem adição desnecessária de elementos nutricionais, evitando o desperdício de nutrientes nos solos.

Nosso objetivo é obter a estruvita a partir de águas residuárias, pois estas vêm sendo vistas como um desperdício, mostrando-se favoráveis à recuperação de nutrientes importantes a agricultura (SIKOSANA et al, 2017). Porém, a princípio foram iniciados os experimentos de precipitação de estruvita em meios laboratoriais com reagentes comerciais.

Material e Métodos

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Tecnologia em Fertilizantes da Embrapa Solos. Foram utilizadas soluções de *cloreto de amônio* (NH_4Cl), cloreto de magnésio (MgCl_2) e fosfato de monopotássio (KH_2PO_4). Estas soluções foram preparadas de modo que contivessem 10 g/L de cada espécie (NH_4^+ ; Mg^{2+} e PO_4^{3-}) em 10 mL de solução. Na tabela 1 encontra-se a quantidade de massa utilizada de cada reagente. As soluções de cloreto de magnésio foram preparadas nas seguintes proporções 1:1:1, 1:1:1,5 e 1:1:2.

Tabela 1. Reagentes.

Reagente	Massa (g)
NH ₄ Cl	29,72
MgCl ₂	83,66; 125,49; 167,32
KH ₂ PO ₄	14,33

O experimento consistiu na preparação de 25 amostras contendo 50 mL de cada solução. Posteriormente cada uma teve seu pH ajustado.

As amostras foram denominadas de Originais e foram dispostas conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Amostras Originais.

pH	Mg	N	P
7,5	1	1	1
	1,5	1	1
	2	1	1
8,0	1	1	1
	1,5	1	1
	2	1	1
8,5	1	1	1
	1,5	1	1
	2	1	1
9,0	1	1	1
	1,5	1	1
	2	1	1
9,5	1	1	1
	1,5	1	1
	2	1	1

A partir das amostras originais foram preparadas 15 soluções da seguinte maneira: 10 mL de cada amostra mais 50 mL de água deionizada com três repetições cada.

Posteriormente as soluções foram agitadas em 98 rpm por uma hora. Em seguida ficaram em repouso por mais uma hora. Depois foram filtradas (filtros previamente secos e pesados em estufa a 45°C) e avolumadas em balões de 100 mL. Após avoluma-las transferiu-se cada uma para tubos falcon de 50 mL. O material depositado nos filtros foi levado para secagem em estufa a 40°C por um período de três dias. As demais amostras foram identificadas e postas na geladeira para proceder com as análises seguintes.

Análise de Nitrogênio

Para a análise do nitrogênio fez-se a destilação e titulação das soluções originais e filtradas separadamente. Nas originais foram utilizados tubos de destilação, onde pipetou-se 0,5 mL das soluções

mais 10 mL de água deionizada. As amostras foram coletadas do destilador Foss em 10 mL de ácido bórico (H_3BO_3) 4 % e 3 gotas de mistura de indicador e em seguida tituladas com ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol L^{-1} .

Nas soluções filtradas, nos tubos de destilação foi pipetado 10 mL das amostras e duas gotas de HCl 0,2 mol L^{-1} para acidificação. Em seguida as amostras também foram coletadas do destilador em 10 mL de H_3BO_3 4 % e 3 gotas de mistura do indicador, em seguida tituladas com HCl 0,2 mol L^{-1} .

Análise de Magnésio

Para análise do magnésio as amostras foram tituladas da seguinte forma: das soluções originais, contendo magnésio, foram pipetados em um erlenmeyer 0,1 mL de cada solução, 4,0 mL de água deionizada, 4,0 mL de solução tampão, aproximadamente 30 mg de ácido ascórbico e duas gotas do indicador negro eriocromo.

Nas soluções filtradas teve-se o mesmo procedimento com exceção do volume de cada amostra de 1,0 mL pipetado. Todas as soluções foram tituladas com EDTA 0,0125 mol L^{-1} .

Análise de Fósforo

Para análise de fósforo no espectrofotômetro precisou-se diluir as soluções da seguinte forma: as soluções originais tiveram duas diluições, coletou-se 0,1 mL de cada amostra e adicionou-se em balões volumétricos de 25 mL. Em seguida retirou-se 1,0 mL de cada balão e diluiu-se novamente em outros balões de 25 mL. Após as diluições foi coletado 5 mL de cada amostra e pipetados em copos descartáveis de café, onde se misturou 10 mL de molibdato diluído e 30 mg de ácido ascórbico, deixando-os em repouso por 40 minutos. Repetiu-se o mesmo procedimento, porém menos diluído, para a segunda diluição foram coletados 5,0 mL ao invés de 1,0 mL.

Nas soluções filtradas teve-se também duas diluições, coletou-se 1,0 mL de cada amostra e adicionou-se em balões volumétricos de 25 mL. Em seguida retirou-se 10,0 mL de cada balão e diluiu-se novamente em balões de 50 mL. Após as diluições foi coletado 5,0 mL de cada amostra e pipetados em copos descartáveis de café, onde adicionou-se 10 mL de molibdato diluído e 30 mg de ácido ascórbico, deixando-os em repouso por 40 minutos. Repetiu-se o mesmo procedimento em todos os pHs.

Resultados e Discussão

Após a filtragem o precipitado formado foi pesado de acordo com pH da solução correspondente, o que está traduzido na Tabela 3. A maior concentração de precipitado em solução foi de 5,3 g de precipitado por litro de solução nas condições de: pH 9,5 e $\text{NH}_4^+:\text{Mg}^{2+}:\text{PO}_4^{3-} = 1:2:1$. Já a menor quantidade foi de 438mg de precipitado por litro de solução a um pH de 7,5 e $\text{NH}_4^+:\text{Mg}^{2+}:\text{PO}_4^{3-} = 1:1:1$.

Tabela 3. Massa de precipitado

pH	Precipitado (g)	pH	Precipitado (g)	pH	Precipitado (g)	pH	Precipitado (g)	pH	Precipitado (g)
7,5	0,084	8,0	0,113	8,5	0,153	9,0	0,318	9,5	0,417
7,5	0,083	8,0	0,129	8,5	0,167	9,0	0,345	9,5	0,414
7,5	0,088	8,0	0,114	8,5	0,169	9,0	0,341	9,5	0,414
7,5	0,102	8,0	0,118	8,5	0,169	9,0	0,306	9,5	0,419
7,5	0,085	8,0	0,116	8,5	0,161	9,0	0,356	9,5	0,410
7,5	0,084	8,0	0,100	8,5	0,162	9,0	0,359	9,5	0,402
7,5	0,064	8,0	0,114	8,5	0,161	9,0	0,347	9,5	0,424
7,5	0,035	8,0	0,102	8,5	0,168	9,0	0,352	9,5	0,413
7,5	0,086	8,0	0,123	8,5	0,163	9,0	0,354	9,5	0,419

As análises elementares dos componentes da estruvita (NH_4^+ ; Mg^{2+} e PO_4^{3-}) foram feitas em solução e estão dispostas nos gráficos 1, 2 e 3, respectivamente. Estas análises representam quantitativamente o que não reagiu, ou seja, o que não formou precipitado.

Além das análises anteriores foi feita a análise estatística dos dados pelo Teste de Tukey e Análise de Variância (ANOVA), a fim de se confirmar ou não as premissas anteriormente citadas. A influência de diferentes concentrações de magnésio e as variações de pH. Estes resultados estão representados no gráfico 4.

Por último, para identificação do precipitado formado, foi realizada a análise por difração de raios-X. Através da caracterização de sua estrutura cristalina, confirmou-se que o precipitado formado era de fato composto majoritariamente por estruvita. Na figura 1 têm-se a imagem do sólido formado após a filtragem. O resultado da difração está demonstrado na figura 2.



Figura 1. Precipitado.

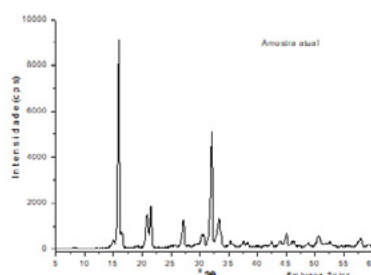
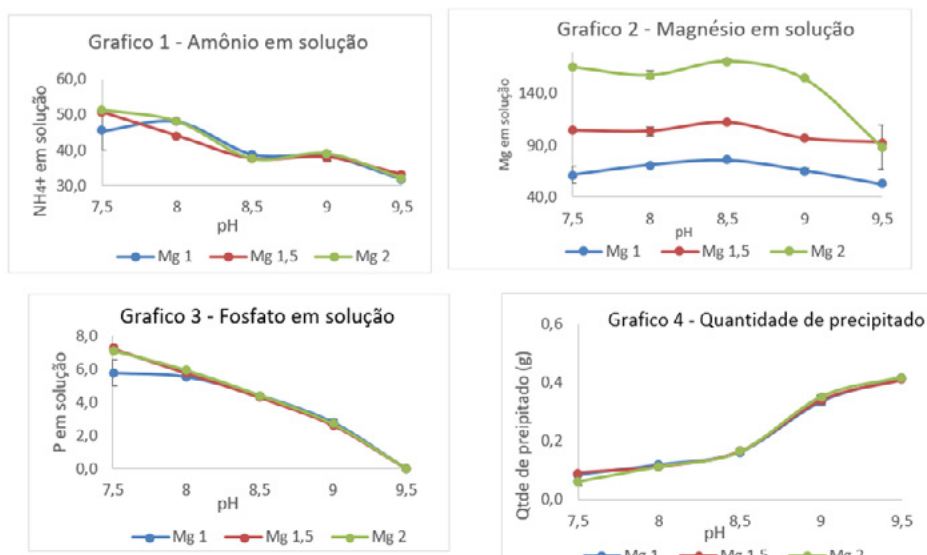


Figura 2. Difração.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que às variações de pH teve influência na massa de precipitado formado. Obtendo mais estruvita à medida que ia ficando mais básico.

Entretanto, as proporções de magnésio adotadas não foram significativas para a quantidade do mineral formado.

Agradecimentos

À Embrapa Solos, ao CNPq e a minha equipe de trabalho que colaborou muitíssimo para que o experimento ocorresse.

Referências

ADNAN, A.; MAVINIC, D. S.; KOCH, F. A. Pilot-scale study of phosphorus recovery through struvite crystallization - examining the process feasibility Environmental Engineering Science, v. 2, p. 315-324, 2003.

AIDAR, F. N. Fatores intervenientes na cristalização da estruvita para a recuperação do

fósforo de esgoto. 2012. 137 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

DINIZ, D. T. L. (2010). **Remoção de Nitrogênio Amoniacal de Lixiviado de Aterro de Resíduos Sólidos por Precipitação Química com Formação de Estruvita**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-133/2010, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 111p.

MARTI, N.; PASTOR, L.; BOUZAS, A.; FERRER, J.; SECO, A. Phosphorus recovery by struvite crystallization in WWTPs: Influence of the sludge treatment line operation. Water Research, v. 44, p. 2371-2379, 2010.

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. **Dejeto líquido de suíno como fertilizante orgânico: método simplificado**. Londrina: Iapar, 2015. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/banner%20pequeno/dejeto_suinoa.pdf>. Acesso em: 13.nov.2018

MORAES, Aolibama da Silva de. **Precipitação de estruvita de águas residuárias da agropecuária como fertilizante para uso agrícola**. 2020. 54 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia. Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2020.

SCHERER, E. E., BALDISSERA, I. T., & DIAS, L. X. (1995). **Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense**. Agropecuária Catarinense, v.8, p. 35-39.

SCHILLING, Pablo Figueiredo. **Remoção de nitrogênio amoniacal na forma de estruvita de lixiviado de aterro sanitário**. Orientadoras: Lídia Yokoyama e Juacyara Carbonelli Campos. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ; TPQB, 2008.

RAHAMAN, M. S.; MAVINIC, D. S.; MEIKLEHAM, A. ELLIS, N. **Modeling phosphorus removal and recovery from anaerobic digester supernatant through struvite crystallization in a fluidized bed reactor**. Water Research, v. 51, p. 1-10, 2014.

Fertilizantes fosfatados parcialmente acidulados produzidos a partir de rocha natural brasileira ⁽¹⁾

Gabriel Carlos Francisco⁽²⁾; Jéssica Franciele Kaminski Ramos⁽³⁾; João Augusto Dourado Loiola⁽⁴⁾; Bruna Karina da Silva Oliveira⁽²⁾; Rosângela Stralio⁽⁵⁾; Paulo César Teixeira⁽⁵⁾; Vinícius de Melo Benites⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq. ⁽²⁾ Graduando em engenharia química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. ⁽³⁾ Mestranda em agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. ⁽⁴⁾ Graduando em agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. ⁽⁵⁾ Pesquisador, Embrapa Solos.

Resumo – Neste trabalho, foram analisados diferentes níveis de acidulações a fim de propor alternativas de fertilizantes fosfatados a partir de rocha natural brasileira de fosfato sedimentar de Pratápolis-MG. Foi realizada a classificação granulométrica e utilizou-se as granulometrias acima de 1 mm para prosseguir o estudo sendo moídas até 0,3 mm e aciduladas em 6 níveis de acidulação com ácido sulfúrico e avaliados a disponibilidade de fósforo (P) pela relação de P solúvel CNA/P total. Observou-se que houve uma tendência linear crescente da disponibilidade de P pelo fertilizante em detrimento do nível de acidulação aplicada, no entanto, a produção de massa seca de milho não seguiu o mesmo padrão nos experimentos conduzidos em casa de vegetação.

Palavras-Chave: Fósforo, Milho, Pratápolis, Massa seca.

Introdução

O fósforo é um elemento essencial para o crescimento das plantas, responsável por várias funções cruciais ao desenvolvimento vegetal, atuando como transmissor de energia às células, a partir da fotossíntese e da respiração, como também na constituição estrutural de ácidos nucleicos, fosfolipídios, fosfoproteínas e coenzimas (GRANT et al., 2010). A limitação deste nutriente primário nos estágios iniciais das plantas induz anormalidades que podem ser irreversíveis, mesmo que ocorra suplementação posterior, pois, esse elemento atua na raiz e sua limitação afeta a absorção de água e nutrientes.

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes fosfatados do mundo e o sexto maior produtor, com apenas 3% da produção mundial. A produção tem se mantido praticamente inalterada na última década, cerca de 2 milhões de toneladas por ano, insuficiente para atender as demandas internas do país (ABISOLO, 2018).

A forte dependência internacional para esse insumo se justifica, em parte, pela falta de reservas significativas e de boa qualidade de fosfatos no Brasil. Enquanto 85% das operações mundiais de fosfato estão baseadas em rochas sedimentares, que apresentam maior concentração de P e menor dureza, no Brasil a indústria de fosfatos está praticamente baseada na exploração de fosfatos ígneos com baixa concentração do nutriente. Isso faz com que o processo de obtenção de fertilizantes a partir dos fosfatos naturais brasileiros seja mais caro e menos eficiente que em outros locais no mundo.

Assim como nos demais países agrícolas, o uso dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados prevalece, como é o caso dos superfosfatos e dos fosfatos de amônio, que possuem alta solubilidade em água e eficiência agrônômica (VIEIRA et al., 2010). Esses fertilizantes exigem altas quantidades de ácido sulfúrico, fosfórico e enxofre, que são na maioria das vezes importados e acabam acarretando altos custos de produção. Outro entrave é relacionado ao alto teor de P_2O_5 exigido e à baixa concentração de impurezas, que acaba gerando perdas de até 40% do fosfato extraído das minas (GOEDERT et al., 1990).

Dentro da sistemática de produção de fertilizantes fosfatados, via ácido sulfúrico, existe uma alternativa que possibilita a redução do custo industrial, através da metodologia de acidulação parcial. A produção de Fosfato Parcialmente Acidulado (F.P.A), possibilita o uso de maiores teores de impurezas na matéria-prima, como também menores concentrações de ácido sulfúrico na sua síntetização (CEKINSKI et al., 1983). A eficiência agrônômica dos fertilizantes parcialmente acidulados

é afetada por diversos fatores, dentre os quais estão a granulometria e origem da rocha fosfática, a solubilidade, o grau de ataque ácido empregado, a reatividade do mineral, a planta e as características físico-químicas do solo (THOMAS et al. 1973).

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento e avaliação agronômica de um fertilizante fosfatado parcialmente acidulado nacional, com menor custo de produção, que promova uma maior eficiência em relação à rocha original e às fontes solúveis.

Material e Métodos

A partir do fosfato sedimentar de Pratápolis- MG, realizou-se a separação pelo método de peneiramento a seco os grânulos do material com malhas de 7, 16, 32, 48, 60 e 200 mesh de tamanho com cada batelada acondicionada em um agitador de peneiras automático programado para trabalhar 07 minutos por batelada na vibração 9.

Realizada a classificação granulométrica, prosseguiu-se o estudo com as amostras retidas nas peneiras de maiores granulometrias, 16 e 7 mesh, as quais foram moídas até passar em peneira de 0,3 mm para as análises de solubilidade.

O procedimento de acidulação parcial do material seguiu-se com 7 alíquotas de 50 g do material moído e acondicionados em béqueres de Teflon com aplicação direta de ácido sulfúrico 98,5% (H_2SO_4) em doses de 0, 10%, 20% e 30% 40%, 50% e 60% de ácido (p/p), com adição de água na relação estequiométrica de 0,66 g de água para cada 10 g de ácido sulfúrico. As amostras ficaram em capela com exaustão por 72h para a cura do fosfato e depois transferidas para estufa à 100°C onde permaneceram até secagem completa, durante 10 dias. As amostras foram retiradas da estufa, moídas abaixo de 0,3 mm e acondicionadas em tubos Falcon.

Para a determinação de solubilidade do material em água, CNA e ácido nítrico 10%, foi realizada pela extração em agitação overnight na proporção de material e extrator 1:100. Realizou-se a filtração do conteúdo com filtro WHATMANN nº 1 e uma alíquota de seu extrato foi recolhida seguindo a metodologia de determinação de fosfatos em águas naturais (MURPHY; RILEY, 1962).

A avaliação do incremento de produtividade foi conduzida em casa-de-vegetação na UFRRJ. O DBC contou com 4 repetições e 8 tratamentos, envolvendo os níveis crescentes de acidulação e o tratamento controle, sem P. A dose de P foi 100 mg/kg de solo para todos os tratamentos, com base no P total determinado.

As unidades experimentais foram vasos contendo 1,8 kg de Latossolo Vermelho coletado em Planaltina DF (contendo 3 e 0,4 mg/dm³ de P em resina e Mehlich, respectivamente) e milho híbrido BM 3066, com 2 plantas por vaso. A parte aérea das plantas foi coletada aos 45 dias de cultivo e medida a matéria seca.

Resultados e Discussão

Pela classificação granulométrica apresentada na **Tabela 1**, observa-se uma significativa parcela e material de granulometria acima de 1 mm, cujas frações não representam valor significativo *in natura* para seu uso final.

Frente a solubilidade associada à fração acima de 1 mm na relação de CNA e fósforo total, nota-se pela **Figura 1** uma variação linear de acordo com a acidulação empregada ao material

Tem-se ainda que, segundo Hammond et al., (1986) as frações solúveis de fósforo do produto acidificado podem sofrer alterações de acordo com as impurezas presentes na fração da rocha, bem como a reatividade do ácido com a granulometria utilizada da rocha, a qual neste contexto é compatível com as maiores granulometrias possuírem maiores impurezas frente a um menor processo de intemperismo natural.

Observou-se também um aumento da produtividade com o aumento da acidificação, contudo não no mesmo padrão do aumento da solubilidade em CNA.

Tabela 1. Distribuição granulométrica percentual da amostra de rocha fosfática de Pratápolis utilizada no estudo, após processo de peneiramento a seco em agitador de peneiras

Retido na peneira		%	% acumulado
Malha (mm)	Mesh		
0	Fundo	13,7	13,7
0,075	200	22,9	36,6
0,25	60	4	40,6
0,3	48	9,9	60,5
0,5	32	14,3	64,8
1	16	27,3	92,1
>2,8	7	7,8	99,9
TOTAL		100	

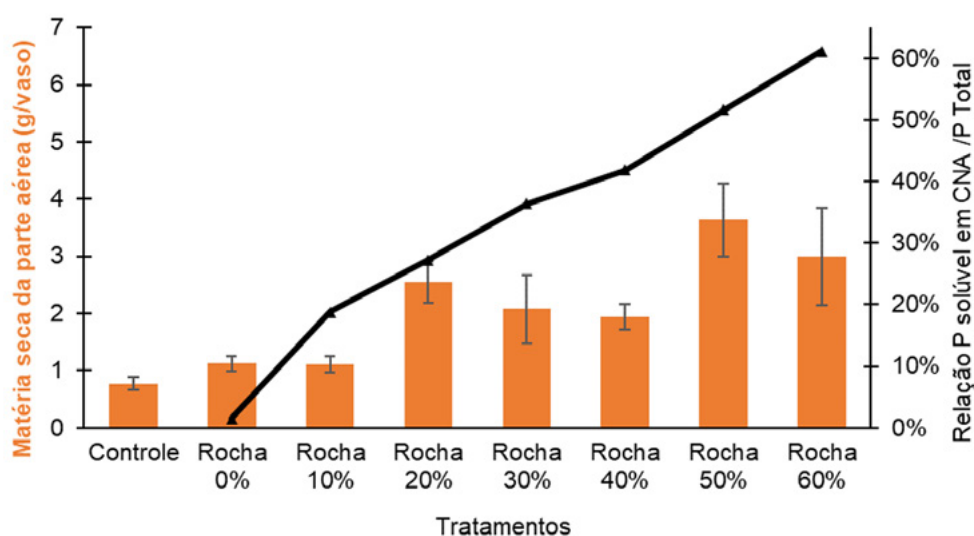


Figura 1. Relação entre teores de fósforo solúvel nos diferentes níveis de acidulação e o ganho de matéria seca no milho.

Os dados sugerem que o CNA não é um bom estimador da eficiência agrônômica desses fosfatos parcialmente acidulados, podendo haver uma superestimação da eficiência agrônômica desses. A falta do processo prévio de flotação, com a eliminação de óxidos de Fe e Al, pode ser a causa desse problema, os quais maior parte do P encontra-se imobilizado na forma de fosfatos de Fe, Al e Ca, que são insolúveis, ou então fixados aos argilominerais dos solos (Santos et al, 2008)

Conclusões

Os teores de fósforo aumentaram conforme a acidulação, mas a produtividade não seguiu o mesmo padrão, o que sugere uma análise frente ao nível de acidulação em detrimento ao fósforo assimilado pelo vegetal o qual indica a melhor relação entre a produtividade vegetal e o processo industrial economicamente viável, sendo o nível 20% de acidulação mais bem avaliado.

Além disso, conclui-se que a acidulação parcial é uma boa alternativa para que haja um aumento de produtividade significativa, frente àquela com o uso do fosfato *in natura*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela oportunidade do apoio financeiro e à Embrapa Solos e Embrapa Agrobiologia por proporcionarem a condução, pesquisa e conclusão do trabalho.

Referências

ABISOLO - **Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. Anuário brasileiro de tecnologia em nutrição vegetal**, 2018. Anuário Abisolo, 179 p. 2018.

CEKINSKI, E.; BETTIOL, W. **Fosfato Parcialmente Acidulado: Um Produto Promissor**. Fertilizantes, São Paulo, v.5, n.2, p.8-12, 1983.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWIXZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Informações agronômicas**, nº 95, set. 2001. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf)>.

GOEDERT, W. J.; REIN, T. A.; SOUZA, D. M. G. **Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solos de Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p. 521-530. Brasília, 1990.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters**, Analytica Chimica Acta, vol.27, p.31-36, 1962. DOI: 10.1016/S0003-2670(00)88444-5

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. **Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural [online]**. 2008, v. 38, n. 2 [Acessado 4 setembro 2022] , pp. 576-586. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>>.

THOMAS G. W.; D. E. PEASLEE. **Testing soils for phosphorus**. In: WALSH, L. M.; J. D. Soil testing and plant analysis. Madison: Soil Science Society of América, 1973. p.115-29.

VIEIRA, M.S. **Bioquímica do fósforo. Bioquímica do tecido animal**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/fosforo_marcia.pdf>.

Anexo 2 Cartaz Programa do Seminário Pibic 2022

SEMINÁRIO PIBIC 2022
EMBRAPA SOLOS



PROGRAMAÇÃO - 20/09/2022 – TERÇA-FEIRA (MANHÃ)

08h30	Abertura		
	BOLSISTA	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO
08h55	Ana Elisa Nunes dos Santos (UFF)	Guilherme Kangussu Donagemma	Indicadores de fertilidade do solo na separação de níveis de degradação de pastagens em Valença-RJ
09h20	Mathous Moreira da Silva (UFF)	Guilherme Kangussu Donagemma	β glicosidase e Arilsulfatase na separação de níveis de degradação de pastagens
09h45	Fernanda Lavra de Oliveira Lima (UFF)	David Vilas Boas de Campos	Utilização de carvão vegetal como base de fertilizantes organominerais fosfatados
10h10	Intervalo		
10h35	Adalto de Oliveira Lima Neto (UERJ)	Ana Paula Dias Turetta	Soluções baseadas na natureza como geradoras de benefícios à população carioca
11h00	Bruna Karina da Silva Oliveira (UFRJ)	Vinicius de Melo Benites	Efeito da granulometria de rocha fosfática nacional sobre a produção de matéria seca de milho
11h25	Adalberto Francisco da Silva Júnior (UFRPE)	Maria Sônia Lopes da Silva	Caracterização física e química do solo da área de plantio de barragem subterrânea de Alagoas
11h50	Almoço		



Embrapa
Solos



SEMINÁRIO PIBIC 2022
EMBRAPA SOLOS



PROGRAMAÇÃO - 20/09/2022 – TERÇA-FEIRA (TARDE)

	BOLSISTA	ORIENTADOR	TÍTULO DO TRABALHO
13h10	Luan Porto Vieira (UERJ)	Margareth Gonçalves Simões	Deep learning e segmentação semântica de imagens para diagnóstico de níveis de degradação de pastagem
13h35	João Augusto Dourado Loliola (UFRRJ)	Paulo César Teixeira	Efeito da aplicação de diferentes frações granulométricas de rocha fosfática de Pratópolis em plantas de milho
14h	Glauber Henrique Sotero Martins (UFRJ)	Fabiano de Carvalho Balleiro / Rosângela Strallotto	Efeito priming e espectroscopia NIR-VIS para avaliar adição de fontes orgânicas e mineral no solo
14h25	Angélicy Milena Vivian (UCDB)	Ademir Fontana	Níveis de referência do carbono orgânico em Latossolos e Argissolos dos biomas brasileiros
14h50	Intervalo		
15h15	Gabriela Dias dos Santos (UFF)	Wenceslau Geraldes Teixeira	Ajuste de equações de retenção de água em solos do Sul da Amazônia
15h40	Leticia Siqueira Gomes (UFF)	David Vilas Boas de Campos	Teores de carbono e nitrogênio do solo sob diferentes coberturas no Cerrado goliano
16h05	Rafaela Lopes Silva (IFRJ)	David Vilas Boas de Campos	Precipitação de estruvita em laboratório
16h30	Encerramento		



Embrapa
Solos



Resumos do Seminário Pibic da Embrapa Solos de 2023

Desenvolvimento de método para a avaliação de atributos do solo por fluorescência de raios-X ⁽¹⁾

Àgatha Ayra Araujo Borges⁽²⁾, Bianca Braz Mattos⁽³⁾; Felicia Miranda de Jesus⁽⁴⁾; Gustavo de Mattos Vasques⁽⁵⁾; Rojane Chapeta Peixoto⁽⁶⁾; Mauricio Rizzato Coelho⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa Solos. ⁽²⁾ Bacharelado em Química, Graduação, Bolsista PIBIC-CNPq, Instituto Federal do Rio de Janeiro, Nilópolis. ⁽³⁾ Bacharelado em Ciências Biológicas, Mestre, Analista e Jardim Botânico.

⁽⁴⁾ Bacharelado em Química, Mestre, Técnica e Jardim Botânico. ⁽⁵⁾ Engenharia florestal, PhD, Pesquisador, Jardim Botânico. ⁽⁶⁾ Técnica em Química, Técnica, Técnica e Jardim Botânico. ⁽⁷⁾ Agrônomo, Doutor, Pesquisador, Jardim Botânico

Resumo – Com o progresso nas técnicas analíticas e a adoção dos princípios da química verde, os métodos fundamentados na química úmida estão gradativamente sendo atualizados. Diante disso, o propósito deste projeto foi implementar um método para determinar atributos do solo via Fluorescência de Raios-X (FRX). As análises foram executadas em um espectrômetro FRX. Foram usados os materiais de referência: Montana Soil I, Montana Soil II, San Joaquin Soil, Brick Clay, Plastic Clay, Flint Clay, IPT 32, BCR 2, para estabelecer uma curva-padrão, pois a intensidade específica do sinal FRX está diretamente relacionada às concentrações dos elementos (e.g., Si, Al, Fe, Mg, Ca, K, Na, Mn, Ti e P). A concentração desses elementos foi determinada por FRX, mediante a aplicação da curva-padrão. Os resultados foram avaliados por meio de estatísticas descritivas, utilizando os valores certificados dos materiais de referência como referência central. Os intervalos de confiança das médias variam conforme o elemento analisado, a faixa de trabalho e a amostra analisada, o que sugere possíveis interferências. O método FRX demonstrou eficácia na determinação. Para outros elementos e amostras, novos testes são requeridos a fim de identificar possíveis fontes de interferência e corrigi-las visando melhorar o desempenho do método na avaliação de parâmetros do solo.

Palavras-Chave: Química verde; Espectroscopia; Quantificação; Química do solo.

Introdução

A composição elementar é um importante parâmetro no estudo de solos, sendo relacionado com a ciclagem de nutrientes e é indicativo para a classificação do solo e determinação do grau de intemperismo, bem como para a recomendação de adubação.

O levantamento tradicional e a análise laboratorial físico-química de amostras de solo são utilizados para a caracterização do solo. No entanto, essas técnicas geralmente são demoradas, de custo alto e produzem uma grande quantidade de resíduos (Weiser et al., 2007; Viscarra Rossel et al., 2010).

A pesquisa e o desenvolvimento de métodos precisos, de baixo custo e de alta resolução tem crescido em resposta às necessidades analíticas impulsionadas pelo avanço das práticas de agricultura de precisão e o planejamento territorial (Viscarra Rossel et al., 2010).

Os raios-X são radiações eletromagnéticas que apresentam características semelhantes às da luz visível. A faixa de frequência varia de 10^{18} Hz até 10^{20} Hz (Figura 1) e seu comprimento de onda está entre 5 pm (picômetros) até cerca de 1 nm (nanômetro).

A Fluorescência de Raios X (FRX) tem sido utilizada na análise de solo desde o século XX. A Fluorescência de Raios X Pode ser usada para determinação elementar de maneira fácil, rápida e com baixo uso de reagentes (Silva et al., 2019).

O FRX fornece uma abordagem analítica multielementar para análises rotineiras não destrutivas e não invasivas de muitos materiais, incluindo solo e sedimentos, com preparação mínima da amostra (Herpin et al., 2002; Potts et al, 2002; Stephens e Calder, 2004).

A análise via Fluorescência de Raios-X (FRX) é um método que envolve a irradiação da amostra com raios-X de alta energia que expulsam elétrons das camadas internas dos átomos, elétrons das camadas superiores ocupam essas vacâncias emitindo raios-X na forma de fluorescência e com energia (comprimento de onda) específica correspondente à separação energética entre as camadas envolvidas (a vacante e daquela que ocupará essa vacância), com isso temos uma impressão

digital dos elementos presentes na amostra, sendo que a intensidade da radiação emitida é diretamente proporcional à concentração dos elementos analisados. Ou seja, a energia emitida é característica de cada elemento, já a intensidade do sinal é proporcional à sua quantidade (Sparks et al, 1996).

Porém é necessário calibrar o equipamento com padrões conhecidos.

A utilização desse método para a caracterização do solo desempenha um papel promissor no avanço das premissas da química verde no setor agrícola, uma vez que é uma técnica limpa com potencial para substituição dos métodos convencionais, como por exemplo o de ataque sulfúrico, utilizados para a caracterização do solo (demorados e que geram uma grande quantidade de resíduos).

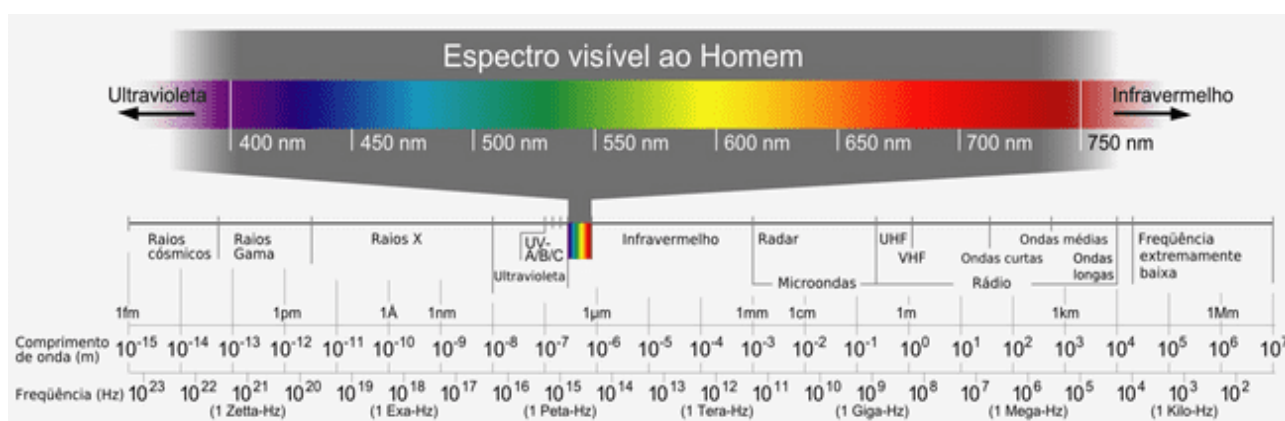


Figura 1. Espectro eletromagnético.

fonte: <https://descomplica.com.br/blog/espectro-eletromagnetico/>

Material e Métodos

Preparo das amostras de solo

Foi preparada uma mistura contendo 0,5 g de amostra e 5 g de fundente (meta/tetraborato de lítio) com o auxílio de uma balança analítica.

Preparo das amostras por fusão para a análise

Após o preparo da mistura amostra:fundente, é iniciado o processo de fusão que é composto por dois ciclos de aproximadamente 30 minutos. Em um primeiro momento, a mistura contendo a amostra e o fundente é transferida para o cadinho de platina e acoplada ao suporte apropriado, em forno de fusão Eagon 2. Nesse momento, é acrescentada uma pérola de iodeto de amônio (desmoldante) em sistema de injeção apropriado e é iniciado o primeiro ciclo de aquecimento que dura aproximadamente 30 minutos e chega a atingir uma temperatura de fusão de 1050°C. Em seguida, é iniciado um novo ciclo de fusão, sem a adição de desmoldante, para garantir a qualidade da amostra.

Determinação elementar por FRX

As análises foram realizadas no espectrômetro de FRX Rigaku, modelo Primus III+ da Embrapa Solos.

Preparo da curva padrão multielementar com materiais de referência para a análise por FRX

Para o preparo da curva padrão, foram utilizadas oito amostras de referência de solo e argila certificadas (BCR 2, Brick Clay, Flint Clay, IPT 32, Montana Soil I, Montana Soil II, Plastic Clay,

San Joaquin Soil). As amostras foram fundidas e analisadas por FRX, conforme descrito nos itens anteriores. A curva padrão foi construída utilizando a relação entre a intensidade de sinal obtida pelo FRX e as concentrações dos elementos descritos no certificado analítico de cada material de referência.

Resultados e Discussão

Em um primeiro momento, foi realizada a determinação da composição das amostras de referência utilizando a curva analítica descrita acima. O desempenho do método foi avaliado por meio da construção de uma carta de acompanhamento de desempenho, utilizando como valores centrais os valores certificados. Por meio desses resultados, foi possível perceber que os intervalos de confiança dos resultados obtidos dependem não só do elemento analisado e da faixa de trabalho, mas também da amostra analisada, sugerindo a ocorrência de interferentes nos resultados obtidos (Figuras 2-9), fragilizando a robustez do método.

Além de Al, Fe, Si, Ti, Mn, P, Ca e K, foram analisados mais 11 elementos (Ba, Cr, Co, V, Sr, Zr, Ce, Sb, Pb, Cu e Zn), no entanto, os intervalos de confiança para esses elementos foram inferiores a 90%.

Apesar dos resultados preliminares promissores, conforme citado anteriormente, a metodologia necessita de ajustes de forma a garantir a eficiência, eficácia e robustez do método. Futuramente, serão realizados ensaios visando o ajuste da metodologia bem como a identificação e minimização dos possíveis interferentes. Amostras como BCR 2 e IPT 32 apresentaram resultados bem diferentes em relação ao valor de referência, em específico para 2 elementos testados, isso sugere interferentes como por exemplo o efeito matriz onde pode ocorrer diferentes tipos de interferências, i) a absorção primária onde pode existir a competição dos elétrons pelo feixe de rx fornecido, ii) a absorção secundária onde o feixe de rx gerado é absorvido por outro elemento na amostra e não o de interesse e iii) o elemento de interesse absorve a energia de outro no momento da transição para a camada mais interna.

No caso do efeito espectral, há a possibilidade de que a ferramenta de análise multivariada interna do equipamento faça uma leitura diferente para diferentes tipos de solo e sobreposição de linhas de emissão no espectro de FRX. Os problemas mais graves estão relacionados à interferência da principal linha de emissão do elemento de interesse e outra linha de emissão secundária de outro elemento na matriz.

E por fim a física da matriz que se dá pelo tamanho das partículas presentes em amostras e padrões. Com isto, essa diferença de granulometria dificulta a irradiação homogênea, gerando um sombreamento nas partículas menores, quando estas encontram-se nas proximidades de partículas significativamente maiores.

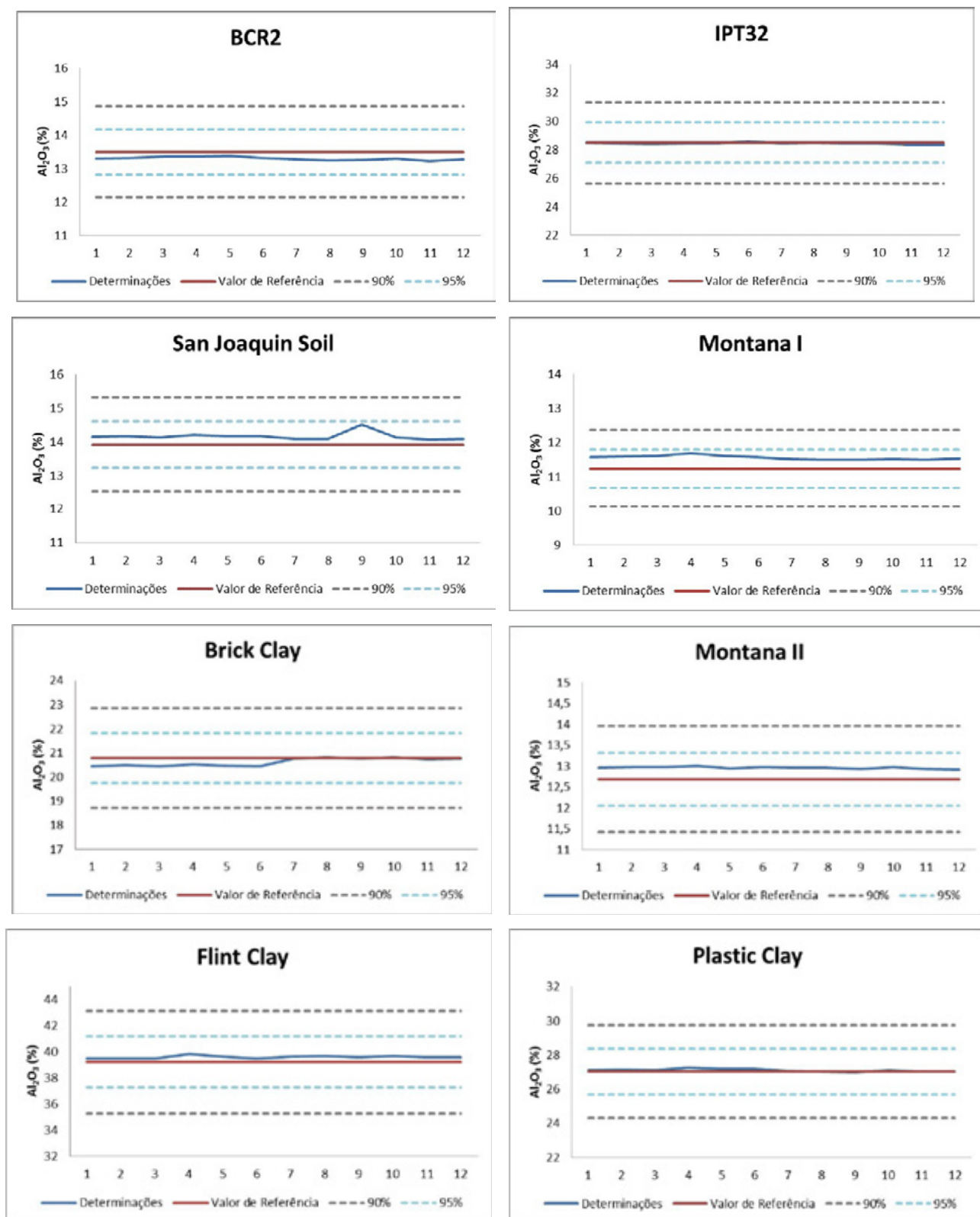


Figura 2-9. Gráficos de acompanhamento dos resultados de óxido de alumínio (%) obtidos através da análise das amostras de argila e solo fundidas pelo método de fluorescência de raios-X. O item “Determinações” representa os resultados analíticos das amostras obtidos em dias diferentes; “Valor de referência” representa o valor certificado no material de referência; “90 e 95%” representam os intervalos de confiança, indicando as faixas de erros correspondentes a mais ou menos 10 e 5%, respectivamente, com relação ao valor de referência.

Fonte: Bianca Braz Mattos, 2022

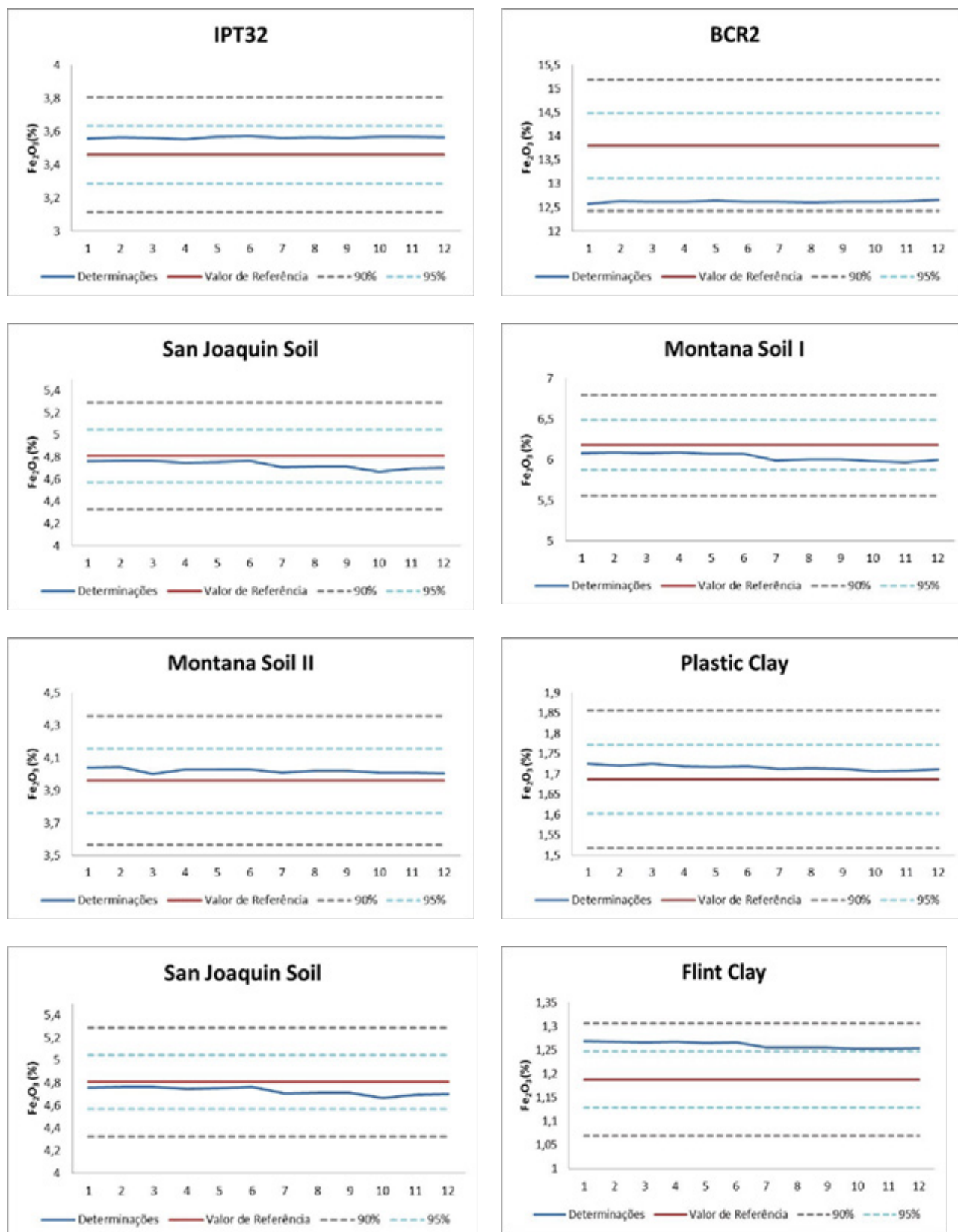


Figura 2. Gráficos de acompanhamento dos resultados de óxido de ferro (%) obtidos através da análise das amostras de solo e argila fundidas pelo método de fluorescência de raios-X.

Fonte: Bianca Braz Mattos, 2022

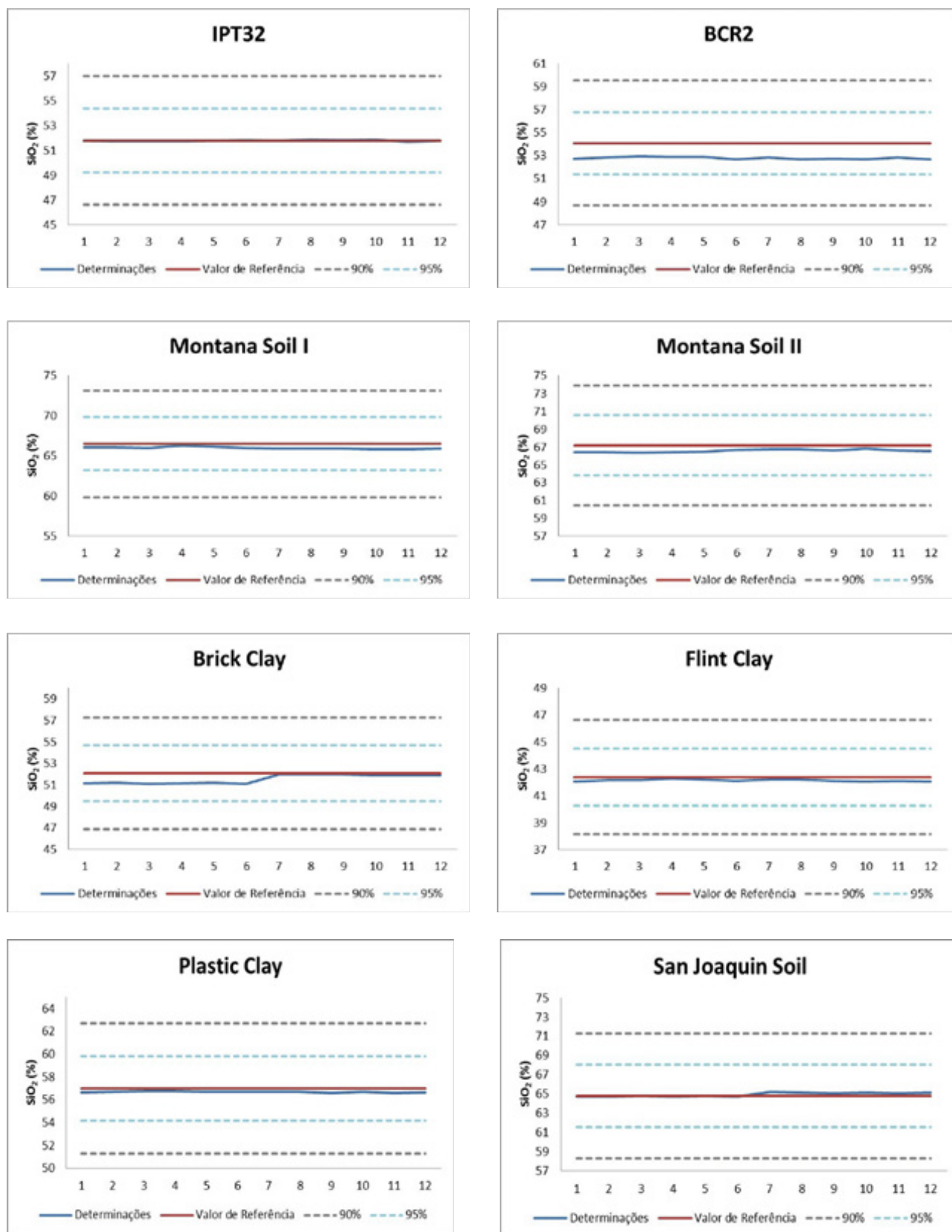


Figura 3. Gráficos de acompanhamento dos resultados de óxido de silício (%) obtidos através da análise das amostras de solo e argilas fundidas pelo método de fluorescência de raios-X.

Fonte: Bianca Braz Mattos, 2022

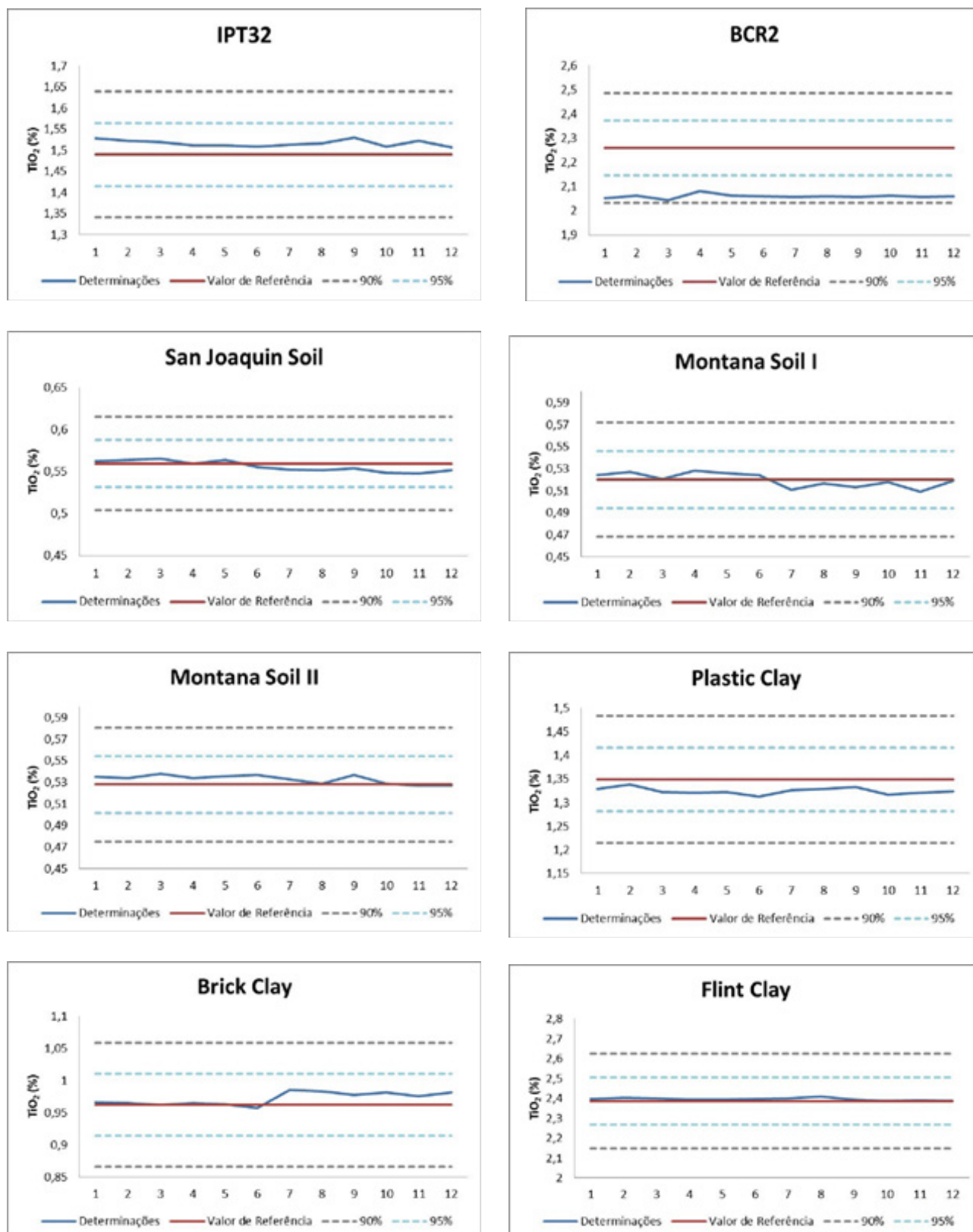


Figura 4. Gráficos de acompanhamento dos resultados de óxido de titânio (%) obtidos através da análise das amostras de solo e argilas fundidas pelo método de fluorescência de raios-X.

Fonte: Bianca Braz Mattos, 2022

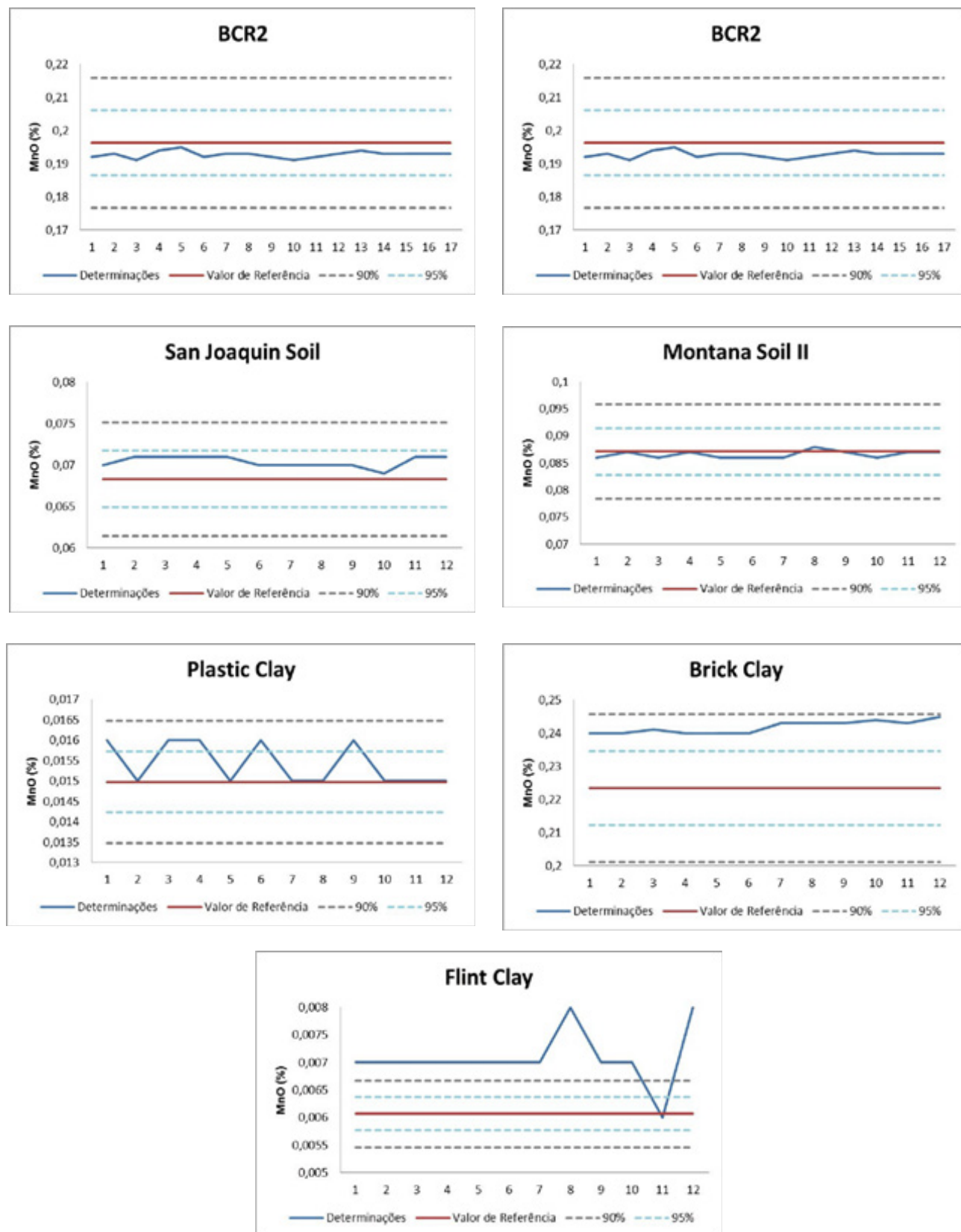


Figura 5. Gráficos de acompanhamento dos resultados de óxido de manganês (%) obtidos através da análise das amostras de solo e argilas fundidas pelo método de fluorescência de raios-X.

Fonte: Bianca Braz Mattos, 2022

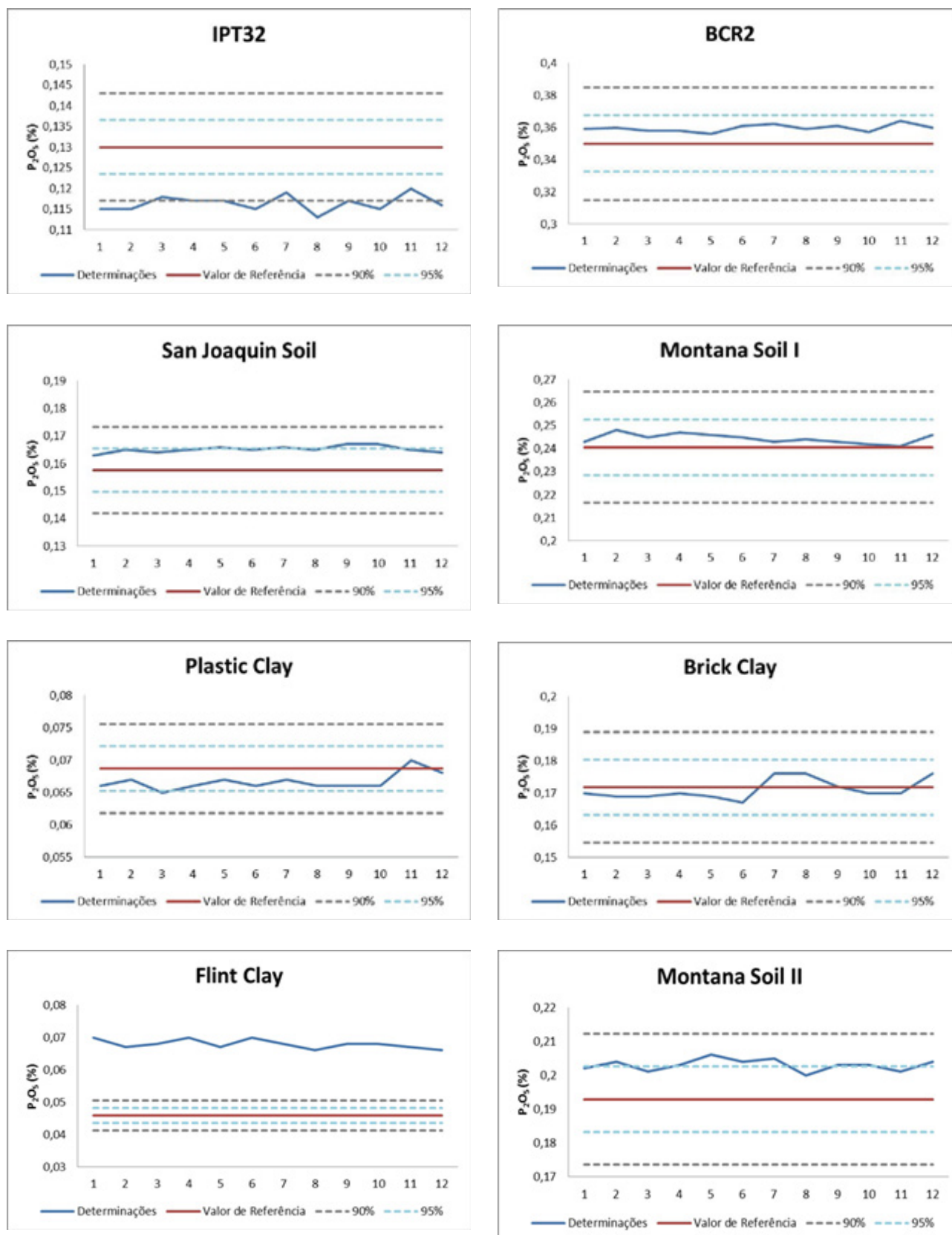


Figura 6. Gráficos de acompanhamento dos resultados de pentóxido de fósforo (%) obtidos através da análise das amostras de solo e argilas fundidas pelo método de fluorescência de raios-X.

Fonte: Bianca Braz Mattos, 2022

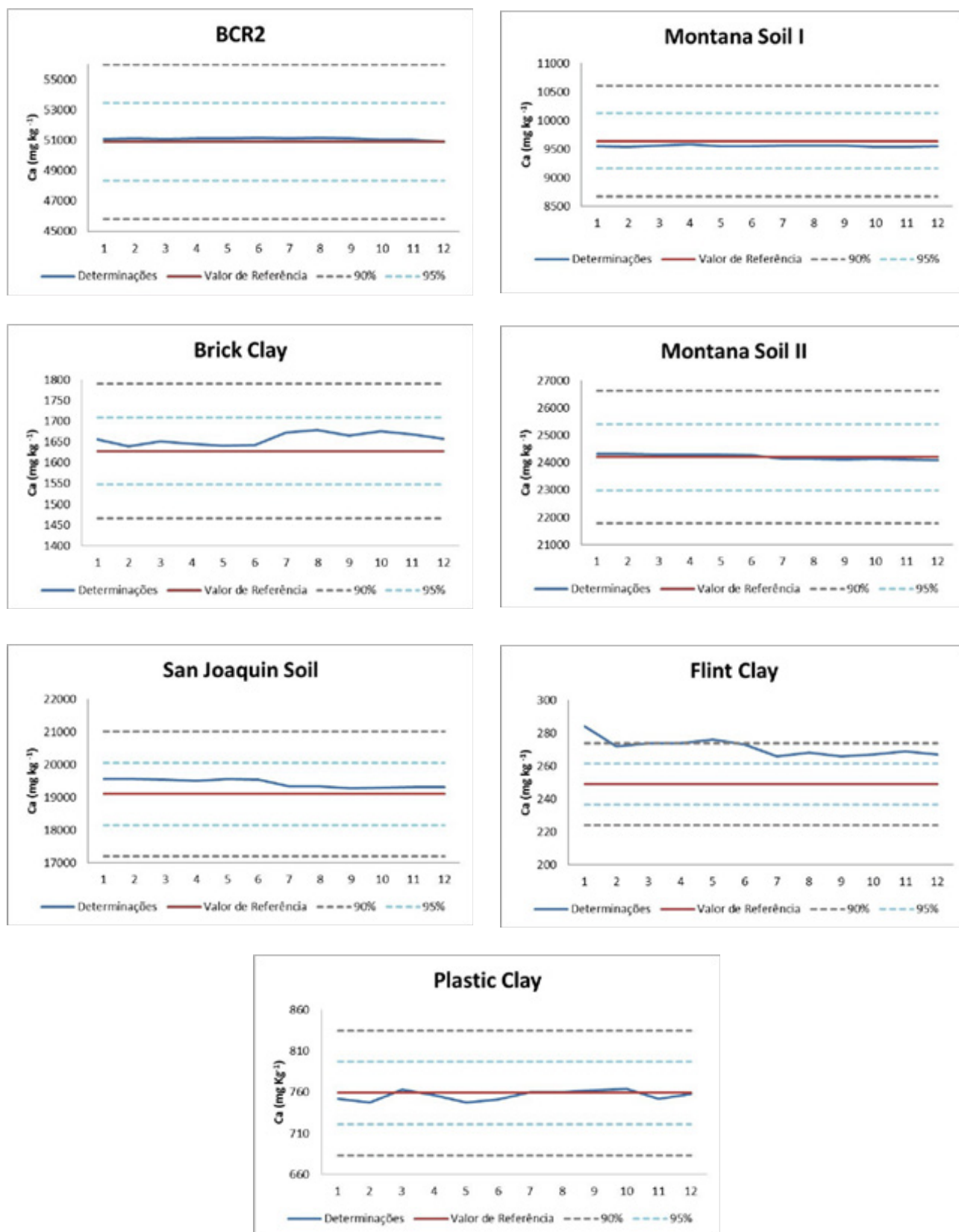


Figura 7. Gráficos de acompanhamento dos resultados de cálcio (%) obtidos através da análise das amostras de solo e argilas fundidas pelo método de fluorescência de raios-X.

Fonte: Bianca Braz Mattos, 2022

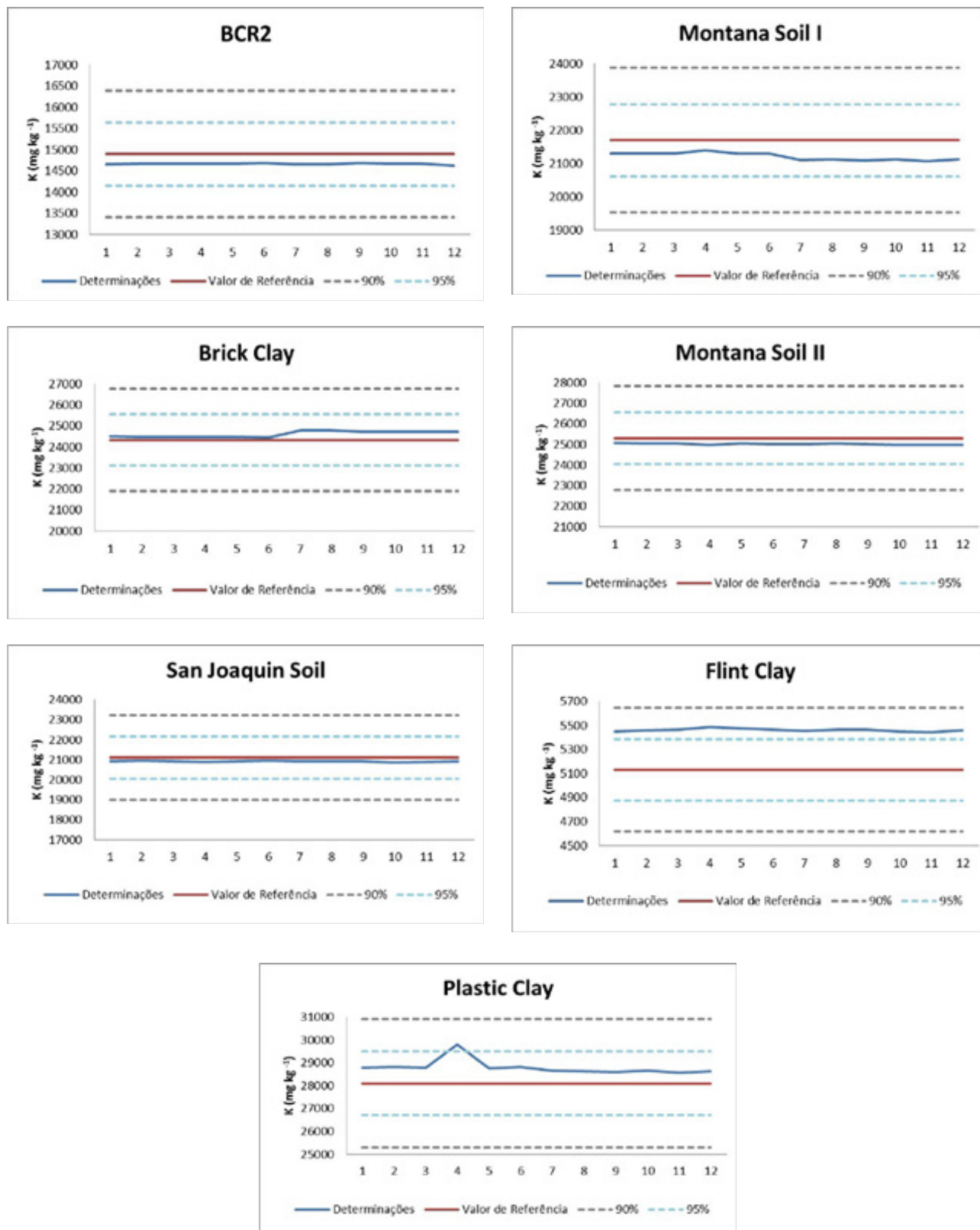


Figura 8. Gráficos de acompanhamento dos resultados de Potássio (%) obtidos através da análise das amostras de solo e argilas fundidas pelo método de fluorescência de raios-X.

Fonte: Bianca Braz Mattos, 2022

Conclusões

Por fim foi concluído que o método é adequado para a determinação de parâmetros do solo das amostras testadas, entretanto é possível inferir a ocorrência de interferentes que devem ser reavaliadas a fim de melhorar a robustez do método para que posteriormente seja feita uma nova análise. A validação do método será feita através de uma análise de 60 amostras de solo pré-selecionadas para realização da comparação dos resultados obtidos pelo método de FRX e pelo método convencional.

A FRX permite uma nova abordagem mais eficaz, rápida e limpa, possibilitando a análise de um maior número de amostras causando menor impacto ambiental.

Agradecimentos

Aos meus supervisores, Bianca e Etelvino, por todos os conselhos, ensinamentos e orientações e por me permitirem aprender cada vez mais.

A mim, que além de tudo, me mantive firme nos objetivos e nunca duvidei de onde o conhecimento pode me levar.

Referências

- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Karathanasis, A. D., & Hajek, B. F. (1996). *Elemental Analysis by X-Ray Fluorescence Spectroscopy. Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*.
- Herpin, U., Cerri, C.C., Carvalho, M.C.S., Markert, B., Enzweiler, J., Friese, K., Breulmanne, G., 2002. Biogeochemical dynamics following land use change from forest to pasture in a humid tropical area (Rondonia, Brazil): a multi-element approach by means of XRF-spectroscopy. *The Science of the Total Environment* 286, 97–109.
- Potts, P.J., Ramsey, M.H., Carlisle, J., 2002. Portable x-ray fluorescence in the characterisation of arsenic contamination associated with industrial buildings at a heritage arsenic works site near Redruth, Cornwall, UK. *Journal of Environmental Monitoring* 4, 1017–1024.
- Stephens, W.E., Calder, A., 2004. Analysis of non-organic elements in plant foliage using polarized x-ray fluorescence spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 527, 89–96.
- Waiser, T.H., Morgan, C.L.S., Brown, D.J., Hallmark, C.T., 2007. In situ characterization of soil clay content with visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal* 71, 389–396.
- Viscarra Rossel, R.A., McBratney, A.B., Minasny, B., 2010. *Proximal Soil Sensing*. Springer, New York
- TERRA, J.; ANTUNES, A. M.; BUENO, M. I. M. S.; PRADO, M. A. Energy value determinations of industrialized foods: the potential of using X-ray spectroscopy and partial least squares. *X-Ray Spectrometry*, London, v. 39, p. 167–175, 2010b.
- SILVA, E.A.; WEINDORF, D.C.; SILVA, S.H.G.; RIBEIRO, B.T.; POGGERE, G.C.; CARVALHO, T.S.; GONÇALVES, M.G.M.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N. *Advances in Tropical Soil Characterization via Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry*. Pedosphere, 2019.

Avaliação da taxa de cobertura do solo utilizando fotografias digitais em pastagens sob diferentes níveis de degradação do solo em Valença-RJ⁽¹⁾

Ana Elisa Nunes dos Santos ⁽²⁾; Guilherme Kangussu Donagemma ⁽³⁾; Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz ⁽⁴⁾; Luan Porto Vieira⁽⁵⁾; Roberson Machado Pimentel⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa. ⁽²⁾ Geografia, graduanda, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Solos - Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Solos - Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁵⁾ Engenharia de Sistemas e Computação (UERJ/DESC). ⁽⁶⁾ Zootecnista, Doutor, Professor da Universidade Federal Fluminense.

Resumo – A degradação de pastagens é uma preocupação importante na agricultura e pecuária, uma vez que afeta diretamente a produtividade e a qualidade dos pastos ao longo do tempo. Identificar e monitorar essas mudanças precocemente é essencial para uma gestão eficaz da pastagem. Uma abordagem valiosa para essa finalidade é a aplicação de técnicas de segmentação semântica de imagens, com destaque para o modelo DeeplabV3+, usado para segmentação semântica de imagens. Em resumo, a segmentação semântica com o modelo DeeplabV3+ oferece uma solução eficaz para a identificação de sinais de degradação de pastagens, permitindo a gestão proativa e a tomada de medidas corretivas quando necessário, promovendo a sustentabilidade na agricultura e pecuária.

Palavras-Chave: machine learning, degradação de pastagens, segmentação semântica.

Introdução

No Brasil, muitas propriedades rurais ligadas à agricultura e pecuária enfrentam um problema comum: a degradação das pastagens. Isso também é uma realidade no Médio Vale do Paraíba, uma região com histórico de produção de leite, carne e outros produtos agrícolas. No entanto, o manejo inadequado das pastagens, como a superlotação do gado e o uso de queimadas para limpar os pastos, é uma prática comum nessa área (MENEZES, 2008). Além disso, a topografia acidentada da região favorece a erosão do solo, agravando o problema.

Estima-se que cerca de metade das pastagens do estado do Rio de Janeiro, onde se encontra o Médio Vale do Paraíba, esteja em algum estado de degradação (GOVERNO DO ESTADO DO RJ, 2018). Para abordar essa questão, é importante classificar os diferentes níveis de degradação das pastagens, a fim de orientar os agricultores sobre como restaurá-las.

O objetivo deste trabalho foi utilizar imagens de fotografia digital com celular na separação de níveis de degradação de pastagens. Bem como, propor um modelo de aplicação de técnicas de segmentação semântica para classificar imagens de fotografias digitais de pastagens em diferentes níveis de degradação. Essas técnicas, baseadas em Visão Computacional e Aprendizado de Máquina, permitem a identificação automática de plantas daninhas, forrageira, solo exposto e material seco (palhada) nas imagens. O trabalho foi realizado em Valença-RJ. Foram classificados visualmente três níveis de degradação de pastagens: leve (N1), moderado (N2) e forte (N3). Foram tiradas 50 fotos com celular em cada nível de degradação. Aplicou-se o modelo de segmentação semântica baseados em CNNs (Redes Neurais Convolucionais) desenvolvida pela equipe do Google Brain para classificar as imagens: forrageira, plantas daninhas, solo exposto e material seco (palhada) das pastagens em diferentes níveis de degradação. O uso de fotografias digitais a partir de celular, envolvendo o uso de um modelo de classificação de imagens, se mostrou eficaz na estimativa da taxa de cobertura do solo para separar os Níveis de degradação de pastagens N1 (Leve) e N3 (Forte). Sugere-se segmentar uma parte das imagens para um treinamento mais específico e refinado, visando aumentar a precisão na estimativa da cobertura vegetal em futuros trabalhos.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado em Valença-RJ, em áreas da fazenda Santa Mônica da Embrapa Gado de Leite, e em áreas de produtores da região.

Foram classificados visualmente três níveis de degradação de pastagens: leve (N1), moderado (N2) e forte (N3) (Spain & Galdron, 1991). O N1 ou nível leve é caracterizado pela predominância de forrageira. O N2 ou nível moderado é caracterizado pela existência de plantas invasoras e o último nível, N3 ou forte, predomina a existência de solo exposto. Com 4 repetições, no terço médio da encosta, em pastagens de *Urochloa Brizanta*, em Cambissolo háplico.

Em cada nível, foi utilizada uma corda com marcações a cada 10 metros, as imagens foram sendo capturadas. Em cada nível, eram executadas 4 repetições, o que resultou em 50 fotos por repetição enquanto no nível, foram 200 imagens. Essas formam o Banco de imagens que é uma ferramenta essencial para análise do modelo de estimativa da taxa de cobertura, permitindo a análise da degradação de pastagens.

Nenhuma das imagens recebeu qualquer tipo de tratamento ou pré-processamento.

Modelo

A segmentação semântica desempenha um papel fundamental na análise de imagens, permitindo uma compreensão mais profunda e detalhada do conteúdo visual. Essa técnica é amplamente aplicada em uma variedade de contextos, incluindo sistemas de visão computacional, robótica, direção autônoma, realidade aumentada e muitas outras áreas que requerem uma análise precisa das informações visuais.

O DeepLab é uma família de modelos de segmentação semântica baseados em CNNs (Redes Neurais Convolucionais) desenvolvida pela equipe do Google Brain. Essa família de modelos inclui várias versões que evoluíram ao longo do tempo, incorporando novas técnicas e arquiteturas que aprimoram o desempenho da segmentação semântica.

Para treinar e avaliar o modelo, foram usados dois conjuntos de imagens. O modelo foi capaz de identificar e categorizar quatro classes: Forrageira, Palhada, Invasora e Solo Exposto, alcançando uma precisão de 86,8% em termos de acurácia de pixel.

Depois de treinar o modelo, as imagens do banco de dados foram divididas por níveis de degradação de pastagens e regiões para calcular a proporção de cada classe de cobertura em cada nível de degradação, separado por repetição (**Figuras 1,2 e 3**), e dessa forma classificar solo exposto, forrageira e planta daninha.

Resultados e Discussão

As figuras demonstram os resultados da segmentação semântica e representam exemplos de cada objeto: forrageira, invasora, palha e solo exposto.

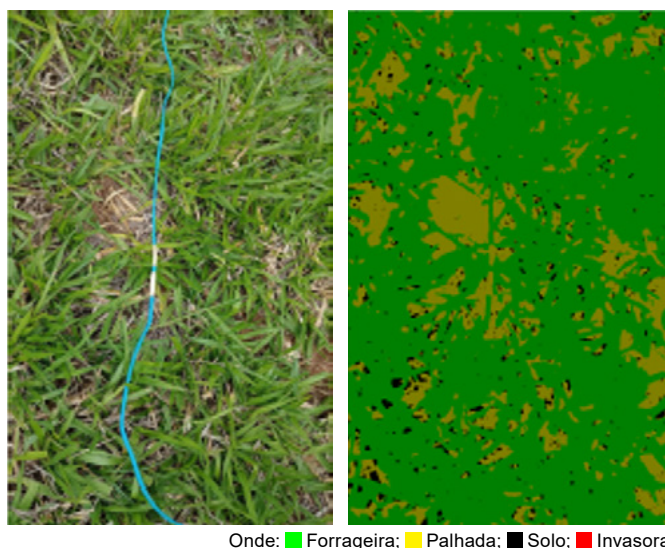
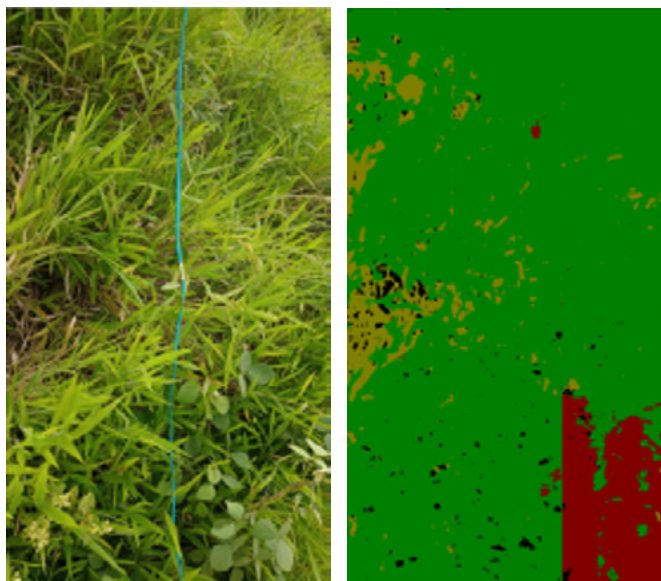
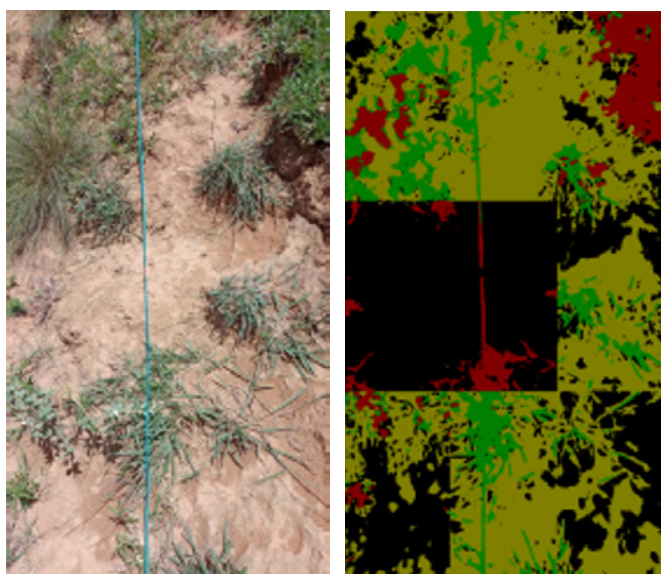


Figura 1. À esquerda: Imagem de entrada do modelo; direita: Imagens segmentadas por classe.



Onde: ■ Forrageira; ■ Palhada; ■ Solo; ■ Invasora

Figura 2. À esquerda: Imagem de entrada do modelo; direita: Imagens segmentadas por classe.



Onde: ■ Forrageira; ■ Palhada; ■ Solo; ■ Invasora

Figura 3. À esquerda: Imagem de entrada do modelo; direita: Imagens segmentadas por classe.

A taxa de cobertura foi estimada utilizando as imagens obtidas em Valença. As 3 figuras a seguir, mostram a taxa de cobertura de Forrageira, Invasora, Palhada e Solo exposto por nível e repetição. Os gráficos ilustram os resultados obtidos pela aplicação do modelo e mostram a taxa de cobertura para cada variável separadamente

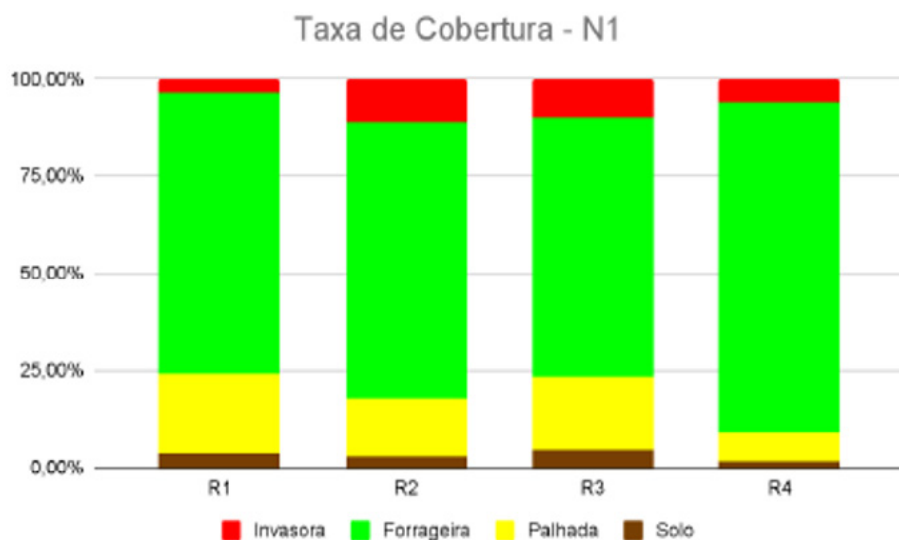


Figura 4. Taxa de cobertura Nível 1 – Leve

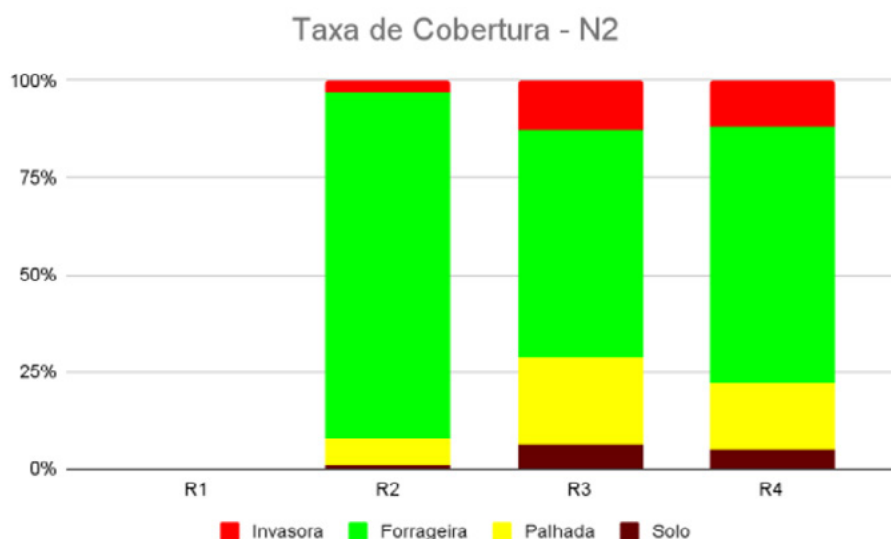


Figura 5. Taxa de cobertura Nível 2 – Moderado

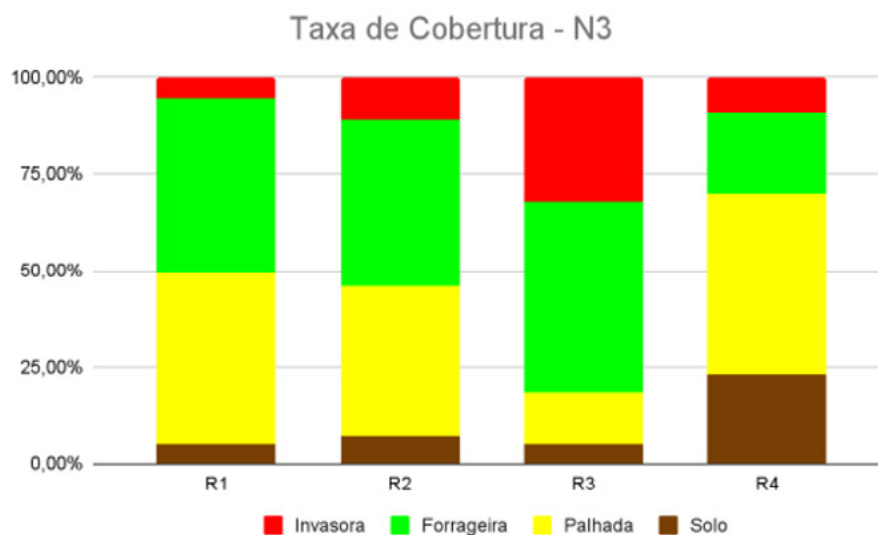


Figura 6. Taxa de cobertura Nível 3 – Forte

Conclusões

O uso de fotografias digitais a partir de celular, envolvendo o uso de um modelo de classificação de imagens, se mostrou eficaz na estimativa da taxa de cobertura do solo para separar os Níveis de degradação de pastagens N1 (Leve) e N3 (Forte). No entanto, não conseguiu diferenciar com precisão os Níveis 1 e 2 (Leve e Moderado). Sugere-se segmentar uma parte das imagens para um treinamento mais específico e refinado, visando aumentar a precisão na estimativa da cobertura vegetal em futuros trabalhos. Especialmente, em relação a classificação do percentual de plantas daninhas. Além disso, será realizada uma validação com a taxa de cobertura realizada pelo método da corda (tradicional).

Referências

- GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Plano Estadual de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas: Plano ABC. Rio de Janeiro: Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento. 2018. 49 p.
- MENEZES, C. E. G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008
- SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación e rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C.; SPAIN, J. M. (Ed.). Establecimiento y renovación de pasturas. Cali: CIAT, 1991. 426p.
- VALLE, T.R.S. Níveis de degradação as pastagens e qualidade de solo no médio vale do paraíba do sul. Tese (Mestrado em Sistemas agropecuários) Pós graduação em Engenharia de Biosistemas. Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 109p. 2018.
- VIEIRA, Luan Porto et al. Deep learning e segmentação semântica de imagens para diagnóstico de níveis de degradação de pastagem.. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, INPE, 2023.

Diagnóstico de atributos do solo em áreas de plantio de barragens subterrâneas no Semiárido alagoano ⁽¹⁾

Beatriz Regina de Figueiredo ⁽²⁾; Adalberto Francisco da Silva Júnior ⁽³⁾; Maria Sonia Lopes da Silva ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa, no âmbito do Projeto ZonBarragem - 26.16.04.002.00.00. ⁽²⁾ Estudante de Bacharelado em Ciência da Computação, bolsista do PIBIC/CNPq, Embrapa Solos UEP Recife, PE. ⁽³⁾ Estudante de Agronomia, bolsista do PIBIC/CNPq, Embrapa Solos UEP Recife, PE. ⁽⁴⁾ Engenheira-agrônoma, pesquisadora da Embrapa Solos UEP Recife, PE.

Resumo – A barragem subterrânea é uma tecnologia social hídrica que consolidou-se nas comunidades do Semiárido brasileiro, pela sua contribuição na captação e na estocagem da água de chuva, para usos múltiplos, proporcionando as famílias agricultoras a possibilidade de produzir alimentos, mesmo em longos períodos de estiagem. Em todo Semiárido brasileiro, há registros de barragens subterrâneas subutilizadas ou em condições inadequadas para a exploração agrícola, que entre outras causas encontra-se o desconhecimento das características do solo em suas áreas de influência das barragens subterrâneas. O presente, estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto ZonBarragem - 26.16.04.002.00.00, tendo como objetivo o diagnóstico de atributos do solo de áreas de plantio de três barragens subterrâneas, no Semiárido alagoano, visando a sua identificação e a caracterização morfológica, física e química para o manejo adequado e a melhoria da sua capacidade produtiva. Foram abertas trincheiras no centro da área de plantio de cada uma das barragens subterrâneas, realizada descrição morfológica, com posterior coleta de amostras de solo para análise analíticas física e química. Os resultados apontaram, que os solos das barragens estudadas são bem desenvolvidos, pertencentes à classe dos Neossolos Flúvicos, de baixa fertilidade natural, porém com potencial para agricultura.

Palavras-Chave: semiárido, estocagem de água da chuva, tecnologia social hídrica, identificação e caracterização de solos.

Introdução

O grande problema enfrentado pelos diversos territórios do Agreste e Sertão de Alagoas refere-se ao acesso à água, onde muitas famílias não dispõem deste bem em seus agroecossistemas. O risco da agricultura dependente de chuva e a falta de água para consumo humano e para pequenos animais constituem a principal causa da baixa qualidade de vida no meio rural destes territórios.

No Semiárido alagoano, a questão da produção de água para obtenção de alimentos e para dessedentação humana e animal, é uma prioridade que vem sendo considerada quando se trata da elaboração e execução de políticas públicas destinadas a criar condições para o desenvolvimento rural sustentável da região. Como consequência, a implantação de tecnologias sociais de captação e estocagem de água de chuva tem aumentado muito nos últimos anos por meio de programas governamentais e iniciativas próprias.

A barragem subterrânea (BS) é uma das alternativas tecnológicas que têm sido estudada e recomendada, por proporcionar o redesenho de agroecossistemas, melhorando o convívio das comunidades rurais com a adversidade do clima da região. A BS é toda estrutura hidráulica que tem como objetivo barrar/interceptar a água da chuva que escoar dentro e/ou acima do solo, por meio de uma parede construída transversalmente à descida das águas (Silva et al., 2019), tendo como função elevar e/ou criar o nível do lençol freático, por meio de infiltração, ficando disponível para a utilização pelas plantas.

A experiência com barragem subterrânea no Estado de Alagoas começou em 2002 com a implantação de algumas unidades. Em 2007, foi um dos estados que fez parte do Projeto Piloto do Programa P1+2. Desde então, a tecnologia foi multiplicada, contando hoje com mais de 200 unidades construídas. O P1+2, foi um programa do Governo Federal, executado pela Articulação Semiárido Brasileiro – ASA, que implantou, em todo Semiárido brasileiro, tecnologias sociais de produção de alimentos. O 1 da expressão P1+2, significa Terra para Produção e o 2 significa Dois Tipos de Água, onde: i) a primeira água, conhecida como a Água para Consumo Humano, a água de beber; ii) a segunda água, é a Água para Produção de Alimentos).

Em todo Semiárido brasileiro, há registros de barragens subterrâneas subutilizadas ou em condições inadequadas para a exploração agrícola, devido principalmente a sua construção em áreas não recomendadas, no que diz respeito principalmente ao solo, relevo e geologia, o que tem inviabilizado um número considerável de unidades de BSs na região (Brito, et al., 2015; Silva et al., 2019). Há registros, também, de BSs com problemas ligados ao manejo do solo e da água, devido ao desconhecimento das características do mesmo, o que tem acarretado improdutividade das culturas nas áreas de plantio da referida tecnologia. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo realizar o diagnóstico de atributos do solo, em áreas de plantio de barragens subterrâneas, no Semiárido do Estado de Alagoas, visando contribuir com a construção do conhecimento sobre os solos dessas áreas, para o adequado uso e manejo deles, consequentemente a melhoria de sua capacidade produtiva.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido em três BSs, sendo uma no município de São José da Tapera (BS1), uma em Santana do Ipanema (BS2) e a terceira em Senador Rui Palmeira (BS3), no Semiárido Alagoano.

Morfologia do solo

Para caracterização morfológica foram abertas trincheiras/perfis de solo no centro da área de plantio de cada uma das barragens BSs, para descrição morfológica dos perfis. Posteriormente, foram coletadas amostras, por horizontes, conforme Santos et al. (2014). Na BS1 foi descrito o Perfil 1 – P1; na BS2 o Perfil 2 – P2; e na BS3 o Perfil 3 – P3.

Análise físicas e químicas

Para a realização das análises físicas (granulometria) e químicas, as amostras foram secas ao ar, pesadas, destorroadas e peneiradas (malha de 2,0 mm), obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). As análises foram realizadas de acordo com Teixeira et al. (2017).

Foi efetuada a determinação da composição granulométrica da TFSA, obtida pelo método do densímetro.

Os atributos químicos determinados foram: pH em água; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis utilizando extrator KCl 1 mol L^{-1} ; os cátions K^{+} e Na^{+} trocáveis e o fósforo (P) disponível foram extraídos com solução de HCl 0,04 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0124 mol L^{-1} (Mehlich-1); acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,4 mol L^{-1} a pH 7; e o carbono orgânico (CO) determinado por combustão úmida com dicromato de potássio 0,4 mol L^{-1} . Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por titulometria; Na^{+} e K^{+} por fotometria de chama; P disponível por colorimetria; e Al^{3+} e H+Al por titulometria com NaOH 0,024 mol L^{-1} . Com os esses resultados foram calculados: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), percentagem de saturação por bases (valor V) e percentagem de saturação por sódio (PST). A condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação (CEes).

Classificação dos Solos

Com base na descrição morfológica e nos resultados das análises físicas e químicas, os perfis foram classificados até o quarto nível categórico conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (SANTOS et al., 2018).

Resultados e Discussão

Atributos morfológicos

Os solos identificados são formados por sedimentos colúvio aluvionares que recobrem o embasamento cristalino e possuem sequência de horizontes/camadas: Ap – 2C1 – 3C2 – 4C3 e, assim, sucessivamente, em razão da sobreposição de camadas de distinta composição granulométrica e mineralógica. Eles representam cores amarelas centradas nos matizes 7,4YR, 10YR e 2,4Y. Das BSs estudadas apenas o perfil P1 apresentou mosqueados, o que deve estar relacionado à sua textura mais fina e uma condição de maior acumulação de água na BS1 em relação às demais (BS2 e BS3). A textura do P1 é distinta em relação aos outros solos. Isso é consequência da natureza do material de origem das áreas fonte dos sedimentos colúvio-aluvionares e da dinâmica de sedimentação na BS1. Linhas de fragmentos de rochas graníticas arrestadas (calhaus e matacões) no P1 e lamelas de textura mais fina (espessura de 2,4 cm) no P2 foram também registradas, e são indicativos do pequeno grau de desenvolvimento pedogenético e da forte influência de sedimentos colúvio-aluvionares. A estrutura dos horizontes superficiais é do tipo granular, enquanto as camadas subsuperficiais apresentam agregação em blocos subangulares (P1) ou simplesmente partículas sem agregação (grãos simples; P2 e P3). Os três solos apresentaram lençol freático a cerca de 1 m de profundidade, atestando a eficácia de acumulação de água das BSs.

Atributos físicos - Composição granulométrica

A composição granulométrica dos perfis estudados é dominada pela fração areia (61 a 96%), seguindo por argila nos perfis P2 e P3, e por silte em algumas camadas do P1 (Figura 1). Nos três perfis analisados a fração areia grossa (2 a 0,2 mm) se sobrepõe à fração areia fina (0,2 a 0,04 mm). Uma evidente distribuição irregular da granulometria em profundidade é constatada no P1. Por outro lado, nos perfis 2 e 3, em virtude da dominância da fração areia, essa irregularidade não foi observada (Figura 1).

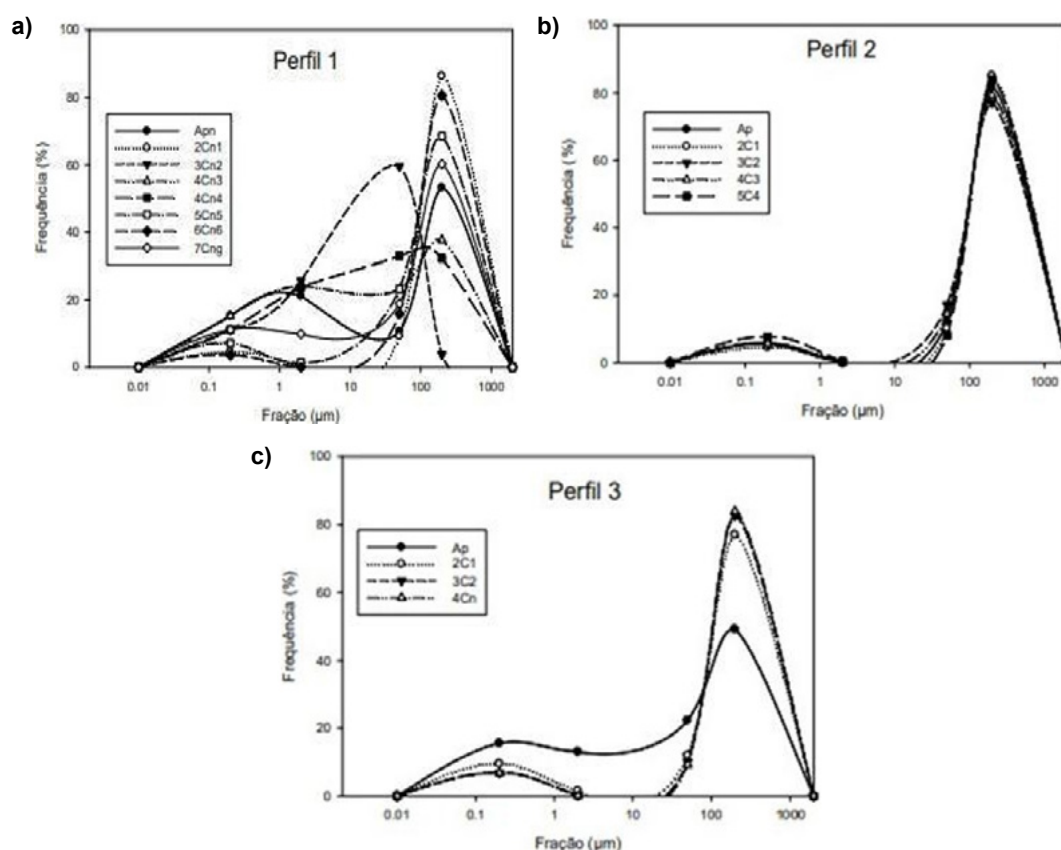


Figura 1. Distribuição de tamanho de partículas dos perfis: (a) - P1, (b) - P2 e (c) - P3.

A relação silte/argila varia de <0,1 a 2,3 no P1, alternando aumentos e decréscimos em profundidade. Tal tendência não foi observada no P2 e no P3.

Atributos químicos

Os resultados das análises químicas encontram-se na tabela 1. Os solos apresentam reação moderadamente ácida (P1) à alcalina (P3). O conteúdo de CO tem distribuição errática em profundidade nos perfis 1 e 2, que varia de 0,2 a 17,1 g Kg⁻¹ no P1 e de 0,8 a 1,9 g Kg⁻¹ no P2. No P3, os teores de CO decrescem gradativamente em profundidade, exceto pela camada 4Cn (60-80 cm). Os baixos valores de CO encontrados estão em concordância com os solos descritos em regiões semiáridas (Salcedo et al., 2008). Os conteúdos de P disponíveis são muito altos.

Tabela 1. Caracterização química e classificação dos solos estudados.

Horizonte	Prof. (cm)	pH em água	CO (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Valor S (cmolc kg ⁻¹)	CTC (cmolc kg ⁻¹)	Valor V (%)	CEes(dS m ⁻¹)	PST(%)
BS1 - Perfil 1 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico solódico									
Apn	0-6	5,5	17,1	60	3,16	4,47	71	1,01	6
2Cn1	6-22	6,5	0,8	25	0,91	1,23	74	0,35	9
3Cn2	22-28	5,5	0,4	25	1,63	3,71	44	0,89	6
4Cn3	28-42	4,6	11,3	24	2,14	4,25	50	0,59	6
4Cn4	42-50	4,8	11,3	31	1,7	2,29	74	0,79	10
5Cn5	50-64	5,3	1,7	22	1,02	1,59	64	0,47	8
6Cn6	64-77	5,1	0,2	19	0,75	1,25	60	0,34	8
7Cng	77-100+	5,7	2,4	22	1,03	1,67	62	0,35	9
BS2 - Perfil 2 - Neossolo Flúvico Psamítico típico									
Ap	0-22	7,1	1,1	23	1,14	1,73	66	0,22	4
2C1	22-42	6,9	0,8	25	0,84	1,17	72	0,15	3
3C2	42-60	7,1	1,1	23	0,87	1,21	72	0,16	4
4Cn	60-80	7,2	0,8	80	1,13	1,60	71	0,16	4
5C4	80-100+	7,2	1,9	20	0,98	1,25	79	0,05	<1
BS3 - Perfil 3 - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico típico									
Ap	0-15	6,5	9,70	80	4,59	4,79	96	0,79	4
2C1	15-30	7,6	3,40	60	2,66	2,89	92	0,74	5
3C2	30-60	7,8	1,30	10	1,79	1,85	97	0,32	4
4Cn	60-80	7,5	1,60	7	1,64	1,70	96	0,37	6

Nos horizontes superficiais o P varia de 23 a 80 mg Kg⁻¹, enquanto que nas camadas subjacentes varia de 7 a 80 mg kg⁻¹, com média de 30 mg Kg⁻¹. A distribuição regular de P em profundidade indica que sua origem não se deve unicamente ao uso agrícola (incorporação de restos culturais e aplicação de esterco), mas também há uma contribuição mineral, possivelmente relacionada ao material de origem. Outro aspecto que necessita ser investigado é a translocação de P em profundidade em solos arenosos com flutuação do lençol freático.

A soma de bases (valor S) e a CTC são baixas nesses solos. No complexo sortivo, Ca²⁺ se destaca como cátion dominante, seguindo por Mg²⁺. Em contraposição, os teores de Al³⁺ são nulos em quase todas as camadas. Os perfis apresentam saturação por bases > 40%, sendo, portanto, eutróficos.

Os baixos valores de CEes (≤ 1 dS m⁻¹) indicam que as BSs não apresentam acumulação expressiva de sais solúveis. Isso se deve provavelmente ao processo de renovação de água no período das chuvas, onde o excesso de sais é eliminado através do vertedouro. O P1 apresenta caráter solódico (6% < PST < 14%) em todas as camadas, característica comum aos solos da região, mas que aponta a necessidade de maiores cuidados no manejo do solo e da água da BS1. Por outro lado, a BS2 e a BS3 não apresentam problemas de acumulação de sódio.

Avaliação da qualidade da água - últimos três meses

As análises físico-químicas permitiram avaliar a qualidade da água de das barragens subterâneas, empregando-se índices clássicos da literatura, como CE e RAS. Observando a tabela 2, verifica-se que a água do poço das três BSs apresentou uma média salinidade e um baixo risco de sodificação do solo, sendo classificada como C₂S₁.

Tabela 2. Características físico-químicas das águas de barragens subterrâneas no período chuvoso.

Parâmetros físicos e químicos																
Ca²	Mg²	Na	K	CO₂	H CO	SO₂	Cl	pH	CE	Dureza Total	Sólidos Solúveis Totais	Sólidos Dissolvidos Totais	Sedi-mento	Na	RAS	Classe para Irrigação
mmol _c L ⁻¹						dS m ⁻¹				m g L ⁻¹						
B1 - Sítio Bananeira - São José da Tapera Água do poço da área de acumulação da barragem subterrânea																
1,6	1,0	1,70	0,80	0,00	2,10	0,20	2,70	7,1	0,56	130	35	30	05	33,3	1,49	C S
B2 - Sítio Cabaceiro - Santana do Ipanema Água do poço da área de acumulação da barragem subterrânea																
0,6	1,1	1,40	0,21	0,00	1,60	0,05	2,0	7,1	0,36	85	21	20	01	42,3	1,52	C S
B3 - Sítio Cacimbinhas - Senador Rui Palmeira Água do poço da área de acumulação da barragem subterrânea																
1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	C S

Recomenda-se que nestas áreas se faça acompanhamento periódico, através de análises da água, a cada dois anos, nos períodos chuvosos e secos, bem como é recomendado o cultivo de plantas com tolerâncias aos sais tais como o feijão de corda, limão rugosos, tangerina, batata-doce, abóbora, melão, abobrinha, algodão, coco, beterraba, pepino, forrageiras como capim elefante, capim de planta, capim brachiária e cana-de-açúcar, entre outras.

Conclusões

- Os solos desenvolvidos nas três BSs pertencem à classe dos Neossolos Flúvicos. São solos eutróficos e ricos em P disponível; com baixa fertilidade natural (solos arenosos) e baixa CTC.
- A qualidade da água das três BSs apresentaram uma média salinidade e um baixo risco de salinização do solo, sendo classificada como C2S1.

Agradecimentos

As famílias de agricultores detentoras das BSs em estudo, pela participação no trabalho e cessão de sua barragem para execução deste trabalho. À Embrapa por financiar a pesquisa e pelo apoio logístico de infraestrutura, principalmente de transporte, laboratórios e biblioteca.

Referências

- SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. 101 p.
- SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Dinâmica da matéria orgânica no bioma Caatinga. In: Santos G. A. et al., **Fundamentos da Matéria Orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed.rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. P.419-441.
- SILVA, M. S. L. da; LIMA, A. de O.; MOREIRA, M. M.; FERREIRA, G. B.; BARBOSA, A. G.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de. Barragem subterrânea. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L. da; BRITO, L. T. de L. (Ed). **Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. p. 223-281.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

Incremento de carbono no solo proporcionado pela suplementação dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S)⁽¹⁾

Angélicy Milena Vivian⁽²⁾; Ademir Fontana⁽³⁾; Fabiano de Carvalho Balieiro⁽³⁾; Bruna Vieira dos Santos⁽⁴⁾; Miryan Araújo de Lima Arco⁽⁵⁾; Alexandre Romeiro de Araújo⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da AGRISUS e DEFRA/BID/MAPA. ⁽²⁾ Engenheira Agrônoma, Graduanda, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, MS. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Solos, Campo Grande, MS. ⁽⁴⁾ Engenheira Agrônoma, Graduanda, Universidade Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, MS. ⁽⁵⁾ Engenheira Ambiental, Graduanda, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. ⁽⁶⁾ Zootecnista, Doutor, Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Resumo – As estratégias que buscam potencializar o incremento do carbono (C) no solo passam necessariamente pelo aumento da entrada deste elemento por diferentes fontes e/ou pelo aumento do tempo de permanência no solo. Para isto, busca-se aproveitar melhor o C presente nos resíduos vegetais depositados na superfície do solo pela maior eficiência do processo de humificação e formação do húmus. Para contornar a rápida decomposição e mineralização dos resíduos vegetais pode-se aplicar o balanço estequiométrico dos principais elementos químicos que compõem a matéria orgânica do solo (MOS), a qual tem grande influência no processo de humificação e que é coordenada pela microbiota do solo. Com isto, além da diminuição da taxa de decomposição/mineralização, busca-se a melhor taxa de conversão da palha (resíduo vegetal) em biomassa viva (microbiana) no solo. O objetivo geral é avaliar a taxa de incremento de C no solo após a suplementação dos nutrientes N, P e S. Foi instalado experimento em anéis de concreto de 0,23 m³ contendo solo de textura média e 5 tipos de cultivo, com culturas anuais e pastagens. Foi efetuado os cortes de pastagem/forrageira e milho, bem como a deposição de palha na superfície do solo. Nos cultivos com milho (Cultivos 1 e 2) foi efetuada a moagem da palha e depositado na superfície do solo uma quantidade equivalente a 9,0 Mg ha⁻¹. Nos cultivos com pastagem (Cultivos 3, 4 e 5), a forrageira foi cortada pela simulação de pastejo rotacionado, conforme a indicação de altura máxima e mínima de pastejo das cultivares de brachiaria e panicum. Nas pastagens, foi depositado 25% da forrageira como palha na superfície do solo, considerado como perda pelo pastejo. O experimento está em fase de estabelecimento e não foram realizadas as aplicações diferenciadas dos nutrientes NPS, bem como a determinação do C no solo em cada tratamento.

Palavras-Chave: húmus; estequiometria; decomposição; mineralização.

Introdução

A aplicação de práticas agrícolas que visam aumentar o carbono (C) no solo representa uma das várias estratégias para contribuir com a mitigação das mudanças climáticas. Não obstante, com o aumento dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) é esperado o incremento da sustentabilidade dos sistemas produtivos agrícolas. Como condição de efeito do aumento da MOS, restaurar e manter a fertilidade do solo por meio da ciclagem/reciclagem, disponibilidade e retenção de nutrientes e melhoria da agregação.

O incremento do C no solo a partir dos resíduos depositados na superfície pelas culturas agrícolas é um desafio diante dos fatores que favorecem a sua rápida decomposição e mineralização da MOS em condições de clima tropical. Desta forma, o desenvolvimento de estratégias que visam potencializar o incremento da MOS passa necessariamente pela entrada de C sob diferentes fontes e sua permanência no solo.

Tomando como exemplo a condição apresentada anteriormente, ao avaliarmos uma das principais fontes de C no solo, os resíduos vegetais, os quais adicionados superficialmente ao solo, no primeiro ano, pela decomposição, pelo menos 70% do C é convertido em CO₂ (Jenkinson et al., 1991).

Quanto à taxa de decomposição dos resíduos vegetais, ela pode ser modificada em função da qualidade, resultando numa taxa de mineralização diferenciada. Para isto, é buscado uma taxa lenta da mineralização, a qual, passa necessariamente pelo processo de humificação, que aumenta o tempo de permanência no solo dos resíduos vegetais.

O húmus do solo representa a forma predominante de estruturas com C no solo, sendo a parte estabilizada da MOS. No húmus, o C é um dos muitos constituintes e desta forma, o sequestro deste elemento nos solos envolve a disponibilidade de outros elementos presentes na estrutura orgânica dos resíduos e da microbiota, principalmente. No que confere a predisposição à decomposição da MOS, o conteúdo de nitrogênio (N) é amplamente usado como fator de análise por meio da razão C/N. No entanto, dois outros elementos da MOS, o fósforo (P) e enxofre (S) devem ser considerados, uma vez que variam em diferentes tipos de MOS, e de como as razões C/elemento variam um com o outro.

Kirkby et al. (2013) relatam que o acúmulo e a estabilidade da MOS na forma de húmus vão além da presença de N, onde o enriquecimento em C acontece simultaneamente com aumentos em N e P orgânicos nos solos, o que implica que a imobilização de C na MOS está diretamente relacionada a disponibilidade de nutrientes como N, P e S.

O objetivo geral do trabalho é avaliar a taxa de incremento de C no solo após a suplementação dos nutrientes NPS. Este resumo contempla informações sobre a montagem do experimento, estabelecimento e as fases que se seguirão.

Material e Métodos

Instalação do experimento

O experimento foi instalado nas dependências da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. O solo selecionado na camada de 0-20 cm é de textura média, com teor de argila de 160 g kg⁻¹, silte de 50 g kg⁻¹ e areia total de 790 g kg⁻¹, C org de 7,8 g kg⁻¹. A classe é Latossolo Vermelho Distrófico pretroplítico.

O solo estava sob cultivo com pastagem de baixa produtividade. Foi efetuada a correção e adubação do solo de acordo com as recomendações para a cultura mais exigente que será utilizada como fonte de resíduo vegetal.

Limpeza da área de empréstimo do solo para o experimento

Diante a presença de elevada massa vegetal da área que foi coletado o solo de textura leve para o experimento, o mesmo foi limpo com a remoção da pastagem com lâmina a 5 cm de profundidade. A área fica a 4 km de distância do local definido para montagem do experimento.

Correção e adubação do solo

O solo da área de empréstimo (400 m²) foi corrigido e adubado de acordo com as recomendações para a cultura mais exigente selecionada entre soja, milho, brachiaria e panicum, que serão utilizadas como fonte de resíduo vegetal.

No total, considerando uma área de 1 ha, foi aplicado 3.750 kg de calcário dolomítico, 500 kg de superfosfato simples, 20 kg de MAP, 250 kg de KCl e 75 kg de FTE BR12.

Distribuição das manilhas (anéis de concreto)

No total, 84 anéis foram distribuídos em linhas por toda a área. Cada anel tem o diâmetro de 0,90 m (0,80 m interno) x altura de 0,46 m, com área de 0,5 m² e volume de 0,23 m³. O acondicionamento dos anéis de concreto manteve o espaço visando a circulação e coleta de amostras, bem como a manutenção.

Para cada cultivo, o total de 16 anéis que correspondem a 4 repetições por tratamento (cultivo x níveis de NPS).

Dos 84 anéis, 4 deles correspondem ao solo sem cultivo, sendo apenas a adubação e correção como nos demais tratamentos (sem repetição). Nestes serão aplicados tratamentos de suplementação de NPS na safra /2023/2024, para avaliação do efeito *priming* (consumo do C existente).

Enchimento das manilhas e incubação do solo

Cada anel foi preenchido com solo preparado para a semeadura das diferentes cultivares dentre aquelas selecionadas. Após um período de 30 dias com chuva regular, o solo está pronto para semeadura.

Desenho experimental/ Tratamentos

O experimento foi instalado com os seguintes tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos representados pelos cultivos e combinações da relação C: NPS.

Cultivo	Combinações
1	Soja/milho/pousio (anual);
2	Soja/milho/ <i>Brachiaria</i> (anual)
3	<i>Brachiaria</i> */soja (Simulação de pastejo - retira massa e 25% da massa retorna). / Dessecação
4	<i>Brachiaria</i> (Simulação de pastejo - retira massa e 25% da massa retorna).
5	<i>Panicum</i> (Simulação de pastejo - retira massa e 25% da massa retorna).
Cultivares	
1	Milho híbrido comercial
2	Milho híbrido comercial/Ruziziensis
3	Piatã
4	Marandu
5	Zuri
Cultivo 2	
Entre-safra braquiária/ soja / 2 anos braquiária / soja / 2 anos braquiária	
Relação C: NPS	
A	condição do solo corrigido e adubado
B	baixa relação C: NPS
C	média relação C: NPS
D	alta relação C: NPS
Repetições	
4	
Anéis por cultivo e relações	
16	
Anéis extras	
Aplicar as relações em cada anel	

Semeadura de culturas em anéis de concreto.

Em função da época de instalação, início de março, as culturas anuais ficaram restritas aquelas de 2ª safra, neste caso, para os Cultivos 1 e 2, com soja/milho, apenas o milho foi cultivado. Para a próxima safra (2023/2024) será implantado o cultivo de soja conforme previsto na Tabela 1.

No mês de março de 2023 (dia 03), foi efetuada a semeadura conforme os cultivos (1. Milho – híbrido comercial; 2. Milho – híbrido comercial; 3. *Brachiaria* – Piatã; 4. *Brachiaria* – Marandu; 5. *Panicum* – Zuri) (Tabela 1).

O número de sementes foi superior ao número de planas previstas, visando o desbaste e garantia do número mínimo de plantas. Ao longo do tempo, foi efetuado o raleio, especialmente do Zuri (Cultivo 5).

No dia 05/04/2023 foi efetuada a semeadura da *Brachiariaia Ruzieziensis* entre o milho (Cultivo 2).

Corte das forrageiras

O corte da forrageira de cada anel foi realizado em porte fisiológico adequado de cada cultivar. O corte da forrageira ocorreu segundo a altura de manejo do pastejo para as brachiarias nos 20 cm e panicum nos 30 cm, como forma de simulação de pastejo rotacionado.

Durante o corte, foi retornado 25% do material coletado para os anéis, considerado como perda de forragem pelo pastejo.

Uma parte da forragem foi seca em estufa e obtido a massa seca produzida em cada anel.

A planta de milho foi cortada, sendo a palhada triturada e depositada na superfície do solo.

Resultados e Discussão

Corte do milho

As plantas de milho (Cultivo 1 e 2) foram cortadas e trituradas no dia 11/07/2023, sendo depositado na superfície do solo em torno de 9,0 toneladas por ha como palha (cada anel de 0,450 kg).

Corte da forrageira

O 1º corte da forragem dos cultivos 3, 4 e 5 ocorreu no dia 03/05/2023 e o 2º corte no dia 06/06/2023.

Foi pesado a massa verde e devolvido 25% sobre o solo na forma de resíduo ou palha, considerado perda de pastejo (Tabela 2).

Tabela 2. Massa de forragem e palhada depositada na superfície do solo nos cultivos com pastagens.

Cultivo	Data	Data
	03/mai	06/jun
	Produção forragem	
1	-	-
2	-	-
3	8900	7006
4	6812	7028
5	8830	7039
Cultivo	Data	Data
	03/mai	06/jun
	Deposição palhada (25%)	
1	-	-
2	-	-
3	2225	1752
4	1703	1757
5	2208	1760

Conclusões

O experimento está em fase de estabelecimento e não foram realizadas as aplicações diferenciadas dos nutrientes NPS, bem como, a determinação do C no solo em cada tratamento.

Agradecimentos

Ao setor de máquinas e veículos da Embrapa Gado de Corte, ao Técnico Agrícola Silvano Calixto e a pesquisadora Denise Baptaglin Montagner.

Ao CNPq e Fundect. A Agrisus pelo apoio financeiro (. Esta pesquisa é desenvolvida no âmbito do Projeto Rural Sustentável - Cerrado, fruto da parceria entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Governo do Reino Unido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS), a Embrapa e a Rede ILPF.

Referências

JENKINSON, D. S.; ADAMS, D. E.; WILD, A. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. **Nature**, 351: 304-306. 1991.

KIRKBY, C. A.; RICHARSON, A. E.; WADE, L. J.; BATTEN, G. D.; BLANCHARD, C.; KIRKEGAARD, J. A. Carbon-nutrient stoichiometry to increase soil carbon sequestration. **Soil Biology & Biochemistry**. 2013; 60:77-86.

Liberação de potássio e sódio em solo adubado com *Kappaphycus alvarezii* em condições de laboratório (1)

Fernanda Lavra de Oliveira Lima ⁽²⁾; David Vilas Boas Campos ⁽³⁾; Mariana Alves Figueiredo ⁽⁴⁾; Daiane Rigoni ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa Solos. ⁽²⁾ Acadêmica do Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense; Bolsista PIBIC na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁴⁾ Engenheira Ambiental e Sanitarista, mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁵⁾ Farmacêutica Bioquímica, mestre em Bioinformática, analista de pesquisa P&D da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Resumo – A espécie de alga *Kappaphycus alvarezii* possui em sua composição diversos nutrientes, entre eles o potássio (K) e sódio (Na) e grande possibilidade de uso como fertilizante natural. Desta forma, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a disponibilidade do potássio e do sódio pela adubação com fertilizantes minerais e a alga, em um solo do tipo arenoso, em condições laboratoriais. Foram avaliados três tratamentos com adubação e um tratamento de controle, em blocos, com 3 repetições cada. Após a aplicação dos tratamentos, foram realizadas coletas em sete tempos, sendo eles 1, 7, 15, 30, 45, 60 e 90 dias. Essas amostras de solo foram secas, homogeneizadas e analisadas para determinação dos teores de K trocável e Na trocável no solo pelo método de fotometria de chama. O estudo revelou diferenças significativas nas concentrações de nutrientes no solo entre os tratamentos adubados e o grupo de controle sem fertilizantes. A alga e o fertilizante KCl foram os mais eficazes na liberação de potássio, enquanto a alga foi a principal fonte de sódio, embora tenha ocorrido uma diminuição na liberação de sódio em todos os tratamentos a partir da terceira coleta.

Palavras-Chave: *Kappaphycus alvarezii*, macroalga, fertilizantes

Introdução

As macros e microalgas, organismos aquáticos de grande diversidade estrutural e fisiológica, representam aproximadamente 90% de toda biota dos oceanos e são de grande diversidade de espécies (Suzart et al., 2021),

A *Kappaphycus alvarezii* é uma espécie de macroalga da Ordem Gigartinales e Família Solieriaceae que costuma ocorrer principalmente em áreas de recifes de corais e habitam áreas rasas, além de serem bem adaptadas a altos níveis de iluminação.

No Brasil, esta alga foi introduzida em 1995, no litoral norte de São Paulo. Em 1998 iniciou-se a agricultura da espécie na Baía de Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro e, somente em 2008 o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) regulamentou e permitiu o cultivo da espécie na região entre Ilha Bela (SP) e Mangaratiba (RJ) (de Faria et al., 2014)

Muitas espécies de macroalgas são utilizadas na agricultura como fertilizantes naturais, já que possuem em sua composição compostos que auxiliam no crescimento da planta e melhoraram sua tolerância às condições adversas ao seu desenvolvimento.

A *Kappaphycus alvarezii* apresenta em sua composição teores de carboidratos, proteínas, e minerais, com o extrato líquido apresentando 1,6% a 2,1% de potássio (K) e 0,5% a 0,7% de sódio (Na) (Lopes, 2020; Costa, 2015). Como K é um dos macronutrientes mais requeridos nas culturas e o Na, é um elemento tóxico para as plantas, é necessário verificar a liberação desses nutrientes no solo.

Portanto, o presente trabalho busca analisar a liberação de K e Na no solo após o tratamento com a alga, em condições de laboratório.

Material e Métodos

As análises foram conduzidas no Laboratório de Tecnologia em Fertilizantes, pertencente ao LASP da Embrapa Solos e a alga *Kappaphycus alvarezii* foi disponibilizada por um pequeno produtor localizado em Ilha Grande, no litoral do Rio de Janeiro.

Experimento em condições de laboratório

A primeira etapa do experimento foi realizada em bancada, em copos plásticos, cada um contendo 100 g de solo arenoso da classe Planossolo Háplico e a adição do equivalente a 100 mg.kg⁻¹ de potássio, variando de acordo com o teor de K de cada tratamento escolhido.

Foram, ao todo, quatro tratamentos, um de controle, KCl (para agricultura convencional), K₂SO₄ (para agricultura orgânica) e um tratamento com a alga, com três repetições e organizado em blocos, com sete tempos de coleta. A tabela 1 dispõe dos tratamentos utilizados.

Foram realizadas sete coletas nos tempos 1, 7, 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a adição dos tratamentos, totalizando 84 amostras. Durante todo o período, a umidade foi mantida em capacidade de campo e, após realizada a coleta, cada amostra foi seca em estufa à 45°C e homogeneizada para dar seguimento às análises químicas.

Tabela 1. Fertilizantes utilizados no experimento e os teores de K₂O de cada tratamento.

Tratamento	Composição	Teor K ₂ O (%)
KCl	Fertilizante comercial	58
K ₂ SO ₄	Fertilizante comercial	50
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	-	27,6

Fonte: Autoria própria.

Determinação de K e Na

Para a determinação dos nutrientes, realizou-se a metodologia de extração ácida como descrita no Manual de Métodos e Análise de Solo (2017).

O método utilizou 10g de cada amostra de solo tratado e 100 mL de uma solução de extrato de Mehlich-1 para o preparo da solução de análise. A mistura foi posta em agitação por 5 minutos e em repouso por uma noite. Ao final do período de repouso, a solução foi coletada e a leitura realizada em fotômetro de chama.

Realizada a leitura, os resultados em ppm foram transformados para concentrações em mg.kg⁻¹ como descrito na equação.

$$K^+, Na^+ (mg\ kg^{-1}) = 10 \cdot L_2 \cdot d$$

Onde:

Valor 10 – fator que leva em consideração a diluição solo: extrator

L2 – Leitura da amostra, em absorbância

d – Fator de diluição do extrato de Mehlich (se não for necessária a diluição, considera-se d = 1);

Resultados e Discussão

Foi possível observar que houve diferença de concentrações entre os tratamentos com adubação e a testemunha, que não sofreu nenhuma adição de fertilizante, em todas as coletas, indicando o efeito da aplicação dos tratamentos no solo.

A respeito dos teores de K⁺, observando a figura 1, percebe-se que os tratamentos com a alga *Kappaphycus* e os tratamentos com KCl foram os mais efetivos entre os quatro. Observa-se, também, que o tratamento com K₂SO₄ foi o tratamento que menos ofertou K⁺ ao

solo a partir da terceira coleta. A figura evidencia a eficácia da aplicação dos tratamentos no solo, já que a testemunha se manteve constante, sem alterações significativas, durante os períodos de coleta.

Com relação aos teores de Na^+ , é possível perceber na figura 2 que a alga foi a responsável pela maior concentração durante todas as coletas, com pequenas variações entre as coletas, entre 20 e 30 mg.kg^{-1} . Observa-se que as maiores concentrações, em todos os tratamentos com fertilizante, foram na segunda coleta.

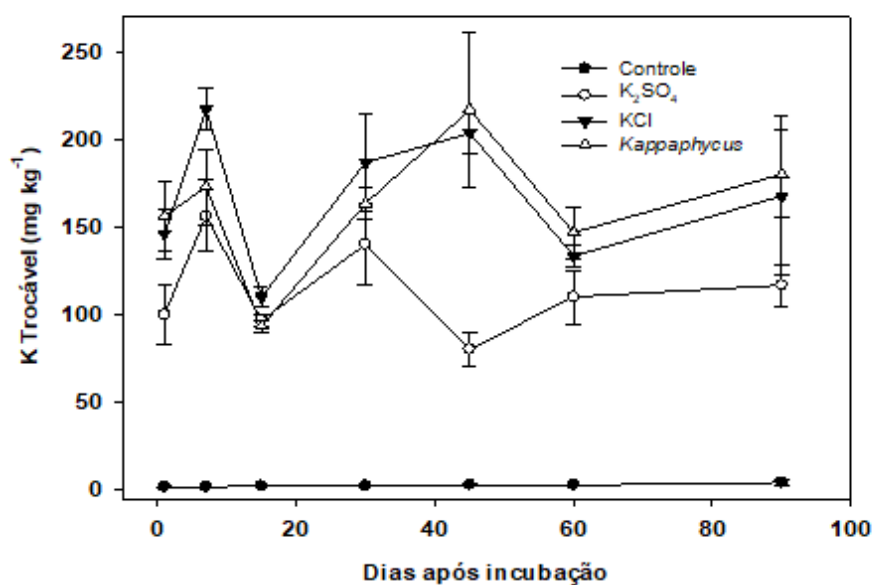


Figura 1. Concentração de K Trocável em amostras de solo adubados com diferentes fertilizantes potássicos comerciais e alga *Kappaphycus alvarezii* em vários períodos de incubação (barras indicam erro padrão de 3 repetições).

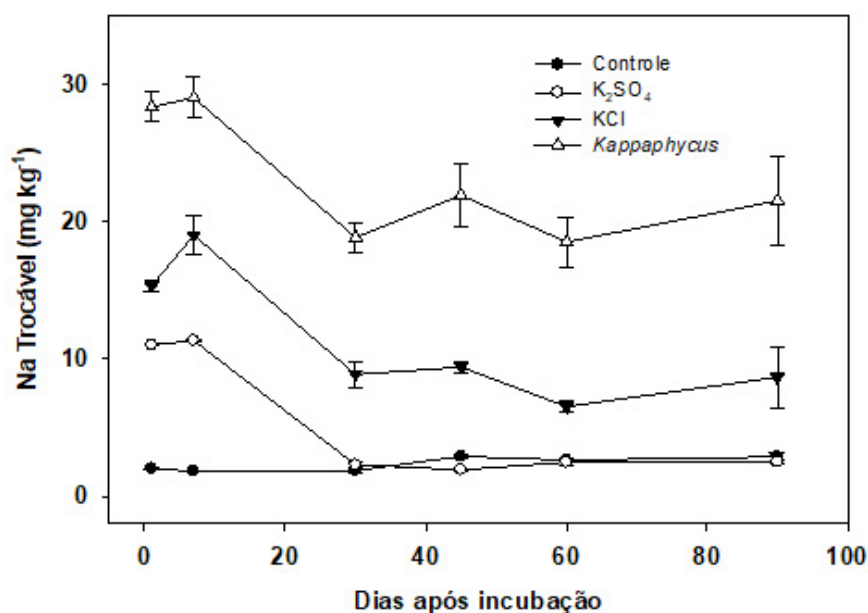


Figura 2. Concentração de Na Trocável em amostras de solo adubados com diferentes fertilizantes potássicos comerciais e alga *Kappaphycus alvarezii* em vários períodos de incubação (barras indicam erro padrão de 3 repetições).

Constata-se, também, que os tratamentos tiveram uma queda na liberação a partir da terceira coleta, o tratamento com K_2SO_4 com comportamento similar ao controle durante o resto das coletas.

É de grande importância o monitoramento da liberação de sódio por meio dos fertilizantes, já que esse nutriente em grandes concentrações pode se tornar tóxico para as plantas, prejudicando a absorção de outros nutrientes.

Conclusões

Os resultados obtidos nesta análise revelaram diferenças significativas nas concentrações de nutrientes no solo entre os tratamentos com adubação e o controle sem adição de fertilizantes, mostrando que o solo utilizado é indicado para a natureza do estudo.

Os tratamentos com a alga *Kappaphycus* e o KCl demonstraram ser os mais eficazes em fornecer potássio ao solo, enquanto a análise dos teores de sódio destacou a alga como a principal fonte desse nutriente, embora tenha havido uma queda na liberação a partir da terceira coleta em todos os tratamentos, com o K_2SO_4 se assemelhando ao controle.

Agradecimentos

À Embrapa Solos, ao Projeto Rede FertBrasil (FINEP 01.22.0080.00) e ao CNPq, pelo apoio financeiro e logístico.

Referências

SUZART, L. G. da C.; VENDRAMINI, A. L. do A. Aplicações Biotecnológicas da Macroalga *Kappaphycus alvarezii*: um estudo prospectivo. **Cadernos de Prospecção**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 1145–1158, 2021.

de FARIA, G.S.M.; HAYASHI, L.; MONTEIRO, A.R. Effect of drying temperature on carrageenan yield and quality of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) cultivated in Brazil. **J Appl Phycol** 26, 917–922 (2014).

COSTA, M.A. Avaliação do potencial do extrato da macroalga marinha *Kappaphycus alvarezii* como fertilizante orgânico, para uso via tratamento de semente e pulverização foliar na cultura de soja. 70 f. Dissertação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.

LOPES, J. S. Influência da adição da macroalga *Kappaphycus alvarezii* nas propriedades físicas de snacks à base de farinha de arroz. 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia** 2014, 38, 109.

Bioanálise aplicada à qualidade do solo de pastagens da Região Médio Paraíba do Sul ⁽¹⁾

Gabriela Martins Silva²; Daiane Rigoni³; Marcelo Antoniol Fontes⁴; Jorge Makhlouta Alonso⁵; Giselle Silva Dos Santos⁶; Rosângela Stralio⁷

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da FINEP/CT-AGRO/FNDCT Nº 01.22.0080.00/FINEP: 1219/21 e FAPERJ projeto 10.23.00.023.00.00. ⁽²⁾ Aluna de graduação, Engenharia Química, UFRJ. ⁽³⁾ Farmacêutica Bioquímica, Mestre, Analista, Embrapa Solos. ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Mestre, Analista, Embrapa Agrobiologia. ⁽⁵⁾ Engenheiro Florestal, PhD, Bolsista FINEP/Rede FERTBRASIL. ⁽⁶⁾ Aluna de graduação, Biologia, PUC/RJ. ⁽⁷⁾ Engenheira Agrônoma, PhD, Pesquisadora, Embrapa Solos.

Resumo – O objetivo do trabalho foi avaliar a atividade enzimática do solo em pastagens do Médio Vale Paraíba, RJ. Amostras compostas da camada 0-10cm foram coletadas em Valença e Cachoeiras de Macacu, sob sistemas de integração pecuária-floresta (iPF) sob pastagem braquiária submetidas ao manejo convencional em diferentes níveis de degradação e sob mata secundária, processadas pelo protocolo FertBio. No sistema iPF o solo foi amostrado na linha do renque; projeção da copa e área central do pasto. Foram avaliadas atividades da arilsulfatase e β -glucosidase e a atividade da β -glucosidase foi consistentemente inferior à arilsulfatase. No iPF não foi observada diferença entre locais de amostragem. A β -glucosidase mostrou-se inferior na mata em relação ao local iPF B e a arilsulfatase foi similar nos locais de amostragem. Na Região de Valença, RJ, a atividade das enzimas decresceu nos pastos mais degradados em 2,4 vezes para β -glicosidase e 3,4 vezes para arilsulfatase, e em Cachoeiras de Macacu, a atividade da β -glicosidase decresceu cerca de 2 vezes nos pastos com maior nível de degradação. Foram gerados agrupamentos distintos em função da atividade enzimática e os níveis de degradação, indicando viabilidade do uso do indicador para avaliar o nível de degradação de pastagens.

Palavras-Chave: arilsulfatase, betaglucosidase, bioindicadores de qualidade do solo, IQS-Fertbio, bioanálise do solo.

Introdução

As pastagens ocupam a maior área agricultável do Brasil, aproximadamente 161 milhões de hectares sendo cerca de 60 milhões classificadas como pastagens nativas (Marin et al., 2016). Cerca de metade desta área é constituída por pastagens cultivadas, parcialmente degradadas e com baixa produtividade (Scolari, 2006). Existem iniciativas para estabelecer os níveis de degradação de pastagens com base em indicadores de qualidade de solo (Lisboa et al., 2016; Valle, 2018), taxa de cobertura (Lisboa et al., 2016; Valle, 2018), altura de pasto e produção de biomassa (Dias-Filho, 2014). No entanto, ainda não foram estabelecidos níveis de degradação com indicadores práticos de qualidade de solo e da pastagem de forma associada, que possam nortear os produtores na escolha de práticas de recuperação. Por captarem de forma antecipada as alterações decorrentes do manejo e serem mais sensíveis que atributos químicos e físicos do solo, incluindo o próprio teor de MOS os indicadores microbianos do solo ou bioindicadores do solo, como a biomassa microbiana e sua atividade ganharam destaque nos últimos anos na ciência do solo (Chaer, Tótola, 2007; Peixoto et al., 2010; Mendes et al., 2018). O país passou a protagonizar uma das maiores revoluções em termos analíticos, colocando à disposição do produtor tabelas de interpretação com níveis críticos para atributos biológicos-chaves do solo (Lopes et al., 2018), utilizando-se do mesmo princípio de calibração para recomendação de nutrientes (Cantarutti et al., 2007). Trabalhos pioneiros foram desenvolvidos pela equipe da Embrapa Cerrados envolvendo a variabilidade na atividade das principais enzimas relacionadas à atividade biológica dos solos, suas condições de preservação (Lopes et al., 2015) e resposta aos diferentes sistemas de manejo do solo (Lopes et al., 2018). Em 2019, foram publicados os limites para esses bioindicadores do solo relativos a amostras FERTBIO. Ou seja, amostras preparadas para análise química de rotina e coletadas após a colheita da cultura principal podem também ser utilizadas para análise da atividade das enzimas β -glucosidase, arilsulfatase,

fosfatase ácida e desidrogenase (Mendes et al., 2019), compondo o conceito de BioAS. Os autores pontuam que essa sequência de estudos demonstra que a implementação desse conceito de amostragem e análise é viável para solos argilosos do Cerrado, havendo necessidade de novos estudos na mesma direção em outros biomas e sistemas de produção, como os integrados em que a pecuária é o principal protagonista do sistema (Mendes et al., 2018, 2019).

A região fluminense do Médio Paraíba do Sul apresenta pastagens com níveis muito elevados de degradação, situação que ameaça a sustentabilidade agro econômica de uma importante atividade rural do Sul fluminense. O estabelecimento de critérios para avaliação do estágio de degradação através de indicadores práticos da qualidade do solo/pastagem, contribui para o estabelecimento de estratégias de manejo sustentável. O objetivo do trabalho foi avaliar as atividades enzimáticas da arilsulfatase e betaglicosidase em amostras de solo sob pastagens submetidas a sistemas de manejo distintos e diferentes níveis de degradação, e sob mata em áreas adjacentes, em Valença, RJ, região do Médio Vale Paraíba do Sul.

Material e Métodos

Foram analisadas amostras compostas (10 amostras simples) de solo da região de Valença e Cachoeiras de Macacu (RJ), em áreas de produtores rurais com diferentes estágios de degradação (N2, N3 e N4) das pastagens, bem como em áreas consideradas bem manejadas (N1) e áreas de mata em regiões próximas. Foram ainda coletadas e analisadas amostras de solo em áreas pastagens sob sistema de integração pecuária-floresta (iPF) na região de Valença, RJ, com pasto *Brachiaria* e *Eucaliptus*. Nas áreas de iPF o solo foi coletado na linha do renque (iPF R); próxima à borda das árvores, a cerca de 1m de distância do renque (iPF B) e na região central entre os renques (iPF P). O solo coletado nas diferentes regiões foi processado para terra fina seca ao ar (Teixeira et al, 2017) e de acordo com o protocolo FertBio (Mendes et al., 2019). As análises de BioAS foram conduzidas no laboratório de Leguminosas da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica/RJ. Foram quantificadas as atividades das enzimas arilsulfatase, ligada ao ciclo do enxofre, e β - glicosidase, associada ao ciclo do carbono. A metodologia, descrita por Tabatabai (1994) e adaptada por Pazutti e Chaer (2012), consiste na extração e determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado quando a amostra de solo é incubada em uma solução tampão contendo o substrato sintético p-nitrofenil-sulfato, para a arilsulfatase, ou p-nitrofenil- β -D-glicosídeo, para a β -glicosidase.

Um total de 0,5 g de amostra de solo foi pesada, em duplicata, diretamente em tubos de ensaio de 10 ml. Em seguida, foram adicionadas as soluções tampão e a solução de substrato de acordo com a enzima a ser analisada. A mistura de solo e substrato foi incubada a 37 °C por 1 hora em banho-maria. Após esse período, o p-nitrofenol formado foi extraído pela adição de CaCl_2 juntamente com uma solução alcalina, cujo objetivo foi interromper a atividade enzimática e desenvolver a coloração amarelada para quantificação do p-nitrofenol. Os tubos contendo a reação foram centrifugados por 2 minutos a 3000 rpm e o sobrenadante foi utilizado para determinação colorimétrica em espectrofotômetro sob comprimento de onda de 410nm. Foram preparadas reações controle para cada uma das amostras contendo o solo sem o substrato, cujo objetivo foi quantificar a coloração não derivada da atividade da enzima. Um controle negativo também foi analisado, contendo todos os componentes utilizados na reação na ausência da amostra de solo. O teor de p-nitrofenol das amostras e controles foi calculado por referência a uma curva padrão de calibração traçada a partir das leituras de absorbância com padrões contendo 0, 10, 20, 30, 40 e 50 μg de p-nitrofenol, conforme o gráfico a seguir:

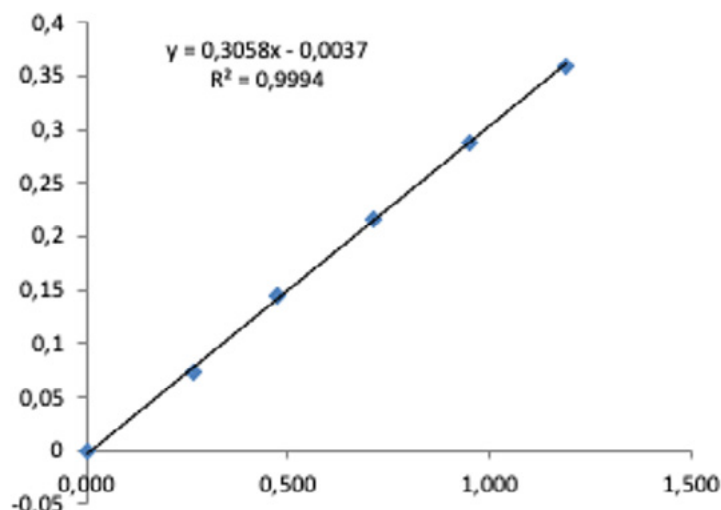


Figura 1. Gráfico demonstrativo da curva de calibração traçada a partir das leituras de absorbância (eixo x) com os padrões de concentração conhecida de substrato p-nitrofenol (eixo y) de uma análise de atividade enzimática da arilsulfatase de amostras procedentes de Valença/RJ.

Resultados e Discussão

Os resultados das análises enzimáticas realizadas nas amostras de solo coletadas nas duas regiões objeto do trabalho serão apresentados nas Figuras 2, 3 e 4. Os níveis detectados nas análises para as atividades enzimáticas foram compatíveis com os dados da literatura, sendo a da β - glicosidase consistentemente inferior à da arilsulfatase nas duas regiões amostradas. No iPF em Valença, RJ (Figura 2), não foi observada diferença significativa entre os locais de amostragem dentro do sistema integrado, renque, borda ou pasto (R, B ou P) para as atividades de ambas enzimas, indicando que a coleta na área de pasto pode ser usada para fins comparativos com solos coletados em áreas de pastagens sob manejo convencional. A atividade da β - glicosidase mostrou-se inferior nas regiões de mata em relação às áreas de iPF enquanto a da arilsulfatase foi similar. A atividade das enzimas decresceu nas pastagens com maior nível de degradação (N3) em relação aos pastos não degradados (N1) conforme apresentado na Figura 3. A redução foi de 2,4 vezes para as atividades da β - glicosidase e 3,4 vezes para a arilsulfatase em pastagens na região de Valença, RJ. Para os solos de Cachoeiras de Macacu apenas a atividade da β - glicosidase foi significativamente inferior no nível máximo de degradação da pastagem em relação ao pasto não degradado. Na região de Cachoeiras de Macacu, a atividade das enzimas na região da mata não diferiu das atividades nos solos de pastagem, independentemente do nível de degradação. A análise de agrupamento (Figura 4) apresentou três agrupamentos distintos: um formado por amostras de solos das áreas de pastagem com menor nível de degradação (N1) juntamente com 2 amostras provenientes de áreas de iPF coletadas nas áreas de renque e borda. O segundo agrupamento abrange as amostragens feitas nas áreas de iPF e de áreas de pastagem com nível intermediário de degradação. Por outro lado, no terceiro agrupamento, temos todas as amostras provenientes de pastagens degradadas (N3), com menores níveis de atividade enzimática, e apenas uma área proveniente de iPF coletado na área do renque de árvores.

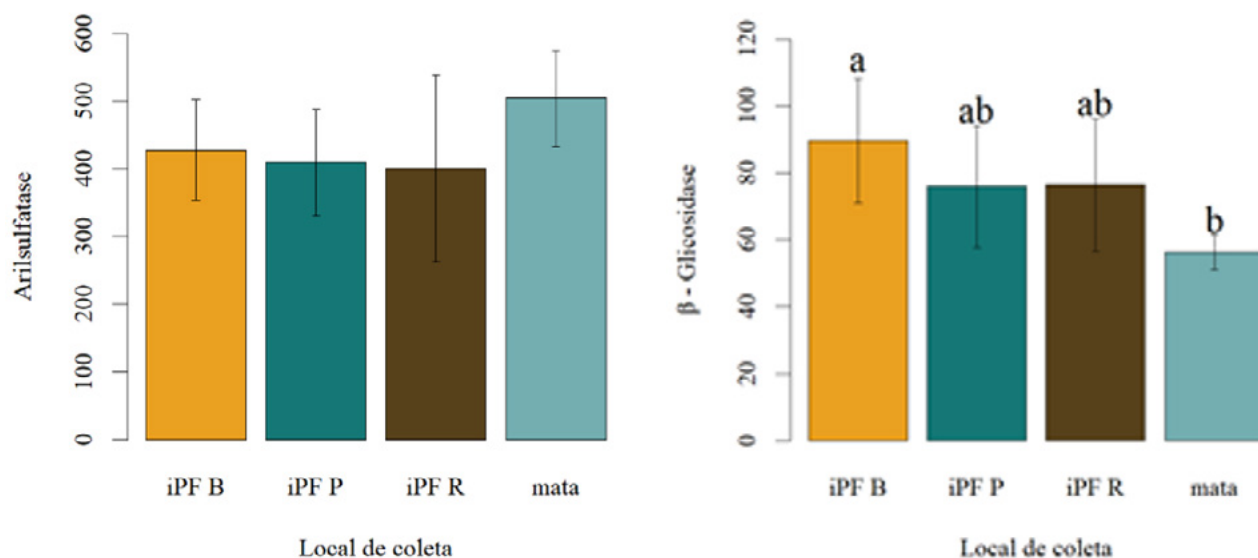


Figura 2. Atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase (em $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) no solo em pastagens sob sistema de integração pecuária-floresta (iPF) e em áreas de mata, em Valença, RJ. O solo do sistema integrado foi coletado em três locais distintos: na linha do renque (iPF R); próxima à borda das árvores, a 1m de distância do renque (iPF B) e na pastagem da região central entre os renques (iPF P).

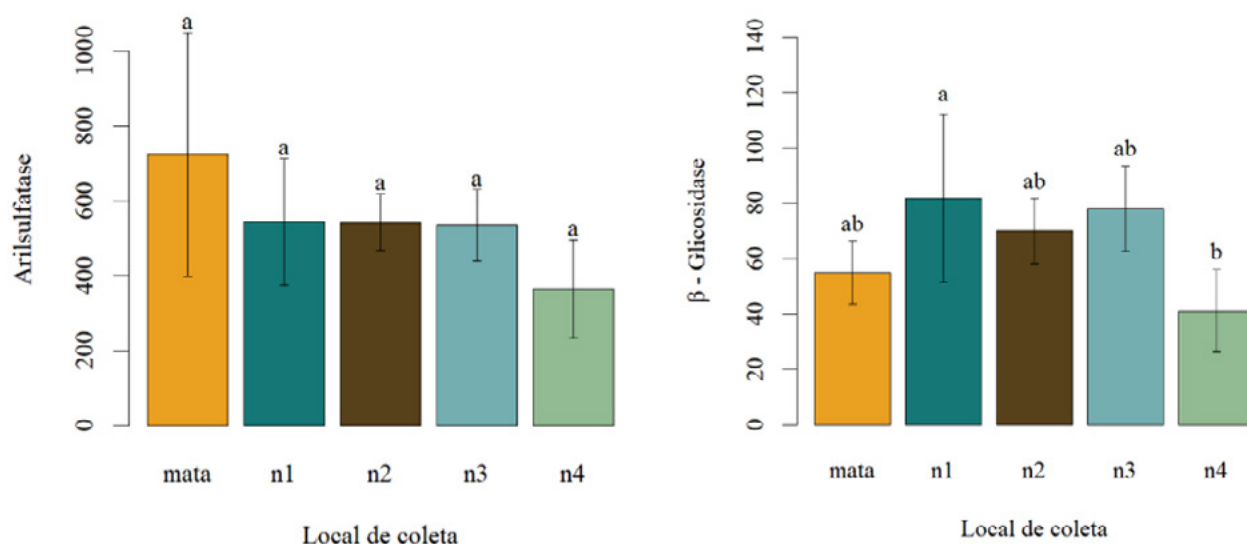


Figura 3. Atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase (em $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$) no solo em pastagens em áreas de pastagens com manejo convencional, em diferentes níveis de degradação: N1 (pasto não degradado); N2 (nível intermediário de degradação) e N3 (nível intermediário – alto de degradação) e N4 (nível de degradação elevado) e em áreas de mata, em Cachoeiras de Macacu, RJ.

Na região de renque do iPF (iPF R) observou-se, uma menor densidade do pasto e maior ressecamento do solo. Como conclusão do trabalho observa-se que na Região de Valença, RJ, a atividade das enzimas decresceu nos solos com maior nível de degradação (N3) em relação aos pastos não degradados (N1), em 2,4 vezes para as atividades da β -glicosidase e 3,4 vezes para a arilsulfatase, e na região de Cachoeiras de Macacu, a atividade da β -glicosidase decresceu cerca de 2 vezes nas regiões com maior nível de degradação. Para as áreas de Valença foram gerados agrupamentos distintos em função da atividade enzimática e os níveis de degradação, indicando viabilidade do uso desse indicador para avaliar a sustentabilidade de práticas de manejo em pastagens.

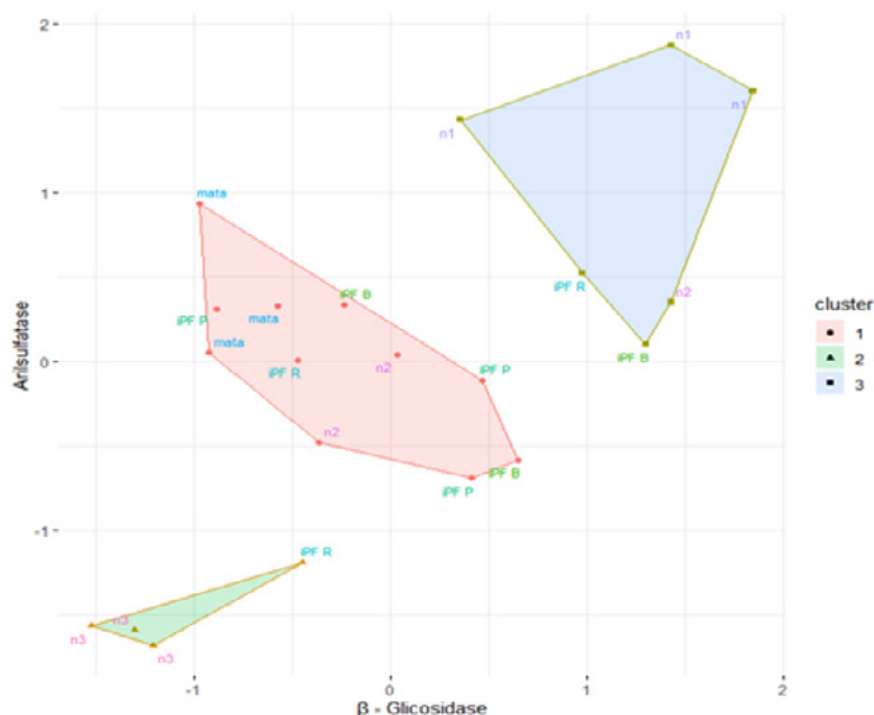


Figura 4. Análise de cluster mostrando o agrupamento da atividade da enzima arilsulfatase em amostras de solo sob sistema de integração pecuária-floresta, áreas de pastagem convencional com diferentes níveis de degradação e em áreas de mata, em Valença, RJ. A atividade enzimática foi avaliada no sistema integrado em amostras de solo coletadas na linha do renque (iPF R); próximo à borda das árvores, a 1m de distância do renque (iPF B); pastagem da região central entre os renques (iPF P); áreas com diferentes níveis de degradação: N1 (pasto não degradado); N2 (nível intermediário de degradação) e N3 (nível avançado de degradação).

Conclusões

A atividade das enzimas decresceu nos solos sob pastagens com maior nível de degradação (N3) em relação aos pastos não degradados (N1), em até 2,4 vezes para as atividades da β -glicosidase e 3,4 vezes para a arilsulfatase em solos de Valença, RJ e em cerca de 2 vezes para β -glicosidase nos solos de Cachoeiras de Macacu, gerando agrupamentos distintos de acordo com os níveis de degradação das pastagens e da atividade enzimática. Os resultados indicam a viabilidade do uso desse indicador para avaliar a sustentabilidade de práticas de manejo em pastagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento pelo apoio e ao Laboratório de Leguminosas da Embrapa Agrobiologia pelo treinamento nas análises enzimáticas.

Referências

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CHAEER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios eucalipto sobre indicadores qualidade solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600016>.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102203/1/DOC-402.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022.

LISBOA, F. M.; DONAGEMMA, G. K.; BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, E. de S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1184-1193, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900018>.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. dos; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SOUZA, L. M.; MENDES, I. C. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional*, v. 12, p. 72-82, Mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.01.003>.

LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. de C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon in Cerrado soils. *CSA News*, v. 58, n. 4, p. 12, Apr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.2134/csa2013-58-4-4>.

LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JÚNIOR, F. B. dos; MENDES, I. C. Air-drying and long-term storage effects on β -glucosidase, acid phosphatase and arylsulfatase activities in a tropical Savannah Oxisol. *Applied Soil Ecology*, v. 93, p. 68-77, Sept. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.04.001>.

MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; SPOLADOR, H. F. S.; OTTO, R.; PEDREIRA, C. G. S. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. *Revista de Política Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 108-124, 2016. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1160/1016>. Acesso em: 7 jul. 2022.

MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JÚNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018. 23 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 38). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199833/1/CircTec-38-leda-Mendes.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022.

MENDES, I. de C.; SOUZA, L. M. de; SOUSA, D. M. G. de; LOPES, A. A. de C.; REIS JÚNIOR, F. B. dos; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in oxisols at post-harvest: the FERTBIO soil sample concept. *Applied Soil Ecology*, v. 139, p. 85-93, Jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025>.

PAZUTTI, L. V. V.; CHAER, G. M. Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para avaliação de β -glucosidade em solos. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2012. 23 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 92). Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1002922/desenvolvimento-de-metodologia-de-baixo-custo-para-analise-de-b-glicosidade-em-solos>. Acesso em: 7 jul. 2022.

PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; ROSADO, A. S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 98, p. 403-413, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10482-010-9454-0>.

SCOLARI, D. D. G. Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. In: *VISÃO progressista do agronegócio brasileiro*. Brasília, DF: Fundação Milton Campos, 2006. p. 9-86. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160161/1/Producao-agricola-mundial.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (ed.). *Methods of soil analysis, part 2: microbiological and biochemical properties*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. cap. 37, p. 775-833. (SSSA book series, 5). DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c37>.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2022.

VALLE, T. R. de S. Níveis de degradação de pastagens e qualidade de solo na região do Médio Vale do Paraíba do Sul. 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biossistemas) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7504152#. Acesso em: 7 jul. 2022.

Avaliação da eficiência agronômica de fosfatos naturais brasileiros em ensaios em vaso

Julia Alfano Keller Ventura Neves da Costa⁽¹⁾; Jessica Franciele Kaminski Ramos⁽²⁾; Vinicius de Melo Benites⁽³⁾

⁽¹⁾Estudante de Engenharia Química na UFRJ, estagiária na Embrapa Solos. ⁽²⁾Mestra em Agronomia pela UFRRJ, estagiária na Embrapa Solos. ⁽³⁾PHD

Resumo – O fósforo (P) é um nutriente essencial no desenvolvimento vegetal. Os solos brasileiros apresentam alta capacidade de fixação de P, o que pode limitar sua disponibilidade para as plantas e afetar seu crescimento. Para suprir essa demanda, são utilizados fertilizantes fosfatados, em sua maioria importados. Para diminuir essa dependência, é necessário explorar fontes de fosfato nacionais. Foram analisadas ao todo 10 amostras, incluindo três fosfatos ígneos brasileiros, três de fosfato sedimentares brasileiros, três fosfatos importados com eficiência agronômica conhecida e uma fonte solúvel de referência superfosfato triplo (STP). Foram realizadas análises de difratogramas de raios X e análises de caracterização química envolvendo pH em água, determinação de solubilidade de P total (HNO_3 10%) e ácido cítrico 2%. Além disso, para a avaliação do desempenho agronômico foi conduzido um experimento em casa de vegetação, por dois cultivos de 45 dias com 10 tratamentos de fertilização e o controle (-P). Todas as fontes de fosfato foram aplicadas na dose de 160 mg/kg de solo. Os resultados obtidos revelaram variações nas respostas da eficiência agronômica e na eficiência de recuperação de fósforo, as quais estão relacionadas à origem de cada tipo de fosfato, ao teor de fósforo solúvel e aos componentes químicos presentes.

Palavras-Chave: Fertilizantes brasileiros, Fósforo, Recuperação de Fósforo, Solubilidade de Fósforo-total, Desempenho agronômico.

Introdução

O fósforo (P) desempenha um papel fundamental no desenvolvimento vegetal. Ele está diretamente ligado à transferência de energia entre as células, a respiração celular e os processos fotossintéticos. Sua limitação nas fases iniciais das plantas pode impedir o desenvolvimento adequado da cultura, mesmo com suplementação posterior. (Silva; Delatorre, 2009). Os solos brasileiros têm alta capacidade de fixação de P, o que pode limitar sua disponibilidade para as plantas (Bernardi et al. 2002). Ao longo do tempo, os fertilizantes solúveis, como superfosfatos, foram muito utilizados para suprir a demanda de P nas culturas. (Bindraban, et al, 2020). Isso gerou uma grande dependência da agricultura brasileira nesses fertilizantes, que em sua maioria são importados, além de causar impactos ambientais. Por isso, outras formas de realizar o fornecimento de P para as plantas têm ganhado relevância. (Abisolo, 2018). Uma das principais formas de produção de fertilizantes fosfatados é por meio do processamento de rochas fosfáticas, que contém mineral apatita em sua composição. (Roy et al. 2023). Esses fosfatos têm grande importância econômica, são utilizados tanto na indústria para a fabricação de ácido fosfórico quanto para a aplicação direta ao solo como fontes de liberação lenta de P, reduzindo a necessidade de fertilizantes convencionais (Kaminski, Peruzzo, 1997). A disponibilidade e a liberação de P nessas fontes podem variar conforme a origem e as propriedades físico-químicas das rochas, impactando, conseqüentemente, as culturas. (Rajan et al. 1996). O Brasil produz cerca de dois milhões de toneladas de fertilizantes fosfatados por ano, o que corresponde a 3% da produção mundial. Esse valor não teve mudanças significativas nas últimas décadas. Apesar da baixa produção, o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes fosfatados no mundo. Essa diferença entre a produção e o consumo acarreta na importação desses 85% desses insumos. (Abisolo, 2018).

É de grande importância realizar estudos específicos para determinar a solubilidade, a disponibilidade e o desempenho agronômico das fontes de P nacionais, a fim de otimizar o uso de recursos disponíveis pelos agricultores e minimizar o desperdício de P. Para isso, esse estudo teve como

objetivo caracterizar os fosfatos nacionais por difração raio X, determinar os teores de P total e P solúvel em ácido cítrico em 2% dos mesmos fosfatos e determinar a eficiência agronômica deles em casa de vegetação.

Material e Métodos

Foram analisadas seis amostras de fosfatos naturais, sendo três fosfatos ígneos: Catalão - GO, Registro - SP e Jacupiranga - SP, três fosfatos sedimentares: Arraias-TO, Bonito-MS e Pratápolis -MG. Além disso, também foram analisadas fontes de fosfatos naturais conhecidos: Argélia, Bayóvar e Marrocos, e uma fonte de fosfato solúvel de referência: o Superfosfato Triplo (STP).

Tratamentos e amostragens

Os materiais foram secos em estufa à 65°C. Todos os fertilizantes fosfatados foram moídos até serem passantes na peneira de 0,3 mm, conforme indica a Instrução Normativa nº 61, de 08 de Julho de 2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Essa faixa granulométrica foi utilizada para as análises de caracterização e posteriormente para o experimento de desempenho agronômico, em casa de vegetação.

Caracterização mineral dos fosfatos por difração de Raio-X

A determinação e quantificação dos minerais foi realizada por meio da técnica de difratometria de raios X (DRX), no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Os difratogramas de raio-X foram obtidos através do método de pó no equipamento *Bruker-D8 Advance*, operando nas seguintes condições: radiação CuK α (40kV), velocidade 0,02°2 θ por passo, com o tempo de contagem de 1 segundo por passo e coletados de 5 a 80°2 θ . A análise dos dados foi feita através da comparação com os padrões salvos no software *Bruker Diffraction Plus*. Além disso, foi utilizado o método Rietveld (1969) com auxílio do software *Bruker AXS Topas, v.30* para a quantificação dos teores de quartzo, conforme o exigido pela Normativa nº 5 do MAPA.

Análise de P total e P solúvel em ácido cítrico 2% e pH

As extrações de solubilidade de P total (HNO₃ 10%) e ácido cítrico 2% foram realizadas na proporção 1:100, com 0,4 g de amostra do fertilizante e 40 mL de solução. A amostra do fertilizante e a matriz ácida foram adicionadas em tubos Falcon de 50 mL e foram agitados por um período de 12 horas em um agitador horizontal automático em 90 rpm. Após esse processo, as amostras foram filtradas. O método empregado para a determinação de P foi adaptado de Murphy e Riley (1962). Uma solução base de 1000 ppm de P foi preparada utilizando como padrão fosfato de potássio, KH₂PO₄ (-seco na estufa). Para isso foram pesados 0,44 g do padrão, dissolvido e avolumado para um balão volumétrico de 100 mL. Dessa solução retirou-se uma alíquota de 1,0 mL que foi avolumada para 100 mL, também em balão volumétrico, resultando em uma solução de 10 ppm de P. A partir dessa nova solução foram preparados cinco pontos para a curva de calibração de P: 0 ppm, 0,5 ppm, 1 ppm, 1,5 ppm e 2 ppm de P.

Para a leitura de P total das amostras em ácido nítrico em 10%, o fator de diluição (FD) foi de 1600 e para o ácido cítrico, o FD de 500 vezes.

A leitura do P foi feita no aparelho Espectrofotômetro modelo 'Nova 1600 UV', sob a faixa de 880 nm. Para isso foram utilizados 5 mL (4 mL de solução diluída e 1 mL da solução reagente de trabalho). As leituras foram feitas em triplicatas, assim como a extração e a determinação, de acordo com o Manual de Métodos e Análise de Solo (TEIXEIRA, P.C. et al, 2017).

Para a leitura do pH em água foram pesados 0,2 g de cada amostra e analisados 20 mL de água também em triplicata.

Avaliação de eficiência agronômica

A avaliação de eficiência agronômica foi conduzida em casa-de-vegetação nas instalações da Embrapa Agrobiologia em Seropédica, RJ. As unidades experimentais foram compostas por vasos plásticos contendo 2 kg de Latossolo Vermelho Eutroférico coletado no distrito de Avelar, Paty do Alferes, RJ. O delineamento experimental adotado foi em DIC com 11 tratamentos e quatro repetições, que foram todas as amostras analisadas nas outras etapas e o tratamento controle (-P).

Antes da instalação do experimento, o solo foi incubado com carbonato de cálcio (CaCO_3) na proporção de 1,5 g/kg de solo, durante um período de 45 dias, para ajustar o pH do solo, atingindo uma faixa de 6,3. Todos os fosfatos foram aplicados nos vasos com a dose equivalente de 160 mg/kg de solo. Foram semeadas três plantas de milho híbrido AG 8740 PRO3 e, após cinco dias de emergência, foi realizado o desbaste, mantendo uma planta por vaso.

No dia do plantio, cada vaso foi fertilizado com solução nutritiva adaptada de Santos et al. (2019), contendo macro e micronutrientes, exceto o P. Além disso, foram realizadas pesagens periódicas e, quando necessário, o volume foi completado com água filtrada para manter a umidade em torno de 70% da capacidade do campo.

O ensaio foi conduzido por dois cultivos sucessivos, cada um com duração de 45 dias. Após o período de crescimento, as plantas foram coletadas, sendo separadas em parte aérea (PA) e as raízes. Essas amostras foram lavadas em água corrente e secas em estufa de circulação forçada a 65°C até atingirem peso constante. A massa secada parte aérea (MSPA) foi determinada utilizando balança de precisão. O material vegetal foi triturado em moinhos do tipo Willey e pulverizado em moinho de bolas. As análises dos teores de P foliares das amostras foram realizadas por meio de digestão nitroperclórica, conforme descrito no Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes (EMBRAPA, 1999). O teor de P total foi determinado pelo método colorimétrico utilizando espectrofotometria UV/Visível.

Para analisar a eficiência agronômica dos diferentes tratamentos, foram calculados o Índice de Eficiência Agronômica Relativa (EAR), conforme Junior et al. (2019). O EAR foi calculado com base na produção de massa seca, comparando a produtividade do tratamento em relação ao controle, utilizando a fórmula:

$$EAR\% = \frac{(\text{prod. com tratamento} - \text{prod. com controle})}{(\text{prod. com STP} - \text{prod. com controle})} * 100$$

Quando a produtividade do tratamento for igual ao controle estatisticamente, sua eficiência será nula. Já quanto a produtividade for semelhante ao tratamento referência (STP) será considerada de máxima eficiência.

Já a eficiência de recuperação de fósforo (ERP) foi calculada com base no acúmulo de P no tratamento sem adubação (-P) em relação à quantidade de P aplicada por vaso, com a fórmula:

$$ERP\% = (\text{acúmulo de P no tratamento} - \text{acúmulo de P no controle}) / (\text{quantia de P aplicada}) * 100$$

Resultados e Discussão

Caracterização dos fosfatos naturais

As análises de DRX revelaram que a fase principal dos fosfatos é a apatita.

Tabela 1. Minerais presentes nas amostras de fosfato natural e concentrado fosfático, identificados pelo Método de Rietveld.

Fase mineral	Catalão	Registro	Bonito	Pratápolis	Arraías	Marrocos	Argélia	Bayóvar
%								
Apatita	84,7	68,9	48,3	41,6	51,6	87,9	92,7	92,8
Quartzo	7,8	0,8	39,1	36,9	35,8	3,9	1,6	1,6
Caulinita	-	-	4,2	4,3	4,9	-	-	-
Muscovita	-	-	5,3	13,2	7,8	-	-	-
Calcita	-	3,1	2,3	-	-	3,7	-	-
Dolomita	-	0,1	0,8	4,1	-	4,5	5,6	5,6
Clorita	3,9	-	-	-	-	-	-	-
Goethita	3,5	6,5	-	-	-	-	-	-
Barita	-	14,9	-	-	-	-	-	-
Gorceixita	-	5,6	-	-	-	-	-	-

Os materiais fosfáticos de Catalão e Registro foram obtidos de depósitos ígneos. Mas a alta concentração de minerais de ganga no fosfato de Registro pode ser relacionada com seu processamento que elimina apenas a parte fina da sílica. Já o fosfato de Catalão é concentrado via flotação.

Os fosfatos de Bonito, Pratápolis e Registro foram submetidos apenas a processos mecânicos e, por isso, são considerados fosfatos in natura, o que explica os maiores teores de ganga associados ao minério da apatita, com o alto teor de quartzo e presença de argilominerais. Já os fosfatos de Marrocos, Argélia e Bayóvar são considerados apatíticos. Eles passam por processos mais intensos de separação e liberação dos minerais formando um concentrado fosfático relativamente livre de impurezas, como sílica, argila e carbonatos.

O teor de P solúvel e do pH variou conforme as fontes de fosfatos (Tabela 2).

Tabela 2. Teor de P solúvel em ácido cítrico 2%, P total ($P_2O_5\%$) e pH das amostras de fosfatos naturais.

Fosfatos	P solúvel ác. cítrico ¹	P total	pH
Jacupiranga	9,2	35,7	9,8
Catalão	11,0	34,2	9,6
Registro	18,2	25,4	7,6
Bonito	20,0	18,1	8,1
Pratápolis	18,3	17,5	7,7
Arraías	26,0	20,5	8,7
Marrocos	24,6	30,1	8,0
Argélia	27,9	27,9	8,2
Bayóvar	27,0	31,2	8,5

⁽¹⁾Teor relativo ao conteúdo total de P

Os teores de P solúvel em ácido cítrico 2% indicam a disponibilidade imediata de fósforo para as plantas. Os valores observados variam entre 11,0% e 27,9% de P_2O_5 , sendo os fosfatos de Argélia e Bayóvar os com maiores teores solúveis. Para os fosfatos naturais, o Arraías teve maior solubilidade em ácido cítrico 2%.

Em relação ao teor de P total, os valores variaram de 17,5% a 35,7% de P_2O_5 . Os fosfatos de ígneos de Jacupiranga, Catalão e Registro apresentaram conteúdo maior do que os sedimentares de Bonito, Pratápolis e Arraias.

Sobre o pH, os valores variaram entre 7,6 e 9,8. O fosfato de Jacupiranga e de Catalão apresentaram os pH mais elevados, indicando uma condição alcalina. Já os demais fosfatos apresentaram valores de pH próximos.

Eficiência agrônômica e recuperação de fósforo

Foi possível observar que os fosfatos sedimentares da Argélia e Bayóvar apresentaram máximo desempenho em termos de eficiência agrônômica relativa ao STP tanto no primeiro cultivo quanto na eficiência total acumulada dos dois plantios. (Tabela 3)

Tabela 3. Índice de eficiência agrônômica (EAR) da parte aérea total do milho adubado com diferentes classes de fosfatos, no primeiro cultivo e no total acumulado em dois cultivos sucessivos.

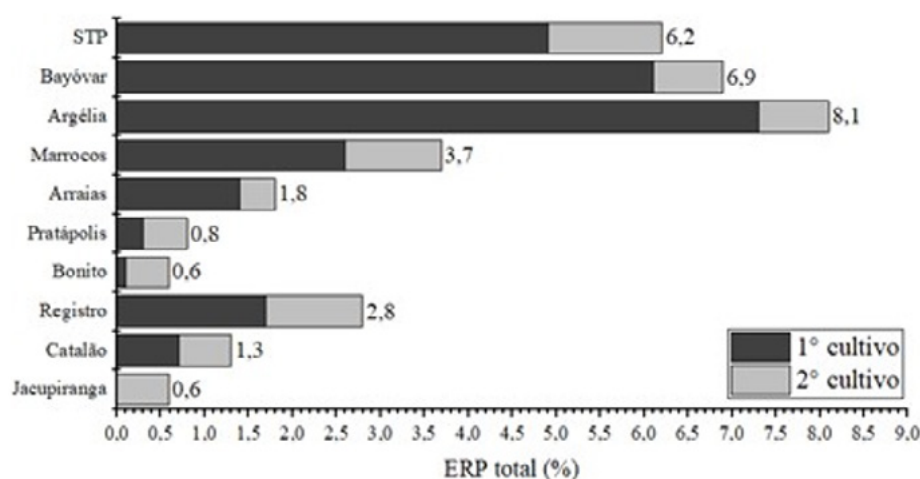
Tratamentos	1° cultivo	Total	Média
	-----EAR%-----		
Jacupiranga	0	0	0
Catalão	8	17	13
Registro	18	25	22
Bonito	0	0	0
Pratápolis	0	0	0
Arraias	15	20	18
Marrocos	23	36	30
Argélia	100	100	100
Bayóvar	100	100	100

Os fosfatos de Bonito, Pratápolis e Jacupiranga se comportam de forma semelhante ao tratamento controle (-P).

Na eficiência agrônômica total, acumulada nos dois cultivos, Bayóvar e Argélia tiveram maior desempenho, comparando-se ao STP. O segundo grupo de eficiência de produção de massa seca da parte aérea foi formado pelos tratamentos Marrocos, Arraias, Registro e Catalão.

Pode-se observar a diferença no desempenho para cada fonte de P aplicada. (Figura 1)

Figura 1. Eficiência de recuperação de fósforo (ERP%) dos fosfatos.



Com base nos dados, foi possível analisar que os fosfatos de Registro e Arraias foram capazes de recuperar uma quantidade maior de P em comparação aos outros fosfatos nacionais. Por outro lado, os fosfatos de Jacupiranga, Bonito e Pratápolis demonstraram uma resposta significativa no segundo cultivo, com um aumento no acúmulo de P.

Além disso, constatou-se que os fosfatos de Argélia e Bayóvar foram capazes de recuperar a mesma quantidade de P que a fonte solúvel padrão. Observou-se um maior acúmulo de P no primeiro cultivo por essas fontes.

Conclusões

Com base nos dados analisados, pode-se concluir que os fertilizantes importados tiveram eficiência melhor do que os nacionais.

Em relação ao primeiro cultivo, os fertilizantes nacionais não se mostraram eficientes na recuperação de fósforo. Já os internacionais (Bayóvar, Argélia e Marrocos) e o solúvel (STP) tiveram grande desempenho. Em relação ao segundo cultivo, os fertilizantes nacionais tiveram um desempenho um pouco maior quando comparado com o primeiro cultivo, mas ainda pequenos em relação aos internacionais e o solúvel. O único nacional que se destacou foi o Registro, devido ao processo térmico que passa para ser produzido.

Analisando a eficiência agrônômica, podemos notar que os fertilizantes internacionais de Bayóvar e Argélia tiveram maior eficiência se igualando ao STP. Os fertilizantes brasileiros Jacupiranga, Bonito e Pratápolis se igualaram a repetição controle (-P), mostrando-se pouco eficientes. Já os fertilizantes brasileiros Catalão, Registro e Arraias mostraram algum nível de eficiência, mas considerada baixa quando comparados com os internacionais.

Agradecimentos

Ao CNPq por ter fornecido recursos para a realização da pesquisa.

Ao CETEM que realizaram a pesquisa sobre os raio X nos fertilizantes.

À Embrapa Agrobiologia que disponibilizou o espaço e materiais necessários para a pesquisa de ensaio de vaso.

Referências

- BINDRABAN, P. S; DIMKPA, C. O; PANDEY, R. Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, v. 56, p. 299–317, 2020. Disponível em: <10.1007/s00374-019-01430-2>.
- ABISOLO - Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. Anuário brasileiro de tecnologia em nutrição vegetal, 2018. Anuário Abisolo, 179 p, 2018.
- SILVA, A. A. S; DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. Lages, v.8, n.2, p. 152-163, 2009.
- BERNARDI, A. C. C; MACHADO, P. L. O. A; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. M; FREITAS JÚNIOR, E; PERES, J. R. R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Embrapa Solos, p. 61-77, 2002.
- ROY, A; KANUNGO, B; PATRA, P. K; BHATTACHARYA, B. Temperature effects on elastic constants and related properties of apatites. *Materials today communications*, v. 35, 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106223> >.
- KAMINSKI, J; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Núcleo Regional Sul da Soc. Brasileira de Ciência do Solo, Boletim técnico n 3, 31 p. Santa Maria, RG, 1997
- RAJAN, S. S. S; WATKINSON, J. H; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, v. 57, 1996.

TEIXEIRA, P. C. DONAGEMMA, G. K. FONTANA, A. TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise do solo. Embrapa, Brasília, DF, 2017.

SANTOS, S. R; FILHO, J. F. L; VERGUTZ, L; MELO, L. C. A. Biochar association with phosphate fertilizer and its influence on phosphorus use efficiency by maize. *Agricultural Sciences*, v. 43, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-7054201943025718>>.

JUNIOR, J. P. S; FLORES, R. A; CAMPOS, C. N. S; CORREIA, M. A. R; FRAZÃO, J. J; PRADO, R. M; TEIXEIRA, W. G; BRASIL, E. P. F; JÚNIOR, J. P. O;

MARCHÃO, R. L. A sustentabilidade agrícola na região do Cerrado. In: FLORES, R. A; CUNHA, P. P; MARCHÃO, R. L; MORAES, M.

F. Nutrição e adubação de grandes culturas na região do Cerrado. Gráfica UFG, 1º ed, 620 p, 2019.

MURPHY, J; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica acta*, v. 27, p. 31-36, 1962. Disponível em: < [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)>.

RIETVELD, H.M. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *J. Appl. Cryst.*, n.2, p.65-71, 1969.

Avaliação dos impactos de eventos climáticos extremos na segurança alimentar, na região serrana do estado do Rio de Janeiro ⁽¹⁾

Leticia Cristal Brandão⁽²⁾ & Ana Paula Dias Turetta⁽³⁾.

⁽¹⁾ Trabalho relacionado ao projeto CNPq 441595/2020-0; SEG 10.21.00.067.00.00. ⁽²⁾ Ciências Biológicas – ênfase em Ecologia, 8º período, bolsista e Universidade Veiga de Almeida. ⁽³⁾ Geógrafa, Doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Solos – Rio de Janeiro.

Resumo – A intensificação das atividades antrópicas tem gerado diversas alterações nos ecossistemas e contribuído para as mudanças climáticas, incluindo a ocorrência de eventos extremos. Tais eventos, expõem a vulnerabilidade de parte da sociedade em setores da saúde, economia, abastecimento de água, produção de alimentos e segurança alimentar, entre outros. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva avaliar os impactos dos eventos climáticos extremos na segurança alimentar, com foco na produção de alimentos, da região serrana do Rio de Janeiro. Foram utilizados dados de produção de alimentos e de eventos climáticos para os municípios de Teresópolis, Petrópolis e Nova Friburgo, obtidos no Sidra/IBGE e Cemaden. A escala temporal do levantamento dos dados foi de 2011 a 2023. Nesse período se constatou a ocorrência de três eventos extremos, dois desastres ambientais com impacto regional na área de estudo, e o terceiro, a pandemia de Covid-19. Os resultados preliminares do estudo aqui apresentado demonstram que os eventos extremos afetam a produção de alimentos. Desta forma, compreende-se a importância de fazer avaliações referentes aos impactos causados pelas mudanças climáticas, visando alternativas para mitigar os impactos causados na produção de alimentos e consequentemente na segurança alimentar.

Palavras-Chave: Serviços ecossistêmicos; produção agrícola; eventos climáticos extremos

Introdução

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), o crescimento das atividades antrópicas está diretamente vinculado ao crescente aumento do aquecimento global nos últimos 50 anos (Marengo, 2014). À medida que a temperatura global média aumenta, os ecossistemas seguem sendo modificados, biológica e fisicamente. Projeções do clima estimam que esse aumento na média global, torne os eventos climáticos extremos cada vez mais recorrentes, extremos e imprevisíveis (Marengo, 2014; FAO, 2015). O que caracteriza os eventos climáticos é a persistência de determinados padrões climáticos globais, por diversos dias, como os períodos de longas chuvas ou secas (Da Silva Dias, 2014).

As alterações termoquímicas da atmosfera, podem acarretar o aumento do regime de chuvas, intensificando secas, inundações, furacões, tempestades severas e desertificação (André, 2006). Além de tornar a sociedade vulnerável aos riscos em setores como, saúde, economia, abastecimento de água, segurança alimentar e produção de alimentos (Carvalho & Barbosa, 2019). Sendo este último um dos setores mais afetados (FAO, 2015; WorldBank, 2022) devido à dependência da agricultura às condições climáticas e sua variabilidade com relação ao volume e frequência das precipitações, umidade e temperatura (Garcia et al, 2022). Com isso, os riscos para a produção agrícola são diretamente traduzidos em riscos para a segurança alimentar e nutricional dos indivíduos que necessitam da agricultura para alimentação e subsistência (FAO, 2015).

A Segurança Alimentar e Nutricional (SAN), é estruturada a partir da quantidade, qualidade e regularidade/estabilidade e acesso aos alimentos (Belik, 2003). Nos últimos anos a SAN tem sido bastante afetada pelos eventos climáticos extremos, devido aos riscos sofridos pela agricultura com a ocorrência de secas, tempestade e inundações (FAO, 2015).

Para esse trabalho, nosso objetivo foi utilizar dados secundários para fazer uma avaliação do impacto de eventos extremos na produção de alimentos, um dos pilares da segurança alimentar. Consideramos como área de estudo, três municípios da região serrana do estado do Rio de Janeiro - Nova Friburgo, Petrópolis e Teresópolis - importante região de produção agrícola e de extrema vulnerabilidade a eventos climáticos extremos.

Material e Métodos

Todos os levantamentos foram feitos considerando os municípios de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, localizados na região serrana do estado do Rio de Janeiro.

Para a avaliação da segurança alimentar, com foco na dimensão da produção de alimentos, foram utilizados dois parâmetros propostos por Costa (2022) – Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros* utilizados para avaliação da SAN em municípios serranos da Mata Atlântica.

Dados Levantados	Referência	Objetivo	Período	Fonte
Área plantada e colhida (ha)	FAO (2013)	Refere-se a área de produção e variabilidade anual da produção de alimentos	2010 até 2020	IBGE
Valor de produção (R\$)	FAO (2013)	Refere-se ao valor gasto na produção dos alimentos, durante todo o processo	2010 até 2020	IBGE

*Dados foram obtidos através do "SIDRA/IBGE, 2021".

Resultados e Discussão

A seguir, são apresentados os primeiros resultados gerados no trabalho, que correspondem ao período de análise de 2010 a 2023.

Produção de alimentos nos municípios de Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis

A produção agrícola de Nova Friburgo, Petrópolis e Teresópolis sofreu algumas oscilações em seus cultivos permanentes e temporários no período analisado., no decorrer de 2010 a 2021 (Figuras 1 a 4).

Ao se considerar a área plantada e colhida em cultivos temporários, fica evidente o protagonismo do município de Nova Friburgo nesse setor (Figuras 1 e 2). Observa-se também uma queda significativa na produção de temporárias em Teresópolis entre 2013 e 2014 (Figura 1 e 2). Para Costa (2022), especificamente em relação à queda de produção em Nova Friburgo em 2016, essa oscilação pode ser em decorrência da evasão dos produtores mais vulneráveis economicamente, no que diz respeito à produção com período mais curto, como o cultivo temporário. No entanto, a correlação com outros dados se faz necessária para uma melhor análise e entendimento das oscilações apresentadas na produção de cultivos temporários nos município

As informações dos eventos climáticos extremos foram obtidas a partir dos dados disponibilizados pelo Cemaden/MCTI (2022) para monitoramento de secas e impactos no Brasil.

Após o levantamento, essas informações foram tabuladas e sistematizadas em planilhas do Excel e posteriormente feita a análise dos fluxos de serviços ecossistêmicos nos municípios de Nova Friburgo, Petrópolis e Teresópolis.

Considerando a área plantada e colhida em cultivos permanentes (Figuras 3 e 4) Teresópolis é o município que apresenta maior área ocupada por cultivos permanentes.

Os cultivos permanentes (figuras 3 e 4) apresentaram maior estabilidade em área nos anos analisados quando comparados aos cultivos temporários. Tal comportamento é esperado uma vez que as culturas temporárias são aquelas que apresentam ciclos de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, o que as tornam mais sensíveis às oscilações climáticas, por exemplo (IBGE, 2023).

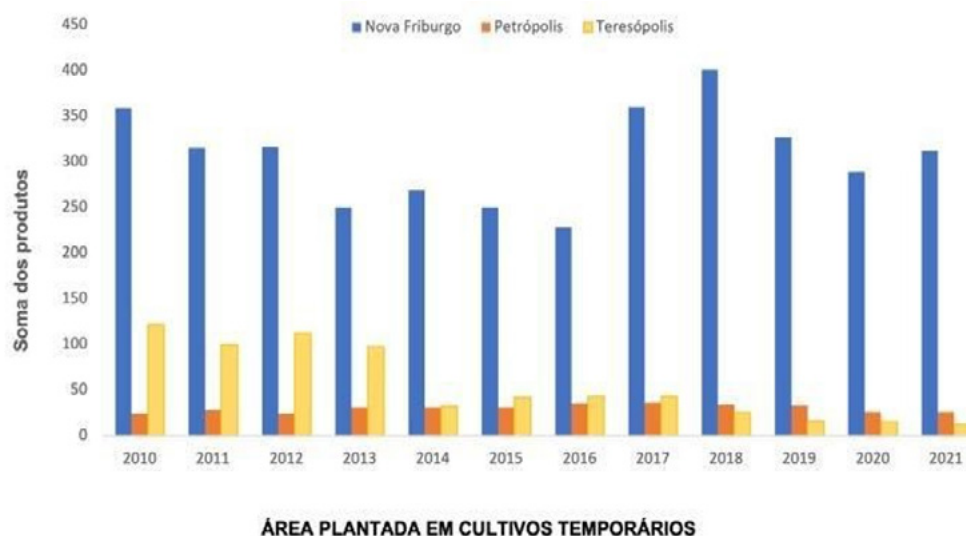
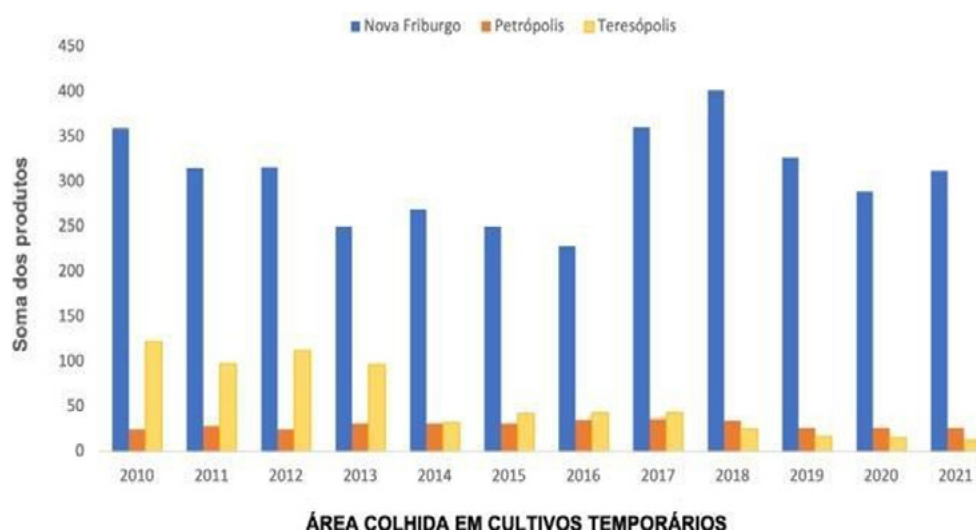
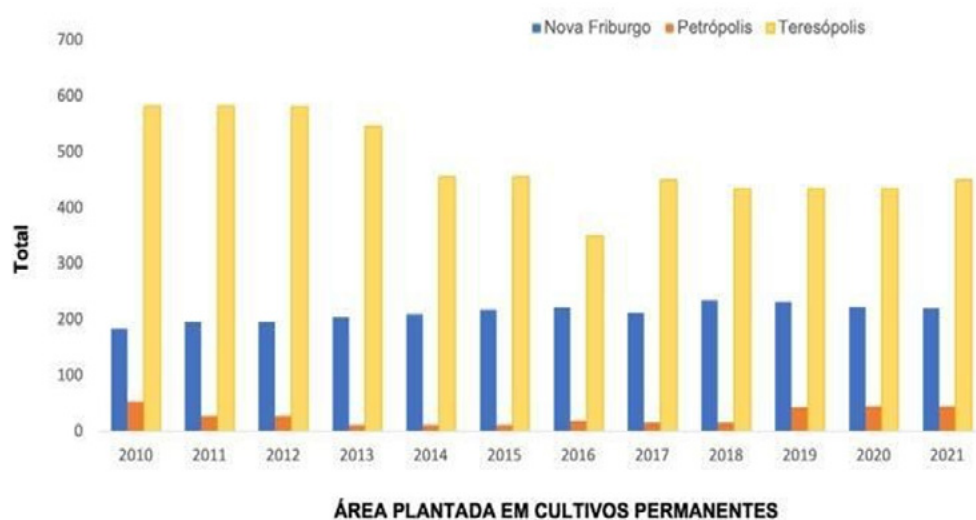
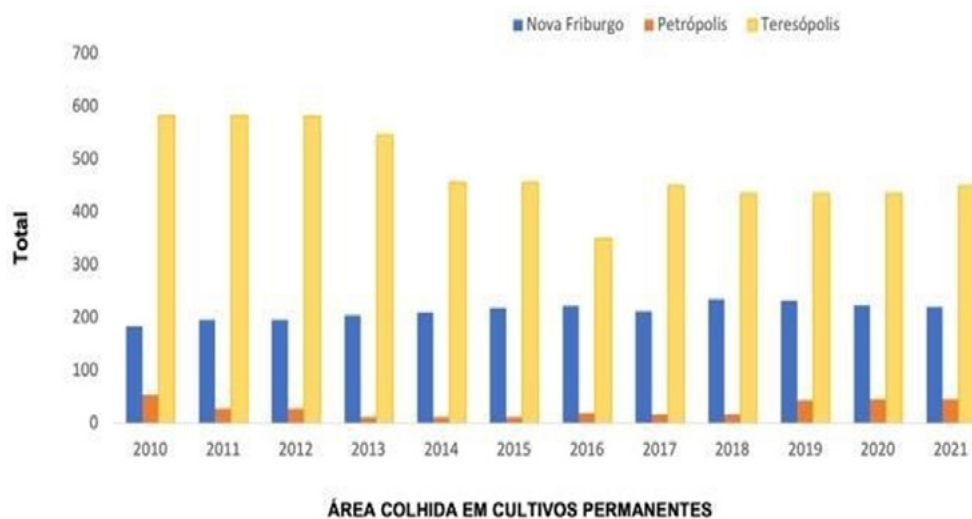
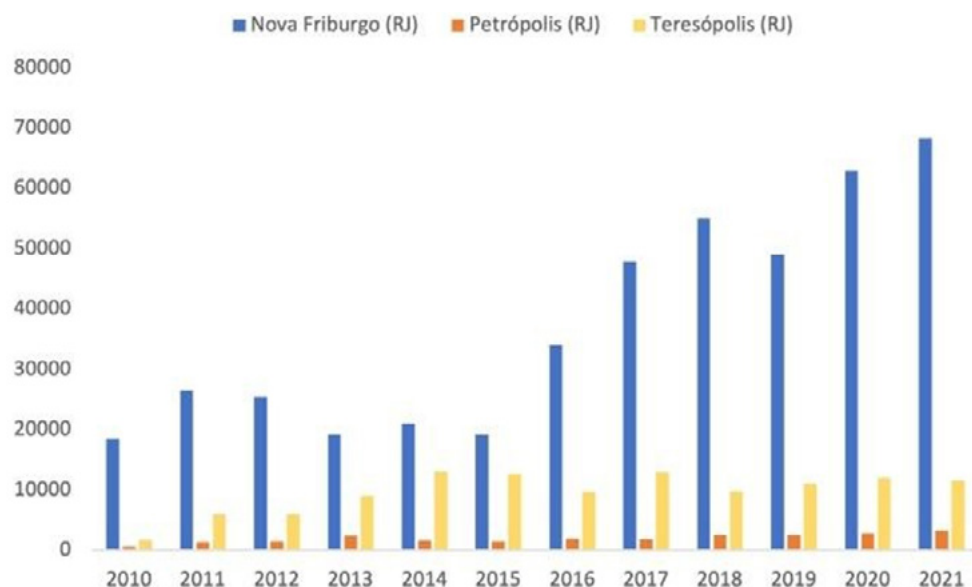
Figura 1. Área plantada em cultivos temporários (hectares).**Figura 2.** Área colhida em cultivos temporários (hectares)**Figura 3.** Área plantada em cultivos permanentes (hectares).

Figura 4. Área colhida em cultivos permanentes (hectares).

Ao avaliarmos os dados relativos aos valores de produção (Figura 5), observa-se uma grande oscilação de valores no município de Nova Friburgo. Provavelmente, isso essa oscilação reflete a instabilidade de acesso aos suprimentos e devido à condição socioeconômica da população, no período após o megadesastre ocorrido em 2011, demonstrando o impacto dos eventos climáticos extremos na produção de alimentos e, consequentemente, na SAN (Alves, 2006; Costa, 2022). Importante observar que apenas em 2016 o valor de produção retoma a performance antes do desastre (Figura 5).

Figura 5. Valor da produção das lavouras temporárias e permanentes (em mil reais).

Considerando a dependência da agricultura às condições climáticas e que grande parcela dos produtos consumidos no Brasil, cerca de 70%, são de origem da agricultura familiar (Garcia et al, 2014; Costa, 2022), é importante ressaltar a importância desse setor para a produção de alimentos e segurança alimentar da população. Assim, torna-se de extrema importância analisar os riscos relacionados às condições climáticas das áreas de produção.

Os dados referentes aos eventos climáticos extremos, disponibilizados pelo Cemaden/MCTI, são referentes aos riscos de seca na agricultura familiar, monitoramento de secas no Brasil e aos dados pluviométricos das regiões de interesse. No entanto, as informações são disponibilizadas com escala temporal reduzida, com dados de anos recentes.

Monitoramento de secas e impactos no Brasil

Os dados de seca referentes ao déficit hídrico das culturas de ciclo curto para os municípios estudados apontam para registros de seca severa e moderada, entre 2021 e 2023 (Tabelas 2 e 3). Uma das hipóteses para o aparecimento de tais registros é o estado de vigência do fenômeno La Niña, desde 2021 e permanecendo até o momento (Cemaden, 2023). Uma das características desse fenômeno é provocar o aumento no déficit de chuva nas regiões Sul e Brasil-Central, tendo seus efeitos sentidos também na região Sudeste (Cemaden, 2023). Vale ressaltar, que fenômenos como El Niño e La Niña, à medida que as mudanças climáticas se intensificam, os eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e as secas, acabam seguindo o mesmo fluxo (Cemaden, 2023).

Tabela 2. ISS-3; leva em conta as culturas de ciclo curto.

Municípios	Período	Classificação registrada
Petrópolis	jul de 2021 a fev de 2023	SEVERA (3)
Nova Friburgo	nov de 2022 a fev de 2023	SEVERA (3)
Teresópolis	jul de 2021 a fev de 2023	MODERADA (4)

3*/Registro do monitoramento de secas e impactos no Brasil, dos anos de 2021 a 2023, com base nos dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais.

Tabela 3. ISS-6; leva em conta o déficit hídrico a médio prazo.

Municípios	Período	Classificação registrada
Petrópolis	dez de 2021 a fev de 2023	SEVERA (3)
Nova Friburgo	dez de 2021 a mar de 2023	SEVERA (3)
Teresópolis	julho de 2021 a mar de 2023	MODERADA (4)

4*/Registro do monitoramento de secas e impactos no Brasil, dos anos de 2021 a 2023, com base nos dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais.

Como a série temporal disponível para consulta no SIDRA/IBGE não possui ainda registro de área plantada e colhida para esses anos (figuras 1 e 2), ainda não é possível verificar se esse déficit hídrico impactou a produção dessas culturas.

Conclusões

A atividade agrícola é altamente influenciada pelos fatores climáticos sendo cada vez mais preocupante os impactos negativos das mudanças climáticas para a produção de alimentos, uma das dimensões da segurança alimentar. A avaliação da ocorrência dos eventos climáticos extremos na segurança alimentar, na região serrana do estado do Rio de Janeiro, permite compreender a dimensão desses impactos e alertar sobre a necessidade urgente de adaptação dos sistemas de produção de alimentos.

Com base nos resultados apresentados, observa-se uma oscilação na área de produção agrícola, assim como no valor de produção das culturas. No entanto, apenas com os dados analisados até o momento, foi possível levantar algumas hipóteses para esse comportamento dos dados, sem ainda comprová-las, sendo necessário analisar outros parâmetros.

Observa-se que o megadesastre ocorrido em Nova Friburgo em 2011 foi um marco nas ações relacionadas a eventos climáticos extremos no Brasil, com a criação do CEMADEN e sua plataforma de monitoramento e disponibilização de dados. Esse fato é de extrema importância ao se considerar a necessidade de adoção de modelos de previsão de tempo mais acurados e ações de adaptação aos extremos climáticos relacionados não só à proteção da população, mas também para aumentar a resiliência dos sistemas agrícolas a fim de minimizar o impacto dos eventos extremos em todas as dimensões da segurança alimentar: produção e estabilidade; acesso e qualidade do alimento.

Referências

- ALVES, H. P. da F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. *Rev. bras. estud. popul.*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pi d=S0102-30982006000100004&lng=en&nrm=iso Acesso em 23 de setembro de 2023.
- ANDRÉ, I. R. N. Algumas considerações sobre mudanças climáticas e eventos atmosféricos severos recentes no Brasil. *CLIMEP. Rio Claro*, v. 1 n. 1/2, 2006.
- BELIK, Walter. Perspectivas para segurança alimentar e nutricional no Brasil. *Saude soc.*, São Paulo, v. 12, n. 1, pág. 12-20, junho de 2003. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pi d=S0104-12902003000100004&lng=en&nrm=iso Acesso em 23 de setembro de 2023.
- CEMADEN/MTCI. Monitoramento de secas e impactos no Brasil. Disponível em <https://www.gov.br/cemaden/pt-br> Acesso em 20 de setembro de 2023
- CARVALHO, D. W. de; Barbosa, K de S. Litigância climática como estratégia jurisdicional ao aquecimento global antropogênico e mudanças climáticas. *Revista de Direito Internacional, Brasília*, v. 16, n. 2, p. 54-72, 2019.
- COSTA, A. C. P. de A. Dos desastres climáticos à pandemia de Covid-19: o impacto na produção agrícola em Nova Friburgo (RJ) no contexto da Segurança Alimentar e Nutricional - Seropédica, 2022.
- DA SILVA DIAS, M. A. F. Eventos climáticos extremos. *Revista usp*, n. 103, p. 33-40, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p33-40
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Climate Change and Food Security: Risks and Responses. 2015. <https://www.fao.org/3/i5188e/i5188E.pdf>
- GARCIA, J., VAHDAT, V., HARFUCH, L., ANTONIAZZI, L., BUAINAIN, A. Agricultura familiar de baixa emissão de carbono no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, 2022.
- MARENGO, J. A. O futuro clima no Brasil. *Revista USP*, [S. I.], n. 103, p. 25-32, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99280> Acesso em 23 de setembro de 2023
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Culturas temporárias e culturas permanentes. IBGE Educa. Disponível em <https://educa.ibge.gov.br/professores/educa-atividades/17666-culturas-temporarias-e-culturas-permanentes.html> Acesso em 23 de setembro de 2023
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell,
- E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.Sidra/IBGE.

Produção agrícola: cultivos permanentes e temporários; valor da produção. 2021 Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> Acesso em 20 de setembro de 2023.

WORLD BANK. What You Need to Know About Food Security and Climate Change, 2022. <https://www.worldbank.org/en/home> Acesso em 23 de setembro de 2023.

Determinação da porosidade do solo e obtenção das curvas de retenção de água do solo e suas propriedades correlatas utilizando a Ressonância Magnética Nuclear em baixo campo⁽¹⁾

Luiz Filipe Carvalho de Souza Alvarez⁽²⁾ e Etelvino Henrique Novotny⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho realizado com recursos do CNPq. ⁽²⁾ Agrônomo, Doutor, Pesquisador, Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro-RJ. ⁽³⁾ Graduando em Engenharia Química, UFRJ, localidade da instituição (Ilha do - Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco A, 2 andar - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909.

Resumo – A determinação do tamanho dos poros e da curva de retenção de água são dois atributos importantes da ciência dos solos. Entretanto, atualmente o método disponível para tal determinação é demorado, impreciso e oneroso. Como método alternativo ao presente, pode ser feito o uso da RMN em baixo campo. Porém, pelos métodos disponíveis, tem como resultado um problema com duas incógnitas. Isso porque, o decaimento é função do tamanho dos poros e da relaxatividade superficial. Sendo assim, Song et al (2000), propôs um método que acessa diretamente os eingenmodes superiores que depende somente do tamanho do poro. Porém, não é possível analisar amostras com alto teor de ferro. Então, propõem-se uma nova metodologia utilizando um eco de spins para a detecção do sinal, para superar esta limitação. Neste projeto, foram feitos experimentos com solos ricos em ferro e com rochas sintéticas porosas para a determinação de tamanho de poros. Foi possível a aquisição do sinal de RMN até mesmo para amostras com elevado ferromagnetismo e determinou-se com precisão e acurácia a porosidade das rochas sintéticas.

Palavras-Chave: distribuição do tamanho de poros, propriedades físico-hídricas de solos, DDIF, detecção de eigenmodes.

Introdução

A distribuição do tamanho dos poros e a curva de retenção de água no solo (CRAS) têm grande importância em diversos processos e possui uma ampla aplicação em diversas áreas da ciência. Com essa informação é possível determinar propriedades que influenciam as taxas de infiltração do solo, processos de escoamento e erosão, crescimento da planta entre outros. No entanto, tal determinação é realizada atualmente por um método oneroso, demorado e sujeito a resultados imprecisos, tornando este um método nada vantajoso.

As limitações desse método são muitas, porém sua principal está no fato da longa espera, que pode chegar a meses, para que as amostras atinjam o equilíbrio hidrostático necessário. Também, a metodologia atual é suscetível a erros, como perda de continuidade de drenagem do solo em baixos potenciais matriciais. Além disso, há uma alta demanda de compra e manutenção dos equipamentos, manutenção de funcionários, alto gasto de energia por um longo tempo entre outras coisas que tornam a técnica onerosa. Alto custo mais longo tempo para obtenção de resultados associado aos resultados potencialmente imprecisos é igual a uma metodologia que precisa ser atualizada.

Nessa equação surge o RMN em baixo campo. O uso desse equipamento para a determinação de tamanho de poros em solos seria um grande avanço. O equipamento tem baixo custo de manutenção, as medidas são rápidas e precisas. Entretanto, o grande desafio dessa técnica está numa limitação matemática. Isso porque, pelos métodos atuais utilizando a RMN, trata-se de um problema inverso mal posto, onde a relaxação observada depende da relaxatividade superficial e do tamanho do poro, transformando numa “equação de duas incógnitas”, que não tem solução única.

A determinação da relaxatividade superficial não é vantajoso, pois é demorado e tedioso (Novotny et al., 2023). Logo, a eliminação desse parâmetro se faz necessária. Para contornar isso, Costabel e Yaramanci (2013) propuseram a estimativa direta das CRAS a partir de medidas de T_1 ou T_2 , evitando a determinação da distribuição do tamanho dos poros, porém, o método funciona satisfatoriamente apenas para amostras com teores de areia superiores a 90%. Por outro lado, Müller-Petke et al. (2015) e Costabel et al. (2018) propuseram um método numérico para acessar o primeiro eigenmode (o modo de difusão dos

experimentos T_1 e T_2), no entanto, este método é aplicável apenas para sistemas com uma distribuição de tamanho de poros única e estreita. Mais recentemente, Costabel e Hiller (2021) propuseram um método de inversão conjunta complicado e demorado para dados de relaxometria de RMN que requer os decaimentos de RMN das amostras saturadas com água e pelo menos um na saturação parcial. Além disso, o método depende fortemente do pressuposto sobre a geometria da seção transversal dos capilares do solo. Ademais, como os métodos anteriores, funcionou apenas para amostras arenosas.

Para mudar isso, um novo método foi proposto que acessa diretamente os eigenmodes superiores, que dependem apenas do tamanho do poro. Esse método foi proposto por Song e colaboradores (Song et al., 2000; Lisitsa e Song, 2001; Song, 2003). A formulação física e matemática desse método pode ser encontrada em Song (2003) e Liu et al. (2014). Além disso, a validação desse método, utilizando amostras porosas sintéticas, com distribuição de tamanho de poro conhecidas, é dada em de Pierre et al. (2022).

Apesar de elegante e ser um enorme avanço, o método proposto por Song não se aplica para amostras com alto teor de ferro. Isso porque, amostras nessas condições, resultam em decaimentos do sinal de RMN extremamente rápido, menor que o tempo morto do equipamento, sendo portanto, impossível de ser detectado.

Para resolver essa questão, propõem-se uma modificação das sequências de pulsos propostas por Song, incluindo um eco de spin a ser adquirido. Com isso ocorre a refocalização dos spins defasados devido ao efeito do ferro, possibilitando a aquisição do sinal da água saturante mesmo em solos extremamente ferromagnéticos. O objetivo deste trabalho é validar este novo método para amostras de rochas porosas sintéticas cuja distribuição do tamanho dos poros é conhecida, para posteriormente sem empregado em amostras de solos.

Material e Métodos

Nove amostras de solos com conteúdo variável de Fe_2O_3 (de 6 a 565 g kg^{-1}), incluindo duas ferromagnéticas (amostras atraídas por um magneto ordinário de ferrite), foram saturadas com água e analisadas pelas sequências de pulsos propostas, ou seja, cuja aquisição do sinal é através de um eco de spin. Rochas sintéticas com diferentes tamanhos de poros (Chencarek ??) foram saturadas com água e termalizadas a 30 °C.

Todas as análises foram realizados em um equipamento SpecFit com B_0 de 0,27 T (frequência de Larmor de 11,4 MHz). Determinou-se a relaxação longitudinal (spin-rede) utilizando-se a sequência de inversão e recuperação; a relaxação transversal (spin-spin) foi determinada pela sequência Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG); e após otimização do parâmetro tempo de codificação (te), as amostras de rochas porosas sintéticas foram analisadas pela sequência de pulsos modificada (DDIF com ecos de spins).

Todos os decaimentos foram ajustados por funções multi-exponenciais assim como utilizando a transformada inversa de Laplace.

Resultados e Discussão

O uso da sequência modificada possibilitou a aquisição de sinal de todas as amostras, com ganho de mais de duas vezes na intensidade do sinal (Figura 1), inclusive para aquelas com elevado ferromagnetismo, não detectadas pela sequência convencional (Figura 2).

Com a sequência modificada foi possível detectar a água saturando as amostras de forma inédita e sem precedentes. Isso possibilitará a utilização da metodologia proposta por Novotny et al. (2023) para um conjunto muito mais amplo de amostras, sem restrições.

A seguir, visando verificar a adequabilidade da nova sequência e validá-la, determinou-se a distribuição do tamanho dos poros de duas amostras de rochas porosas sintéticas, previamente analisadas por microtomografia, i.e., cuja distribuição do tamanho dos poros foi determinada por um método de referência.

Figura 1. Comparação entre a sequência proposta por Song (2003) e a modificação utilizando detecção por eco de spin. Nessa comparação utilizou-se apenas as amostras ferri- e diamagnéticas (sem atração magnética) visto que estas não são detectadas pela sequência original.

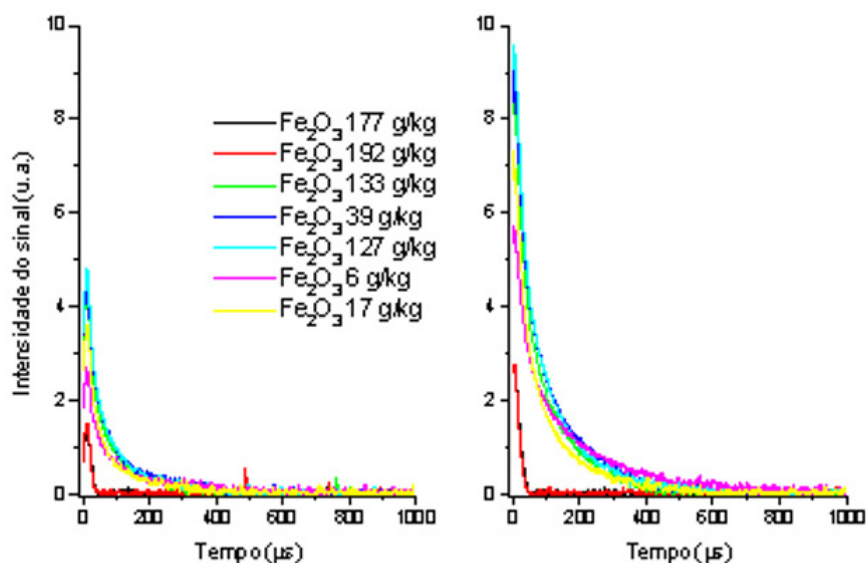
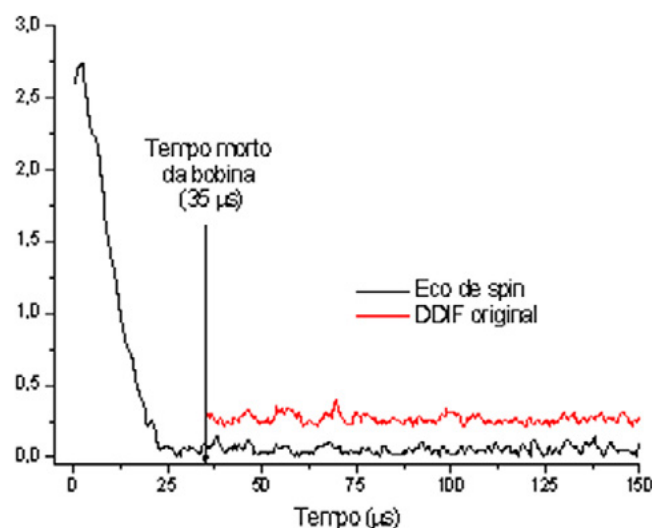


Figura 2. Detecção do sinal em amostra com elevado ferromagnetismo, amostra com 565 g/kg de Fe_2O_3 e fortemente atraída por um pequeno magneto de ferrite.



Para isso primeiro é necessário determinar o tempo de relaxação spin-rede (T_1) pelo método consagrado: inversão recuperação (Figura 3), visto que nos experimentos de RMN é necessário aguardar ao menos $5 T_1$ para repetir-se os experimentos, portanto esse parâmetro deve ser conhecido para os experimentos seguintes. Além disso, a distribuição de T_1 também pode ser utilizada para determinar-se a distribuição do tamanho dos poros, desde que se conheça a relaxatividade superficial, o mesmo sendo válido para a relaxação transversal (T_2), cuja determinação é muito mais rápida (Figura 4).

A presença de mais de uma distribuição (4 ou 3 máximos para T_1 e T_2 , respectivamente), sendo o esperado apenas um máximo baseado nos resultados da microtomografia, indicam que o sistema estudado não atende à premissa do regime de difusão rápida necessária para o uso dessas distribuições para determinação da distribuição do tamanho dos poros (Novotny et al., 2023).

Figura 3. Determinação da distribuição de T_1 de uma amostra de rocha porosa sintética utilizando a sequência de Inversão Recuperação.

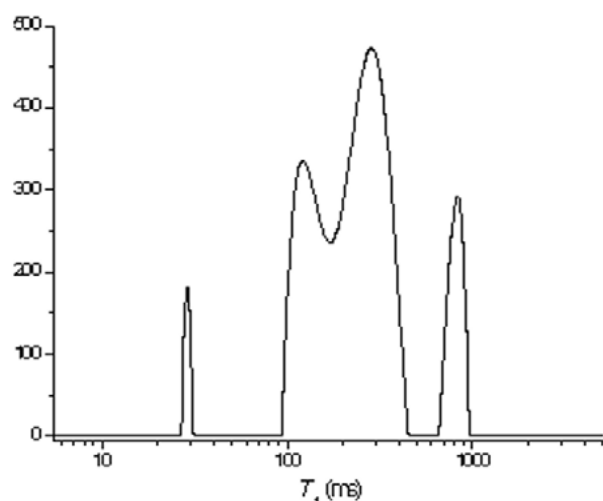
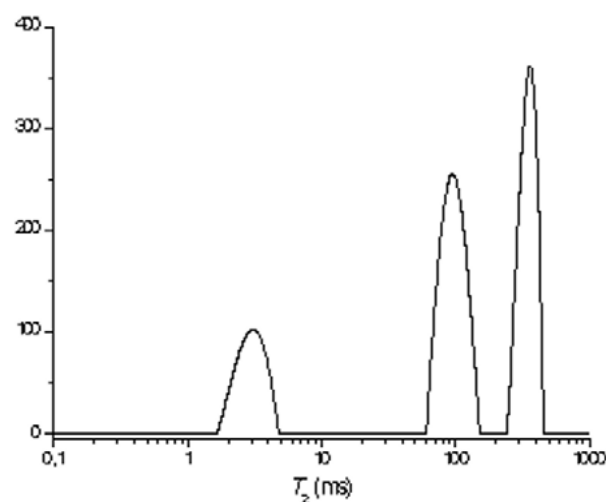


Figura 4. Determinação da distribuição de T_1 de uma amostra de rocha porosa sintética utilizando a sequência CPMG.



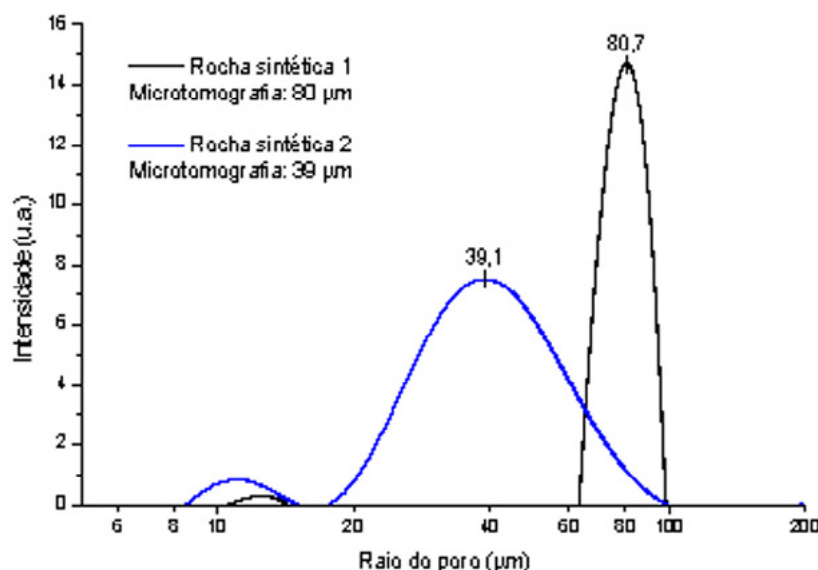
Conhecendo-se T_1 , otimizou-se te , variando-se linearmente este parâmetro, o valor otimizado é aquele que produz o máximo de intensidade na região linear da curva. Utilizando-se a sequência proposta o valor ótimo foi de apenas 1 μ s, valor impossível de ser utilizado com a sequência original, pois te precisa ser $\geq$ que o tempo morto da bobina, que para o equipamento utilizado é de 35 μ s. Ou seja, além de possibilitar a análise de amostras ricas em ferro, a modificação possibilita a aquisição de dados com valores ótimos de te .

E por fim, utilizando 5 T_1 e o te otimizado, obteve-se a distribuição do tamanho dos poros das duas amostras de referência. A concordância dos valores obtidos, por RMN e microtomografia, é excelente (Figura 5).

Conclusões

A modificação do método possibilitou a aquisição de sinal de RMN até mesmo de amostras com elevado ferromagnetismo.

Figura 5. Determinação da distribuição do tamanho dos poros de uma amostra de rocha porosa sintética utilizando a sequência DDIF modificada e tempo de codificação (te) de apenas 1 μ s.



O método modificado determinou com precisão e acurácia a distribuição do tamanho dos poros de duas amostras de referência.

Agradecimentos

Um agradecimento a todos que participaram dessa jornada. Dr Colnago, que pacientemente me apresentou a Embrapa de São Carlos e me deu diversas explicações sobre suas competências. Bianca, técnica de laboratório da Embrapa, pelo seu tempo de laboratório, onde me ajudou e me passou muito conhecimento sobre como agir e fazer trabalhos em laboratórios, além de sua orientação em procedimentos experimentais. Aline, pesquisadora da Embrapa, pelos seus ensinamentos valiosos sobre solos. Agatha, bolsista PIBIC, que me ajudou em diversos experimentos e agregou com seus conhecimentos sobre química. Etelvino e para esse um agradecimento especial. Ele me forneceu a oportunidade de aprender sobre RMN de baixo campo e praticar de forma ampla e irrestrita. Entre tantas broncas e conversas para meu desenvolvimento, houve muita transmissão de conhecimento e crescimento pessoal. Cresci muito como ser humano e no mundo científico. Tenho a oportunidade não usual de trabalhar e aprender com um pesquisador referência que ama a ciência e o que faz. Ele se tornou um exemplo de profissional para mim. Sempre muito ético, trabalhador e com um altíssimo conhecimento em diversas áreas. Espero um dia ser algo perto do grande pesquisador e acima de tudo ser humano que o professor, pesquisador e meu orientador Etelvino é.

Referências

- NOVOTNY, E. H.; DEAZEVEDO, E. R.; DE GODOY, G.; CONSALTER, D. M.; COOPER, M. Determination of soil pore size distribution and water retention curve by internal magnetic field modulation at low field ^1H NMR. **Geoderma**, v. 431, p. 116363, 2023.
- COSTABEL, S.; YARAMANCI, U. Estimation of water retention parameters from nuclear magnetic resonance relaxation time distributions. **Water Resources Research**, v. 49, p. 2068-2079, 2013.
- MÜLLER-PETKE, M.; DLUGOSCH, R.; LEHMANN-HORN, J.; RONCZKA, M. Nuclear magnetic resonance average pore-size estimations outside the fast-diffusion regime. **Geophysics**, v. 80, p. D195-D206, 2015.
- COSTABEL S.; HILLER T.; VADOSE ZONES J. 20:e20104, 2021. SONG Y. **Nature**. 406, p. 178–181, 2000.
- SONG Y. Concepts in magnetic resonance Part A Bridg. **Educational Research and Reviews**, 18A, p. 97–110, 2023.

Avaliação agronômica de diferentes agrominerais silicáticos como fonte de potássio em ambiente controlado⁽¹⁾

Ygor Silva Louzada⁽²⁾, João Augusto Dourado Loiola⁽³⁾, Ricardo de Castro Dias⁽⁴⁾, Jorge Makhlouta Alonso⁽⁵⁾, Diego Macedo Veneu⁽⁶⁾, Everaldo Zonta⁽⁷⁾, Paulo César Teixeira⁽⁸⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa (SEG 20.20.06.001.00.02) e FNDCT/Finep/Rede FertBrasil (Convênio: 01.22.008.00). ⁽²⁾ Bolsista CNPq/PIBIC, Discente de Agronomia da UFRRJ, Seropédica-RJ. ⁽³⁾ Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo) da UFRRJ, Seropédica-RJ. ⁽⁴⁾ Professor da Universidade de Rio Verde, Rio Verde-GO. ⁽⁵⁾ Bolsista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁶⁾ Professor do Instituto de Geografia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Cabo Frio-RJ. ⁽⁷⁾ Professor titular do Departamento de Solos da UFRRJ, Seropédica-RJ. ⁽⁸⁾ Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ.

Resumo – O Brasil possui ampla disponibilidade de rochas silicáticas com potássio na composição, no entanto a utilização destes materiais como fertilizantes potássicos é controversa, já que o K presente neles se encontra em baixos teores e solubilidade. O objetivo do trabalho foi avaliar a utilização de agrominerais silicáticos (AgSi) como fonte de potássio em comparação a fertilizantes minerais tradicionais. Os experimentos foram conduzidos em vasos dispostos em casa de vegetação. Foram avaliados 15 tratamentos, sendo 11 AgSi, três doses de KCl e um controle, sem aplicação de K. A planta indicadora foi o milho híbrido BM 990 Vip3 (*Zea mays* L.) em dois cultivos sucessivos. Foram testados dois solos (argiloso e arenoso), sendo montado um experimento para cada. A dose de K foi de 160 mg/kg de solo para o solo argiloso e 80 mg/kg para o arenoso. Ao término de cada ciclo, a parte aérea das plantas foi coletada para a determinação da matéria seca. No solo arenoso, as doses de KCl obtiveram os melhores resultados. Os AgSi apresentaram produção semelhante ao controle, com exceção das amostras 3 e 10. No solo argiloso a amostra 10 apresentou produção igual as doses de KCl e amostras 7, 5, 9 e 3 foram superiores ao controle. Todos os AgSi apresentaram eficiência relativa abaixo de 50% no solo arenoso, assim como no argiloso (com exceção das amostras 10, 7 e 5). Conclui-se que o potencial para a aplicação da maioria dos AgSi como fonte eficiente de K é muito baixo.

Palavras-Chave: *Zea mays*, remineralizador, nutrição potássica, condicionador de solo, adubação.

Introdução

Os solos brasileiros são originalmente ácidos, muito intemperizados e com baixos teores de nutrientes, principalmente P e K, além da baixa disponibilidade de N. Para atingir a produção agrícola esperada, são necessárias técnicas de correção da acidez do solo e aplicação de fertilizantes para elevar a disponibilidade de nutrientes (Resende et al., 2016). Entretanto, a produção nacional de fertilizantes é, historicamente, muito inferior à demanda interna e não apresenta crescimento similar. A busca por soluções alternativas para manejo e nutrição das culturas torna-se estratégica para a sustentabilidade da produção agrícola.

O K é um dos macronutrientes exigido em maior quantidade pelas plantas e no Brasil é o que apresenta maior percentual de dependência externa. Outro agravante é que os solos brasileiros são, em geral, pobres em minerais contendo K e apresentam baixa CTC, o que pode favorecer a lixiviação desse nutriente (Batista et al., 2018). Uma alternativa em potencial é o uso de rochas silicáticas moídas que, embora apresentem baixos teores de K e baixa solubilidade, possuem ampla disponibilidade geológica no Brasil.

Há uma série de estudos comprovando que é possível extrair K a partir de rochas moídas, chegando a no máximo 20% do seu percentual. No entanto, a correlação das diferentes fontes e extratores com o crescimento vegetal é inconclusiva. Em testes laboratoriais, Machado et al. (2016) procederam extrações sucessivas por até 60 dias em amostras de pó de rocha silicáticas com os ácidos orgânicos cítrico e málico. Esses ácidos promoveram a liberação de apenas 4,86 e 4,34% do potássio total do resíduo, respectivamente. Estudo recente com pós de rocha de resíduos de mineração avaliou o potencial de suprimento de potássio de diferentes frações granulométricas desse material utilizando água, ácidos orgânicos e minerais como extratores (Basak et al., 2018). Houve um aumento na liberação de K com a diminuição do tamanho das partículas e a quantidade de K

liberado variou conforme os extratores utilizados. Os métodos biológicos e químicos foram capazes de extrair apenas 12 a 20% do K total presente nas amostras de pó de rocha.

O uso de remineralizadores tem sido pauta na mídia agrícola, mas não existe consenso sobre o assunto. Em janeiro de 2020, a Embrapa apresentou um posicionamento oficial sobre esse tema enfatizando que, atualmente não há informação científica suficiente para se recomendar AgSi como fonte de nutrientes, sobretudo de potássio, ou condicionadores de solos para a agricultura.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência agronômica de diferentes agrominerais silicáticos como fonte de potássio na produção de milho em casa de vegetação.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Seropédica-RJ. Os insumos utilizados no experimento, nomeadamente o KCl e os AgSi de diferentes localidades, foram obtidos no mercado. A caracterização química dos AgSi foi realizada por análise de Fluorescência de Raios X (FRX) em um equipamento PanAnalytical, modelo AXIOS MAX, utilizando o método da análise semiquantitativa (Tabela 1).

Amostras de dois solos, classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Planossolo Háplico (SX) conforme Santos et al. (2018), foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade nos municípios de Pinheiral- RJ e Seropédica-RJ, respectivamente. Essas amostras foram secas ao ar, tamisadas em peneira com abertura de malha de 4 mm, e posteriormente incubadas por quarenta dias com calcário dolomítico (30% de CaO, 10% de MgO, com PRNT de 76%).

Tratamentos e amostragens

O experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e 15 tratamentos sendo 11 AgSi, três doses de KCl e um tratamento controle, sem aplicação de K. Os insumos foram aplicados por incorporação ao solo. As unidades experimentais foram vasos plásticos contendo 3 kg de solo. A planta indicadora foi o milho híbrido BM 990 Vip3 (*Zea mays* L.). A dose de K foi de 160 mg/kg de solo para o solo argiloso e 80 mg/kg para o solo arenoso, considerando o teor total de K dos diferentes materiais usados. Para o solo argiloso, foram aplicados em cada vaso 5,127 g de AgSi_1; 38,663 g de AgSi_2; 6,617 g de AgSi_3; 4,461 g de AgSi_4; 13,794 g de AgSi_5; 7,145 g de AgSi_6; 15,216 g de AgSi_7; 5,256 g de AgSi_8; 16,061 g de AgSi_9; 36,137 g de AgSi_10; 17,006 g de AgSi_11; e 0,975g de KCl. Para o KCl, foram estabelecidas duas outras doses equivalentes a 50% e 25% do total de K (0,488 g e 0,244 g, respectivamente). Para o solo arenoso, as doses aplicadas foram equivalentes à metade da aplicada no solo argiloso em todos os tratamentos.

Antes do plantio, em todas as parcelas, foram aplicados em solução o equivalente a 130 mg/kg de N, 300 mg/kg de P, 40 mg/kg de S, 4 mg/kg de Zn, 3,6 mg/kg de Mn, 1,5 mg/kg de Fe, 1,3 mg/kg de Cu, 0,8 mg/kg de B e 0,15 mg/kg de Mo, conforme Dias et al. (2022), utilizando as fontes $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, MgSO_4 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 e $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Em seguida, os vasos foram irrigados com o intuito de elevar a umidade do solo a 70% da capacidade máxima de retenção de água.

Oito dias após a semeadura foi feito o desbaste, permanecendo duas plantas por vaso. A umidade foi mantida por meio da pesagem diária das unidades experimentais com reposição da água faltante. Aos 45 dias foi realizada a coleta da parte aérea das plantas de milho nos dois solos. A poda foi realizada rente ao solo. As amostras coletadas foram identificadas, secas em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por 72h e pesadas. Após a primeira coleta, foi realizada nova adubação com solução nutritiva básica com 70% da dose inicial. Em seguida, foi realizado o segundo plantio. Os procedimentos metodológicos foram praticamente os mesmos usados no primeiro cultivo, entretanto, no solo arenoso, as plantas foram colhidas aos 30 DAE e no argiloso aos 45 DAE.

Foi determinada a eficiência relativa dos AgSi em relação ao KCl.

Análise estatística

As análises estatísticas e gráficos foram elaborados utilizando o software estatístico R (R Core Team, 2022). Os dados foram submetidos à análise de variância. Em seguida, procedeu-se a análise da normalidade dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk, e à análise da homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Sempre que necessário, os dados foram transformados e os pressupostos da ANOVA foram verificados novamente. As médias, quando indicada diferença significativa pelo teste F, foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Para o solo arenoso no primeiro cultivo, os melhores resultados foram observados nos tratamentos que receberam KCl nas diferentes doses. Com exceção da amostra 3, todos os AgSi promoveram resultados semelhantes ao do tratamento controle, sem adubação com K. No solo argiloso os resultados foram um pouco diferentes, as plantas cultivadas com os AgSi 3 e 10 tiveram resultados semelhantes às adubadas com as diferentes doses de KCl. As demais amostras apresentaram resultados iguais ao do tratamento controle. Os resultados demonstram que devido ao seu menor teor de K, o solo arenoso foi mais responsivo a adubação que o solo argiloso.

Para a MSPA acumulada nos dois ciclos de cultivo no solo arenoso, observa-se que as duas maiores doses de KCl apresentaram as maiores médias, seguida da menor dose de KCl (Figura 1A). Entre os AgSi, apenas as amostras 3 e 10 apresentaram média superior ao tratamento controle. Os resultados apresentaram um padrão diferente para o solo argiloso, as maiores médias foram observadas para a dose de 160 de KCl e a amostra 10 de AgSi, seguidas das médias da dose de 80 de KCl e da amostra 7 e da dose de 40 de KCl e as amostras 3, 5 e 9 de AgSi (Figura 1B). Os outros seis AgSi apresentaram médias de MSPA semelhantes às do tratamento controle.

O desempenho inferior de mais da metade dos AgSi pode ser explicado pela baixa solubilidade do K nestes insumos. Muitos dos minerais presentes nos AgSi apresentam estrutura formada por uma rede tridimensional de tetraedros de SiO_2 e de AlO_2 formando materiais de grande estabilidade (Bakken et al., 2000). Para o K ser liberado dessas estruturas tridimensionais, é necessária a quebra das ligações O-Si e O-Al, que por sua vez são consideradas muito estáveis (Klein e Dutrow, 2012).

A maior produção de matéria seca para a amostra 10, quando comparada aos demais AgSi, pode estar mais associada à melhoria das propriedades físico-químicas do ambiente radicular do que ao fornecimento de K. A concentração de caulinita (Tabela 3), CaO e a saturação por bases (Tabela 2) desta amostra de AgSi corroboram com tal justificativa. Conforme observaram Alovisei et al. (2019), a aplicação de agromineral em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa resultou em benefício para as plantas devido ao aumento do pH, diminuição da acidez potencial, aumento da capacidade de troca catiônica e da saturação por bases.

A comparação dos resultados observados para a matéria seca total nos dois solos também sugere que o efeito corretivo da saturação por bases e da presença de CaO na amostra 10 podem justificar os resultados observados. A correção do solo argiloso antes do experimento pode não ter sido totalmente efetiva, possibilitando que outro efeito, diferente do fornecimento de K, ocasionasse ganho na produção. Ao mesmo tempo que no solo arenoso, praticamente todo o K disponível foi utilizado no primeiro cultivo, limitando severamente o crescimento das plantas.

A disponibilização de outros nutrientes (além do K) para as plantas, notadamente micronutrientes, também é uma justificativa plausível para os resultados superiores ao do tratamento controle observados para as amostras 3 e 10 no solo arenoso e 3, 5, 7, 9 e 10 para o solo argiloso. Segundo Van Straaten (2009), o Brasil possui uma alta geodiversidade, sendo comum a presença de micronutrientes em subprodutos da extração de metais, como os insumos avaliados no presente trabalho.

Avaliado a eficiência relativa para a utilização do K pelas plantas, verifica-se que todos os AgSi apresentaram valores abaixo de 50% no solo arenoso (Figura 2A). Para o solo argiloso,

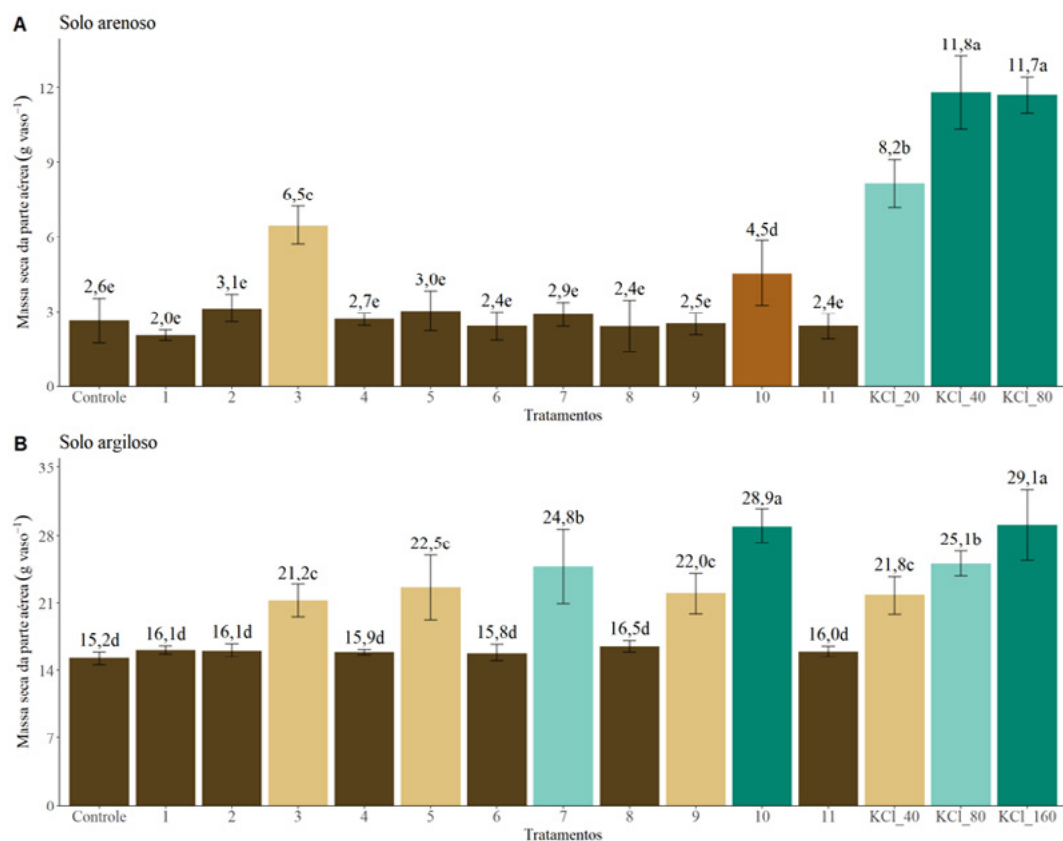
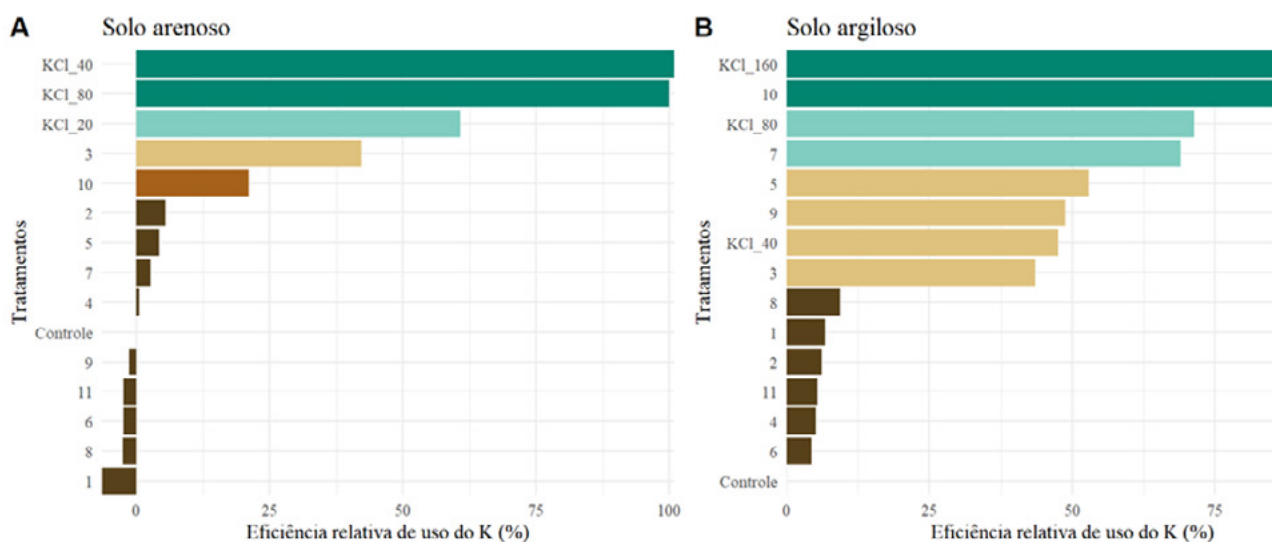


Figura 1. Matéria seca da parte aérea acumulada em dois cultivos de plantas de milho adubadas com diferentes agrominerais silicáticos e KCl em solo arenoso (A) e argiloso (B). Barras na vertical referem-se ao desvio padrão. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de significância

com exceção da amostra 10 que apresentou eficiência próxima de 100%, da 7 e da 5 com eficiência entre 50–75%, todos os AgSi apresentaram eficiência abaixo de 50% quando comparados com a produção de MSPA do KCl em dose equivalente de K_2O (Figura 2B).

Outro fator que deve ser avaliado é quantidade do insumo a ser aplicado para atingir os resultados observados no presente trabalho. Por exemplo, para os produtos 3 e 10 no solo

Figura 2. Eficiência relativa de uso do K em plantas de milho adubadas com diferentes agrominerais silicáticos em solo arenoso (A) e argiloso (B) em função da massa seca da parte aérea acumulada em dois cultivos. Tratamentos identificados com a mesma cor não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$) para a média da MSPA.



arenoso, seria necessária a aplicação de uma quantidade 16,1 e 169,5 vezes maior em relação à quantidade de KCl. No solo argiloso, para os produtos 10, 7, 5, 9 e 3 seria necessária a aplicação de uma quantidade 53, 32, 22, 32 e 505 vezes maior que a quantidade aplicada de KCl. Portanto, para obter resultados similares ao do presente estudo, seria necessário aplicar no solo uma quantidade muito elevada desses AgSi em comparação ao KCl. A aplicação de grandes quantidades destes insumos implicaria em custos mais elevados de transporte, armazenamento e para a aplicação no solo.

Conclusões

Para os dois solos, a dose de 100% de KCl foi o tratamento mais adequado para o fornecimento de potássio às plantas. A maioria dos AgSi testados apresentou eficiência relativa muito baixa em relação ao uso de KCl, especialmente no solo arenoso. Desta forma, o potencial para a aplicação da maioria dos AgSi como fonte eficiente de K é muito baixo.

Agradecimentos

À Embrapa, pelo apoio logístico e financeiro à pesquisa (SEG 20.20.06.001.00.00). Ao Departamento de Solos da UFRRJ, pelo apoio logístico. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de pesquisa. À FNDCT/FINEP/Rede FertBrasil, pelo apoio financeiro (Convênio 01.22.0080.00, Ref. 1219/21).

Referências

- ALOVISI, A. A.; MAUAD, M.; ALOVISI, A. M. T.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S.; GOMES, C. F.; RICIERI, R. P.; SIQUEIRA, J. A. C.; OLIVEIRA, G. B.; LIMA, B. F.; ARAÚJO, W. A. Chemical attributes of soil and response of wheat to serpentinite in direct seeding system. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 6, p. p460, 15 maio 2019.
- BAKKEN, A. K.; GAUTNEB, H.; SVEISTRUP, T.; MYHR, K. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 53–57, 2000.
- BASAK, B. B.; SARKAR, B.; SANDERSON, P.; NAIDU, R. Waste mineral powder supplies plant available potassium: Evaluation of chemical and biological interventions. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 186, p. 114-120, 2018.
- BATISTA, M.A.; INOUE, T.T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162.
- DIAS, R.C.; TEIXEIRA, P.C.; PEREIRA, R.N.; LOIOLA, J.A.D.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. Curvas de resposta do milho à adubação potássica obtidas através de experimento fatorial. **Revista Agrária Acadêmica**, v.5, n.2, p.35-49, 2022.
- KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23. ed. São Paulo: Artmed Editora S.A., 2012.
- MACHADO, R. V.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; RIBEIRO, R. C. D. C.; MENDONÇA, E. S.; MESQUITA, L. F. Characterization of ornamental rock residue and potassium liberation via organic acid application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40, 2016.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em 04 out. 2023.
- RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E. SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, v. 156, p. 1-19, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355 p.

Van STRAATEN, P. Agrogeology: geological soil rejuvenation processes and agromineral resources. IN: RIBEIRO, M.R.; NASCIMENTO, C.W.A.; RIBEIRO FILHO, M.R.; CANTALICE, J.R.B. **Tópicos em ciência do solo** – vol. 1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 319 – 412.

Anexo 3. Cartaz Programa do Seminário Pibic 2023



Seminário PIBIC/CNPq - Embrapa Solos 2023

Programação - 14/09/23

Horário	Atividade	Atores
8:30	Abertura	Chefia da Embrapa Solos
8:40	Considerações do CIBE	Equipe CIBE
Apresentações Orais		
	Bolsistas	Orientadores
8:45	➤ 1 - Âgatha Ayra Araújo Borges	Bianca Mattos
9:15	➤ 2 - Ana Elisa Nunes dos Santos	Guilherme Donagemma
9:45	➤ 3 - Adalberto Francisco da Silva Júnior	Maria Sônia Lopes – Virtual
10:15	➤ 4 - Angélicy Milena Vivian	Ademir Fontana – Virtual
10:45	➤ 5 - Fernanda Lavra de Oliveira Lima	David Campos
11:15	➤ 6 - Giselle Silva dos Santos	Rosângela Straliootto
11:45	Almoço	
	Bolsistas	Orientadores
13:30	➤ 7 - Julia Alfano Keller Ventura Neves da Costa	Vinicius Benites
14:00	➤ 8 - Letícia Cristal Brandão	Ana Turetta
14:30	➤ 9 - Luiz Filipe Carvalho de Souza Alvarez	Etelvino Novotny
15:00	➤ 10 - Rodrigo Nogueira Silvestre Batista	Fabiano Balieiro
15:30	➤ 11 - Ygor Silva Louzada	Paulo César Teixeira
16:00	Encerramento - Equipe CIBE	

Resumos do Seminário Pibic da Embrapa Solos de 2024

Determinação e validação de método da distribuição de tamanho de poro do solo e curva de retenção de água e suas propriedades utilizando Ressonância Magnética Nuclear de baixo campo (RMN 1H)⁽¹⁾

Àgatha Ayra Araujo Borges⁽³⁾ e Etelvino Henrique Novotny⁽²⁾

⁽¹⁾ Trabalho realizado com recursos do CNPq. ⁽²⁾ Agrônomo, Doutor, Pesquisador, Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro-RJ. ⁽³⁾ Bacharelado em Química, Graduação, Bolsista PIBIC-CNPq, Instituto Federal do Rio de Janeiro, Nilópolis.

Resumo – A determinação da distribuição do tamanho dos poros do solo, curva de retenção de água e parâmetros correlatos, que controlam processos importantes, como o suprimento de água; infiltração; movimento de água e solutos; erosão; transporte de nutrientes e contaminantes etc., são desafios e os métodos disponíveis são onerosos, morosos e propensos a vieses e erros. O uso da relaxometria por Ressonância Magnética Nuclear (RMN) para caracterizar a porosidade do solo resulta em um problema mal posto devido a duas incógnitas correlacionadas, o tamanho dos poros e a relaxatividade superficial. Para superar essa limitação, propomos o uso de um método que acesse diretamente os modos de difusão de RMN governados apenas pelo tamanho dos poros e, portanto, independente da relaxatividade superficial. Destarte, será desenvolvida e validada uma metodologia inédita para obtenção da distribuição do tamanho dos poros de solos; suas curvas de retenção de água, e suas propriedades hidráulicas, de forma expedita e de baixo custo utilizando a RMN em baixo campo. Para isso serão utilizadas 21 amostras de solos indeformadas, cujas curvas de retenção de água serão determinadas pelo método proposto e o de referência (mesa de tensão, câmaras de Richards e eventualmente psicrômetro) e seus resultados comparados.

Palavras-Chave distribuição do tamanho de poros, propriedades físico-hídricas de solos, DDIF, detecção de eigenmodes, TD-NMR

Introdução

A estrutura do solo é reconhecida por controlar muitos processos solo. Por exemplo, regula a retenção e infiltração de água, as trocas gasosas e dinâmica de alguns nutrientes, penetração de raízes e suscetibilidade à erosão (Rabot et al., 2018) sujeita a um grande número de variáveis que podem ser reunidas em ambientais (por exemplo, material de origem, topografia e clima), antrópicas (por exemplo, manejo e uso da terra, perturbação mecânica da estrutura do solo por preparo do solo, passagem de máquinas pesadas, etc.) e biológicas (por exemplo, deslocamento de partículas do solo e/ou estabilização da estrutura do solo pela macrofauna, raízes de plantas e atividades microbianas) (Bottinelli et al., 2015).

A distribuição do tamanho dos poros e a curva de retenção de água no solo (CRAS) são propriedades fundamentais dos solos e essenciais para a compreensão das taxas de transporte de fluidos e solutos dentro da zona vadosa com uma ampla gama de aplicações como agricultura, silvicultura, ecologia, ciências ambientais e engenharia civil (Stingaciu et al., 2010). Essas propriedades influenciam as taxas de infiltração do solo; processos de escoamento e erosão; crescimento da planta; desenvolvimento da microbiota; transporte de nutrientes e contaminantes; bem como a recarga de aquíferos e descarga em águas superficiais (Nimmo, 2009; Wang et al., 2015; Medici et al., 2019; Villarreal et al., 2020).

A estrutura dos poros, incluindo tamanhos de poros, conectividade e heterogeneidade espacial são muitas vezes os fatores importantes na determinação das suas funções hidráulicas (Song, 2003) e o fluxo de água e o transporte de solutos através do solo estão diretamente relacionados à geometria do espaço poroso disponível (Vogel et al., 2001). Uma curva de retenção de água no solo (CRAS) descreve a quantidade de água no solo em função do potencial mátrico (Wen-Jing Sun e Yu- Jun Cui., 2020). No entanto, a determinação das propriedades hidráulicas do solo é um desafio (Costabel e Hiller, 2021) e os métodos convencionais de determinação das CRAS são morosos, onerosos e passíveis de erros e vieses (Rieu e Sposito, 1991; Sun et al., 2020). A principal limitação

está relacionada ao longo tempo necessário para que as amostras atinjam o equilíbrio hidrostático, que leva de dias a vários meses (Hunt e Ewing, 2009). Além disso, essa metodologia é suscetível a erros, principalmente em potenciais mátricos, como a perda de contato hidráulico entre as amostras e as placas de pressão, e a incerteza na determinação do equilíbrio hidrostático (Campbell et al., 2007; Solone et al., 2012).

Essas dificuldades têm motivado a busca por novas metodologias para determinar e prever as CRAS. O uso de RMN de baixo campo para determinar a porosidade e a distribuição do tamanho dos poros de rochas (Benavides et al., 2020), bem como a porosidade do solo e as propriedades hidráulicas do solo é um desafio atual (Sucre et al., 2011; Dlugosch et al., 2013; Costabel e Yaramanci, 2013; Costabel et al., 2018; Knight et al., 2016; Costabel e Hiller, 2021). A abordagem atual utiliza modos dependentes da relaxatividade superficial do meio poroso (Jaeger et al., 2009; Benavides et al., 2020). No entanto, como esses métodos dependem do tamanho dos poros, mas também da relaxatividade superficial (Luo et al., 2015), tem-se um problema inverso e mal posto. A relaxatividade superficial depende da composição e rugosidade da parede dos poros e dos teores de argila e matéria orgânica (Keating, 2014; Müller-Petke et al., 2015; Costabel et al., 2018; Keating et al., 2020). Consequentemente, essa variável deve ser estimada por métodos auxiliares (Costabel et al., 2018; Benavides et al., 2020), como a distribuição do tempo de relaxação calibrada para o tamanho dos poros (por exemplo, porosimetria de intrusão de mercúrio, análise de imagens 2D e 3D etc) ou calibrada para as propriedades hidráulicas (Costabel e Yaramanci, 2013).

Além disso, os modelos consideram a relaxatividade superficial uniforme e homogênea em todas as diferentes classes de tamanho de poros (Schaumann et al., 2005; Benavides et al., 2020), ou no máximo considerando dois parâmetros de relaxatividade superficial, um para poros grandes e outro para poros pequenos (Jaeger et al., 2009; Meyer et al., 2018), premissa dificilmente atendida para materiais porosos naturais (Liu et al., 2014; Benavides et al., 2017; 2020). De acordo com Jaeger et al. (2009), a determinação da relaxatividade superficial é um procedimento tedioso e demorado, consequentemente, o uso de modos de relaxatividade estimar a distribuição do tamanho dos poros e, em seguida, as propriedades hidráulicas do solo, pode não ter vantagem de economia de tempo em relação aos métodos convencionais utilizados para a determinação da CRAS. Para contornar isso, Costabel e Yaramanci (2013) propuseram a estimativa direta da CRAS a partir de medidas de T_1 ou T_2 , evitando a determinação da distribuição do tamanho dos poros, porém, o método funciona satisfatoriamente apenas para amostras com teores de areia superiores a 90%. Por outro lado, Müller-Petke et al. (2015) e Costabel et al. (2018) propuseram um método numérico para acessar o primeiro eigenmode (o modo de difusão) dos experimentos T_1 e T_2 , no entanto, este método é aplicável apenas para sistemas com uma distribuição de tamanho de poro única e estreita. Mais recentemente, Costabel e Hiller (2021) propuseram um método de inversão conjunta complicado e demorado para dados de relaxometria de RMN que requer os decaimentos de RMN das amostras na saturação e pelo menos um na saturação parcial.

Além disso, o método depende fortemente do pressuposto sobre a geometria da seção transversal dos capilares do solo. Ademais, como os métodos anteriores, funcionou apenas para amostra arenosas.

Buscando superar essas limitações da relaxometria por RMN, Song e colaboradores (Song et al., 2000; Lisitz e Song, 2001; Song, 2003) propuseram um novo método para estudar materiais porosos. Este método acessa diretamente os modos de difusão em vez dos modos de relaxatividade, usando a não homogeneidade do campo (gradiente do campo magnético interno) produzido pelo contraste de suscetibilidade natural da amostra. Uma explicação elegante, clara e detalhada desse fenômeno, método e sua aplicação para determinar o tamanho dos poros de esferas de vidro empacotadas aleatoriamente e rochas naturais são apresentadas em Song (2003). A formulação física e matemática desse método pode ser encontrada em Song (2003) e

Liu et al. (2014). Além disso, a validação desse método, utilizando amostras porosas sintéticas, com distribuições de tamanho de poro conhecidas, é dada em de Pierre et al. (2022).

Para mudar isso, um novo método foi proposto que acessa diretamente os eigenmodes superiores, que dependem apenas do tamanho do poro. Esse método foi proposto por Song e colaboradores (Song et al., 2000; Lisitsa e Song, 2001; Song, 2003). A formulação física e matemática desse método pode ser encontrada em Song (2003) e Liu et al. (2014). Além disso, a validação desse método, utilizando amostras porosas sintéticas, com distribuição de tamanho de poro conhecidas, é dada em de Pierre et al. (2022).

Para resolver essa questão, propõem-se uma modificação das sequências de pulsos propostas por Song. O objetivo deste trabalho Desenvolver e validar uma metodologia inédita para obtenção da distribuição do tamanho dos poros de solos; suas curvas de retenção de água, e suas propriedades hidráulicas, utilizando a RMN em baixo campo.

Material e Métodos

Foram coletadas 21 amostras indeformadas de solos hidromórficos, coletadas pelo Dr. José Francisco Lumbreras, provenientes dos estados do Amazonas e Pará. Essas amostras são da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (XV RCC) a ser realizada este ano. A coleta foi em anéis de PVC de 48 mm de diâmetro interno e 55 mm de altura (volume de 100 cm³). As amostras foram saturadas com água em banho- maria (39 °C) e analisadas pelo método DDIF (Song, 2003; Novotny et al., 2023). Atualmente essas mesmas amostras estão sendo analisadas pelo método de referência, a saber: mesas de tensão, câmaras de Richards e utilizando o psicrômetro (WP-4). Como este é um processo moroso, a validação do método por RMN em baixo campo só será efetivado ao final da análise convencional, que demora meses.

Todas as análises foram realizados em um equipamento SpecFit com B_0 de 0,27 T (frequência de Larmor de 11,4 MHz). Determinou-se a relaxação longitudinal (spin-rede) utilizando-se a sequência de inversão e recuperação; a relaxação transversal (spin-spin) foi determinada pela sequência Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG); e após otimização do parâmetro tempo de codificação (t_e), as amostras foram analisadas pela sequência de pulsos modificada (DDIF).

Resultados e Discussão

As amostras selecionadas são interessantes pois elas ampliam o universo de tipos de solos analisáveis por RMN em baixo campo, visto que elas apresentam baixa susceptibilidade (alguns gleizados), alto teor de argila e algumas desafiadoras para o método convencional, por apresentarem argilas expansíveis.

Os resultados de RMN já foram obtidos, alguns exemplos são dados nas (figuras 1-9), porém a validação só será possível ao término das análises das mesmas amostras pelo método convencional, utilizando mesas de tensão, câmaras de Richards e psicrômetro (WP-4). Método extremamente moroso.

As amostras analisadas apresentaram uma ampla variação no tamanho de poros, com predominância de micro- (2,5-15 μm) e mesoporos (15-40 μm) nas primeiras amostras (Figura 1-5) e predominância de macroporos ($> 40 \mu\text{m}$) nas demais (Figura 5-9). Algumas amostras apresentaram volume considerável de ultramicroporos ($< 2,5 \mu\text{m}$), como as amostra AM 05 Ag (Figura 1) e AM 06 Ap (Figura 3). Isso se manifesta nas CRA, pois quanto menor os poros, menor o potencial mátrico para drená-los, ou seja, uma considerável porção da água estará retida em potenciais mátricos mais negativos. Porém esses resultados terão que ser validados contra o método de referência, assim como a calibração do eixo x das CRA (potencial mátrico) em função da forma dos poros, conectividade, tortuosidade e presença de gargalos, que desviam o potencial mátrico de retenção de água do esperado pelo modelo simples de feixe de capilares, assumido nessa primeira estimativa das CRA a partir das distribuições dos tamanhos dos poros (Novotny et al., 2023).

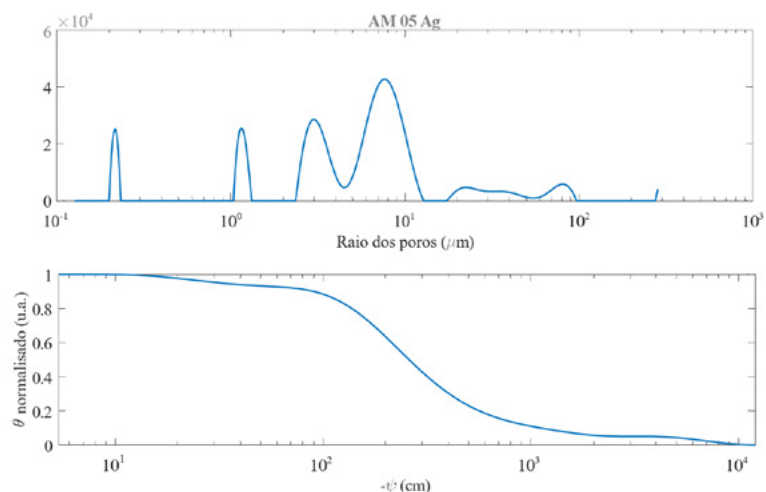


Figura 1. Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (neofluvisólico), 0-4 cm de profundidade, Itacoatiara- AM. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água.

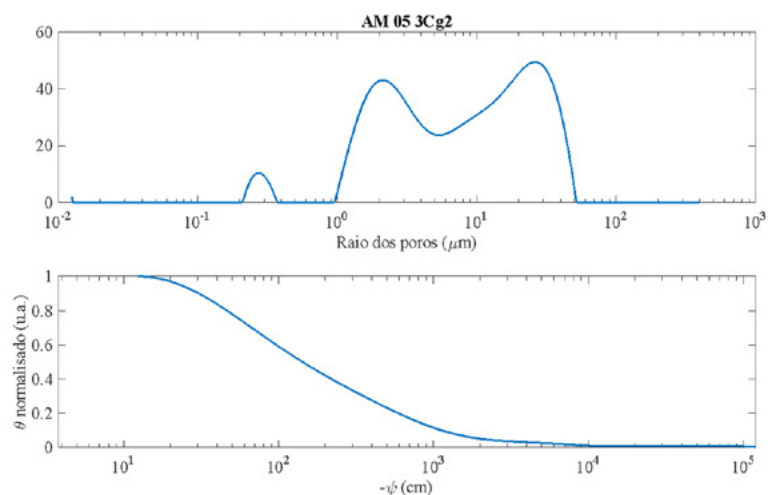


Figura 2. Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (neofluvisólico), 33-65 cm de profundidade, Itacoatiara- AM. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água

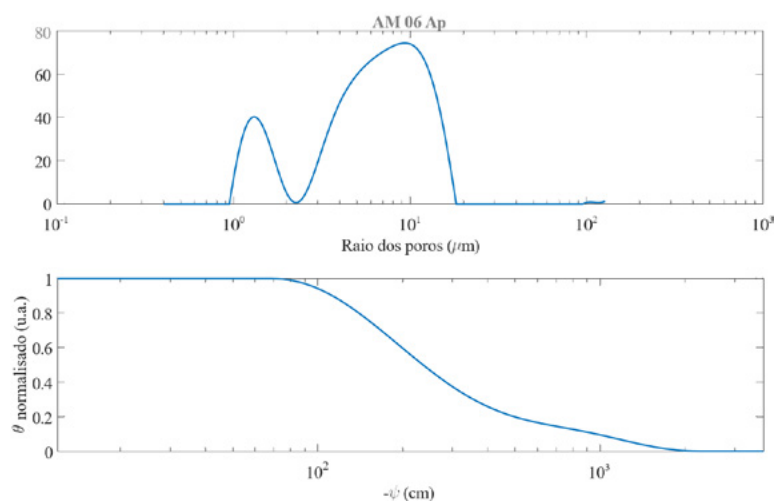


Figura 3. Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (cambissólico), 0-5 cm de profundidade, Itacoatiara-AM. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água.

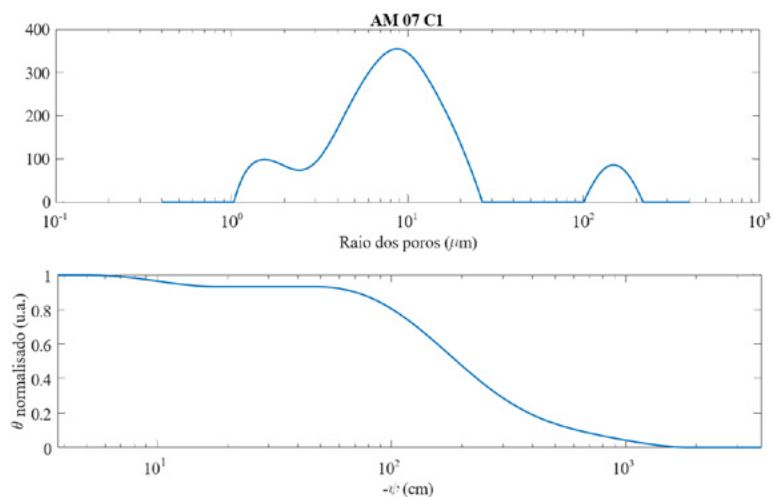


Figura 4. Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, 35-87 cm de profundidade, Manaus-AM. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água.

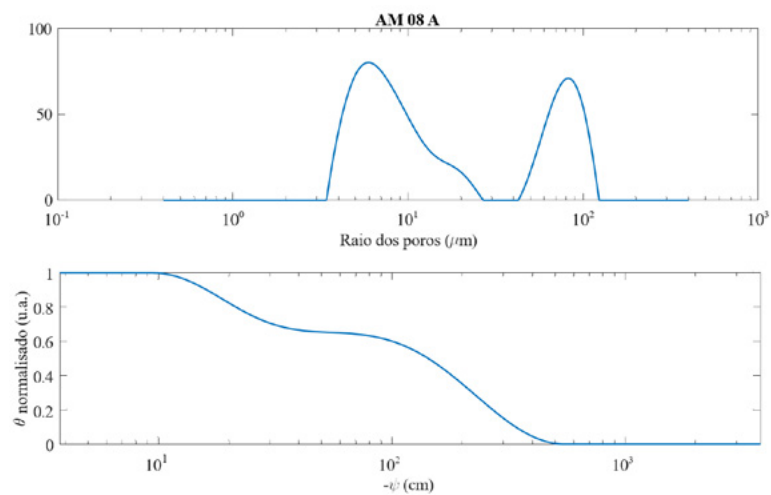


Figura 5. Plintossolo Argilúvico Distrófico, 0-6 cm de profundidade, Iranduba-AM. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água

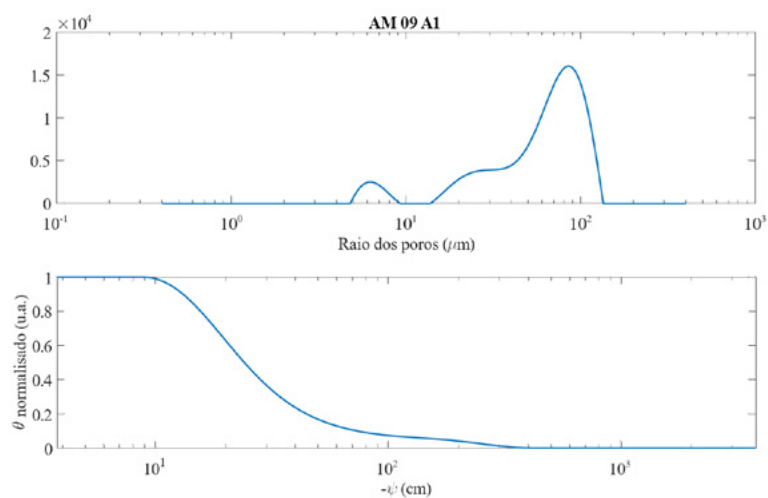


Figura 6. Espodossolo Ferri-humilúvico Hiperespesso, 0-8 cm de profundidade, Manaus-AM. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água.

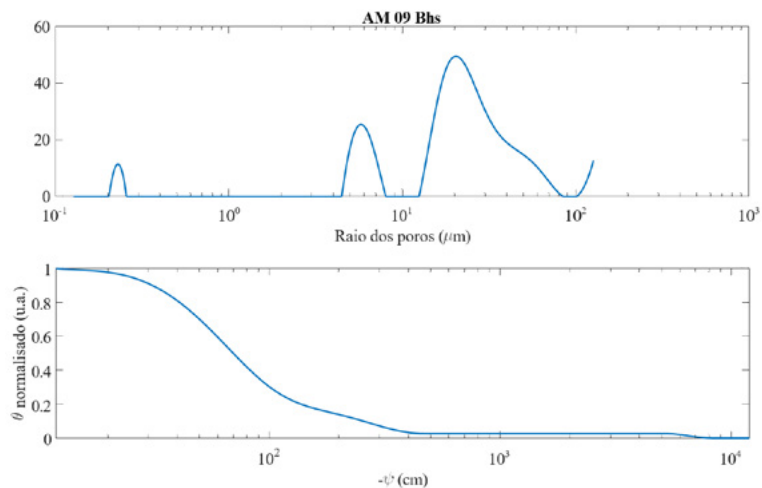


Figura 7. Espodossolo Ferri-humilúvico Hiperespesso, 352-380 cm de profundidade, Manaus-AM. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água

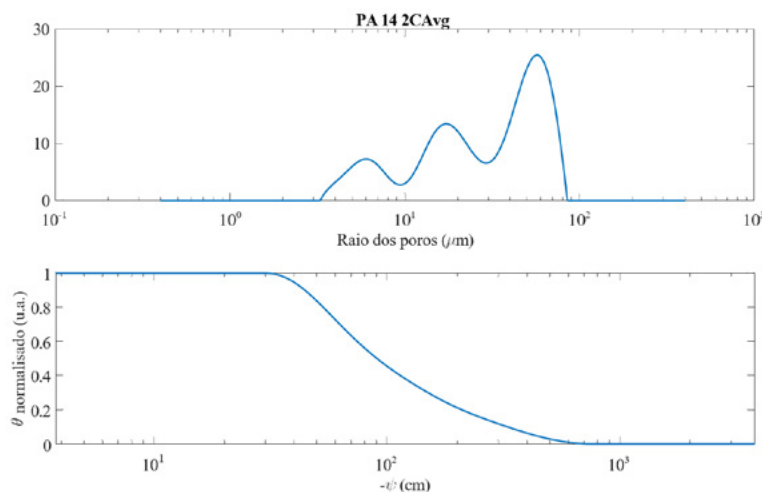


Figura 8. Vertissolos Hidromórficos Órticos, 3-20 cm de profundidade, Parintins-PA. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água.

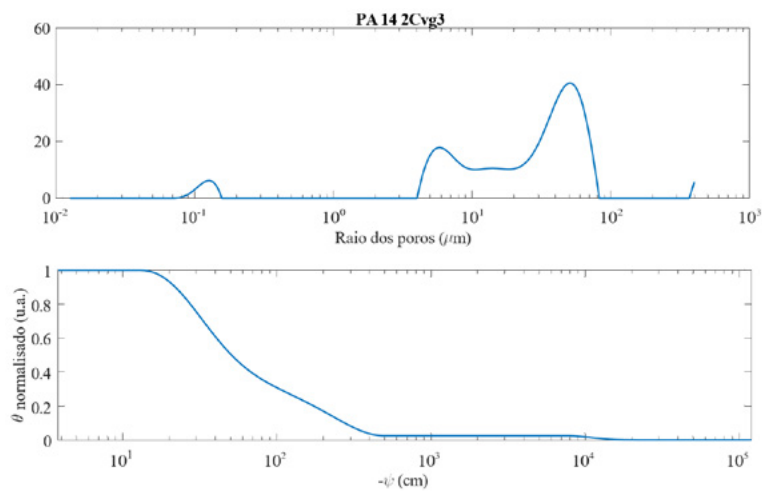


Figura 9. Vertissolos Hidromórficos Órticos, 71-113 cm de profundidade, Parintins-PA. Superior: Distribuição do tamanho dos poros. Inferior: Curva de retenção de água.

Conclusões

A modificação do método possibilitou a aquisição de sinal de RMN de todas as amostras analisadas. É importante frisar que as análises de todas as amostras pelo método proposto demoraram apenas uma semana, enquanto que o método de referência já se estende por meses, destacando novamente a enorme vantagem do método proposto quanto ao tempo e custo laboratorial, além de ser mais preciso; acurado e apresentar uma resolução muito superior e não ter as limitações do método de referência, em especial para solos arenosos nos potenciais mais baixos

O método modificado determinou com precisão e acurácia a distribuição do tamanho dos poros e curva de retenção de água.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientado, Etelvino Novotny, pelos ensinamentos, broncas e pela paciência em laboratório. E agradeço a Embrapa pelos recursos oferecidos.

Referências

- Benavides F. et al., 2017. Comput. Geosci. 106,200–208. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.06.016>
- Benavides F. et al., 2020. J. Pet. Sci. Eng. 184, 106321. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106321>
- Campbell G.S. et al., 2007. Application of a dew point method to obtain the soil water characteristic, in: Schanz T. (Ed.), Experimental Unsaturated Soil Mechanics. Springer Proceedings in Physics, vol 112. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 71-77. https://doi.org/10.1007/3-540-69873-6_7
- Costabel S. et al., 2018. Hydrol. Earth Syst. Sci. 22, 1713–1729. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1713-2018>
- Costabel S., Hiller T., 2021. Vadose Zone J. 20:e20104. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20104>
- Costabel S., Yaramanci U., 2013. Water Resour. Res. 49, 2068–2079. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20207>
- Dlugosch R. et al., 2013. Geophysics, 78, EN55–EN64. <https://doi.org/10.1190/geo2012-0187.1>
- Hunt A., Ewing R., 2009. Percolation Theory for Flow in Porous Media, second ed., Lect. Notes Phys. 771. Springer, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-89790-3>
- Jaeger F. et al., 2009. Eur. J. Soil Sci. 60, 1052–1064. <https://doi.org/10.1111/j.13652389.2009.01192.x>
- Keating K. et al., 2020. J. Appl. Geophys. 179, 104096. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104096>
- Keating K., 2014. Near Surf. Geophys. 12, 243-254. <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2013064>
- Knight R. et al., 2016. Groundwater, 54, 104–114, <https://doi.org/10.1111/gwat.12324>
- Liu H. et al., 2014. J. Magn. Reson. 246, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.jmr.2014.07.005>
- Luo Z-X. et al., 2015. J. Magn. Reson., 259, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.jmr.2015.08.002>
- Medici G. et al., 2019. J. Contam. Hydrol. 222, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2019.02.001>
- Meyer M. et al., 2018. Eur. J. Soil Sci. 69, 393–406. <https://doi.org/10.1111/ejss.12548>
- Müller-Petke M. et al., 2015. Geophysics. 80, D195–D206. <https://doi.org/10.1190/GEO2014-0167.1>
- Nimmo J.R., 2009. Vadose Water, in: Likens G.E. (Ed.), Encyclopedia of Inland Waters. Volume 1, pp. 766-777.
- Rieu M., Sposito G., 1991. Soil Sci. Soc. Am. J. 55, 1231-1238. <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500050006x>
- Schaumann G.E. et al., 2005. Plant Soil. 275, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-1708-7>

- Solone R. et al., 2012. J. Hydrol. 470–471, 65– 74. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.017>
- Song Y.-Q., 2003. Concepts Magn. Reson. Part A Bridg. Educ. Res. 18A, 97–110. <https://doi.org/10.1002/cmr.a.10072>
- Stingaciu L.R. et al., 2010. Water Resour. Res. 46,1–11. <https://doi.org/10.1029/2009WR008686>
- Sucre O. et al., 2011. J. Hydrol. 406, 30–38, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.045>, 2011
- Sun H. et al., 2020. Sci. Rep. 10, 16666. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73890-8>
- Villarreal R. et al., 2020. Geoderma. 376, 114566. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114566>
- Wang T. et al., 2015. J. Hydrol. 521, 470–481. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.040>

Aplicativo GuardeÁgua: desenvolver e validar protótipo⁽¹⁾

Beatriz Regina de Figueiredo⁽²⁾; Marcelo Pereira dos Santos⁽³⁾; Mateus Abdias dos Santos Silva⁽⁴⁾; Maria Beatriz Arruda Vieira de Lima⁽⁵⁾; Luís de França da Silva Neto⁽⁶⁾; Maria Sonia Lopes da Silva⁽⁷⁾.

(1) Trabalho executado com recursos do projeto Segurança hídrica, alimentar e nutricional: sistema de produção agroecológico em ambiente de barragem subterrânea no Estado de Alagoas - GuardÁgua 30.22.91.019.00.03. (2) Estudante de Bacharelado em Ciência da Computação, bolsista do PIBIC/CNPq, Embrapa Solos UEP Recife, PE. (3) Graduado em Análise e Desenvolvedor de Sistemas, bolsista de desenvolvimento tecnológico industrial CNPq, Embrapa Solos UEP Recife, PE. (4) Estudante de Bacharelado em Ciência da Computação, Estagiário, Embrapa Solos UEP Recife, PE. (5) Estudante de Bacharelado em Ciência da Computação, Estagiária, Embrapa Solos UEP Recife, PE. (6) Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador, Embrapa Solos UEP Recife, PE. (7) Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Pesquisadora, Embrapa Solos UEP Recife, PE.

Resumo – A escassez hídrica no semiárido brasileiro afeta diretamente a vida de milhões de pessoas, comprometendo a segurança alimentar e o desenvolvimento socioeconômico da região. A construção de barragens subterrâneas se apresenta como uma solução promissora para mitigar os efeitos da seca, contudo, a falta de ferramentas adequadas para a identificação de áreas adequadas e sua gestão representa um desafio significativo. Neste sentido, para atender a uma demanda das famílias e técnicos do Semiárido brasileiro, está sendo executado, pela Embrapa Solos UEP Recife e parceiros, o projeto GuardeÁgua que tem como uma de suas propostas desenvolver um aplicativo móvel para apoiar técnicos/as e agricultores/as na identificação de ambientes adequados para a construção de barragens subterrâneas. Este artigo teve como objetivo contribuir para a fase de prototipagem do aplicativo GuardeÁgua, definindo a estrutura, o fluxo de usuários e os detalhes de navegação. O processo de criação e validação dos protótipos não apenas permitiu a visualização antecipada da interface e funcionalidades do aplicativo, mas também assegurou que o design final atendesse às necessidades e expectativas dos usuários. A fase de prototipagem não foi apenas uma etapa preparatória, mas um componente essencial para o desenvolvimento de um aplicativo que contribuirá na eficiência da identificação de áreas aptas à construção de barragens subterrâneas, mas também fortalecerá programas de políticas públicas voltados à construção de tecnologias sociais hídricas, promovendo autonomia e qualidade de vida para os agricultores e agricultoras da região.

Palavras-Chave: aplicativo móvel, semiárido, tecnologia social hídrica.

Introdução

A escassez de água é um desafio crítico em regiões semiáridas, impactando significativamente a sustentabilidade agrícola e a qualidade de vida das comunidades locais. No Semiárido brasileiro, tem-se amenizado os impactos da escassez das chuvas com o uso de tecnologias sociais, que muito tem contribuído para a melhor convivência das famílias agricultoras com as intempéries climáticas da região.

Atualmente, existe um conjunto de tecnologias sociais de captação de água de chuva que vem sendo utilizado em todo o Semiárido brasileiro por programas de políticas públicas (Silva et al., 2021). Essas tecnologias promovem o uso eficiente da água, a manutenção da sua quantidade e qualidade, possibilitando o acesso regular e permanente a alimentos, e garantindo a nutrição e a saúde das famílias agricultoras da região.

A barragem subterrânea é uma das tecnologias sociais que muito tem contribuído para o melhor convívio das famílias com o Semiárido, por proporcionar o acesso à água para usos múltiplos, diminuindo os riscos da agricultura dependente de chuva (Melo et al., 2019). No entanto, alguns desafios têm-se enfrentado, principalmente, no que diz respeito à seleção do local adequado para implantação da referida tecnologia, e ao uso e manejo da água, do solo e de cultivos em suas áreas de plantio.

Neste sentido, para atender a uma demanda das famílias e técnicos do Semiárido brasileiro, no que diz respeito à definição de áreas potenciais para a construção de barragens subterrâneas, está sendo executado, pela Embrapa Solos UEP Recife e parceiros, o projeto GuardeÁgua que tem

como uma de suas propostas desenvolver um aplicativo móvel que funcione como uma ferramenta digital inovadora para apoiar técnicos/as e agricultores/as na identificação de ambientes adequados para a construção de barragens subterrâneas e na recomendação de práticas de manejo do solo, da água e dos cultivos.

O aplicativo visa preencher uma lacuna crítica, oferecendo uma interface intuitiva para facilitar a coleta e interpretação de dados no campo, promovendo assim uma gestão hídrica mais informada e sustentável.

A implementação do aplicativo GuardeÁgua permitirá uma transformação significativa na gestão hídrica dessas regiões, ao fornecer ferramentas práticas e adaptadas às necessidades locais.

E para tal, é necessário o desenvolvimento de um protótipo que mostre a ideia de que o aplicativo constitui uma ferramenta eficaz para a gestão hídrica no Semiárido brasileiro.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver a fase de prototipagem do aplicativo GuardeÁgua, destacando a definição da estrutura, o fluxo de usuários e os detalhes de navegação, visando garantir uma solução prática e eficaz que atenda às necessidades dos usuários, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento final do aplicativo.

Material e Métodos

A prototipagem do aplicativo GuardeÁgua foi desenvolvida obedecendo duas etapas:

1. Desenvolvimento da Prototipagem do Aplicativo GuardeÁgua

Plataformas e Ferramentas

Ferramentas de Design: a prototipagem do aplicativo GuardeÁgua foi realizada usando o Figma para criar mockups interativos e protótipos de alta fidelidade. Figma foi escolhido devido à sua capacidade de criar protótipos interativos e colaborar em tempo real com a equipe (Figura 1).

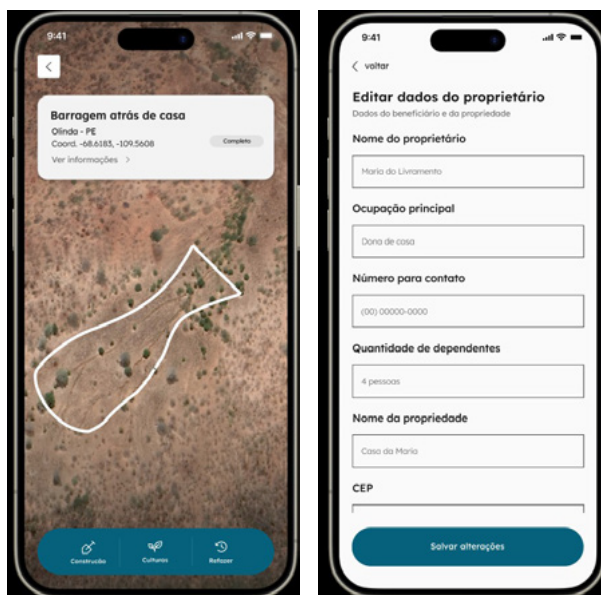


Figura 1. Exemplo de interface do aplicativo GuardeÁgua no figma exibindo o formulário de dados do proprietário e mostrando o mapa com o desenho da barragem subterrânea.

Frameworks de Design: para garantir a consistência visual, foram seguidos os princípios do Material Design, adaptando-os ao contexto do aplicativo para uma interface intuitiva e coerente.

Processo de Design

Pesquisa: foram conduzidas entrevistas via meet e pesquisas com usuários potenciais (técnicos/as e agricultores/as) para entender suas necessidades e preferências. Essa pesquisa ajudou a definir os requisitos e as expectativas para a interface e a experiência do usuário. A metodologia de prototipagem é crucial para envolver os usuários no processo de design, assegurando que o desenvolvimento do aplicativo atenda às suas necessidades reais (ALCOFORADO et al., 2015).

Criação de Wireframes e Mockups: inicialmente, foram criados wireframes utilizando o método Crazy Eights para estruturar a disposição dos elementos e o fluxo de navegação. Esse método de brainstorming rápido e eficaz ajudou a gerar várias ideias de design para o aplicativo. A prototipagem é fundamental no desenvolvimento de soluções tecnológicas, pois permite ajustes com base no feedback dos usuários, garantindo a eficácia da solução final (THEIS et al., 2021). A (Figura 2) ilustra essa dinâmica de brainstorming, destacando a criação e discussão das ideias de interface. Esses wireframes evoluíram para mockups detalhados, que representavam a aparência final do aplicativo.

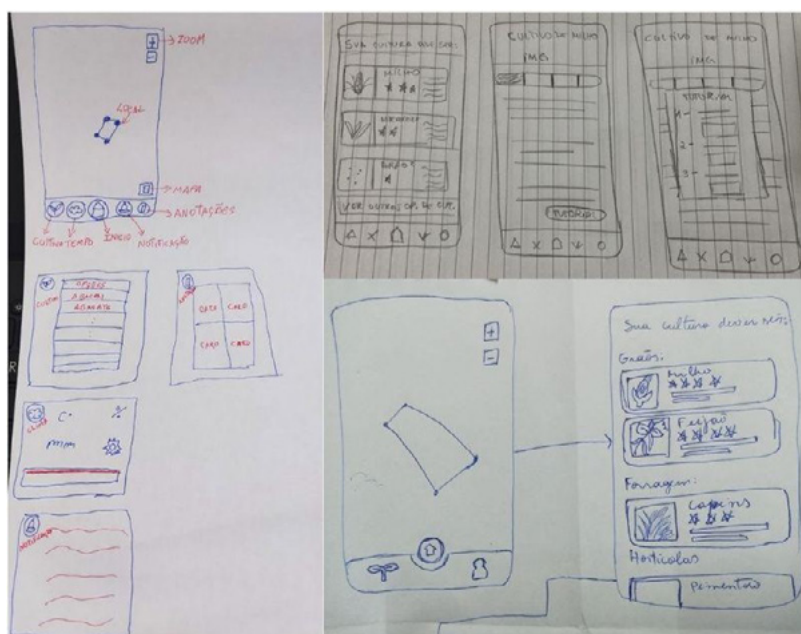


Figura 2. Dinâmica de brainstorming realizada com a equipe utilizando o método Crazy Eights..

Protótipos Interativos: baseados nos mockups, foram desenvolvidos protótipos interativos que simularam a navegação e as funcionalidades do aplicativo. Esses protótipos foram usados para testar o fluxo de usuários e validar o design com os stakeholders.

Design UX/UI

Estrutura e Navegação: A estrutura do aplicativo foi definida para proporcionar uma navegação fluida e intuitiva. Foram criados fluxos de usuário detalhados para mapear as principais jornadas dentro do aplicativo, como a identificação de locais para barragens e a recomendação de práticas agrícolas.

Detalhes de Navegação: Foram planejados e implementados os elementos de navegação, como menus, botões e transições entre telas, para garantir uma experiência de usuário coerente e eficiente.

2. Coleta e Organização de Dados Fontes de Dados:

Documentação do Design: toda a documentação referente aos wireframes, mockups e protótipos foi organizada e preparada para a transição para a fase de desenvolvimento. Essa documentação inclui especificações detalhadas de design e fluxos de usuário.

Preparação para Implementação: os protótipos finalizados e a documentação servem como base sólida para o desenvolvimento do aplicativo, garantindo que a implementação final siga a visão e os requisitos definidos durante a prototipagem.

Resultados e Discussão

A fase de prototipagem do aplicativo *GuardeÁgua* foi um componente essencial do processo de desenvolvimento, permitindo a visualização e a validação das ideias antes da implementação final. Durante essa etapa, foram criados wireframes, mockups e protótipos interativos que não apenas representaram a interface planejada, mas também permitiram a interação contínua com base no feedback dos usuários. Esses protótipos foram fundamentais para definir a estrutura, o fluxo de navegação e os detalhes da interface, garantindo que o aplicativo atendesse de forma eficaz às necessidades e expectativas dos técnicos e agricultores.

Os mockups e protótipos interativos possibilitaram uma compreensão mais clara de como o aplicativo seria utilizado na prática, permitindo ajustes e refinamentos antes do desenvolvimento final. A validação desses protótipos com usuários reais destacou áreas de melhoria e confirmou que a estrutura e a navegação propostas eram intuitivas e eficazes. Esse processo de interação foi crucial para identificar e resolver potenciais problemas de usabilidade, garantindo que a experiência do usuário fosse otimizada.

A prototipagem também desempenhou um papel significativo na definição das funcionalidades e no alinhamento com os objetivos do projeto. A criação dos fluxos de usuário detalhados e dos elementos de navegação ajudou a garantir que o aplicativo não só atendesse aos requisitos funcionais, mas também proporcionasse uma experiência de usuário coerente e satisfatória. A documentação gerada durante essa fase servirá como uma base sólida para o desenvolvimento final, assegurando que a visão inicial seja mantida e aprimorada.

A prototipagem revelou-se uma etapa crucial para validar conceitos e fluxos de navegação, permitindo ajustes antes da implementação completa. Esse processo foi vital para alinhar a solução tecnológica com os requisitos do projeto e para garantir que o aplicativo *GuardeÁgua* seja uma ferramenta eficaz para a gestão hídrica no Semiárido brasileiro. A fase de prototipagem não foi apenas uma etapa preparatória, mas um componente essencial para o desenvolvimento de um aplicativo que promete transformar a gestão de recursos hídricos e promover práticas agrícolas sustentáveis.

Através da elaboração de wireframes, mockups e protótipos interativos, conseguimos identificar e resolver potenciais problemas de usabilidade, garantindo uma navegação intuitiva e uma experiência do usuário otimizada.

Conclusões

O processo de criação e validação dos protótipos não apenas permitiu a visualização antecipada da interface e funcionalidades do aplicativo, mas também assegurou que o design final atendesse às necessidades e expectativas dos usuários.

O sucesso desta fase reflete a importância de investir tempo e recursos na prototipagem para desenvolver soluções tecnológicas que verdadeiramente atendam às necessidades dos usuários e objetivos do projeto. Com uma base sólida estabelecida, a próxima etapa de desenvolvimento poderá avançar com maior segurança, aumentando a probabilidade de um produto final que atenda eficazmente aos desafios enfrentados pelas comunidades no Semiárido brasileiro.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão da bolsa. À EmbrapaSolos UEP Recife, pela oportunidade de desenvolver importante trabalho. A toda equipe envolvida, pela colaboração e momentos significativos de discussão, ideias e debates.

Referências

ALCOFORADO, Manoel Guedes et al. **Metodologia centrada nos protótipos: um caminho para inclusão de usuários no processo de design**. Blucher Design Proceedings, v. 2, n. 1, p. 878-893, 2015.

PARAHYBA, R. da B. V. **Barragem subterrânea: acesso e usos múltiplos da água no Semiárido brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. 45 p.

SILVA, M. S. L. da; RIBEIRO, C. A.; FERREIRA, G. B.; SILVA, J. S. da; BARBOSA, A. G. **Barragem subterrânea: sustentabilidade socioecológica e econômica de agroecossistemas do Semiárido do Nordeste brasileiro**. In: MOURA, F. de B. P.; SILVA, J. V. (org.). Restauração na Caatinga. 2. ed. rev. e ampl. Maceió: Edufal, 2021. cap. 13, p. 201-218.

SILVA, M. S. L. da; LIMA, A. de O.; MOREIRA, M. M.; FERREIRA, G. B.; BARBOSA, A. G.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de. Barragem subterrânea. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L. da; BRITO, L. T. de L. (Ed). **Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. p. 223-281.

THEIS, Mara Rubia et al. **A importância da prototipagem no processo de design e suas relações como mídia do conhecimento**. In: Anais do Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação—ciki. 2021.

FLUXO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS PARA IDENTIFICAÇÃO DO IMPACTO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS⁽¹⁾

Daniel Marques de Abreu⁽²⁾; Ana Paula Dias Turetta⁽³⁾;

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos de CNPq: 441595/2020-0 /SEG: 10.21.00.067.00.00. ⁽²⁾ Geógrafo, graduando, bolsista na Embrapa Solos, Rio de Janeiro. ⁽³⁾ Geógrafa, Doutora em Ciência do Solo, Pesquisadora A na Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

Resumo – Em um cenário de crescente frequência e impacto dos eventos climáticos extremos, a insegurança alimentar se destaca como um problema global agravado por diversos fatores, sendo a mudança climática um dos mais significativos. Os Serviços Ecosistêmicos (SE) desempenham um papel fundamental na mitigação desses impactos, especialmente na garantia e manutenção da segurança alimentar. Este estudo, ainda em andamento, identifica e analisa os fluxos de SE nos municípios de Nova Friburgo, Petrópolis e Teresópolis, que fazem parte da Região Serrana do Rio de Janeiro. Para alcançar os objetivos propostos, foram estabelecidos três compartimentos de análise: a interação entre hidrografia, uso e cobertura da terra, e tipo de solo; a relação entre segurança alimentar e polinização; e a conexão entre uso e cobertura da terra e áreas protegidas. A análise desses fluxos oferece diretrizes estratégicas para a implementação de ações em escala inter-regionais que reduzam os impactos dos eventos climáticos extremos na produção de alimentos, fortalecendo a resiliência e sustentabilidade das comunidades locais. A identificação e quantificação dos fluxos de SE são cruciais para promover o desenvolvimento sustentável, em conformidade com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente no que tange à segurança alimentar e à adaptação às mudanças climáticas.

Palavras-Chave Serviços Ecosistêmicos; Segurança alimentar; Eventos climáticos extremos; Desenvolvimento sustentável; Região Serrana do Rio de Janeiro.

Introdução

Analisar o passado permite entender que eventos climáticos extremos são intrínsecos à história da humanidade e das primeiras civilizações (Dias, 2014). Embora tais eventos ocorressem sem influência antropogênica, há evidências de que a frequência desses eventos tem aumentado, sugerindo intensificação pela ação humana (IPCC, 2022).

Esses eventos climáticos extremos podem ter impactos sociais, ambientais e econômicos significativos, especialmente em áreas de risco, onde a combinação de características geológicas, geomorfológicas, climáticas e atividades humanas resulta em maior vulnerabilidade a desastres e danos humanos (Silva et al., 2012).

Nesse sentido, a produção de alimentos também pode ser severamente afetada pelos impactos dos eventos climáticos extremos. Nos últimos 10 anos, com o aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos, houve o enfraquecimento da segurança alimentar ao redor do mundo (FAO, 2024). A vulnerabilidade às mudanças climáticas representa um dos principais perigos para os sistemas agropecuários, que dependem de fatores climáticos para a sua produção e manutenção (Monteiro, 2007). Nesse sentido, a segurança alimentar enfrenta um grande desafio, ao se deparar com obstáculos que põem em risco a disponibilidade e a qualidade dos alimentos (Amaral et al., 2011).

No Brasil, as ameaças à segurança alimentar não são diferentes. Apesar dos avanços na área, a produção agrícola ainda enfrenta uma extrema vulnerabilidade frente aos danos causados por eventos climáticos extremos, gerando complicações para o acesso de alimentos no país (Carvalho et al., 2020). Dessa forma, é importante pensar em alternativas para a adaptação dos sistemas de produção aos impactos das mudanças climáticas, tornando-se mais resilientes de forma a assegurar as quatro dimensões da segurança alimentar, que incluem não só a produção de alimentos, mas

também a estabilidade da produção ao longo do tempo, o acesso a alimentos e a sua qualidade nutricional.

Os serviços ecossistêmicos (SE) provenientes do ambiente emergem como potenciais formas de adaptar a produção alimentar aos impactos causados pelos eventos climáticos extremos. Identificar e quantificar esses serviços é de grande benefício no contexto da segurança alimentar. Esse seria um passo crucial para desenvolver uma gestão de produção de alimentos resilientes em paisagens rurais, mesmo diante das ameaças à disponibilidade de alimentos causadas por eventos climáticos extremos.

A Região Serrana do estado do Rio de Janeiro destaca-se como um local estratégico para estudos que explorem essa abordagem. Essa região é crucial na cadeia de abastecimento de alimentos, tanto regional quanto estadual, mas também é vulnerável aos eventos climáticos extremos devido à significativa parcela da população residente em áreas de risco. Essa vulnerabilidade tem sido evidenciada por desastres recentes, como os ocorridos em 2011 e 2022. Entre os 16 municípios que compõem a Região Serrana, Nova Friburgo, Petrópolis e Teresópolis foram selecionados para análise, devido à concentração populacional e à diversidade de atividades, tornando-os representativos para o estudo proposto.

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo principal identificar e, se possível, quantificar o fluxo de serviços ecossistêmicos relacionados à produção de alimentos nos municípios selecionados da Região Serrana (RJ), além de avaliar o impacto dos eventos climáticos extremos sobre esses fluxos.

Material e Métodos

Primeiramente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre serviços ecossistêmicos, fluxo de serviços ecossistêmicos e eventos climáticos extremos. Este processo possibilitou uma melhor compreensão das dinâmicas e relações entre eles, assim, favorecendo as análises realizadas posteriormente. Nesse sentido, com base na análise bibliográfica relacionada aos objetivos do estudo, foram selecionados indicadores ambientais para a avaliação dos serviços ecossistêmicos (Maes et al., 2016). Para o desenvolvimento deste estudo, está sendo trabalhado o conceito de fluxos ecossistêmicos biofísicos passivos, que consideram tanto a provisão de fluxos benéficos (como água doce), quanto a prevenção de fluxos prejudiciais (como inundações) em distância (Koellner et al., 2019). Dessa forma, foi proposto a formulação de compartimentos de indicadores e serviços ecossistêmicos para diferentes aspectos do escopo da análise. Os compartimentos foram divididos em três aspectos: a interação entre hidrografia, uso e cobertura da terra e tipo de solo; a relação entre segurança alimentar e polinização; e a relação entre uso e cobertura da terra e áreas protegidas. Esses compartimentos foram selecionados com base na disponibilidade de dados nas fontes utilizadas que incluíram diversas plataformas como da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), o GeoInfo (Embrapa), o MapBiomas, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o IBGE, além de contribuições de autores como Pedro Bérnago et al. (2021), que disponibilizaram dados sobre polinização no Estado do Rio de Janeiro.

Dadas as dependências inerentes entre sistemas sociais e ecológicos, as redes socioecológicas (SER) foram recentemente propostas como uma abordagem para conceituar e gerenciar serviços ecossistêmicos e complementam as abordagens focadas em mapeamento espacial considerando explicitamente interações, dependências e feedbacks entre os SE e seus componentes sociais e ecológicos (Bodin et al., 2017; Sayles et al., 2019). Por isso, a análise em ambiente SIG, utilizando os softwares QGIS e ArcGIS, foi crucial para avaliar os fluxos de serviços ecossistêmicos em uma escala inter-regional. O mapeamento desses serviços ecossistêmicos nos permite identificar e quantificar as regiões com maior demanda e oferta dos serviços, permitindo maior eficiência na proposição de políticas (Brown; Fagerholm, 2015) e também na ampliação do entendimento da importância dos fluxos.

É importante ressaltar que, devido à escala disponível dos dados e ao recorte regional adotado neste estudo, a escala selecionada foi de 1:250.000. É interessante pontuar a relevância da

disponibilidade de dados multiescalares, que foram muito úteis para a construção do trabalho. A metodologia está sintetizada na figura 1.

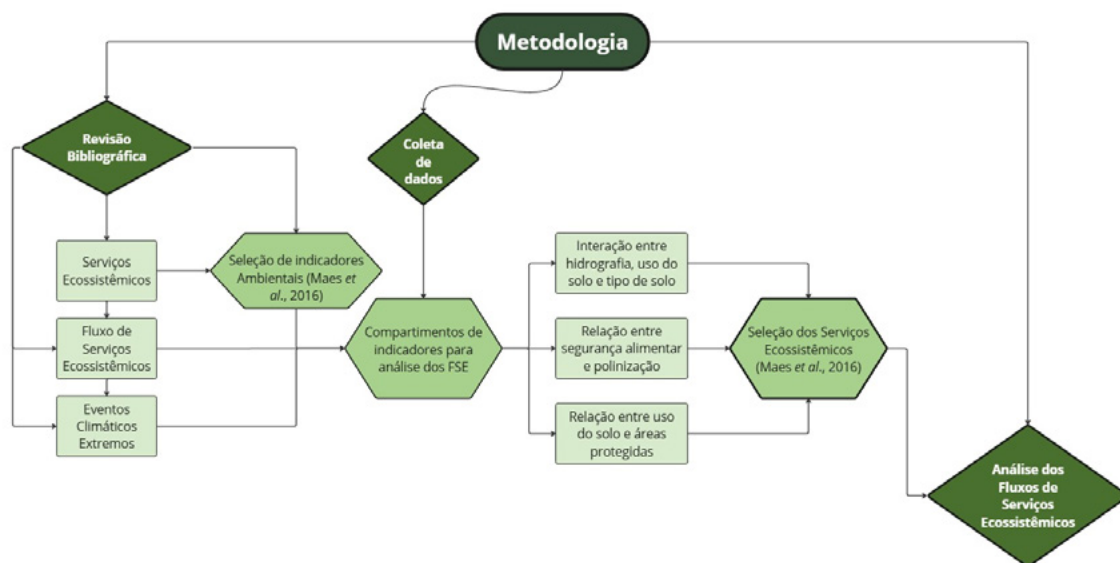


Figura 1. Fluxograma da metodologia elaborada para esta pesquisa.

Discussão

Os SE são os produtos das interações e processos ecológicos que ocorrem nas paisagens, os quais mantêm funções essenciais dos ecossistemas para a sobrevivência das espécies. Estes serviços se manifestam em benefícios que atendem tanto às necessidades diretas quanto indiretas do bem-estar humano (MEA, 2005; Potschin; Haines-Young, 2011). Porém, os SE se relacionam uns com os outros, gerando fluxos em diferentes áreas. Esses fluxos de serviços ecossistêmicos distribuídos desigualmente no espaço produz uma relação entre áreas provedoras de serviço, com uma alta oferta, e áreas beneficiadas (que recebem) por serviços, com uma alta demanda (Bagstad et al., 2013).

Os fluxos inter-regionais de SE surgem como uma consequência das conexões físicas, políticas, comerciais e das decisões de gestão de recursos em uma determinada região geográfica, podendo gerar impactos significativos nos ecossistemas e na biodiversidade em outras localidades (Kissinger et al., 2011; Moser; Hart, 2015). Medir e compreender as dinâmicas dos fluxos de SE se mostram bastante relevantes. Estas ações podem revelar diferenças multifacetadas ou também revelar desencontros entre regiões de oferta e demanda de SE (Serna- Chavez et al., 2014; Felipe-Lucia et al., 2015; Vergara et al., 2021). Assim, considerar a interação entre regiões provedoras e receptoras de SE permite elaborar abordagens sob perspectivas inter-regionais, fundamentais especialmente quando se considera a necessidade de se promover paisagens mais resilientes ao impacto de eventos climáticos extremos. Schröter et al. (2018) destaca os benefícios associados à esta abordagem, permitindo identificar dependências à determinados serviços, o que pode colaborar como uma gestão sustentável e eficaz de serviços ecossistêmicos.

Resultados

Os resultados parciais obtidos indicaram algumas regiões com maiores demandas e outras com maiores ofertas de SE, indicando uma variação de fluxos dentro da área de estudo.

Para o primeiro compartimento (hidrografia, uso e cobertura da terra e tipo de solo) observa-se um déficit na disponibilidade hídrica em nascentes situadas em áreas de pastagem. À medida que os fluxos hídricos avançam em direção ao canal principal, observa-se um aumento na disponibilidade de água (Figuras 2 e 3). A identificação de áreas, por meio do recorte de bacias hidrográficas, com maiores demandas hídricas e áreas com maior disponibilidade, associadas ao uso e cobertura do solo, permite uma compreensão mais abrangente desses padrões.

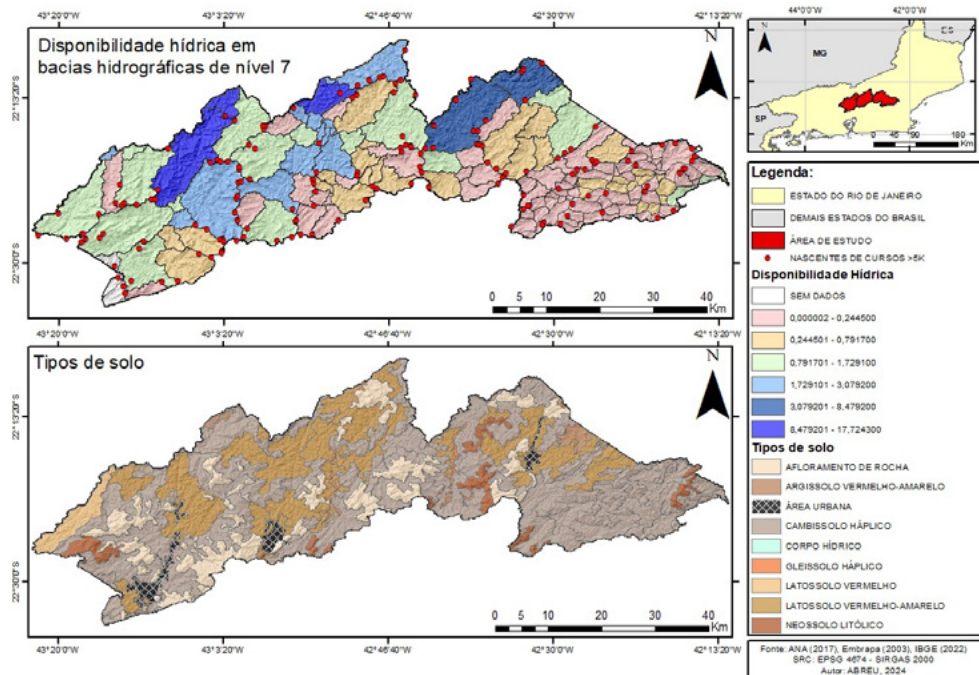


Figura 2. Mapa mostrando a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas de nível 7 (acima) e os tipos de solo (abaixo). Fonte: autoria própria.

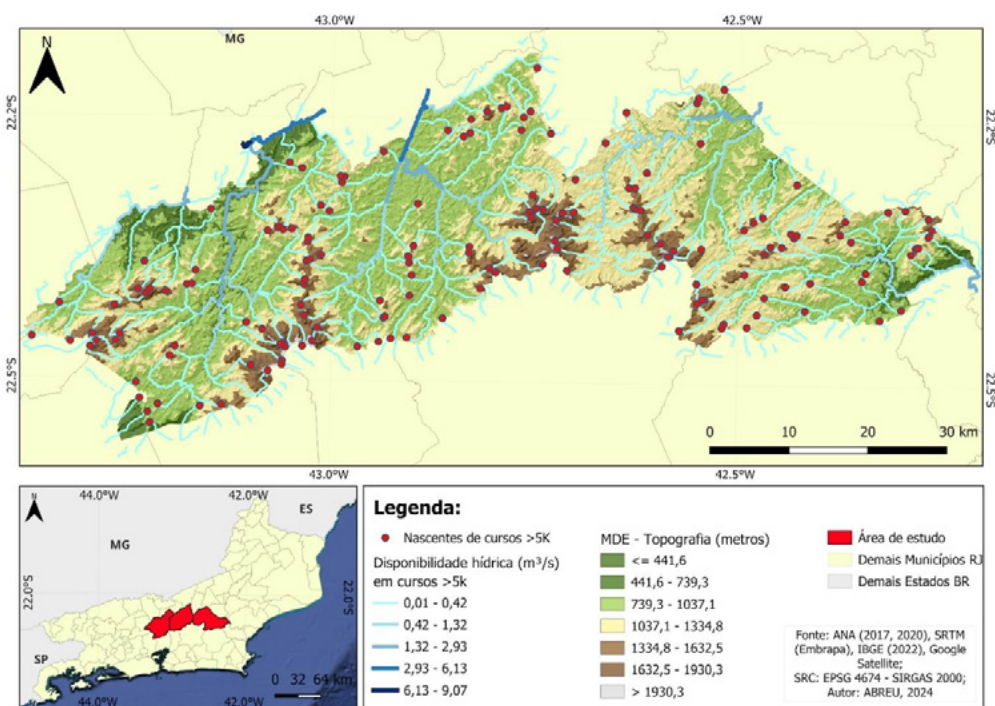


Figura 3. Mapa mostrando a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas de nível 7. Fonte: autoria própria.

Além disso, com base na figura 4, que mostra o mapeamento do uso e cobertura da terra e também o risco de inundação, é possível determinar quais usos do solo estão mais associados à ocorrência de inundações. Constatou-se, a partir do gráfico apresentado na figura 5, que 38% das áreas de risco na região de estudo estão relacionadas à classe “Mosaico de Usos”, que, de acordo com a classificação do MapBiomas, abrange áreas de uso agropecuário onde não é possível distinguir entre pastagem e agricultura. As áreas urbanas correspondem a 27% das áreas de risco de inundação, enquanto as áreas de pastagem representam 21%.

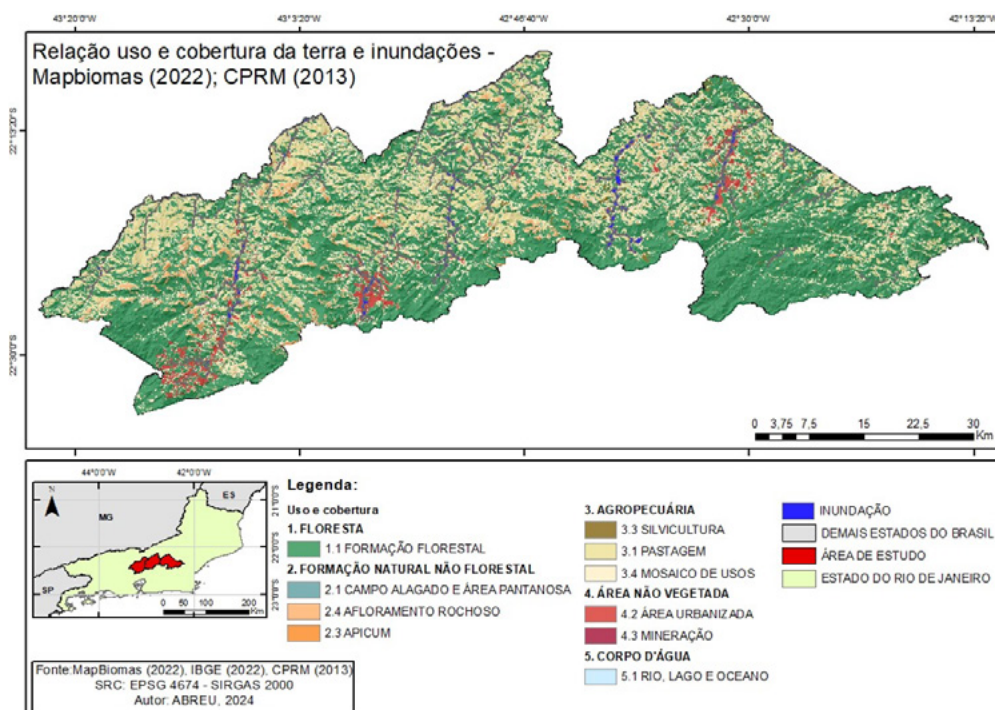


Figura 4. Mapa mostrando a relação entre o uso e cobertura da terra e o risco de inundações. Fonte: autoria própria.

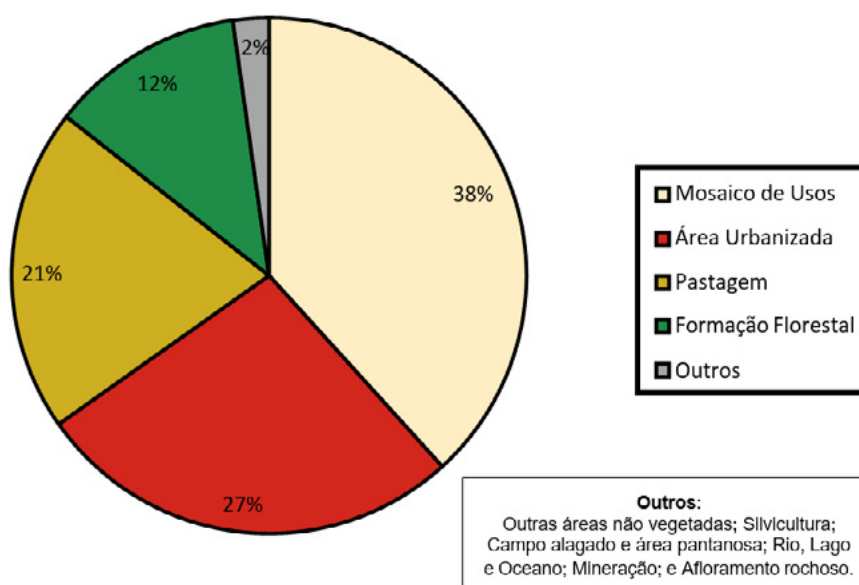


Figura 5. Gráfico relacionando o tamanho das áreas (km²) com risco de inundações para cada classe do MapBiomas. Fonte: MapBiomas (2022); CPRM (2013).

O segundo compartimento estudado trata da relação entre a segurança alimentar e a polinização. A polinização é um SE capaz de demonstrar a relação entre a conservação da biodiversidade e a produção agrícola (Bérgamo et al., 2021). Além disso, a polinização também é capaz de aumentar a produtividade das culturas dependentes. Dessa forma, ela se mostra um SE essencial ao se considerar a sustentabilidade de produção de alimentos. No entanto, apesar de sua importância, Bérgamo et al. (2021) destaca que ainda são necessários maiores esforços para aproveitar todos os benefícios que a polinização pode disponibilizar.

Nesse sentido, observa-se que algumas culturas importantes para os municípios apresentam alta dependência da polinização, com o que é o caso do caqui e goiaba em Nova Friburgo (tabelas 1 e 4) e a tangerina em Petrópolis e Teresópolis (tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 1. Rendimento médio da produção (kg/ha) em Nova Friburgo (SIDRA/IBGE)

Produtos ⁽¹⁾	2007	2011	2017	2021
Banana-cacho	12.000	12.000	13.396	13.398
Batata-doce	17.000	17.000	20.000	18.667
Batata-inglesa	10.000	10.000	10.000	-
Caqui	32.000	32.000	32.000	28,889
Feijão-grãos	892	895	1.000	1.000
Goiaba	31.000	31.000	31.000	31.000
Limão	6.000	15.000	10.000	-
Mandioca	13.000	13.000	18.636	19.273
Tangerina	18.000	18.000	-	18.333
Tomate	45.000	45.000	53.600	42.000

⁽¹⁾ Principais produtos de lavouras temporárias e permanentes.

Tabela 2. Rendimento médio da produção (kg/ha) em Petrópolis (SIDRA/IBGE)

Produtos ⁽¹⁾	2007	2011	2017	2021
Banana-cacho	9.000	20.000	11.125	11.526
Batata-doce	-	-	-	-
Batata-inglesa	-	20.000	20.500	-
Caqui	-	-	-	-
Feijão-grãos	1.000	1.000	-	-
Goiaba	-	-	-	-
Limão	18.000	18.000	-	11.000
Mandioca	13.000	13.000	18.636	19.273
Tangerina	18.000	18.000	-	18.333
Tomate	45.000	45.000	53.600	42.000

⁽¹⁾ Principais produtos de lavouras temporárias e permanentes.

Tabela 3. Rendimento médio da produção (kg/ha) em Teresópolis (SIDRA/IBGE)

Produtos ⁽¹⁾	2007	2011	2017	2021
Banana-cacho	5.833	7.000	-	-
Batata-doce	18.000	18.000	-	-
Batata-inglesa	-	-	-	-
Caqui	-	-	-	-
Feijão-grãos	900	1.000	-	-
Goiaba	-	-	-	-
Limão	-	-	-	-
Mandioca	20.000	24.000	9.400	-
Tangerina	20.000	20.000	30.444	20.000
Tomate	62.064	80.000	77.368	70.000

⁽¹⁾ Principais produtos de lavouras temporárias e permanentes.

Tabela 4. Grau de dependência da polinização das principais culturas da região (Bérgamo et al, 2021; BPBES, 2019)

Culturas	Grau de dependência	Classe
Banana-cacho	-	No increase
Batata-doce	-	No increase
Batata-inglesa	-	No increase
Caqui	0,65	Great
Feijão-grãos	0,25	Modest
Goiaba	0,65	Great
Limão	0,05	Little
Mandioca	-	No increase
Tangerina	0,65	Great
Tomate	0,65	Great
Abobrinha	0,95	Essential
Chuchu	0,96	Essential

O terceiro compartimento (relação entre uso e cobertura da terra e áreas protegidas) permite indicar áreas mais conservadas a partir da sobreposição dos limites da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e das Unidades de Conservação (UCs) existentes (figura 6). O bioma Mata Atlântica, onde está localizada a área de estudo, abriga 27% das terras agropecuárias e fornece serviços ecossistêmicos para 70% da população brasileira, principalmente nas grandes concentrações urbanas do país (Pinto et al, 2022). Por isso, é um bioma essencial para garantir a segurança alimentar de qualidade no Brasil. Para além disso, representa também uma ampla área de fornecimento de serviços ecossistêmicos, que deve ser preservada tendo em vista sua relevância na mitigação dos impactos causados por eventos climáticos extremos, bem impactante neste bioma. Nesse sentido, é possível compreender a importância da limitação da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA). De acordo com a Associação Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (2018), é dividida em: Zonas Núcleo, que correspondem as áreas legalmente protegidas onde a principal função é a proteção da biodiversidade; Zonas de Amortecimento, caracterizadas por áreas responsáveis pela minimização do impacto sobre as Zonas Núcleo; e Zonas de Transição que correspondem as áreas de monitoramento onde predominam usos e ocupações mais intensivos. Esta caracterização auxilia na preservação de fragmentos ambientais mais conservados, principalmente os localizados dentro de Zonas Núcleo, propiciando a continuidade do fornecimento de SE por estas áreas.

Dentro da área em estudo, as UCs ocupam cerca de 40% da área total. Unidades de Conservação têm como objetivo prioritário a conservação da natureza. Nesse sentido, pensar em UCs como instrumentos para preservação de SE pode ser considerada uma estratégia para influenciar na manutenção do microclima local, regulação hídrica, estabilidade de encostas, proteção do solo entre outros. Além disso, o uso de UCs para aumentar a resiliência de paisagens é uma abordagem interessante de se adotar. Essas áreas desempenham um papel crucial na preservação de áreas-fonte de serviços ecossistêmicos (SE), como a estabilização do solo, a manutenção da biodiversidade e a provisão de recursos hídricos. As UCs podem beneficiar a implementação de paisagens mais resilientes, por suas condições mais adequadas de biodiversidade e habitats e conservação (áreas menos degradadas e menos fragmentadas) (Tambosi, 2014). Portanto, as UCs não só contribuem para a sustentabilidade ambiental, mas também funcionam como barreiras para frear a expansão urbana (Tofeti; Campos, 2019), equilibrando as demandas de desenvolvimento com a necessidade de conservação ambiental.

A Figura 6 apresenta o mapa de detecção de mudança de vulnerabilidade à erosão hídrica. As classes de vulnerabilidade apresentadas no mapa, que variam de -5 (indicando um aumento na vulnerabilidade entre 1986 e 2019) até 5 (indicando uma redução na vulnerabilidade no mesmo período).

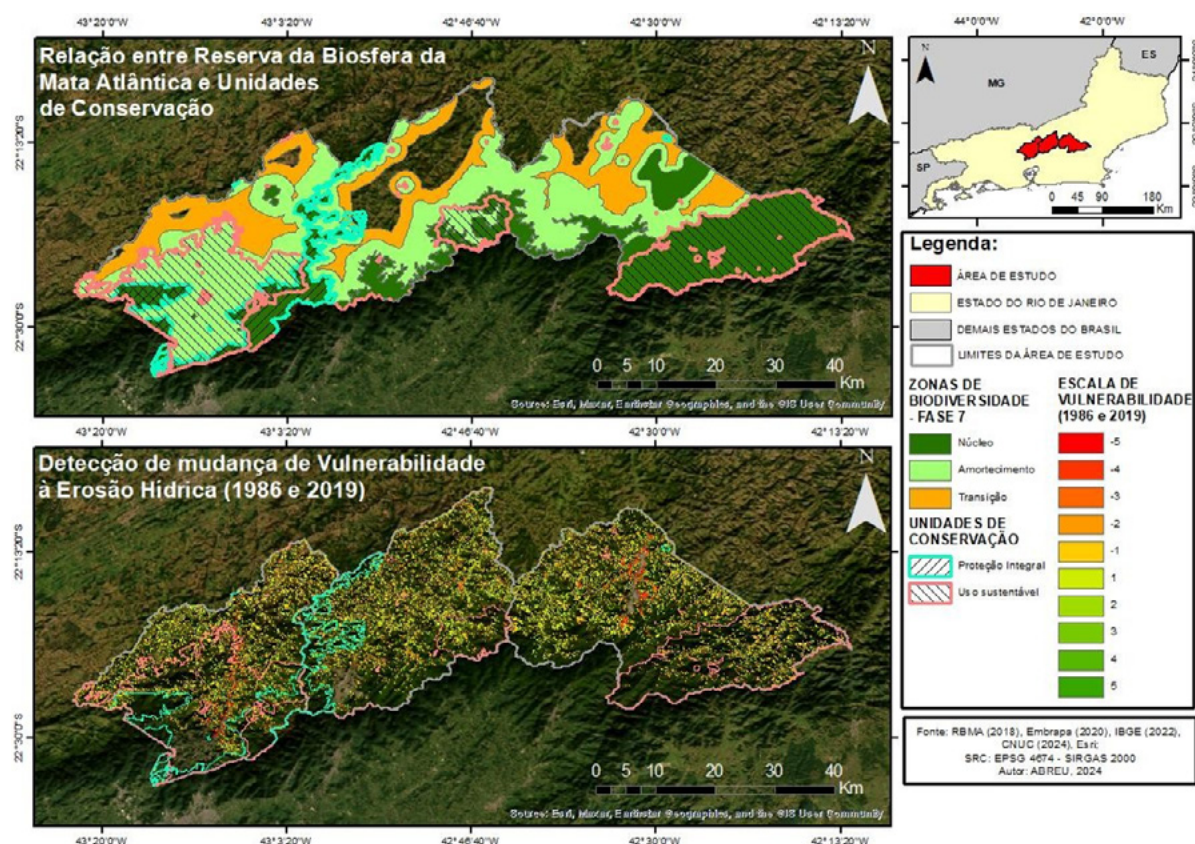


Figura 6. Mapa mostrando a relação entre a RBMA e Unidades de Conservação (acima) e a detecção de mudança de vulnerabilidade à erosão hídrica entre 1986 e 2019, sendo que as classes mais próximas do -5 se tornaram mais vulneráveis e as mais próximas do 5 se tornaram menos vulneráveis. Fonte: autoria própria.

O mapa permite identificar as regiões que mais sofreram mudanças, sejam elas negativas ou positivas. Durante esse intervalo de tempo, observa-se que grandes áreas dentro das UCs não foram reclassificadas, ou seja, mantiveram seu índice de vulnerabilidade inalterado. Isso reflete o esforço, especialmente das UCs de proteção integral, em preservar a integridade ambiental dessas áreas. Em contrapartida, nota-se um aumento nas áreas que se tornaram mais vulneráveis próximas aos centros urbanos, consequência da expansão populacional para outras localidades, muitas vezes associadas a áreas de risco.

Conclusões

Pode-se concluir que os Serviços Ecossistêmicos (SE) são fundamentais para enfrentar a insegurança alimentar e mitigar os impactos das mudanças climáticas. De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2014), tendências indicam que a intensificação e a frequência dos eventos climáticos extremos estão se agravando, tornando urgente a implementação de ações baseadas na conservação da natureza e nos SE.

Este trabalho teve como objetivo identificar, a partir da disponibilidade de dados, fluxos de SE que possam contribuir para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas e promover paisagens mais resilientes. A continuidade desta pesquisa é essencial para a valoração dos SE e para a formulação de estratégias que incentivem sua conservação e uso sustentável, garantindo, assim, a resiliência das comunidades e a segurança alimentar diante das mudanças climáticas.

Nesse sentido, é importante enfatizar que este estudo ainda se encontra em andamento. A continuidade das análises dos fluxos de SE é necessária para aprofundar as relações inter-regionais entre áreas com maiores demandas e maiores ofertas desses serviços. Por fim, além dos benefícios diretos propiciados pela segurança alimentar, compreender os Fluxos de serviços ecossistêmicos é fundamental para promover o desenvolvimento sustentável, alinhado com as metas e diretrizes dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Nesse sentido, é possível pensar em outros objetivos que podem ser beneficiados por outras pesquisas semelhantes, como por exemplo: “Ação contra a mudança global do clima” (13) e “Vida Terrestre” (15).

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à Embrapa Solos pela disponibilização da infraestrutura necessária para a realização deste trabalho. Agradeço também ao CNPq pelo suporte financeiro fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. Estendo minha gratidão ao Núcleo de Geomática (Ngeo) da Embrapa Solos pelo auxílio técnico e parceria indispensável. Por fim, meu especial agradecimento à Dra. Ana Paula Turetta pela valiosa orientação e constante apoio ao longo de todo o processo.

Referências

- ASSOCIAÇÃO RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA (RBMA): **Território e Zoneamento**. Disponível em: <https://rbma.org.br/rbma/rbma/territorio-e-zoneamento/>.
- BAGSTAD, K. J.; JOHNSON, G. W.; VOIGT, B.; VILLA, F. Spatial dynamics of ecosystem service flows: A comprehensive approach to quantifying actual services. **Ecosystem Services**, v. 4, p. 117-125, 2013.
- BERGAMO, P. J.; WOLOWSKI, M.; BRITO, V. L. G.; VARASSIN, I. G.; SAZIMA, M. Areas requiring restoration efforts are a complementary opportunity to support the demand for pollination services in Brazil. **Environmental Science & Technology**, v. 55, p. 12043-12053, 2021.
- BODIN, Ö.; ALEXANDER, S. M.; BAGGIO, J. A.; BARNES, M. L.; BERARDO, R.; CUMMING, G. S.; DEE, L. E.; FISCHER, A. P.; INGOLD, K.; MATOUS, P.; MORRISON, T. H.; PITTMAN, J.; SAYLES, J. S.; SCHOON, M.; RATHWELL, K. J. Social-ecological network approaches in interdisciplinary research: A response to Bohan et al. and Dee et al. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 32, p. 547-549, 2017.
- BROWN, G.; FAGERHOLM, N. Empirical PPGIS/PGIS mapping of ecosystem services: A review and evaluation. **Ecosystem Services**, v. 13, p. 119-133, 2015.
- CARVALHO, A. L.; SANTOS, D. V.; MARENGO, J. A.; COUTINHO, S. M. V.; MAIA, S. M. F. Impacts of extreme climate events on Brazilian agricultural production. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, p. 197/3-210, 2020.
- DIAS, M. Eventos Climáticos Extremos. **Revista USP**, v. 33, p. 33-40, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p33-40.
- FELIPE-LUCIA, M. R.; MARTÍN-LÓPEZ, B.; LAVOREL, S.; BERRAQUERO-DÍAZ, L.; ESCALERA-REYES, J.; COMÍN, F. A. Ecosystem services flows: Why stakeholders' power relationships matter. **PLoS ONE**, v. 10, e0132232, 2015.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 – Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Rome: FAO, 2024.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- KISSINGER, M.; REES, W. E.; TIMMER, V. J. Interregional sustainability: Governance and policy in an ecologically interdependent world. **Environmental Science & Policy**, v. 14, n. 8, p. 965-976, 2011.

KOELLNER, T.; SELL, J.; IMBACH, P.; ALMENDAREZ-HERNANDEZ, M. A.; BENNETT, E. M.; BOTTAZZI, P.; CASTILLO, C.; LAPOLA, D. M.; MANDLE, L.; ORDONEZ, J. C. Guidance for assessing interregional ecosystem service flows. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 92-106, 2019.

MAES, J.; EGOH, B.; WILLEMEN, L.; LIQUETE, C.; VIHervaara, P.; SCHÄGNER, J. P.; GRIZZETTI, B.; DRAKOU, E. G.; LA NOTTE, A.; ZULIAN, G.; BOURAoui, F.; PARACCHINI, M. L.; BRAAT, L.; BIDOGLIO, G. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. **Ecosystem Services**, v. 17, p. 14-23, 2016.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005.

MONTEIRO, J. M. G. Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semiárido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 315, 2007.

MOSER, S. C.; HART, J. A. F. The long arm of climate change: Societal teleconnections and the future of climate change impacts studies. **Climatic Change**, v. 129, p. 13-26, 2015.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMCM): Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação às Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E. D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp. 2014.

PINTO, L. F. G.; METZGER, J. P.; SPAROVEK, G. Produção de Alimentos na Mata Atlântica: Desafios para uma agropecuária sustentável, saudável e com neutralização de carbono no bioma que é o maior produtor de alimentos no Brasil. **São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica**, 2022.

POTSCHIN, M. B.; HAINES-YOUNG, R. H. Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. **Progress in Physical Geography**, v. 35, n. 5, p. 575-592, 2011.

SAYLES, J. S.; MANCILLA GARCIA, M.; HAMILTON, M.; ALEXANDER, S. M.; BAGGIO, J.; FISCHER, A. P.; INGOLD, K.; MEREDITH, G. R.; PITTMAN, J.; RATAJCZYK, E.; STEVENSON, T.; SCHOON, M.; VON BERCKEFELDT, M. I. Social-ecological network analysis for sustainability sciences: A systematic review and innovative research agenda for the future. **Environmental Research Letters**, v. 14, 093003, 2019.

SCHRÖTER, M.; ALBERT, C.; MARQUES, A.; TOBON, W.; LAVOREL, S.; MAES, J.; BROWN, C.; KLOTZ, S.; BONN, A.; KUENZER, C. Interregional flows of ecosystem services: Concepts, typology and four case studies. **Ecosystem Services**, v. 31, p. 231-241, 2018.

SERNA-CHAVEZ, H. M.; SCHULP, C. J. E.; VAN BODEGOM, P. M.; BOUTEN, W.; VERBURG, P. H.; DAVIDSON, M. D. A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 39, p. 24-33, 2014.

SILVA, R. F. Vulnerabilidade socioambiental em unidades de conservação e áreas de risco ambiental: Quando os pobres ocupam áreas ambientalmente mais restritivas. O caso do morro do Baú em Santa Catarina e da comunidade do Vidigal no Rio de Janeiro. In: VII Seminário Latino-Americano e III Ibérico de Geografia Física. **Anais do Seminário Latino-Americano de Geografia Física**. Maceió: UFAM, 2012. v. 1.

SILVA, R. L. R. Estratégias de gestão baseadas em ecologia de paisagens para a otimização dos esforços de restauração ambiental: estudo de caso no Pontal do Paranapanema e Zonas de Amortecimento: Ilhabela e Parque Estadual da Serra do Mar. São Paulo, São Paulo, 2014.

SILVA, R. R.; CAMPOS, N. L. O. Unidades de Conservação e o território no Brasil: Estudos de caso em paisagens protegidas. **Geografia em Questão**, v. 3, p. 123-135, 2019.

SPAKE, R.; BELLAMY, C.; SANDBROOK, C.; WILLCOCK, S.; TWYMAN, C.; et al. Delivering interregional ecosystem services and benefits: Learning from the governance context of the tropics. **Environmental Science and Ecological Management**, v. 1, p. 105-125, 2020.

Monitoramento hidrossedimentológico automático em uma microbacia rural inserida no programa de pagamento por Serviços Ambientais ⁽¹⁾

Eduarda Freitas Storace e Silva⁽²⁾; Alexandre Ortega Gonçalves ⁽³⁾; Pedro Gehard ⁽⁴⁾; Maria Lucia Zuccari ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com aporte de recursos da The Nature Conservancy Brasil. ⁽²⁾ Graduanda em Gestão Ambiental, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, DSc., Pesquisador Embrapa Solos/Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna (SP). ⁽⁴⁾ Graduação em Ciências Biológicas, DSc, Pesquisador Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna (SP). ⁽⁵⁾ Bacharelado em Ciências Biológicas, DSc, Pesquisadora Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna (SP).

Resumo – A quantificação de sedimentos em suspensão é essencial no monitoramento e estudos hidrossedimentológico em bacias hidrográficas, e destaca que os resultados refletem indiretamente a ação do homem sobre as terras, por meio das diferentes proporções de uso e cobertura do solo e tipos de manejos aplicados nelas. O trabalho foi desenvolvido em uma microbacia rural no município de Jaguariúna, cujo uso do solo predominante é a pecuária extensiva. Em uma estação hidrossedimentológica foram coletados automaticamente, e na frequência de 5 minutos, dados de chuva, vazão de água e turbidez servirão de subsídio para análise da interferência das práticas de revegetação e proteção de uma nascente objeto de estudo de um projeto liderado pela Embrapa Meio Ambiente (Monitoramento Hidrológico em áreas de restauração florestal e Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no âmbito do Programa Bacias Jaguariúna) bem como para a compreensão da dinâmica da produção/controle de sedimentos na área onde atualmente são realizadas ações de recomposição florestal e proteção de nascentes. Contabilizou-se 1174 mm de chuva no período estudado. 53 eventos de chuva foram classificados como erosivos e estima-se em 10350 kg de sedimentos produzidos.

Palavras-Chave turbidez, vazão, sedimentos.

Introdução

Bacias hidrográficas são áreas delimitadas espacialmente pelos divisores de água, constituídas por uma rede de drenagem interligada, cujo escoamento converge para uma seção comum, denominada foz ou exutório (Mello e Silva, 2013). É considerada um sistema físico, aberto e dinâmico. A entrada ocorre via precipitação pluvial, uma parte da água sai através do exutório carregando sedimentos, nutrientes, outra parte tem sua saída pela evapotranspiração e pela drenagem. Esta dinâmica é influenciada e alterada por atividades antrópicas devido às mudanças de uso e manejo do solo. (Bruijnzeel, 2004). A erosão é o fator antrópico que mais afeta negativamente as bacias hidrográficas (Valentino, 2019).

Uma vez incorporados ao curso d'água, os sedimentos erodidos são denominados de hidrossedimentos que podem ser transportados por suspensão ou arraste de fundo. Quando não há energia suficiente de transporte, são depositados no fundo do corpo d'água, ocorrendo a sedimentação (Mello Neto, 2017).

Dada a problemática hidrossedimentos *versus* qualidade de água, é fundamental a quantificação e qualificação dos sedimentos em suspensão, em bacias hidrográficas, pois reflete nas taxas erosivas causadas pela energia da chuva e do escoamento superficial referente aos diferentes tipos de uso do solo e manejos (Minella et al., 2008).

A presença de cobertura vegetal diminui drasticamente o impacto das gotas sobre a superfície do solo, reduzindo o poder de destaque das partículas superficiais (Coelho Netto, 2021)

A lei nº 12.651/2012, estabelece diretrizes de proteção e conservação de bacias hidrográficas através de áreas de preservação permanente (APP): Uma área protegida, coberta por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, o solo, a estabilidade geológica e a biodiversidade.

Como ferramenta de auxílio a políticas ambientais de preservação e conservação, criou-se a política de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA). Essa política tem como princípio básico o reconhecimento de que o meio ambiente fornece gratuitamente uma gama de bens e serviços de interesse direto ou indireto do ser humano. Entre esses bens e serviços estão a purificação do ar e da água, a regulação do fluxo e qualidade dos recursos hídricos, o controle da sedimentação e a manutenção da fertilidade do solo (ANA, 2012).

Quantificar continuamente os sedimentos em suspensão, é fundamental, pois reflete as taxas erosivas causadas pela energia da chuva e do escoamento superficial sobre as diferentes proporções de uso e cobertura do solo e tipos de manejos aplicados (Minella et al., 2008) e fazê-las no exatário é essencial. Pode ser de forma direta - que demanda elevado custo em recursos humanos ou, mesmo, na aquisição de eficientes amostradores automáticos ou de maneira indireta - feito por turbidimetria. (Pellegrini, 2013).

No método de turbidimetria (nefelométrico) um feixe de luz incidente sobre a amostra tem parte dos raios luminosos refratados pelas partículas em suspensão, enquanto que o restante do feixe atravessa a solução (Pellegrini, 2013). Contudo, a validação dos resultados depende do processo de calibração do sensor. Para Pinheiro et al. (2013) a concentração de sedimentos suspensos, estimada pelo turbidímetro, quando calibrada em laboratório, utilizando-se amostra composta de solo da bacia, é confiável até certa faixa de turbidez.

Material e Métodos

A área de nascente estudada localiza-se próxima ao CNPMA (Embrapa Meio Ambiente), em Jaguariúna (SP) (Figura 1a) e tem aproximadamente 11 hectares. As coordenadas geográficas locais são: latitude 22°43'55" S, longitude 47°00'19" W e altitude 600 m. A declividade média é de 4% e o solo predominante é um latossolo vermelho-escuro, distrófico, de textura argilosa. O clima da região, segundo o sistema de Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos.

Na área experimental já existia uma estação hidrossedimentológica (Figura 1b) dotada dos seguintes sensores: precipitação pluvial, nível de água, turbidez, condutividade elétrica e temperatura da água e uma calha tipo "H" para a determinação da vazão por meio da leitura do sensor de nível de água. (Figura 1c).



Figura 1. (a) Localização da microbacia monitorada; (b) Sistema instalado na microbacia anteriormente e (c) Calha "H" instalada na área da microbacia.

Todo o conjunto de sensores e datalogger foi substituído por um de programação aberta baseado em coletor de dados CR1000 (*Campbell Scientific Inc.*) (anteriormente era de programação fechada). Tais equipamentos foram adquiridos no âmbito do projeto "Monitoramento Hidrológico em áreas de restauração florestal e Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no âmbito do Programa Bacias Jaguariúna." uma parceria entre a Embrapa Meio Ambiente, a Prefeitura Municipal de Jaguariúna e a TNC Brasil - *The Nature Conservancy*. A determinação da concentração de sólidos em suspensão (sedimentos) foi realizada de maneira indireta, por meio das leituras do sensor de turbidez, calibrado com solo coletado na área de influência da microbacia, conforme metodologia apresentada por GONÇALVES (2019) (Figura 2).

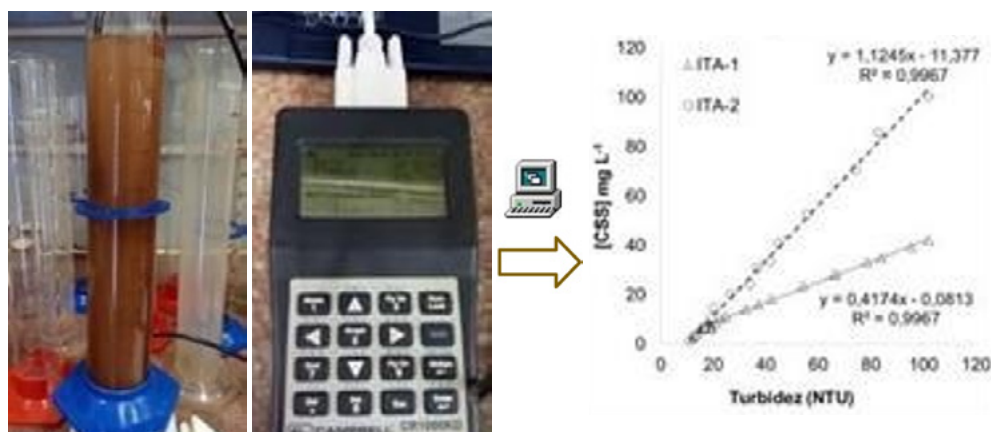


Figura 2. Instrumental utilizado na construção de curva turbidez (NTU) x Concentração de sólidos em suspensão ([CSS]) (a) e exemplo de uma curva de calibração (b).

Fonte: Gonçalves (2019)

Os dados dos sensores eram armazenados na memória interna do datalogger na frequência de 5 minutos. Após baixados (ou transferidos do servidor no caso da telemetria) foram inseridos e resumidos em planilhas eletrônicas diárias contendo valores totais, máximos, mínimos e médios, além de relatórios e gráficos em forma de tabelas e gráficos dinâmicos. Como forma de um melhor gerenciamento da estação, também foi instalado um sistema de telemetria para envio automático dos dados que possibilita o acompanhamento em tempo real dos dados. A manutenção na área era realizada quinzenalmente e consistia na limpeza dos sensores na água (conforme dita o manual do usuário do fabricante), da calha (retirada de lodo no leito da calha e de vegetação invasora), do pluviômetro (entupimento por insetos e fezes de aves) e do sistema fotovoltaico (fuligem, cipós, trepadeiras, insetos).

Resultados e Discussão

A determinação da concentração de sólidos em suspensão ([CSS] - sedimentos) para estimativa do transporte de sedimentos na área da nascente foi realizada de maneira indireta (Figura 3), por meio das leituras do sensor de turbidez OBS3+ (CampbellScientific Inc), calibrado com solo coletado na área de influência da microbacia, conforme metodologia apresentada por Gonçalves (2019)

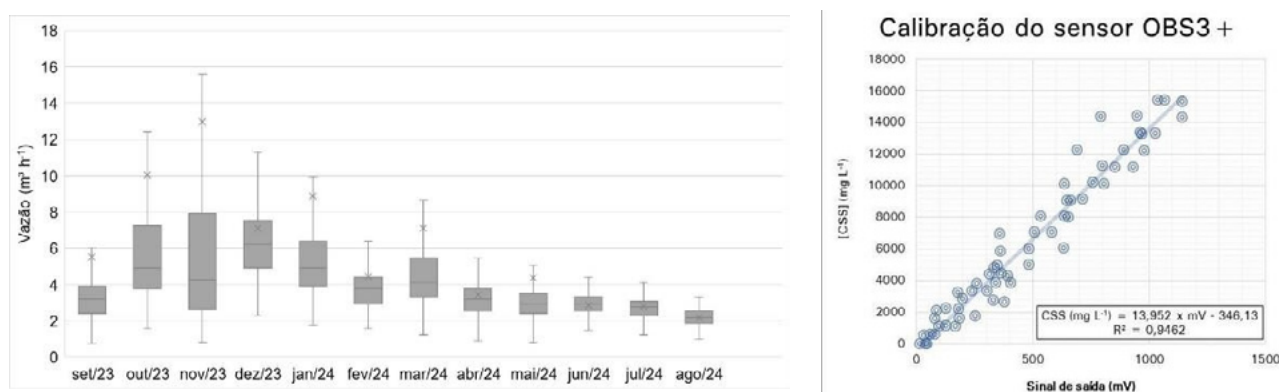


Figura 3. Curva de correlação entre leitura de turbidez e concentração de sólidos em suspensão [CSS]

Desta maneira o sinal elétrico de saída em milivolts foi convertido para uma [CSS] que se multiplicado pela vazão (L s⁻¹) se obteve a estimativa total de sedimento carregado durante determinado evento de chuva, de acordo com a equação 1.

$$CSS \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 13,952 * mV - 346 \quad (1)$$

Onde mV é o valor em milivolts da tensão de saída do sensor e CSS o valor da concentração de sólidos em suspensão.

A separação dos eventos de chuva seguiu o proposto por D'Agostini et al. (2017) por meio de algoritmo inseridos na planilha eletrônica que armazenava os dados.

Em se tratando de dados de chuva e vazão, durante o período de setembro de 2023 a agosto de 2024, se teve a seguinte variação (Figura 4).

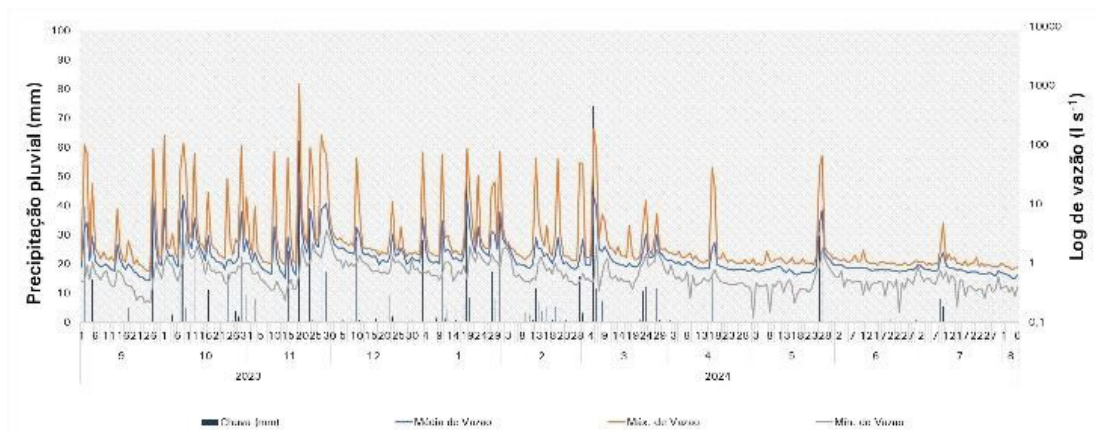


Figura 4. Variação do nível de água e do total diário de precipitação pluvial.

Contabilizou-se 1174 mm de chuva e 53 eventos de chuva considerados erosivos no Estado de São Paulo, conforme classificação proposta por Carvalho et al (2004). Nestes eventos a altura pluviométrica máxima em 1 hora foi de 30,5 mm em janeiro de 2024 e a intensidade máxima horária, com base nos dados de 5 minutos, foi de 80 mm h⁻¹ em 05/03/24. Em termos de vazão, a média foi 1,65 l s⁻¹, ou 6 m³ h⁻¹. Salienta-se que durante o período de monitoramento a região vinha passando por um período crítico de estiagem, porém a nascente continuava a “produzir” água a uma taxa média de 2,7 m³ h⁻¹. (Figura 5)



Fonte: Google (2024)

Figura 5. Entrada de sedimentos oriundos em estrada que corta a microbacia. Data da imagem: 14/03/2024

Estima-se que cerca de 10,35 Mg de solo tenham sido carreados para o curso d'água ao longo dos 12 meses do monitoramento, porém investigações de campo mostraram que grande parte deste material foi oriundo do manejo inadequado da drenagem de uma estrada municipal que corta a microbacia. (Figura 6). Se adotarmos o encontrado por Oliveira (2015) tal valor seria 37% menor e iria ao encontro do encontrado por Hernani et al. (1999) que ao estudarem um latossolo vermelho distroférico encontraram valores de 6,9 Mg ha⁻¹ por ano.

Segundo Bertol e Almeida (2000), ao estudar uma bacia com predominância de nitossolo, a perda de solo foi de 12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Já Oliveira et al. (2015) em uma área com o mesmo solo anterior encontraram 19,65 Mg ha⁻¹ ao longo de 15 meses e advertem que estes números reforçam os

cuidados que se deve ter na implantação e manutenção das redes viárias, pois as estradas foram as principais causadoras de enxurradas, quando comparadas aos demais usos do solo estudados.

Neste aspecto a adoção de práticas conservacionistas de solo e água como as propostas Casarin e Oliveira (2018) poderiam ser de grande valia, uma vez que a adoção da recomposição vegetal e da proteção da nascente da entrada de gado tem seus resultados sido mascarados. Tal entendimento é corroborado por SMA (2009) onde toda a área de bacia merece atenção quanto à preservação do solo, e todas as técnicas de conservação, objetivando tanto o combate à erosão como a melhoria das características físicas do solo, notadamente aquelas relativas à capacidade de infiltração da água da chuva ou da irrigação, vão determinar maior disponibilidade de água na nascente em quantidade e estabilidade ao longo do ano, incluindo a época das secas.

Conclusões

Sensores de turbidez nefelométrico calibrados com solo local são capazes de estimar a concentração de sólidos e, suspensão.

É preciso manejar adequadamente as estradas rurais para evitar que sedimento seja carregado para áreas de nascentes.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. (CNPq) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor, à *The Nature Conservancy Brasil* pelo aporte financeiro para realização do monitoramento e à Embrapa Meio Ambiente pelo apoio de campo e logístico.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual operativo do Programa Produtor de Água**. 2. ed. Brasília, DF: AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2012. Acesso em: 25/04/2024

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 657-668, 2000.

BRUIJNZEEL, Leendert Adriaan. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 104, n. 1, p.185-228, 2004. Acesso em: 25/04/2024

CASARIN, R. OLIVEIRA, E Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação. *IRRIGA*. 14. 548-563. 1015809/irriga.2009v14n4p548-563. 2018.

CARVALHO, M. D. P. e; FREDDI, O. D. S.; VERONESE JUNIOR, V. Critérios de Classificação de Chuva Individual Erosiva Para o Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 26, n. 2, p. 175–183, 16 Apr. 2004. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSci-Agron/article/view/1880>>. Acesso em: 24/04/2024.

COELHO NETTO, Ana Luiza (2021). Hidrologia de Encostas Interface com a Geomorfologia. In: Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos. Orgs. A.J.T. Guerra e S.B. Cunha. Ed. Bertrand Brasil, 15a edição, 2021.

GONÇALVES, A.O. **Caracterização hidro-sedimentológica e sua relação com o índice de qualidade participativo do plantio direto, na bacia do Alto Paranapanema-SP**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/T.11.2020.tde-22012020-095632. Acesso em: 24 abr. 2024.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.145-154, 1999.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013. Acesso em: 20/04/2024

MELO NETO, J. O.; SILVA, A. M.; FERREIRA, A. M.; MENEZES, P. H. B. J. GUIMARAES, D. V. **Vulnerabilidade dos solos à erosão em bacia hidrográfica minerada no sul de Minas Gerais**. In: Congresso Internacional de Hidrossedimentologia, 2, 2017, Foz do Iguaçu. Anais do II Congresso Internacional de Hidrossedimentologia. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2017. v. 1. Acesso em: 20/04/2024

MINELLA, J. P. G. et al. Estimating Suspended Sediment Concentrations from Turbidity Measurements and the Calibration Problem. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 12, p. 1819–1830, 15 Jun. 2008. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.6763>>.

MINELLA, J. P. G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. **Combining Sediment Source Tracing Techniques with Traditional Monitoring to Assess the Impact of Improved Land Management on Catchment Sediment Yields**. Journal of Hydrology, v. 348, n. 3–4, p. 546–563, Jan. 2008. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169407006208>>. Acesso em: 23/04/2024

OLIVEIRA, L. C. de et al. Perdas de Solo, Água e Nutrientes Por Erosão Hídrica Em Uma Estrada Florestal Na Serra Catarinense. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 655–665, 30 Sep. 2015. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/19616>>. Acesso em: 21/04/2024.

PELLEGRINI, André et al. **Índices de desempenho ambiental e comportamento hidrossedimentológico em duas bacias hidrográficas rurais**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Acesso em: 25/04/2024

PINHEIRO, E. A. R. et al. Calibração de Turbidímetro e Análise de Confiabilidade Das Estimativas de Sedimento Suspenso Em Bacia Semiárida. **Water Res. Irrig. Manag**, v. 2, n. 2, p. 103–110, 2013. Disponível em: <<http://www2.ufrb.edu.br/wrim/wrim-v-2-n-2-2013>>.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Departamento de Proteção da Biodiversidade. **CADERNOS da Mata Ciliar - N 1** (2009). São Paulo: SMA, 2009. Disponível em: <https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/Cadernos_Mata_Ciliar_1_Preservacao_Nascentes.pdf>. Acesso em 24/04/2024.

VALENTINO, César Henrique et al. **Caracterização hidrológica e hidrossedimentológica em bacia hidrográfica com finalidades experimentais**. 2019. Acesso em: 21/04/2024

Avaliação de tensiômetros automáticos para monitoramento do potencial matricial do solo⁽¹⁾

Jonatan Alves Pereira⁽²⁾; Wenceslau Geraldes Teixeira⁽³⁾; Alexandre Ortega Gonçalves⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos de Projeto ARRAS II - Embrapa. ⁽²⁾ Estudante de Engenharia Ambiental, Cefet-RJ, Ensino médio técnico, Bolsista PIBIC, Embrapa Solos - Rio de Janeiro. ⁽³⁾ Agrônomo, Doutor em Agroecologia,, Pesquisador, Embrapa Solos - Rio de Janeiro. ⁽⁴⁾ Agrônomo, Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Pesquisador, Embrapa Solos - Rio de Janeiro.

Resumo – O tensiômetro desempenha um papel crucial na medição da tensão com que a água é retida nos espaços e pelas partículas do solo, essa tensão é conhecida como potencial matricial do solo. E tradicionalmente avaliadas com tensiômetros de leitura manual. Ao estabelecer uma relação entre o conteúdo de água presente no solo e a tensão a que este está sujeito, almeja-se aprimorar a precisão das decisões relacionadas à irrigação. Esta pesquisa se propõe a investigar a factibilidade do uso de tensiômetros automáticos, especialmente no que se refere a vazamentos e à consistência e calibração das leituras automáticas. Os resultados preliminares deste estudo apontam para a necessidade de calibração individual dos tensiômetros automáticos

Palavras-Chave tensão, calibração, datalogger, .

Introdução

Considerando os desafios enfrentados em relação à escassez ou ao excesso de água para as plantas, o tensiômetro surgiu como uma inovação crucial para o monitoramento da disponibilidade de água no solo. Esse dispositivo revolucionou a forma como medimos a água disponível para as plantas, oferecendo uma solução eficaz para os problemas associados à gestão hídrica.

A dinâmica da água no solo está diretamente ligada à tensão da água. A água, tanto no solo quanto na superfície, sempre se desloca de áreas com maior potencial para áreas com menor potencial (UMS, 2011). Essa movimentação é uma característica fundamental que influencia a forma como a água é distribuída e utilizada pelas plantas.

A maioria dos fluxos de água no solo acontece em condições de pequenas tensões de água (Zonta et al., 2019) Portanto, é essencial utilizar equipamentos que possam medir com precisão essas pequenas variações. Os tensiômetros são os instrumentos que possibilitam a medição direta e precisa dessas tensões mínimas, permitindo uma gestão mais eficaz da água disponível para as plantas.

Além disso, é importante reconhecer que os solos são naturalmente heterogêneos. Vários fatores contribuem para essa heterogeneidade, incluindo a distribuição dos tamanhos das partículas, a presença de rachaduras, compactação, e as cavidades presentes no solo. Esses elementos não só afetam a maneira como a água se move, mas também fazem com que a tensão da água no solo varie de maneira significativa. Assim, a medição precisa e a compreensão dessas variações são essenciais para a gestão adequada dos recursos hídricos no cultivo de plantas.

Esta pesquisa estudou a integridade de tensiômetros automáticos, especialmente no que se refere a possíveis vazamentos e à consistência e calibração das leituras automáticas.

Material e Métodos

Estão sendo utilizados quatro tensiômetros automáticos (Figura 1) (T8 - Meter, EUA), conectados ao sistema coletor de dados CR1000 (Campbell Sci, EUA) (Figura 2 e 3). O script do programa (Figura 4) para a coleta automática de dados dos tensiômetros T8 e registro horário foi feito no ShortCut. Os registros são automaticamente salvos em valores médios (mV) horários.

As cápsulas porosas dos tensiômetros foram previamente saturadas em água e colocadas no ar e, posteriormente foram enterradas no solo até a entrada do ar e perda da tensão. Os dados são apresentados em gráficos que relacionam a variação da tensão (mV) no tempo e serão utilizados para a calibração. Será utilizado um tensiômetro manual como o manômetro de mercúrio (Figura 5). Os registros serão convertidos de mV (Milivolt) para dados de potencial em hPa (hectopascal).



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 1. Tensiômetros T8 Eletrônico.



Fonte: Campbell Scientific

Figura 2. CR1000 Registrador de dados (Datalogger).



Fonte: CampbellScientific

Figura 3. CR1000KD Keyboard/Display.

(Fonte: Software Pc400)

```

Program: Tensiometro_4.cri
1  'CRI000
2  'Created by Short Cut (4.4)
3
4  'Declare Variables and Units
5  Public BattV
6  Public PTemp_C
7  Public T8_1
8  Public T8_2
9  Public T8_3
10 Public T8_4
11
12 Units BattV=Volts
13 Units PTemp_C=Deg C
14 Units T8_1=mV
15 Units T8_2=mV
16 Units T8_3=mV
17 Units T8_4=mV
18
19 'Define Data Tables
20 DataTable(Table1,True,-1)
21   DataInterval(0,2,Min,10)
22   Average(1,T8_1,FP2,False)
23   Average(1,T8_2,FP2,False)
24   Average(1,T8_3,FP2,False)
25   Average(1,T8_4,FP2,False)
26 EndTable
27
28 DataTable(Table2,True,-1)
29   DataInterval(0,2,Min,10)
30   Minimum(1,BattV,FP2,False,False)
31 EndTable
32
33 'Main Program
34 BeginProg
35 'Main Scan
36   Scan(5,Sec,1,0)
37   'Default CRI000 Datalogger Battery Voltage measurement 'BattV'
38   Battery(BattV)
39   'Default CRI000 Datalogger Wiring Panel Temperature measurement 'PTe
40   PanelTemp(PTemp_C,_60Hz)
41   'Generic Differential Voltage measurements 'DiffVolt'
42   VoltDiff(T8_1,1,mV2500,5,True,0,_60Hz,1,0)
43   'Generic Differential Voltage measurements 'DiffVolt_2'
44   VoltDiff(T8_2,1,mV2500,6,True,0,_60Hz,1,0)
45   'Generic Differential Voltage measurements 'DiffVolt_3'
46   VoltDiff(T8_3,1,mV2500,7,True,0,_60Hz,1,0)
47   'Generic Differential Voltage measurements 'DiffVolt_4'
48   VoltDiff(T8_4,1,mV2500,8,True,0,_60Hz,1,0)
49   'Call Data Tables and Store Data
50   CallTable Table1
51   CallTable Table2
52   NextScan
53 EndProg

```

Figura 4. Programa Tensiômetro

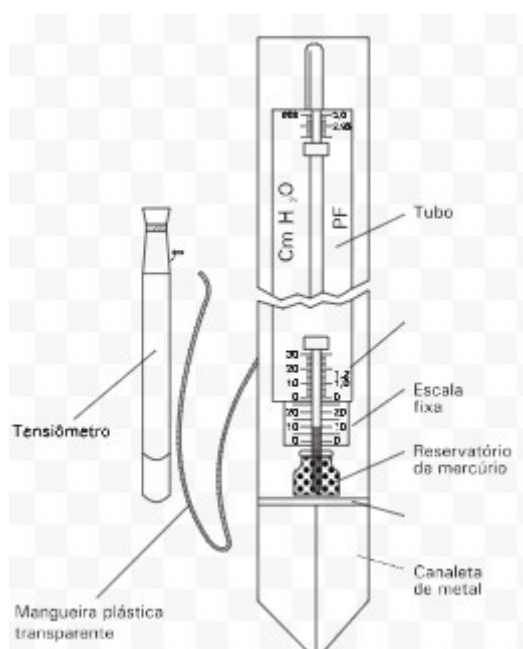


Figura 5. Manômetro de mercúrio (Fonte PDF: Embrapa Cerrados)

Resultados e Discussão

A primeira fase de testes com os tensiômetros no ar (Figura 6) foi bem-sucedida ao identificar a redução dos valores registrados quando da entrada de ar na cápsula. Esse estudo também permitiu identificar algumas cápsulas que apresentavam rachaduras e foram inutilizadas.

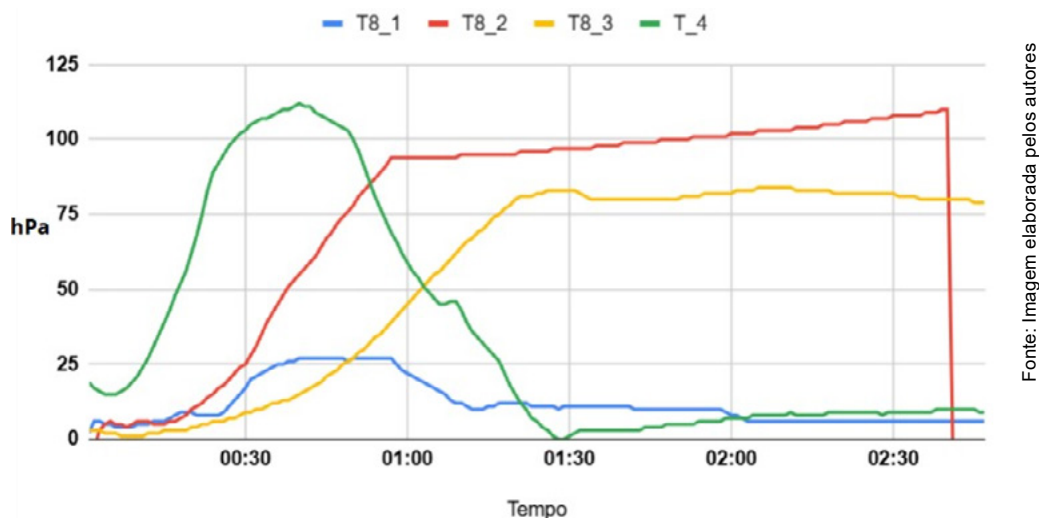


Figura 6. Evolução temporal das avaliações em kpa dos tensiômetros no ar.

Para a segunda fase, os tensiômetros foram instalados no solo (figura 7), num canteiro da coleção de Plantas Medicinais do Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Dois tensiômetros foram posicionados próximos a um aspersor (TENS. 1 e 3) e dois mais distantes (TENS 2 e 4). Foi possível observar que, ao acionar o aspersor a água que caía nas proximidades desses dois tensiômetros, o potencial matricial reduzia ligeiramente indicando o funcionamento adequado dos instrumentos. A queda abrupta de pressão no TENS 2 às 11 horas revelou o momento em que a pressão excede o ponto de borbulhamento e há entrada de ar na capsula.equipamento

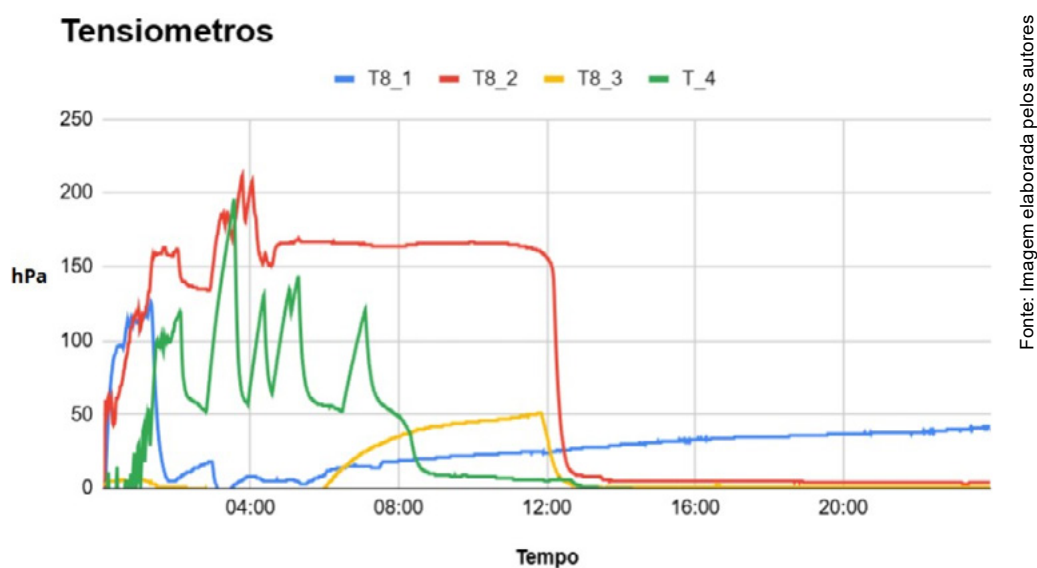


Figura 7. Evolução temporal das avaliações em hPa dos tensiômetros no solo.

A transformação de mV para hPa foi feita utilizando os dados técnicos fornecidos pela UMS (Figura 8), fornecedora do equipamento.

Conclusões

Ao final da fase de testes, foi possível inferir que há necessidade de uma calibração específica para cada tensiômetros. Os valores tanto no potencial zero - 0 hPa (cápsulas saturadas) apresentaram valores diferenciados (mV). A entrada de ar na cápsula indicada pela queda na subida do potencial também apresenta valores distintos (mV). Portanto, serão ajustadas equações específicas para a calibração individual de cada tensiômetro.

Ajuste fino na calibração serão feitas com a instalação simultânea dos tensiômetros automáticos e manual como o manômetro de mercúrio, devido à sua alta precisão nos resultados desse equipamento de referência.

fonte: UMS, 2016

Signal table for soil water tension	
Horizontal installation	Vertical installation
0 hPa = 1000 mV	0 hPa = 1005 mV
500 hPa = 1500 mV	500 hPa = 1505 mV
800 hPa = 1800 mV	800 hPa = 1805 mV
Conversion factor: 1 mV/hPa	

Figura 8. Tabela de conversão de mV para hPa

Agradecimentos

Aos Integrantes do Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no solo, LAMAS. A pesquisadora Viviane Kruehl do JBRJ pela permissão da instalação dos equipamentos e apoio na pesquisa.

Referências

- AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da. Tensiometro: dispositivo prático para controle da irrigação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 39 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 1).
- UMS. User Manual T8 Long-term Monitoring Tensiometer. 2011. Munique, Alemanha: 2011. Disponível em: https://library.metergroup.com/Manuals/UMS/T8_Manual.pdf. Acesso em: 17 out 2023.
- UMS. Using T8 on the EM50 configuration and setup. 2016. Munique, Alemanha: 2011. Disponível em: <https://library.metergroup.com/Sales%20and%20Support/Support/UsingT8withEM50.pdf>. Acesso em: 19 out 2023.
- ZONTA, Jonathan Henrique; HORA, Vinícius Martins da; BARBOSA, Cláudio de Souza. Produtividade e relação solo-água na cultura do arroz em sistemas de produção com níveis diferentes de intensificação agrícola. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 54, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/WRYdxCzr5P8MGDJWFKrMF3c/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 ago. 2024.

Atividade enzimática como indicadora da qualidade do solo de pastagens da Região Médio Paraíba do Sul ⁽¹⁾

Giselle Silva dos Santos⁽²⁾; Daiane Rigone ⁽³⁾ ; Jorge Makhoulouta Alonso⁽⁴⁾; Guilherme Kangussu Donagemma⁽⁵⁾; Rosângela Stralioatto⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Financiamento: FINEP/FNDCT 1219/21 – Cv: 01.22.0080.00; FAPERJ: 10.23.00.023.00.00. ⁽²⁾ Aluna de graduação, Biologia, PUC/Rio de Janeiro, RJ.

⁽³⁾ Farmacêutica Bioquímica, Mestre Analista, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁴⁾ Engenheiro Florestal. PhD, Bolsista FINEP/Rede FERTBRASIL, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁵⁾ Engenheiros Agrônomos, PhD, Pesquisadores, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Resumo – A atividade enzimática da arilsulfatase e β - glicosidase no solo têm sido utilizadas como indicadores da sustentabilidade de sistemas de produção de grãos pela tecnologia da Bioanálise do Solo, permitindo detectar com antecedência alterações que ocorrem no solo em função do uso e manejo. Neste trabalho, solos em áreas de pastagens em Valença, RJ, região do Médio Vale Paraíba, foram monitorados quanto à atividade enzimática em áreas sob sistemas de integração pecuária-floresta; manejo convencional, em diferentes níveis de degradação e em áreas de mata, com o objetivo de acompanhar a variação nas atividades enzimáticas em dois anos consecutivos. Amostras de solo foram coletadas de acordo com o protocolo FertBio, ao final do período chuvoso. As atividades da arilsulfatase e β -glicosidase foram avaliadas segundo Tabatabai (1994) adaptado por Pazutti e Chaer (2012). Para o iPF a atividade enzimática do solo não foi influenciada pela proximidade do renque das árvores. A atividade da β -glicosidase mostrou-se inferior nas regiões de mata adjacente, influenciada pela presença das raízes das gramíneas, enquanto a da arilsulfatase foi similar entre as dos solos do iPF. Nos dois anos de amostragem, a atividade das enzimas decresceu nos solos sob pastagens com maior nível de degradação em relação aos pastos não degradados. Os níveis N1 e N2, em 2024, apresentaram atividade enzimática do solo similar refletindo a menor pressão de pastejo nas áreas N2 no último ano. Os resultados indicam a viabilidade do uso dessas avaliações enzimáticas para acompanhar diferenças entre práticas de manejo em pastagens.

Palavras-Chave β -glicosidase, arilsulfatase, sistema de integração pecuária-floresta, pastagens degradadas.

Introdução

As pastagens ocupam a maior área agricultável do Brasil, com aproximadamente 161 milhões de hectares, sendo cerca de 60 milhões classificadas como pastagens nativas (Marin et al., 2016). Cerca de metade desta área é constituída por pastagens cultivadas, parcialmente degradadas e com baixa produtividade (Scolari, 2006). Diante deste cenário, visando desenvolver práticas de recuperação e/ou conservação, diversas iniciativas estão sendo utilizadas para avaliar os níveis de degradação das pastagens, utilizando indicadores que englobam a qualidade do solo, a taxa de cobertura vegetal (Lisboa et al., 2016; Valle, 2018), a altura do pasto e a produção de biomassa (Dias-Filho, 2014). Indicadores microbianos do solo, como a biomassa microbiana e a atividade enzimática, têm recebido crescente atenção na ciência do solo nos últimos anos, devido à sua capacidade de detectar precocemente as mudanças resultantes das práticas de manejo, sendo mais sensíveis do que os atributos químicos e físicos do solo (Chaer & Tótola, 2007; Peixoto et al., 2010; Mendes et al., 2018). A biomassa microbiana é o principal componente da matéria orgânica viva do solo e, junto ao carbono orgânico, vem sendo utilizada como indicador de alterações e de qualidade do solo, devido à relação com as funções ecológicas do ambiente, bem como à capacidade de refletir as mudanças no uso do solo (Jackson et al., 2003; Araújo & Melo, 2010). A tecnologia BioAs, baseada na atividade enzimática do solo, surge como protagonista demonstrando excelente correlação com qualidade do solo (Mendes et al., 2018) e foi desenvolvida para cultura de grãos na região dos Cerrados brasileiros. A BioAS proporciona ao agricultor uma ferramenta útil para diagnosticar a saúde do solo através da quantificação da atividade das enzimas β - glicosidase e arilsulfatase, ligadas aos ciclos do carbono e enxofre no solo, correlacionadas aos dados de fertilidade e produtividade das culturas. Esses dados integrados de qualidade do solo têm sido

utilizados para recomendação de práticas de manejo agrícola sustentáveis, incentivando a adoção de abordagens conservacionistas.

A degradação das pastagens ameaça a sustentabilidade da atividade agrícola. A avaliação de indicadores biológicos simplificados e com baixa variabilidade para avaliar o estágio de degradação de pastagens é importante para a recomendação de estratégias de manejo sustentável. O objetivo do trabalho foi avaliar a aplicabilidade da avaliação da atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase como indicadores da qualidade do solo em pastagens sob diferentes sistemas de manejo e níveis de conservação.

Material e Métodos

Tratamentos e amostragens

Foram coletadas amostras de solo sob pastagens, na profundidade de 0-10 cm, na região de Valença (RJ), nos anos de 2023 e 2024, no final de janeiro e início de fevereiro, ao final do período chuvoso. Os locais escolhidos apresentavam diferentes estágios de conservação e/ou degradação das pastagens: bem manejadas e sem indícios de degradação (N1); pastagens com nível intermediário de degradação (N2) e com níveis avançados de degradação (N3) e também em áreas de mata em regiões contíguas. As amostragens foram realizadas em 4 locais distintos para cada um desses tratamentos. Foram ainda coletadas amostras de solo em áreas experimentais de pastagens sob sistema de integração pecuária-floresta (iPF), formado por braquiária consorciada com eucalipto, com 3 repetições. Dentro de cada bloco do iPF, foram coletadas três subamostras: na linha do renque (iPF R); próxima à borda das árvores, a cerca de 1m de distância do renque (iPF B) e na região central entre os renques (iPF P).

Análises laboratoriais

O solo coletado foi processado para terra fina seca ao ar de acordo com o protocolo FertBio (Mendes et al., 2019). As análises foram realizadas na Embrapa Agrobiologia (Seropédica/RJ) e na Embrapa Solos (Rio de Janeiro/RJ). Foram quantificadas as atividades das enzimas arilsulfatase, ligada ao ciclo do enxofre, e β -glicosidase, associada ao ciclo do carbono.

A metodologia, conforme descrita por Tabatabai (1994) e adaptada por Pazutti e Chaer (2012), corresponde na extração e determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado quando a amostra de solo é incubada em uma solução tampão contendo o substrato sintético p-nitrofenil-sulfato, para a arilsulfatase e p-nitrofenil- β -D-glicosídeo, para a β -glicosidase. A leitura dos produtos de reação, após centrifugação, é feita em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 410nm.

Análise estatística

Foi feita a análise de variância dos dados seguida por Scott-Knott e análise de cluster bivariado.

Resultados e Discussão

Os resultados das análises das atividades enzimáticas foram apresentados separadamente para os anos 2023 e 2024 (figuras 1 a 4), nos sistemas de manejo convencional e iPF. Na figura 5 são apresentados os dados de análise multivariada englobando ambas atividades enzimáticas e sistemas de manejo. Na figura 1, observa-se que no ano de 2023 a atividade da enzima da arilsulfatase foi estatisticamente maior nos solos das áreas de pastagem N1 diminuindo conforme os níveis crescentes de degradação (N2 e N3). No ano de 2024, os solos sob pastagens N1 e N2 apresentaram atividade similar, diferindo significativamente apenas das áreas N3. No ano de 2024 houve uma redução na pressão de pastejo das áreas N1 e N2, tendo sido observada um robusto aumento da

biomassa vegetal nessas áreas, o que pode, consequentemente, ter refletido no aumento da atividade biológica e enzimática. Em relação às regiões de mata, os valores da atividade enzimática, para ambos os anos, apresentaram-se intermediários entre os níveis N1 e N2.

Na figura 2, observa-se que a atividade da enzima β -glicosidase não apresentou diferença significativa entre os anos de 2023 e 2024 nos solos de pastagem não degradada (N1) e nos de nível intermediário de degradação (N2). No entanto, houve uma diferença significativa entre nível mais

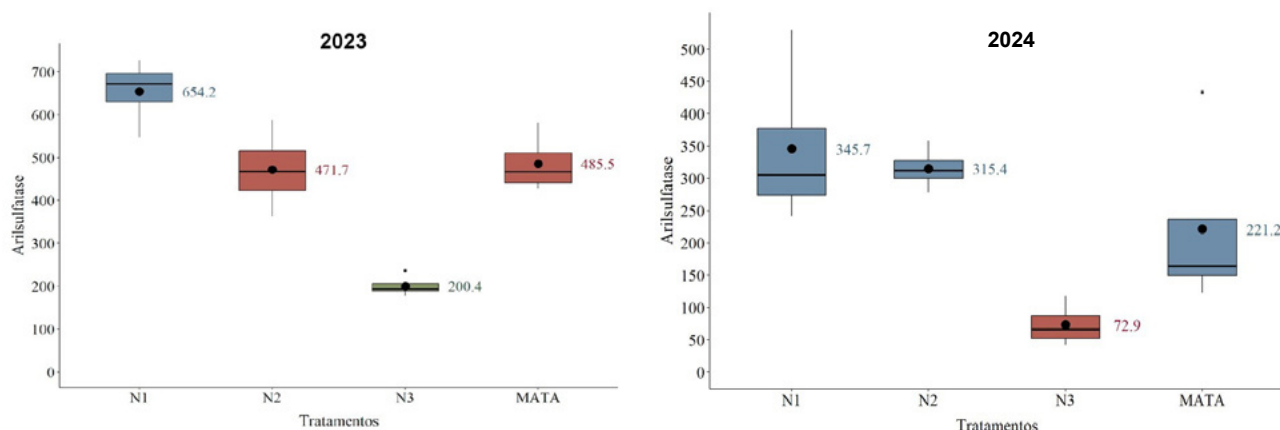


Figura 1. Atividade da enzima arilsulfatase referente aos anos de 2023 e 2024, no solo de áreas de pastagens com manejo convencional, em diferentes níveis de degradação: N1 (pasto não degradado); N2 (nível intermediário de degradação) e N3 (nível alto de degradação) e em áreas de mata, em Valença, RJ.

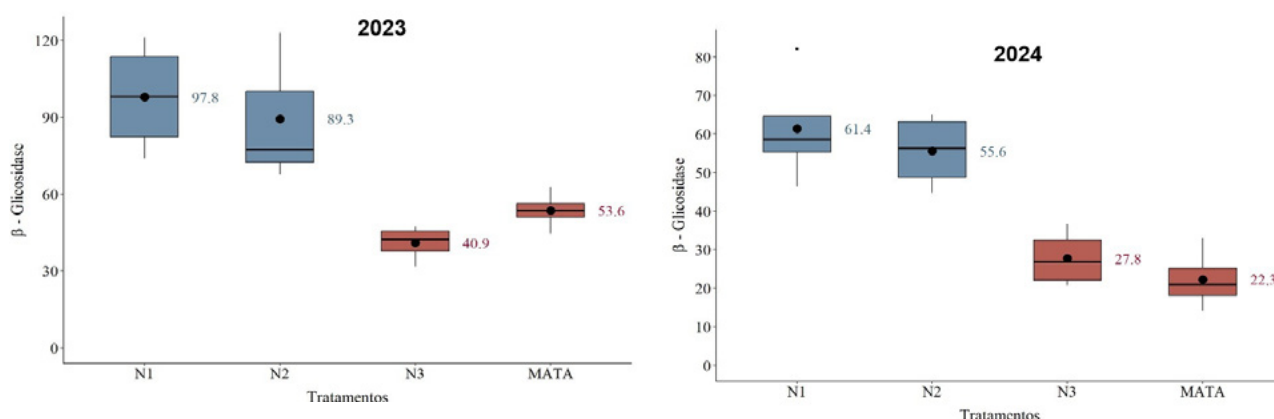


Figura 2. Atividade da enzima β -glicosidase referente aos anos de 2023 e 2024, no solo de áreas de pastagens com manejo convencional, em diferentes níveis de degradação: N1 (pasto não degradado); N2 (nível intermediário de degradação) e N3 (nível alto de degradação) e em áreas de mata, em Valença, RJ.

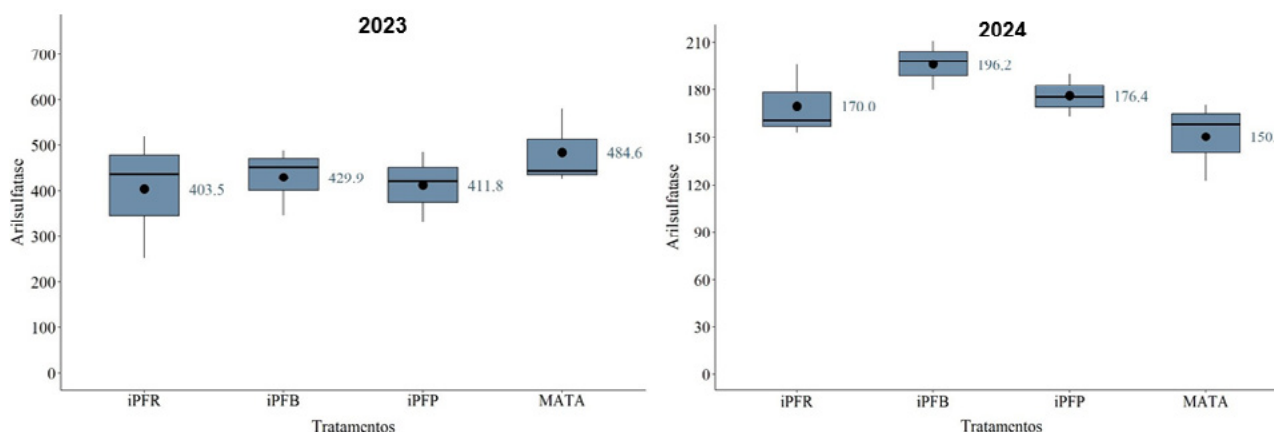


Figura 3. Atividade das enzimas e arilsulfatase do ano de 2023 e 2024, no solo em pastagens sob sistema de integração em pecuária floresta (iPF) e em áreas de mata, em Valença, RJ

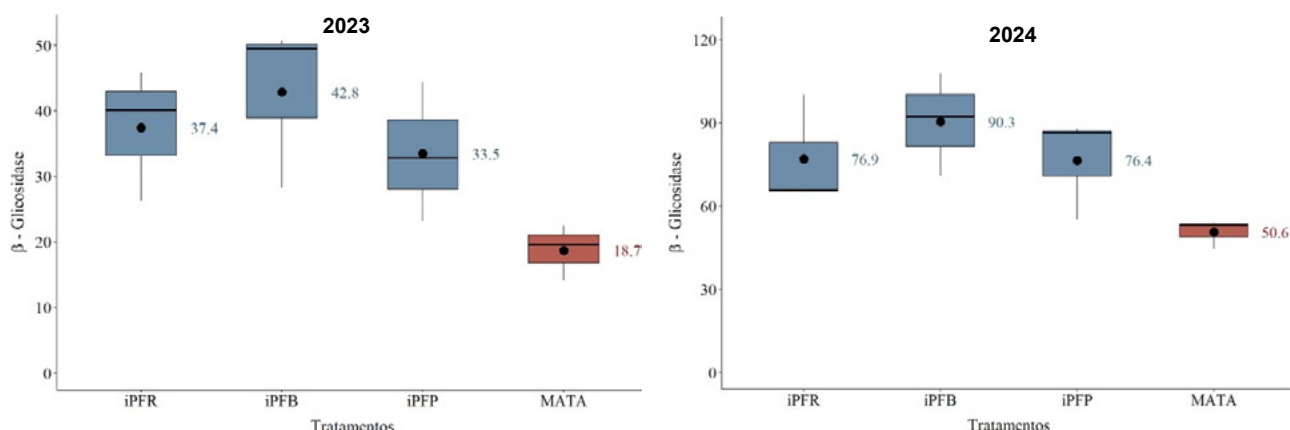


Figura 4. Atividade das enzimas β -glicosidase referente aos anos de 2023 e 2024, no solo em pastagens sob sistema de integração pecuária-floresta (iPF) e em áreas de mata, em Valença, RJ.

alto de degradação (N3) e a pastagem com menor degradação (N1), o que demonstra que a tendência que se manteve nos dois anos de avaliação.

Na região de mata, a atividade da enzima β -glicosidase não apresentou diferença significativa em relação aos pastos degradados (N3). A menor atividade desta enzima está relacionada aos compostos de carbono recalcitrantes presentes no sistema radicular das plantas dessa região. Nas pastagens os compostos das raízes, geralmente profusos, são lábeis o que favorece a atividade microbiana, consequentemente, a atividade enzimática vinculada ao ciclo do carbono.

Para os sistemas Integração Pecuária Floresta (iPF) (**figuras 3 e 4**), a atividade de ambas enzimas arilsulfatase não apresentou diferença significativa entre os locais de amostragem: borda, pasto e renque nos dois anos avaliados. Portanto a amostragem no sistema iPF pode ser feita do modo convencional, sem influência da proximidade do renque. Apenas a atividade da enzima β -glicosidase foi menor nas áreas de Mata, conforme já observado, devido, provavelmente, à influência do sistema radicular da braquiária, na região do iPF.

Foi realizada uma análise estatística de cluster (**figura 5**), considerando os resultados das duas enzimas analisadas nos anos de 2023 e 2024.

Esta análise, gerou agrupamentos distintos relacionando a atividade enzimática com os níveis de degradação do solo. Em ambos os anos, os agrupamentos formados refletiram a tendência da relação atividade enzimática e nível de degradação. O cluster 1 concentrou as regiões com maior

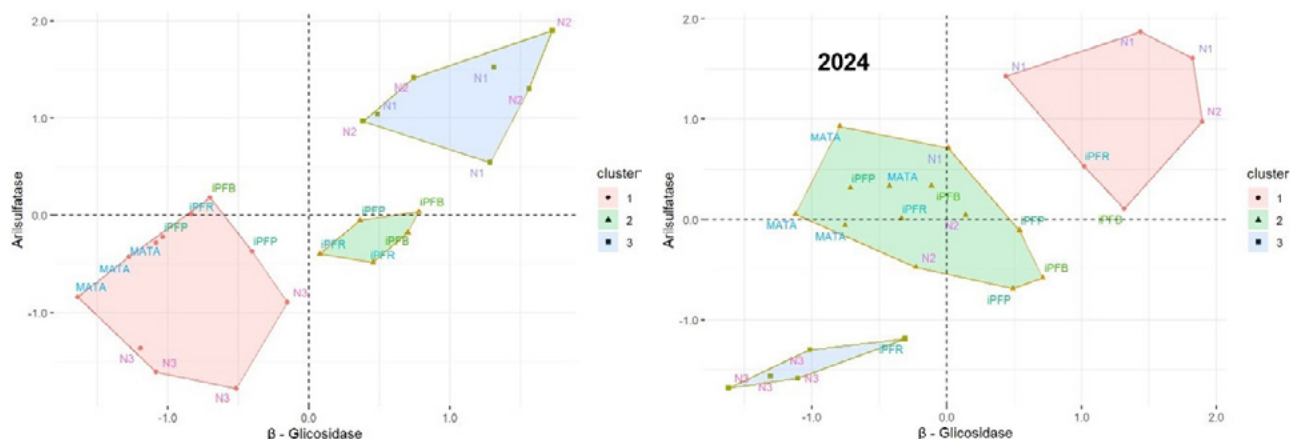


Figura 5. Análise de cluster mostrando 3 agrupamentos distintos das atividades enzimáticas da arilsulfatase e β -glicosidase. Referentes aos anos de 2023 e 2024.

atividade enzimática, que são as áreas de pastagem não degradada. Um cluster intermediário (cluster 2), agrupou as regiões de mata e as do sistema iPF. Já no cluster 3, encontram-se as áreas de pastagem com maior nível de degradação e consequentemente, com valores muito inferiores de atividade enzimática. Com estes resultados, foi possível inferir a relação proporcional, direta e consistente existente entre a atividade enzimática e o nível de degradação, demonstrando ser possível o uso deste parâmetro para avaliar a degradação do solo.

Conclusões

Os dados de atividade enzimática obtidos neste estudo, indicam a viabilidade do uso desse indicador para avaliar a qualidade do solo em áreas de pastagem com diferentes níveis de degradação.

Referências

- CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios eucaliptos sobre indicadores de qualidade solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600016>.
- DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens no Brasil. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102203/1/DOC-402.pdf>. Acesso em: 20 de ago. 2024.
- LISBOA, F. M.; DONAGEMMA, G. K.; BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, E. de S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1184-1193, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900018>.
- LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. dos; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SOUZA, L. M.; MENDES, I. C. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional*, v. 12, p. 72-82, Mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.01.003>. Acesso em: 25 abr. 2024.
- MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; SPOLADOR, H. F. S.; OTTO, R.; PEDREIRA, C. G. S. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. *Revista de Política Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 108-124, 2016. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1160/1016>. Acesso em: 25 abr. 2024.
- MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JÚNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018. 23 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 38). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199833/1/CircTec-38-Ieda-Mendes.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2024. MENDES, I. de C.; SOUZA, L. M. de; SOUSA, D. M. G. de; LOPES, A. A. de C.; REIS JÚNIOR, F. B. dos; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in oxisols at post-harvest: the FERTBIO soil sample concept. *Applied Soil Ecology*, v. 139, p. 85-93, Jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025>
- PAZUTTI, L. V. V.; CHAER, G. M. Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para avaliação de β -glucosidade em solos. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2012. 23 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 92). Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1002922/desenvolvimento-de-metodologia-de-baixo-custo-para-analise-de-b-glicosidade-em-solos>. Acesso em: 20 de ago. de 2024.
- PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; ROSADO, A. S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 98, p. 403-413, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10482-010-9454-0>.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SCOLARI, D. D. G. Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. In: VISÃO progressista do agronegócio brasileiro. Brasília, DF: Fundação Milton Campos, 2006. p. 9-86. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160161/1/Producao-agricolamundial.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2024.

VALLE, T. R. de S. Níveis de degradação de pastagens e qualidade de solo na região do Médio Vale do Paraíba do Sul. 2018. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7504152#. Acesso em: 19 de ago. 2024.

Desafios de uso da fixação biológica de nitrogênio em plantas de cobertura como estratégia de incremento da produção de silagem e capim de entressafra, em Valença RJ⁽¹⁾

Luiz Claudio de Araújo Costa⁽²⁾; Rodrigo Nogueira Silvestre Batista⁽³⁾; Samara Rosa Ferreira Silva⁽⁴⁾; Guilherme K. Donagemma⁽⁵⁾; Rosângela Stralioatto⁽⁵⁾; Alexandre Ortega⁽⁵⁾; Roberta Aparecida Carnevali⁽⁶⁾; Marcelo Dias Muller⁽⁶⁾; Carlos Eugênio Martins⁽⁶⁾; Inácio Barros⁽⁶⁾; Fabiano de Carvalho Balieiro⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos de. ⁽²⁾ Acadêmico do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental - TER/UFF, Bolsista (CNPq), Embrapa Solos, Laboratório de Biorreatores, Rua Jardim Botânico, 1024 - Bairro Jardim Botânico, CEP: 22460-000 - Rio de Janeiro, RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Ambiental Graduando, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET, RJ. Zootecnista, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia - UFRRJ, Pesquisador, Embrapa Solos, Laboratório de Biorreatores, Rua Jardim Botânico, 1024 - Bairro Jardim Botânico, CEP: 22460-000 - Rio de Janeiro, RJ. Engenheiro Agrônomo e Florestal, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG.

Resumo – O trabalho avaliou espécies (leguminosas e crucífera) para produção de silagem de milho e capim de entressafra para sistema lavoura-pecuária e melhoria da qualidade do solo no Médio Vale Paraíba do Sul. O sistema iLP implantado tem o desenho experimental com as espécies condicionadoras/melhoradoras de solo (feijão guandu, crotalaria, estilosantes, mucuna e nabo forrageiro) e braquiária como tratamentos, sendo repetidas 4 vezes (blocos). A fase de implantação foi realizada por semeadora de milho em área total e após a germinação, as áreas foram divididas. Cada bloco (48 x 48m) foi subdividido em faixas de 8 por 48 m (ver detalhe em Silva, 2023). Após a colheita do milho foi realizada a semeadura das espécies “melhoradoras de solo” (consórcios), em fevereiro de 2020. Usando a técnica da abundância natural do ¹⁵N, foi possível constatar ausência da contribuição da fixação biológica de N₂ às leguminosas, o que foi corroborado pela avaliação visual da nodulação. As plantas de cobertura, e a pastagem sofreram com a reduzida janela de plantio e oferta de água na região, por isso produziram pouca biomassa e acumularam pouco N. As mudanças climáticas já afetam a região e deixam evidentes que a busca por soluções de adaptação dos sistemas de produção é urgente

Palavras-Chave : adubo verde, mudanças climáticas; sistema lavoura-pecuária, conservação do solo.

Introdução

Focado na avaliação de espécies (leguminosas e crucífera) para produção de silagem de milho e capim de entressafra para sistema lavoura-pecuária e melhoria da qualidade do solo em região fortemente afetada pela degradação do solo, o projeto avança na proposição de um sistema voltado para o Médio Vale Paraíba do Sul que melhora a oferta de alimento para o gado e a fertilidade do solo.

A entrada de N biologicamente fixado pelas leguminosas é agente de mitigação da emissão de gases de efeito estufa, pois reduz, em longo prazo, a demanda de N mineral em sucessões posteriores de culturas de interesse, ao mesmo tempo que é agente de intensificação da incorporação de C ao solo, como outros trabalhos demonstram (Sisti et al., 2004; Resh et al., 2002; Chaer et al., 2011; Balieiro et al., 2020). O trabalho objetiva quantificar e qualificar a contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) ao sistema pecuária-floresta implantado na Fazenda Santa Mônica, de propriedade da Embrapa Gado de Leite. Dois métodos foram utilizados para tal estimativa, o método da abundância natural do ¹⁵N (Unkovich et al., 1989) e o método visual preconizado por Peoples et al. (1989).

Material e Métodos

O experimento foi montado no Campo Experimental de propriedade da Embrapa Gado de Leite, em Valença, RJ (22°21'S e 43°42'W; 364m acima do nível do mar), Fazenda Santa Mônica. A região é bastante montanhosa, caracterizada pela nomenclatura regional Mares de Morros. A agricultura

é possível apenas em áreas menos íngremes da paisagem, por isso o experimento foi implantando numa área de baixada próxima à base do morro (mais indicadas ao sistema pela possibilidade de mecanização).

O sistema iLP implantado tem o desenho experimental baseado na consorciação e sucessão de espécies condicionadoras/melhoradoras de solo (feijão guandu, crotalaria, estilosantes, mucuna e nabo forrageiro) e braquiária. A fase de implantação foi realizada por semeadora de milho em área total e após a germinação, as áreas foram divididas.

Cada bloco (48 x 48m) foi subdividido em faixas de 8 por 48 m (ver detalhe em Silva, 2023). Após a colheita do milho foi realizada a semeadura das espécies “melhoradoras de solo” (consórcios), em fevereiro de 2020. Com a falta de chuva na ocasião e ausência de germinação das plantas condicionadoras de solo, um novo ciclo de milho mais braquiária foi realizado nas águas (novembro). Em fevereiro de 2021, as condicionadoras foram novamente semeadas. Uma parcela testemunha foi deixada em cada bloco, na qual a braquiária como vinha sendo manejada anteriormente possa ser usada até o final do experimento como referência. Da região central de cada parcela foram coletadas amostras de todas as plantas ocupantes de um quadrado de 1m² lançado ao solo para estimativa da biomassa aérea das plantas de cobertura e espontâneas da parcela (Silva, 2023). As coletas se deram aos 45 dias após o plantio. Todas as plantas que ocupavam o quadrado supracitado foram cortadas rente ao solo e colocadas em sacos plásticos, levadas ao laboratório para serem separadas em gramínea (forrageira), planta espontânea e planta de cobertura (incluindo as leguminosas). Após segregação, todas foram secas (45°C até peso constante). Após peso constante foram pesadas. Sub amostras foram finamente moídas para então serem enviadas para laboratório de análise química (teores de C e N) e isotópica (abundância natural do ¹⁵N).

A estimativa da *fixação biológica de N₂* (FBN) foi programada para ser feita usando a técnica da abundância natural de ¹⁵N, que utiliza o ar como referência (Unkovich *et al.*, 1989) e por definição o d¹⁵N do N₂ atmosférico é igual a zero, pois o ar possui 0,3663% do N na forma isotópica de ¹⁵N. Amostras dos tecidos das plantas de cobertura e de referência foram encaminhadas para serem analisadas no Laboratório de Biotransformação de Carbono e Nitrogênio (LABCEN) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS. Com os teores de N total nos tecidos das plantas e a abundância natural de ¹⁵N será possível estimar a contribuição percentual de N oriundo da fixação biológica das plantas leguminosas (Cfb-leg) e de posse de dados de biomassa acumulada nas plantas leguminosas (Silva, 2023) e dos conteúdos de N nas plantas, foi possível estimar a quantidade, em kg ha⁻¹ de N oriundos da FBN.

Uma avaliação visual da nodulação foi realizada no momento da amostragem das plantas, adaptando trabalho de Peoples *et al.* (1989). De quatro a seis plantas próximas aos quadrantes lançados sobre o solo para avaliação da biomassa do bloco 1 (3 pontos) e de 4-6 plantas no ponto central dos blocos 2 e 3 foram utilizadas neste estudo. A metodologia usada para avaliação visual das leguminosas fixadoras foi adaptada de Peoples *et al.* (1989).

Resumidamente, avalia-se o número de nódulos e a distribuição nos primeiros 10cm (0-5cm e 5-10cm). Os nódulos não foram contados em todas as plantas para registro, mas sua avaliação visual levou em consideração sua distribuição (número indiretamente) no perfil de raízes, tamanho. Foi feito o registro fotográfico de plantas do Bloco 1.

Resultados e Discussão

O solo, antes do experimento ser implantado apresentava-se com razoável acidez (pH=5,4), baixos teores de P e teores de bases trocáveis que levaram a saturação por eles a ~40%, evidenciando que para o cultivo do milho, correção e adubação seriam essenciais. A textura da camada superficial é argilosa (>60% de argila) e a densidade da camada de 0-10cm é de 1,47 g cm⁻³ e de

10-20 e 20-40cm iguais a $1,58 \text{ g cm}^{-3}$. Nas mesmas camadas, os teores de Corg atingiram valores iguais a 20,7; 15,7 e $6,2 \text{ g kg}^{-1}$.

Todas as parcelas apresentaram solo completamente coberto com a vegetação, no momento da avaliação da FBN de forma visual. Algumas parcelas apresentavam pouca presença da planta de cobertura, e numa avaliação bem grosseira constata-se que essa taxa não passa de 30%. Nas parcelas de *Stylosanthis*, não foi observada a leguminosa, pois ela não germinou.

Dada a adubação nitrogenada ao milho, ficou evidente que a mucuna é mais sensível ao N do solo, pois quase não apresentou nódulos. A exceção foi o bloco 3, que 2 de 4 plantas apresentaram nódulos muito grandes e muito ativos (Figura 1).

Usando a abordagem de avaliação visual citada por Peoples et al. (1989), pode-se qualificar a nodulação. Foi ponderado a relação do número de plantas que tinham nódulo e que não tinham (Tabela 1). Todas as leguminosas apresentaram status baixo para a nodulação, sendo a mucuna a espécie com pior performance e a crotalaria aquela com melhor performance (Tabela 2). Esta constatação pode ter haver com o efeito residual da adubação nitrogenada realizada ao milho.



Figura 1. Imagens de nódulos de mucuna preta, (*Mucuna pruriens*) com expressão de atividade da nitrrogenase dada pela coloração rósea do seu interior. Mesmo com performance fraca para nodução, no bloco 3 foi encontrado plantas com nódulos ativos.

A semeadura do milho RB 9005PRO foi realizada no dia 20/11/2020 e foi acompanhada da adubação de plantio de 400 kg ha^{-1} da fórmula 10-30-10 e no dia 11/12/2020 uma adubação de cobertura de 400 kg ha^{-1} na fórmula 20-00-20 foi realizada. Como é sabido, a FBN é minimizada quando o N mineral está disponível para as espécies fixadoras.

Usando a técnica da abundância natural do ^{15}N , foi possível constatar que todas as plantas utilizaram o N mineral do solo como fonte principal do elemento para sua nutrição. Ou seja, corroborando a avaliação visual. Apesar de leguminosas nodulíferas, a quantidade de N aplicado ao milho anteriormente ao semeio inibiu fortemente a nodulação e as taxas de fixação biológica de N_2 .

Desta forma, ao invés de sinais próximos a zero ou negativos para $\delta^{15}\text{N}$, as leguminosas e não leguminosas apresentaram valores positivos, indicando que o N assimilado era mais enriquecido no isótopo mais pesado, comum em fontes minerais do solo (Peoples et al., 1989; Unkovich et al., 1989; Boddey et al., 2000). Desta forma, não foi possível calcular a contribuição da fixação biológica de N_2 para as leguminosas e respectiva contribuição ao N acumulado na parte aérea das plantas. Até os 40cm do solo, a marcação isotópica do solo para o ^{15}N era de 8,418 até 12,280‰.

Com a chegada dos resultados do teor de N das plantas do experimento (Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), Mucuna Preta (*Mucuna pruriens*), Crotalaria (*Crotalaria ochroleuca*), Feijão Guan-du (*Cajanus cajan*) e controle (*Urochloa brizantha* cv. Marandu)), foi possível calcular os estoques

de N associado a cada tipo de planta do sistema (planta de cobertura, espécies espontâneas e a espécie de capim semeado, *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Tabela 3).

A discussão sobre a baixa produção de massa verde das plantas de cobertura, e maior destaque para o guandu e o nabo, nas condições de condução do experimento, foram feitos por Silva (2023). Vale ressaltar, porém, a produção de matéria seca de plantas espontâneas que na realidade eram predominantemente gramíneas forrageiras que já existiam na área e que foram beneficiadas pelas condições impostas pela adubação, banco de sementes, e baixa competitividade das *Urochloa brizantha* e plantas de cobertura semeadas.

A mucuna e o guandu se destacaram pelo teor de N em seus tecidos ($>20 \text{ g kg}^{-1}$); ao passo que o nabo e a crotalaria os menores teores, entre as plantas de cobertura. Pelo maior potencial entre as plantas de coberturas, o guandu se destacou na acumulação de N na parte aérea. A mucuna, mesmo produzindo pouca biomassa, acumulou quantidade de N equivalente ao nabo, dada a superioridade no teor de N de seus tecidos.

Tabela 1. Status da nodulação das plantas de cobertura, visualmente

Espécie	Abundância amostra (nod: não nod)	Abundância na planta (vertical)	LegHemog (+++ : vermelho; + : marrom)	Tamanho e característica
Bloco 1				
Mucuna	3:6	++; 0-5	+++	Médios (~1-2mm)
Guandu	6:6	+; 0-5 e 5-10	++	Pequenos (<1mm); individuais
Crotalaria	6:6	+; 0-5 e 5-10 (1* com muito)	+	Pequenos
Bloco 2 (so o mais pedregoso)				
Mucuna	1:3	+ (5-10cm)	n.a.	n.a.
Guandu	6:6	+; 0-5; 5-10cm	n.a.	n.a
Crotalaria	6:6	++; 0-5 e 5-10cm	++	Pequenos (caule e raízes finas)
Bloco 3 (mais úmido e menos pedregoso. Aparentemente mais MOS; leguminosas muito abafadas; guandu estava bem desenvolvido, germinou bem)				
Mucuna	2:4	+; 0-5 e 5-10	++++	Muito grande; cordiforme e grumoso
Guandu	4:4	++		Pequenos no caule e raízes finas isolados
Crotalaria		++; 0-5 e 5-10	+++	Muito pequenos em raízes finas. Ausente no caule. Grumosos também

Tabela 2. Notas aplicadas as parcelas com plantas de cobertura, seguindo critérios adaptados de Peoples et al. (1989).

Espécie	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3
Mucuna	1	1	1-2
Crotalaria	2-3	2-3	2-3
Guandu	2	1-2	2-3

Tabela 3. Massa seca acumulada das plantas (kg ha⁻¹), abundância natural do ¹⁵N (em δ¹⁵N, ‰), teor de N (g kg⁻¹) e quantidade de N (kg ha⁻¹) em tecidos aéreos de plantas de cobertura (PC) (Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), Mucuna Preta (*Mucuna pruriens*), Crotalária (*Crotalaria ochroleuca*), Feijão Guandu (*Cajanus cajan*)), controle *Urochloa brizantha* cv. Marandu (U), e plantas espontâneas (E), após 3 cortes sucessivos. Teores do último corte e estimativa dos totais acumulados, baseados no teor do 3º corte.

Planta	Massa seca de plantas			δ ¹⁵ N	N	Acúmulo de N: PC+ (U)	Acúmulo de N: (E)
	(Kg ha ⁻¹)						
	Pl. de cobertura (PC)	Urochloa (U)	Espontâneas	(‰)	(G kg ⁻¹)	(Kg ha ⁻¹)	(Kg ha ⁻¹)
Crotalaria	672	141	2501	3,536±0,978	12,4±2,5	8,34(2,03)	36,03
Mucuna	859	105	2018	5,607±3,165	27,7±4,8	23,84(1,63)	25,59
Guandu	1463	337	1481	5,395±0,226	20,2±3,4	29,51(5,67)	44,99
Nabo	1765	204	954	3,738±1,385	12,6±2,7	22,17(3,64)	32,76
Urochloa		2070	2658	6,377±0,373	17,6±0,5	(36,39)	17,75

Conclusões

Usando a técnica da abundância natural do ¹⁵N, foi possível constatar que todas as espécies avaliadas utilizaram o N mineral do solo, ou seja, mesmo as leguminosas nodulíferas foram afetadas pela quantidade de N aplicado ao milho, inibindo fortemente a nodulação e as taxas de fixação biológica de N₂.

Estes achados foram corroborados com a avaliação visual da nodulação.

As plantas de cobertura, e a pastagem sofreram com a reduzida janela de plantio e oferta de água na região, por isso produziram pouca biomassa e acumularam pouco N.

As mudanças climáticas já afetam a região e deixam evidentes que a busca por soluções de adaptação dos sistemas de produção é urgente.

Agradecimentos

FCB agradece o CNPq pela Bolsa de Produtividade (2021-2024). A Embrapa e a Rede ILPF pelo apoio financeiro.

Referências

- BALIEIRO, F. C.; CESARIO, F. V.; SANTOS, F. M. Litter Decomposition and Soil Carbon Stocks in Mixed Plantations of Eucalyptus spp. and Nitrogen-Fixing Trees. In: CARDOSO, E.J.B.N., GONÇALVES, J.L.M., BALIEIRO, F.C., FRANCO, A.A. (Org.). Mixed Plantations of Eucalyptus and Leguminous Trees: Soil, Microbiology and Ecosystem Services. 1ed. Cham: Springer, 2020, v. 1, p. 57-90
- CHAIER, G.M., RESENDE, A.S., CAMPELLO, E.F.C., BODDEY, R.M. (2011) Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. *Tree Physiol* 31:139–149. doi:10.1093/treephys/tpq116
- PEOPLES, M.B., FAIZAH, A.W., RERKASEM, B., HERRIDGE, D.F. Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. ACIAR Monograph, N° 11, ACIAR, 1989, 76pp.
- SILVA, S.R.F. Avaliação de plantas de cobertura para uso na safrinha. Instituto de Zootecnia: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 39p., 2023.

SISTI, C.P.J., DOS SANTOS, H.P., KOHHANN, R., ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M., 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 76, 39- 58.

UNKOVICH M., HERRIDGE D., PEOPLES M., CADISCH G., BODDEY R., GILLER K., ALVES B. AND CHALK P. Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. ACIAR, Monographh, 1989.

Meta-análise sobre uso de pó de rocha silicática como fonte de nutrientes para a agricultura

Kinston Tin Mai⁽¹⁾; Ricardo de Castro Dias⁽²⁾; Everaldo Zonta⁽³⁾; Paulo César Teixeira⁽⁴⁾; Vinicius de Melo Benites⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Estudante de Engenharia Agrícola e Ambiental na UFF, estagiário da Embrapa Solos. ⁽²⁾ Professor da Universidade de Rio Verde, Rio Verde-GO.

⁽³⁾ Professor titular do Departamento de Solos da UFRRJ, Seropédica-RJ. ⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁵⁾ Pesquisador na Embrapa Solos; orientador.

Resumo – O interesse por fontes alternativas de potássio (K) na agricultura levou a avaliação da eficiência de rochas silicáticas moídas como fontes de K para as plantas. Este estudo realizou uma meta-análise para integrar os resultados de pesquisas sobre o tema, seguindo as diretrizes do PRISMA. De 583 artigos inicialmente encontrados, 43 atenderam aos critérios de elegibilidade e foram incluídos na análise. Os efeitos foram medidos como o logaritmo natural da razão de resposta, comparando a aplicação de pó de rocha com a ausência de K. A aplicação de até 5 Mg ha⁻¹ de pó de rocha resultou em um aumento limitado, com 12% na produção de biomassa e 25% no acúmulo de K. Rochas ultramáficas mostraram maior eficiência, com aumento de 56% na biomassa e 69% no acúmulo de K. No entanto, rochas com granulometria superior a 2 mm não apresentaram efeitos significativos. Doses superiores a 5 Mg ha⁻¹ e granulometria inferior a 0,3 mm elevaram a biomassa em 84% e o K em 351%. Comparado aos fertilizantes solúveis, o pó de rocha reduziu a biomassa em 16% e o acúmulo de K em 47%. Portanto, apesar dos efeitos positivos em comparação à não aplicação de K, o pó de rocha silicática é menos eficiente que fertilizantes solúveis na maximização da produção de matéria seca e acúmulo de K.

Palavras-Chave: Pó de rocha, Nutrição mineral de plantas, Eficiência agrônômica, Rochas silicáticas, Remineralizador.

Introdução

O K é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal, cuja deficiência pode comprometer o rendimento e a qualidade agrícola (Zhao et al., 2019). Com a produção global de K concentrada em poucos países do hemisfério norte, como Bielorrússia, Canadá, China, Alemanha e Rússia, países em desenvolvimento, como o Brasil, dependem da importação desse insumo (Ogasawara et al., 2010; Swoboda et al., 2022).

Devido ao alto custo dos fertilizantes convencionais, torna-se urgente explorar fontes alternativas de K. Embora as reservas de potássio altamente solúveis estejam concentradas em poucos países, minerais silicáticos que contêm K, como micas e feldspatos, são abundantes em diversas partes do mundo (Zhao et al., 2019).

Esta pesquisa busca examinar a eficácia das rochas silicáticas como fonte de K por meio de uma revisão sistemática e meta-análise, com o objetivo de sintetizar o conhecimento existente e fornecer uma avaliação detalhada da viabilidade desses pós rochosos na nutrição de plantas cultivadas.

Material e Métodos

A pesquisa utilizou revisão sistemática e meta-análise para avaliar a eficiência do pó de rocha silicática como fonte de K. A revisão sistemática seguiu as diretrizes PRISMA para identificar, selecionar e analisar estudos relevantes com base em uma pergunta bem definida (Moher et al., 2009). A meta-análise integrou os resultados desses estudos, utilizando o tamanho de efeito e a razão de resposta (RR) ou o logaritmo natural da razão de resposta (lnRR) para medir a alteração entre grupos de tratamento e controle (Borenstein et al., 2009; Lajeunesse, 2015).

A pergunta de pesquisa foi formulada com base no modelo PICOT, que inclui população, intervenção, comparação, resultado e tempo (Echevarria E Walker, 2015). A pesquisa focou em plantas cultivadas, aplicação de pó de rocha silicática como fonte de K, comparando com controle negativo

(sem K) e controle positivo (fertilizantes solúveis). Foram pesquisadas publicações até outubro de 2020 nas plataformas Oasis, Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Springer Science, utilizando o algoritmo booleano e filtrando artigos nas áreas de ciências biológicas, agrícolas e ambientais. Inicialmente, 582 artigos foram selecionados, dos quais 169 foram considerados elegíveis na primeira etapa de triagem de título e resumo. Na segunda etapa, foram avaliados apenas os tópicos de Material e Métodos dos artigos, e se atendiam aos critérios de elegibilidade. Os critérios de elegibilidade incluíam: (1) a presença de pelo menos um tratamento com a aplicação de pó de rocha silicática; (2) a avaliação da produção de matéria seca, de produtos de interesse comercial (como grãos, frutos, tubérculos, colmos e fibras) e/ou do acúmulo de potássio; (3) a aplicação correta dos princípios da experimentação agrícola, como casualização, repetição e controle local; e (4) a utilização do pó de rocha silicática como fonte isolada de K, sem a combinação com outros fertilizantes ou insumos que pudessem interferir nos resultados. Assim sobrando apenas 91 artigos que seguiram os critérios de elegibilidade específicos.

A extração de dados focou em variáveis como produção de matéria seca, acúmulo de K e produção comercial, categorizando os dados por dose de pó de rocha, granulometria e tipo de rocha. Foram incluídos na análise final 43 artigos, pois os demais não apresentaram a média, ou dispersão, ou o número de repetições, ou pelo menos, um dos quatro critérios de elegibilidade predefinidos para análise de tamanho de efeito e impacto do pó de rocha.

A Equação 1 foi utilizada para calcular o logaritmo natural da razão de resposta ($\ln(R)$), que foi considerado como tamanho de efeito. Esse valor reflete os impactos da aplicação de pó de rocha silicática na matéria seca da parte aérea (MSPA), na produção comercial e no acúmulo de potássio

$$\ln(R) = \ln \frac{(\bar{X}_t)}{(\bar{X}_c)} \quad (1)$$

Equação 1. $\bar{X}_t$ e $\bar{X}_c$ são as médias das variáveis do efeito e as barras horizontais ao intervalo de resposta para o grupo que recebeu a aplicação de pó de rocha e para o grupo controle, respectivamente.

em plantas cultivadas, em comparação com a não aplicação de potássio (controle) e também com a aplicação de fertilizante potássico solúvel (Blouin et al., 2019; Wang et al., 2021, 2022).

Resultados

A aplicação de pó de rocha resultou em incremento médio significativo de 19% na produtividade ($p < 0,05$), 30% na produção de biomassa ($p < 0,01$), e 108% no acúmulo de K ($p < 0,01$) em relação

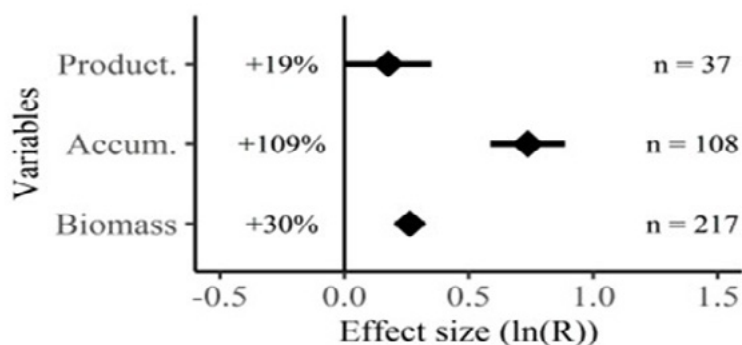


Figura 1. Efeito médio da aplicação do pó de rocha silicática na produção comercial (Prod.), acúmulo de potássio (Acum.) e produção de massa seca (Biomassa) de plantas cultivadas em relação ao tratamento controle, sem aplicação de K. Os diamantes correspondem ao tamanho médio do efeito e as barras horizontais ao intervalo de confiança de 95%. n=número de observações.

ao tratamento controle, sem aplicação de K. O efeito estimado sobre a produção de massa seca foi semelhante à produtividade comercial, enquanto o acúmulo de K foi a variável mais influenciada pela aplicação de pó de rocha.

Quanto aos resultados de aplicação das doses, foi notado que doses $> 5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de pó de rocha silicática proporcionou um aumento de 41% na produção de biomassa e de 206% no acúmulo de K em relação ao controle, ambos em nível de significância inferior à 0,1% (Fig. 2). Enquanto para doses $\leq 5 \text{ Mg ha}^{-1}$ houve um aumento de 12% na produção de biomassa e de 25% no acúmulo de K.

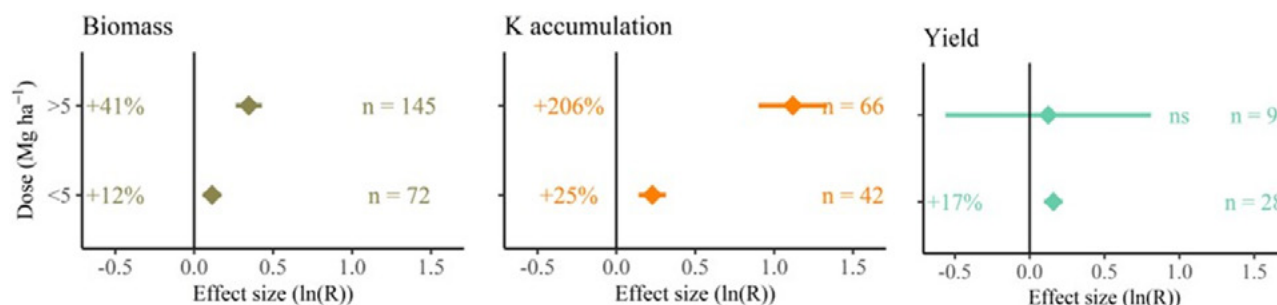


Figura 2. Influência da aplicação de dois níveis de pó de rocha silicatada na produção de matéria seca (Biomassa), acúmulo de potássio (acúmulo de K) e produção comercial (Produto) de plantas cultivadas em relação ao tratamento controle, sem aplicação de K. Os losangos correspondem ao tamanho médio.

Sobre a produção comercial não houve diferença significativa entre os níveis de dose em relação à produção comercial. Porém, ressalta-se o intervalo de confiança relativamente amplo e o pequeno número de casos ($n = 9$) que compõem o tamanho de efeito médio de doses superiores a 5 Mg ha^{-1} .

A aplicação de doses $\leq 5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de pó de rocha mostrou eficiência significativa na produção de biomassa com rochas metamórficas xistosas (+113%) e ultramáficas (+56%), e no acúmulo de K com rochas máficas (+127%), ultramáficas (+69%) e efélsicas (+28%) (Figura 3). No entanto, rochas

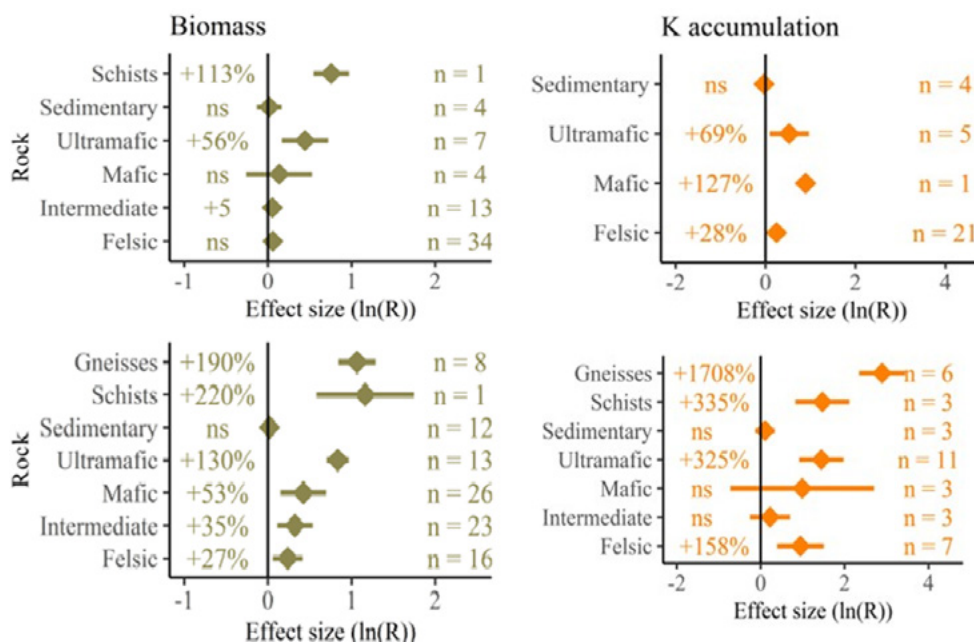


Figura 3. Influência da aplicação de pó de diferentes grupos rochosos em duas classes de dose (até 5 Mg ha^{-1} e além de 5 Mg ha^{-1}), na produção de matéria seca (Biomassa) e acúmulo de K nas plantas cultivadas em relação ao controle/tratamento, sem aplicação de K. Os losangos correspondem ao tamanho médio do efeito e as barras horizontais ao intervalo de confiança de 95%. ns: não significativo ($p < 0,05$); n=número de observações.

silicáticas sedimentares não apresentaram aumentos significativos em ambas as variáveis. Esses resultados devem ser interpretados com cautela devido ao número reduzido de casos em cada classe de rocha, exceto para rochas félsicas.

A aplicação de pó de rocha silicática em doses superiores a 5 Mg ha^{-1} teve um impacto significativo na produção de biomassa em todos os grupos de rochas analisados, exceto nas sedimentares. Rochas metamórficas xistosas, apesar de um caso registrado, mostraram o melhor resultado (Figura 3). As rochas metamórficas gnáissicas e ultramáficas destacaram-se com aumentos de 190% e 130% na produção de biomassa, respectivamente, em contraste com os aumentos menores das rochas félsicas (27%), intermediárias (35%), máficas (53%) e sedimentares (0%). O acúmulo de K foi especialmente elevado nas rochas gnáissicas (1.708%), com aumentos menores em xistosas, ultramáficas e félsicas. Rochas sedimentares, máficas e intermediárias não apresentaram aumentos significativos.

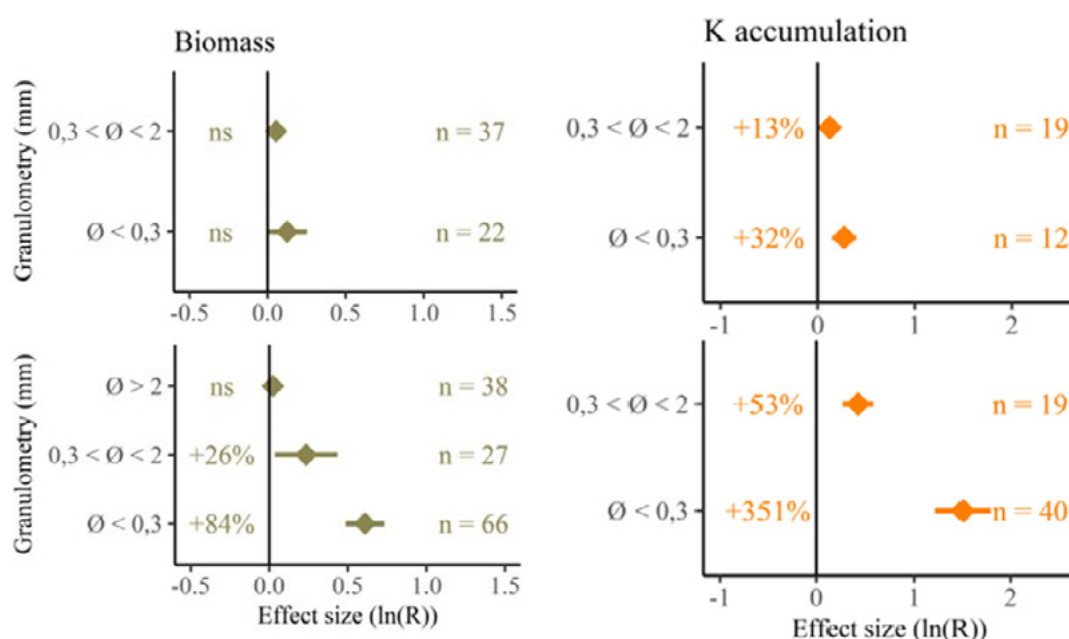


Figura 4. Tamanho do efeito da aplicação de pó de rocha silicatada, em diferentes granulometrias e em diferentes classes de dosagem (até 5 Mg ha^{-1} e além de 5 Mg ha^{-1}), na produção de matéria seca (Biomassa) e K acúmulo em plantas cultivadas. Os diamantes correspondem ao tamanho médio do efeito e as barras horizontais ao intervalo de confiança de 95%. ns: não significativo ($p < 0,05$); n=número de observações.

Levando em conta a granulometria, doses $\leq 5 \text{ Mg ha}^{-1}$ resultaram em incremento nulo na biomassa, mas granulometrias $< 0,3 \text{ mm}$ aumentaram o acúmulo de K em 32%, enquanto granulometrias entre 0,3 e 2 mm geraram um aumento de 13% (figura 4).

Discussão

A eficiência dos pós de rochas silicáticas é influenciada por diversos fatores como tipo de solo, espécies vegetais, tipo de rocha, granulometria, dose aplicada, duração do estudo e ação de micro-organismos (Swoboda et al., 2022). Embora não haja consenso sobre a dose ideal, a maioria dos estudos analisados aplicou doses entre 280 kg ha^{-1} e 1.000 Mg ha^{-1} , com a aplicação comercial mais comum de até 5 Mg ha^{-1} . Nessas doses, observou-se um aumento médio de 12% na biomassa e 25% no acúmulo de potássio, embora esses resultados ainda sejam inferiores aos alcançados com o uso de KCl, que demonstrou maior eficácia (Fageria & Baligar, 2008).

A granulometria das partículas de rocha também desempenha um papel crucial: partículas menores que 0,3 mm são mais eficientes na liberação de nutrientes, resultando em melhores respostas nas

plantas, embora ainda abaixo das respostas obtidas com fertilizantes solúveis (Dalmora et al., 2020). A composição mineral das rochas influencia diretamente sua capacidade de fornecer nutrientes, com minerais como biotita e feldspato potássico desempenhando papéis distintos (Ramezani et al., 2013). Minerais como olivinas e piroxênios, com altas taxas de dissolução, liberam nutrientes mais rapidamente, enquanto feldspatos potássicos são considerados menos eficientes (Franke, 2009).

No estudo, rochas metamórficas, como xistos e gnaisses, destacaram-se, mostrando aumentos superiores a 100% na produção de matéria seca em comparação ao controle negativo (UNESP, 2022). Xistos, ricos em filossilicatos como clorita, muscovita e biotita, e gnaisses, com alta concentração de feldspatos e biotita, mostraram-se particularmente promissores para a nutrição de plantas, sugerindo que a composição mineral é um fator chave na eficácia dos pós de rocha como fonte de potássio (Bakken et al., 2000). A taxa global de dissolução, determinada pela taxa de quebra de ligação mais lenta, também é crucial. Olivinas têm as maiores taxas de dissolução, seguidas por piroxênios, anfíbios e biotitas, enquanto os minerais mais resistentes ao intemperismo, em ordem crescente, são os feldspatos ricos em potássio, a muscovita e o quartzo (Franke, 2009). Esses detalhes ajudam a correlacionar a composição mineral das rochas com os efeitos observados no estudo.

Embora sejam poucos os casos observados, as rochas metamórficas demonstraram aumentos na produção de matéria seca superiores a 100% em comparação ao tratamento controle negativo. Entre os minerais presentes nos xistos, os filossilicatos desempenham um papel importante na liberação de nutrientes, enquanto os feldspatos potássicos dos gnaisses são menos eficientes (UNESP, 2022). No entanto, mesmo com esses resultados promissores, nenhuma das rochas analisadas superou a eficiência dos fertilizantes solúveis (Bakken et al., 2000; Zhao et al., 2019).

Conclusão

A aplicação de doses superiores a 5 Mg ha⁻¹ de pó de rocha silicática com granulometria inferior a 0,3 mm gerou aumento na produção de biomassa (+84%) e no acúmulo de K (+351%). Em contraste, materiais com granulometria superior a 2 mm não apresentaram efeitos significativos. A meta-análise revelou que o pó de rocha silicática não substitui eficazmente as fontes solúveis de potássio e não age como fertilizante de liberação lenta. Portanto, caso opte por fazer o uso, é recomendado granulometria <0,3mm e a exclusão do uso de rochas de composição félsicas e intermediária.

Agradecimentos

Ao CNPq por disponibilizar recursos para a realização da pesquisa. Ao meu orientador, Vinicius de Melo Benites pelos ensinamentos valiosos. A Jéssica Kaminski, que me auxiliou e acompanhou.

Referências

- BAKKEN, A. K., GAUTNEB, H., SVEISTRUP, T., & MYHR, K. (2000). Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56(1), 53–57. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1009709914578>
- BLOUIN, M., BARRERE, J., MEYER, N., LARTIGUE, S., BAROT, S., & MATHIEU, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- BORENSTEIN, M., HEDGES, L. V., HIGGINS, J. P. T., & ROTHSTEIN, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis* (M. Borenstein, L. V. Hedges, J. P. T. Higgins, & H. R. Rothstein (eds.); 1st ed.). John Wiley and Sons Ltd. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-14908-0_2
- DALMORA, A. C., RAMOS, C. G., PLATA, L. G., DA COSTA, M. L., KAUTZMANN, R. M., & OLIVEIRA, L. F. S. (2020). Understanding the mobility of potential nutrients in rock mining by-products: An opportunity for more sustainable agriculture and mining. *Science of the Total Environment*, 710, 136240. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136240>

ECHEVARRIA, I. M., & WALKER, S. (2015). Start with a PICOT question to make your case. *Nursing Critical Care*, 10(3), 14–16. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/01.CCN.0000464307.39978.1a>

FAGERIA, N. K., & BALIGAR, V. C. (2008). Ameliorating Soil Acidity of Tropical Oxisols by Liming For SustainableCrop Production. *Advances in Agronomy*, 99, 345–399. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)00407-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0)

FRANKE, W. A. (2009). The durability of rocks—Developing a test of rock resistance to chemical weathering. *American Journal of Science*, 309(8), 711–730. Disponível em: <https://doi.org/10.2475/08.2009.04>

LAJEUNESSE, M. J. (2015). Bias and correction for thelog response ratio in ecological meta-analysis. *Ecology*, 96(8), 2056–2063. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/14-2402.1>

MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D. G., ALTMAN, D., ANTES, G., ATKINS, D., BARBOUR, V., BARROWMAN, N., BERLIN, J. A., CLARK, J., CLARKE, M., COOK, D., D'AMICO, R., DEEKS, J. J., DEVEREAUX,

P. J., DICKERSIN, K., EGGER, M., ERNST, E., ... TUGWELL, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMAstatement. *PLoS Medicine*, 6(7). Disponível em: <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1000097>

OGASAWARA, E. S., KULAIF, Y., & FERNANDES, F. R. C. (2010). A indústria brasileira de fertilizantes (cadeia NPK, enxofre, rocha fosfática e potássio) - Projeções de 2010 a 2030. In F. R. C. Fernandes, A. B. da Luz, & Z. C. Castilhos (Eds.), *Agrominerais para o Brasil* (pp. 145–168). CETEM/MCT. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/907/1/cap5.pdf>

Ramezani, A., Dahlin, A. S., Campbell, C. D., Hillier, S., Mannerstedt-Fogelfors, B., & Öborn, I. (2013). Addition of a volcanic rockdust to soils has no observable effects on plant yield and nutrient status or on soil microbial activity. *Plant and Soil*, 367(1–2), 419–436. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1474-2>

SWOBODA, P., DÖRING, T. F., & HAMER, M. (2022). Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Science of the Total Environment*, 807, 150976. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>

UNESP. (2022). Museu Heinz Ebert. Disponível em: <https://museuhe.com.br/>

WANG, H., WANG, N., QUAN, H., ZHANG, F., FAN, J., FENG, H., CHENG, M., LIAO, Z., WANG, X., & XIANG, Y. (2022). Yield and water productivity of crops, vegetablesand fruits under subsurface drip irrigation: A global meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 269. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2022.107645>

WANG, H., ZHENG, J., FAN, J., ZHANG, F., & HUANG, C. (2021). Grain yield and greenhouse gas emissions frommaize and wheat fields under plastic film and straw mulching: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 270, 108210. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2021.108210>

ZHAO, X., GAO, S., LU, D., WANG, H., CHEN, X., ZHOU, J., & ZHANG, L. (2019). Can potassium silicate mineralproducts replace conventional potassium fertilizers in rice–wheat rotation? *Agronomy Journal*, 111(4), 2075–2083. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agroni2019.01.0020>

Fertilizantes organominerais à base de borra de café ⁽¹⁾

Sophia Helena Saldanha Bethencourt ⁽²⁾; David Vilas Boas Campos ⁽³⁾; Fernanda Lavra de Oliveira Lima ⁽⁴⁾; Daiane Rigoni ⁽⁵⁾; Victória Fontoura Araújo de Souza ⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Embrapa Solos. ⁽²⁾ Acadêmica do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal Fluminense; Bolsista PIBIC na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁴⁾ Engenheira de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente, mestranda do Curso de Engenharia de Biosistemas na Universidade Federal Fluminense, Bolsista FUNARBE na Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁵⁾ Analista Embrapa Solos. ⁽⁶⁾ Acadêmica do Curso de Agronomia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; Bolsista na Embrapa Solos

Resumo – A borra de café é um resíduo produzido em grandes quantidades, e por ser um material orgânico, apresenta potencial para ser reciclado e usado como insumo na produção de fertilizantes. Este projeto tem como objetivo produzir e caracterizar fertilizantes organominerais feitos com borra de café. Foram produzidas e caracterizadas cinco formulações de fertilizantes. Avaliou-se a liberação de K e Na em solo incubado em condições de laboratório, após aplicação dos fertilizantes KCl, K₂SO₄ e OrgBorra3. Os resultados mostram uma alta CTC da borra de café, de 419,59 mmolc kg⁻¹. Todos os cinco fertilizantes organominerais produzidos apresentaram teores de P₂O₅ entre 20 e 30%, e teor de N entre 0,5 e 5,7 %. O fertilizante OrgBorra aumentou os teores de K trocável no solo.

Palavras-Chave: capacidade de troca catiônica, fotômetro de chamas, extrator Mehlich 1, potássio no solo.

Introdução

Historicamente, o Brasil é conhecido como um dos maiores produtores e exportadores de café, sendo que em 2023 chegou a produzir cerca de 55,1 milhões de sacas de café (Conab, 2023). Ao encontro da alta produção, os brasileiros consomem cerca de 5,2 kg de café torrado por habitante por ano (ABIC, 2023), tornando a população a segunda maior consumidora do mundo (MAPA, 2023). No entanto, o alto consumo da bebida gera um resíduo: a borra de café, que possui uma composição orgânica, necessária para o crescimento e nutrição das plantas (Moura et al., 2016).

Em paralelo ao cenário cafeeiro do Brasil, o país encontra-se como quarto maior exportador de fertilizantes no mundo inteiro, estando atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos (ANDA, 2021). Foram importadas ao todo 13.104 mil toneladas de fertilizantes de janeiro a maio de 2024, porém só foram produzidas 3.263 mil toneladas de adubo nacional no mesmo período (ANDA, 2024). A partir desse cenário, observa-se que o Brasil é um país muito dependente de nações exportadoras de fertilizantes (Conab, 2024).

Os fertilizantes organominerais são uma alternativa para a adubação do solo, além de ser capaz de ser produzido com resíduos e reduzir os impactos ambientais da destinação incorreta dos mesmos (Cruz et al. 2017). Além disso, adubos desse tipo conseguem melhorar o crescimento das plantas e auxiliar na fixação do gás carbônico no solo (Xiao et al., 2017), e também apresentam maior eficiência graças sua liberação mais lenta no solo, minimizando a perda de nutrientes.

Assim, o objetivo do projeto foi produzir e caracterizar cinco fertilizantes organominerais a base de borra de café.

Material e Métodos

Todas as análises foram conduzidas no Laboratório de Tecnologia em Fertilizantes pertencente ao LASP da Embrapa Solos. A borra de café foi doado por uma empresa que gerencia resíduos da cafeicultura.

CTC da borra de café

A determinação da Capacidade de Troca Catiônica foi feita de acordo com o método encontrado no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (MAPA, 2017)

Produção dos fertilizantes

Foram escolhidas cinco formulações, contendo fertilizantes fosfatados e outros insumos orgânicos na sua composição (Tabela 1). Elas foram granuladas em um discopelotizador de prato, e posteriormente, secas em estufa a 45 °C. Por fim, foram peneiradas, utilizando peneiras de 1 e 4 mm, de acordo com a legislação do Ministério da Agricultura para uso e comercialização de fertilizantes (MAPA, 2017).

Caracterização dos fertilizantes

Foram feitas análises de Potássio Solúvel em Água, Fósforo Total e Nitrogênio Total a partir dos métodos disponíveis no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (MAPA, 2017)

Tabela 1. Formulação dos Fertilizantes a partir da borra de café.

Fertilizantes	Formulação	% Borra de café
OrgMAP	BC + MAP	50
OrgST	BC + superfosfato triplo	50
OrgBorra	BC + MAP + KCl	35
OrgCama	BC + cama de frango + MAP	25
OrgSui	BC+ composto suíno + MAP	25

A análise de Potássio Solúvel em Água foi feita a partir do método por fotometria de chama, que consiste na solubilização do potássio com água quente e na medida da sua emissão em fotômetro de chama. O teor é expresso como óxido de potássio (K_2O).

Para a determinação de fósforo total, utilizou-se o método espectrofotométrico do ácido molibdovanadofosfórico, onde é formado um complexo colorido entre o fosfato e os reagentes vanadato e molibdato de amônio.

Já para o Nitrogênio Total a análise foi fundamentada no micrométodo da liga da Raney, onde todas as formas não amoniacais de nitrogênio são amonificadas e, em seguida, destiladas alcalinamente e recebida em solução de ácido bórico (MAPA, 2017).

Liberação de K e Na em condições de laboratório

O experimento foi realizado em bancada, em copos plásticos, cada um contendo 100 g de solo arenoso da classe Planossolo Háplico e a adição do equivalente a 100 mg.kg⁻¹ de potássio, variando de acordo com o teor de K de cada tratamento escolhido. Foram, ao todo, quatro tratamentos, um de controle, KCl (para agricultura convencional), K₂SO₄ (para agricultura orgânica) e um tratamento com OrgBorra (Tabela 2).

Foram realizadas sete coletas nos tempos 1, 7, 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a adição dos tratamentos, totalizando 84 amostras. Durante todo o período, a umidade foi mantida em capacidade de campo e, após realizada a coleta, cada amostra foi seca em estufa à 45°C e homogeneizada para dar seguimento às análises químicas.

Determinação de K e Na

Para a determinação dos nutrientes, realizou-se a metodologia de extração ácida como descrita no Manual de Métodos e Análise de Solo (2017). O método utilizou 10g de cada amostra de solo tratado e 100 mL de uma solução de extrato de Mehlich-1 para o preparo da solução de análise.

Tabela 2. Fertilizantes utilizados no experimento e os teores de K₂O de cada tratamento.

Tratamento	Composição	Teor de K ₂ O (%)
KCl	Fertilizante comercial	58,0
K ₂ SO ₄	Fertilizante comercial	50,0
OrgBorra	BC + MAP + KCl	10,8

A mistura foi posta em agitação por 5 minutos e em repouso por uma noite. Ao final do período de repouso, a solução foi coletada e a leitura realizada em fotômetro de chama Digimed DM-62. Realizada a leitura, os resultados em ppm foram transformados para concentrações em mg.kg⁻¹ como descrito na equação.

Onde:

Valor 10 – fator que leva em consideração a diluição solo: extrator

$$K^+, Na^+ (mg\ kg^{-1}) = 10 \cdot L_2 \cdot d$$

L₂ – Leitura da amostra, em absorbância

d – Fator de diluição do extrato de Mehlich-1 (se não for necessária a diluição, considera-se d = 1);

Resultados e Discussão

CTC da borra de café

Os resultados de CTC da borra de café encontrados estão apresentados na **Tabela 3**, obtidos através da média das triplicatas de cada amostra.

Foi possível observar que a CTC da borra de café apresentou uma média de 419,59 mmolc kg⁻¹. De acordo com a IN 61/2020 para organominerais sólidos, os insumos devem apresentar uma CTC mínima de 80 mmolc kg⁻¹ assim, a borra de café é um insumo que pode ser adicionado às formulações para aumentar a CTC do fertilizante organomineral.

Tabela 3. Resultado da análise de CTC da borra de café.

Repetição	CTC (mmolc kg ⁻¹)
1	406,20
2	424,27
3	428,32
Média	419,59

Caracterização dos fertilizantes

Os demais resultados das análises químicas podem ser observados na **Tabela 4**.

Os fertilizantes organominerais produzidos apresentaram teores de P₂O₅ total entre 20 e 30%.

Apenas o fertilizante OrgBorra, que tem KCl na sua formulação, é classificado como NPK (03-20-10). Todos os demais fertilizantes apresentaram teores menores que 1% de K₂O.

Ao observar os resultados de nitrogênio, observou-se que as formulações com adição de MAP apresentaram maiores teores, especialmente o OrgMAP, com 5,70%. Essa diferença pode ser

Tabela 4. Resultados das análises de caracterização dos fertilizantes produzidos a partir de borra de café.

Fertilizante	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	N (%)
OrgMAP	29,54	0,28	5,70
OrgST	22,65	0,24	0,50
OrgBorra	20,02	10,80	3,11
OrgCama	29,79	0,71	4,26
OrgSui	29,96	0,63	4,31

associada ao teor de N, em torno de 11%, presente na composição do MAP, na forma de nitrogênio amoniacal (MAPA, 2017).

As análises de CTC dos fertilizantes encontram-se em andamento, sendo realizadas no Laboratório de Tecnologia em Fertilizantes, na Embrapa Solos, localizada no Jardim Botânico no Rio de Janeiro.

Liberação de K e Na em condições de laboratório

Neste estudo somente foi utilizado o fertilizante Orgborra, pois foi o único com teor alto de potássio na sua composição. Os demais tratamentos foram fertilizantes contendo potássio, KCl e K₂SO₄. Foi possível observar que houve diferença de concentrações entre os tratamentos com adubação e a testemunha, que não sofreu nenhuma adição de fertilizante, em todas as coletas, indicando o efeito da aplicação dos tratamentos no solo.

Ao analisar a Figura 1, é possível observar que o fertilizante organomineral OrgBorra aumentou os teores de K⁺ trocável no solo, com teores variando entre 90 e 140 mg kg⁻¹. Já os tratamentos com KCl e K₂SO₄ não apresentaram diferença significativa, elevando os teores de potássio trocável entre 80 e 100 mg kg⁻¹.

A Figura 1 evidencia a eficácia da aplicação dos tratamentos no solo, já que a testemunha se manteve constante, sem alterações significativas, durante os períodos de coleta.

A respeito dos níveis de liberação de Na⁺, todos os tratamentos apresentaram teores abaixo de 10 mg kg⁻¹ (Figura 2).

É de grande importância o monitoramento da liberação de sódio por meio dos fertilizantes, já que esse nutriente é tóxico para as plantas.

Conclusões

Com base na borra de café, foi possível produzir fertilizantes organominerais NPK e NP e fosfatados. A borra de café apresenta um alto valor de CTC, acima de 400 mmolc kg⁻¹.

O fertilizante organomineral OrgBorra, assim como os fertilizantes KCl e K₂SO₄ aumentaram os teores de potássio trocável no solo, e não elevaram os teores de sódio.

Agradecimentos

À Embrapa Solos e ao CNPq pelo apoio logístico-financeiro.

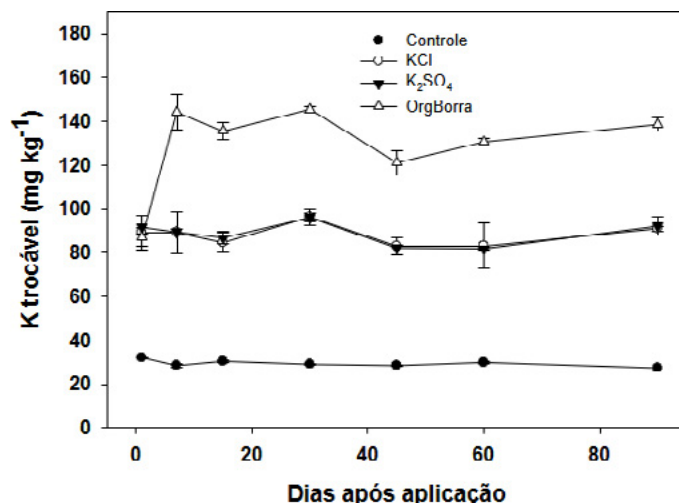


Figura 1. Concentração de K Trocável em solo adubado com diferentes fertilizantes potássicos comerciais e OrgBorra em vários períodos de incubação.

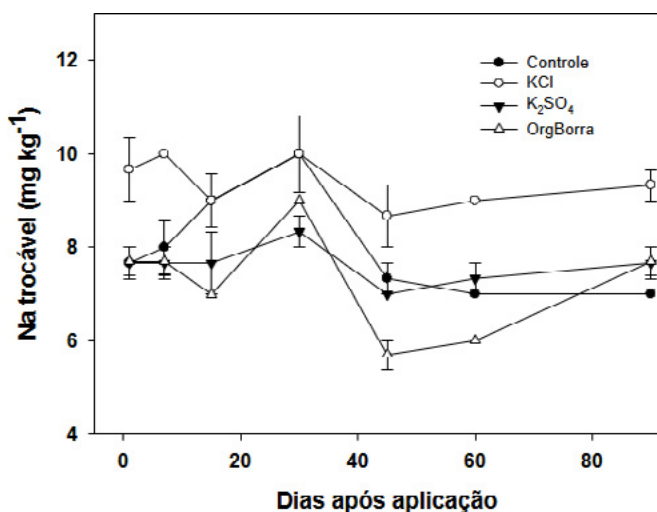


Figura 2. Concentração de Na Trocável em solo adubado com diferentes fertilizantes potássicos comerciais e OrgBorra em vários períodos de incubação.

Referências

- ABIC. Indicadores da Indústria de Café. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Anuário estatístico do setor de Fertilizantes 2024. São Paulo: ANDA, 2024.
- BRASIL é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor de café. Gov.br, [S. l.], p. 1, 14 abr. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-e-o-segundo-maior-consumidor-de-cafe>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- CONAB. Produção de café cresce 8,2% em 2023 e chega a 55,1 milhões de sacas. Companhia Nacional de Abastecimento, [S. l.], p. 1, 1 ago. 2024.
- CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. dos S.; FIGUEIREDO, V. S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 45, p. [137]-187, mar. 2017.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Brasília, 2017.

MOURA, C. L. de; MOREIRA, I. C.; LIMA, L. F. De e SAKANAKA, L. S. Extração e caracterização da composição lipídica da borra de café robusta e arábica. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, FAURGS- Gramado/RS, outubro 2016.

XIAO, L. et al. A practical soil management to improve soil quality by applying mineral organic fertilizer. *Acta Geochimica*, v. 36, n. 2, p. 198–204, 23 jan. 2017.

Incremento de carbono no solo oriundo da palhada de culturas agrícolas potencializado pela suplementação dos nutrientes NPS⁽¹⁾

Arthur Barreto Ribas⁽²⁾; Ademir Fontana⁽³⁾; Angélicy Milena Vivian⁽⁴⁾; Bruna Vieira dos Santos⁽⁵⁾; Fabiano de Carvalho Balieiro⁽⁶⁾; Miryan Araújo de Lima Arco⁽⁷⁾; Alexandre Romeiro de Araújo⁽⁸⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da AGRISUS e DEFRA/BID/MAPA. ⁽²⁾ Engenheiro Agrônomo, Graduando, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, MS. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. ⁽⁴⁾ Engenheira Agrônoma, Graduanda, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, MS. ⁽⁵⁾ Engenheira Agrônoma, Pós-Graduada, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. ⁽⁶⁾ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁷⁾ Engenheira Ambiental, Graduanda, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. ⁽⁸⁾ Zootecnista, Doutor, Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Resumo – O balanço entre o carbono (C) e os nutrientes no solo é condição para o processo de humificação do material orgânico. A partir do balanço quantitativo entre o C pelo N, P e S do húmus do solo e dos resíduos vegetais (palha) é aplicado o N, P e S de forma suplementar em uma razão ideal. Busca-se além da diminuição da taxa de decomposição dos resíduos vegetais, a melhor taxa de conversão da biomassa morta (resíduo vegetal) em biomassa viva (microbiana). O objetivo do trabalho é quantificar o teor de carbono no solo sob cultivos agrícolas em condição experimental no Cerrado Sul-Matogrossense. Um experimento foi instalado em março de 2023 na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. O solo selecionado é de textura média, teor de C org de 7,8 g kg⁻¹ e C total de 10,6 g kg⁻¹. O solo estava sob cultivo com pastagem de baixa produtividade e foi corrigido e adubado. As unidades experimentais contam com 5 cultivos, 4 repetições e 4 doses de NPS, além, e sem cultivo. A fase de suplementação com N, P e S foi iniciada em novembro de 2023, não sendo avaliado este fator no presente trabalho. Nos cultivos com pastagem, a forrageira foi cortada pela simulação de pastejo rotacionado, conforme a indicação de altura máxima e mínima de pastejo das cultivares. Nas pastagens, além da perda de forragem pelo pastejo (25%) depositado como palha na superfície do solo, é considerado perda por senescência (25%), obtendo assim a eficiência de pastejo de 50%. No mês 10/2023 foram coletadas amostras de solo nos anéis nas camadas de 0-5, 5- 10 e 10-20 cm e quantificado os teores de carbono orgânico (C org) e carbono total (C total). Os teores de C org diminuíram de 18% a 27% e vai dos cultivos 1 ao 5, enquanto, nos anéis sem cultivos é mais expressiva, chegando a 29%. Os teores de Carbono Total (C total) diminuíram em todos os cultivos de forma mais expressiva que o C org (26 a 34%) e nos anéis sem cultivo (33%).

Palavras-Chave : Cultivo de grãos e pastagem, razão C/nutrientes no solo, incorporação de C.

Introdução

O incremento do carbono (C) no solo a partir dos resíduos depositados na superfície pelas culturas agrícolas é um desafio diante da rápidadecomposição e mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) em condições de clima tropical. Desta forma, o desenvolvimento de estratégias que visam potencializar o incremento da MOS passa necessariamente pela entrada de C sob diferentes fontes e sua permanência no solo.

Ao avaliar uma das principais fontes de C no solo, os resíduos vegetais que são adicionados superficialmente ao solo, no primeiro ano, pela decomposição, pelo menos 70% do C é convertido em CO₂ (Jenkinson et al., 1991).

Quanto à taxa de decomposição dos resíduos vegetais, ela pode ser modificada em função da qualidade, resultando numa taxa de mineralização diferenciada. Para isto, é buscado uma taxa lenta damineralização, a qual, passa necessariamente pelo processo de humificação.

O húmus do solo representa a forma predominante de estruturas com C no solo, sendo a parte estabilizada da MOS. No húmus, o C mesmo sendo um dos principais, é um dos muitos constituintes e desta forma, o sequestro deste elemento nos solos envolve a disponibilidade de outros elementos da estrutura orgânica dos resíduos e da microbiota, principalmente.

No que confere a predisposição à decomposição da MOS, o conteúdo de nitrogênio (N) é amplamente usado como fator de análise por meio da razão C/N. No entanto, dois outros elementos da MOS, o fósforo (P) e enxofre (S) devem ser considerados, uma vez que variam em diferentes tipos de MOS, e de como as razões C/elemento variam um com o outro.

Kirkby et al. (2013) relatam que o acúmulo e a estabilidade da MOS na forma de húmus a partir do enriquecimento em C acontece simultaneamente com o aumento de N, P e S, o que implica que a imobilização de C na MOS está diretamente relacionada a disponibilidade destes nutrientes.

O objetivo do trabalho é quantificar o teor de carbono no solo sob cultivos agrícolas em condição experimental no Cerrado Sul-Matogrossense.

Material e Métodos

Instalação do experimento

O projeto está instalado desde maio de 2023 nas dependências da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. O solo selecionado é de textura média, com teor de argila de 160, silte de 50 g kg⁻¹ e areia total de 790 g kg⁻¹, teor de C org de 7,8 g kg⁻¹ e C total de 10,6 g kg⁻¹.

O solo selecionado estava sob cultivo com pastagem de baixa produtividade e foi corrigido e adubado até 30 cm de acordo com as recomendações para a cultura de maior exigência.

Em março de 2023 foram semeadas as culturas que servirão de fonte de resíduo orgânico. Cada anel tem o diâmetro de 0,90 m (0,80 m interno) x altura de 0,46 m, com área de 0,5 m² e volume de 0,23 m³.

Não total 80 unidades experimentais: 5 cultivos, 4 repetições e 4 doses de NPS. Adicionalmente, 4 anéis com solo sem cultivo, sendo apenas a adubação e correção como nos demais tratamentos (sem repetição). Nestes é aplicado o NPS (média de todos os cultivos) para avaliação do efeito *priming* (consumo ou não do C existente).

Fontes de resíduos vegetais (5 sistemas)

São cultivadas para o aporte de resíduos: 1. Soja e Milho; 2. Soja e Milho, *Brachiaria Ruziziensis*; 3. *Brachiaria Brizantha* – Piatã; 4. *Brachiaria Brizantha* – Marandu; 5. *Panicum Maximum* – Zuri).

A forma de cultivo: soja/milho/pousio; soja/milho/*Brachiaria ruziensis*; *Brachiaria*-2 anos*/soja/*Brachiaria*- 2 anos*; *Brachiaria* (simulação de pastejo – corta forrageira e 25% da massa retorna); *Panicum* (simulação de pastejo – corta forrageira e 25% da massa retorna).

*(simulação de pastejo – corta forrageira e 25% da massa retorna) / Dessecação.

Suplementação de nutrientes (4 quantidades)

- Estratégia: aplicação suplementar dos nutrientes N, P e S (aplicação combinada – NPS: 3 diferentes razões C/nutrientes – baixa, média e alta) e sem aplicação.
- Quantidade: obtida pela avaliação da quantidade dos elementos do húmus do solo (fração fina) e dos resíduos vegetais aportados em superfície (espécie, quantidade depositada por hectare e razão estequiométrica - C/N, C/P, C/S). Como taxa de incorporação de C ao solo, é considerado de forma teórica 30% do C presente nos resíduos depositados de cada cultura.
- Aplicação dos nutrientes: via fertilizante/adubação concomitantemente a cada deposição de resíduo vegetal na superfície do solo. Caso solo esteja seco é efetuado irrigação.

Corte de forrageira, quantificação da matériaseca e análises

Nos tratamentos com forrageiras é efetuado o corte da forrageira conforme recomendação de altura para pastejo. A massa verde é pesada e obtido uma amostra para determinar a umidade e posteriormente a massa seca.

Como aporte de resíduo, é simulado a perdapelo pastejo, sendo depositado sobre o solo 25% dototal de forrageia obtido no corte imediatamente após a pesagem da massa verde. Também é considerado 25% de senescência, o que dá 50% de eficiência de pastejo.

Nos tratamentos com culturais anuais, é obtido a massa verde de toda a massa produzida, vegetaçãoespontânea (cultivos 1 e 2) e *Brachiaria Ruziziensis* (cultivo 2), determinado a umidade, seguido da obtenção da massa seca. A produção de palhadade milho e soja em ano sem restrição chega a no máximo 9,0 t ha⁻¹ e 4,0 t ha⁻¹.

Todas as palhadas/resíduos são analisadas pelo total de C, N, P e S.

Amostragem de solo e análises laboratoriais

Foram coletadas amostras de solo deformadas (composta) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em todas as parcelas experimentais dos anéis.

Nas amostras de solo, foi determinado o C org por via úmida (Fontana e Campos, 2017) e C total por combustão à seca (Fontana e Bianchi, 2017).

Resultados e Discussão

Deposição de palhada

A deposição de palhada refere-se a 50 % da massa produzida para as pastagens/forrageiras (cultivos 3, 4 e 5), enquanto, para as culturas anuais (cultivos1 e 2) refere-se a 100% da massa produzida.

Na fase do estabelecimento no ano de 2023, as culturas anuais tiveram uma produção de 9,0 t ha⁻¹ (Tabela 1). A deposição de palhada das forrageiras teve uma produção crescente na seguinte ordem: Piatã < Marandu < Zuri, indo de aproximadamente 13,0 t ha⁻¹ a 20,0 t ha⁻¹.

Tabela 1. Deposição de palhada (t ha⁻¹) de cada tratamento.

Cultivo	Estabelecimento)	Manutenção
	Mar(2023)/Ago(2023)	Set(2023)/Ago(2024)
1. Soja/Milho/Pousio	9,0	8,5
2. Soja/Milho/Ruzzi	9,0	14,0
3. Piatã	12,8	14,4
4. Marandu	14,4	16,2
5. Zuri	19,8	33,5

A fase de manutenção iniciou em outubro de2023, com as culturas anuais apresentando valores de produção distintas, cultivo 1 (soja/milho) 8,5 t ha⁻¹, cultivo 2 (soja/milho/Ruzzi) 14,0 t ha⁻¹. Asforrageiras mantiveram a mesma ordem deprodução, com o aumento, principalmente no cultivo5 (Zuri) que chegou a 33,5 t ha⁻¹.

Em ambas as etapas do experimento o Zuri apresentou um valor de produção mais elevado que as demais cultivares de forrageira, tendo em vista que essa cultivar representa uma espécie de *Panicum* (porte alto), em detrimento as demais que são *Brachiarias*, mesmo sendo de elevada produtividade.

Carbono orgânico e total

Em relação ao Carbono Orgânico (C org) dos anéis, observa-se a diminuição em todos os tratamentos comparado ao teor inicial do solo de $7,8 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 1). A perda de C org até 20 cm é de 18% a 27% e vai dos cultivos 1 ao 5, enquanto, nos anéis sem cultivos é mais expressiva, chegando a 29%.

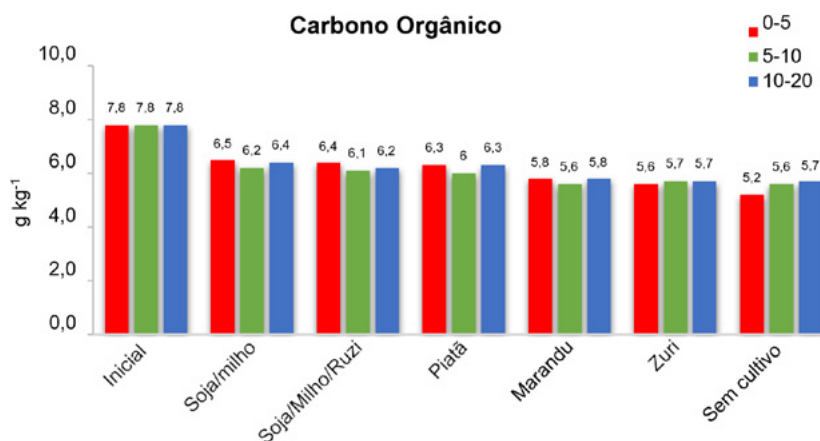


Figura 1. Teor de C org nos anéis inicial, cultivos e sem cultivo.

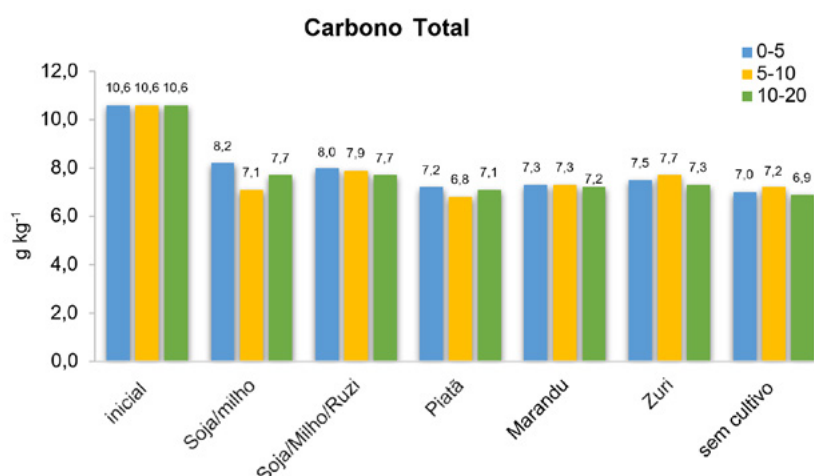


Figura 2. Teor de C total nos anéis inicial, cultivos e sem cultivo.

Assim como no C org, os teores de Carbono Total (C total) diminuíram em todos os cultivos de forma mais expressiva que o C org (26 a 34%) em anéis sem cultivo (33%) (Figura 2).

Embora tenha deposição de palhada em quantidades significativas nos cultivos 1 ao 5, a mesma não foi suficiente para compensar a decomposição da matéria orgânica, devido a melhoria das condições físicas e químicas pelo preparo do solo para o estabelecimento do experimento, com revolvimento e mistura. Contudo, para os anéis sem cultivo, com maior perda de C org, confirma a necessidade de uma quantidade mínima de resíduos de superfície para a manutenção da matéria orgânica no solo.

Em estudo realizado na área experimental localizada na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) tendo o objetivo de estudar a contribuição de práticas de manejo para recuperar a agregação de um solo de textura franco-argiloarenosa (253 g kg^{-1} de argila na camada superficial), degradado pelo uso agrícola intensivo sem práticas revolvimento do solo, Vezzani e Mielniczuk (2011), observaram que o revolvimento intenso do solo e a baixa adição de resíduos (Lavoura) reduziu o estoque de C total de $20,0 \text{ t ha}^{-1}$ do campo nativo para $11,8 \text{ t ha}^{-1}$ na lavoura.

O revolvimento intensivo do solo e baixa adição de resíduos, especialmente sob plantio convencional, promove a redução do estoque de carbono. De forma contrária, o sistema plantio direto demonstra melhorias na estrutura e agregação do solo, maior estabilidade da matéria orgânica e retenção de água (Vezzani e Mielniczuk, 2011; Medeiros, 2019; Fagundes et al., 2019).

Conclusões

As avaliações na fase de estabelecimento indicam diminuição dos teores de C org de 18% a 27% e vai dos cultivos 1 ao 5, enquanto, nos anéis sem cultivos é mais expressiva, chegando a 29%. Os teores de Carbono Total (C total) diminuíram em todos os cultivos de forma mais expressiva que o C org (26 a 34%) e nos anéis sem cultivo (33%).

Agradecimentos

Ao CNPq e Fundect. A Agrisus pelo apoio financeiro (. Esta pesquisa é desenvolvida no âmbito do Projeto Rural Sustentável - Cerrado, fruto da parceria entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Governo do Reino Unido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS), a Embrapa e a Rede ILPF.

Referências

- FAGUNDES, M. O.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.281-297, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0024>
- FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. **Carbono orgânico**. In: Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (Org). Manual de Métodos de Análise de Solo. 3ed. Embrapa, Brasília, DF, Brasil. p.360-367. 2017
- FONTANA, A.; BIANCHI, S. R. **Carbono e Nitrogênio Total – Analisador elementar**. In: Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (Org) 2017. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3ed. Embrapa, Brasília, DF, Brasil. p.393-396.
- JENKINSON, D. S.; Adams, D. E.; Wild, A. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. **Nature**, 351: 304-306. 1991.
- KIRKBY, C. A.; RICHARSON, A. E.; WADE, L. J.; BATTEN, G. D.; BLANCHARD, C.; KIRKEGAARD, J. A. Carbon-nutrient stoichiometry to increase soil carbon sequestration. **Soil Biology & Biochemistry**. 2013; 60:77-86.
- MEDEIROS, A. S. **Fatores de mudança nos estoques de carbono no solo devido ao uso da terra no semiárido brasileiro**. Rio Largo - AL - 2019. Tese de doutorado. p.114. Universidade Federal de Alagoas. 2019. <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/5819/3/Fatores%20de%20mudan%c3%a7a%20nos%20estoques%20de%20carbono%20do%20solo%20devido%20ao%20uso%20da%20terra%20no%20semi%c3%a1rido%20brasileiro.pdf>
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. AGREGAÇÃO E ESTOQUE DE CARBONO EM ARGISSOLO SUBMETIDO A DIFERENTES PRÁTICAS DE MANEJO AGRÍCOLA. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:213-223, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>

Avaliação do controle à erosão em solos sob diferentes sistemas de manejo na região de Balsas – MA⁽¹⁾

Thamirys Gomes Dias⁽²⁾; Guilherme Kangussu Donagemma⁽³⁾; João Henrique Zonta⁽⁴⁾; Dirceu Keplker⁽⁵⁾; Edmilson da Silva Oliveira Junior⁽⁶⁾; Alexandre Ortega Gonçalves⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do projeto EJP soil custeado pelo governo brasileiro e comunidade europeia. ⁽²⁾ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, na Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ. ⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr em solos e Nutrição de plantas, pesquisador na Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr Engenharia Agrícola, pesquisador na Embrapa Cocais, São Luís-MA. ⁽⁵⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr em Ciência do Solo, pesquisador na Embrapa Cocais, São Luís-MA. ⁽⁶⁾ Engenheiro Agrônomo, Assistente de performance logística na PRIO, Rio de Janeiro-RJ. ⁽⁷⁾ Engenheiro Agrônomo, Dr em Solos e Nutrição de plantas, pesquisador na Embrapa Solos, Rio de Janeiro-RJ.

Resumo – O MATOPIBA é uma região de fronteira agrícola no Brasil que tem experimentado uma expansão significativa da agropecuária. Esse crescimento tem causado degradação do solo e perda de serviços ecossistêmicos do solo (SES) devido ao manejo inadequado. Para mitigar esses impactos, práticas conservacionistas e sistemas de produção sustentáveis, como o Sistema Integração Lavoura- Pecuária (ILP), estão sendo incentivados. Um projeto relevante, o EJP Soil, visa monitorar o impacto do manejo do solo nos SES, utilizando métodos e indicadores acessíveis e de baixo custo para apoiar tanto os produtores quanto as políticas públicas.

Entre os serviços ecossistêmicos cruciais está o controle de erosão, que é essencial para a preservação dos cursos d'água em bacias hidrográficas. O controle de erosão pode ser estimado através da infiltração de água no solo, utilizando o método do anel simples, que é menos preciso mas mais econômico do que o método do duplo anel, sobretudo em solos degradados, onde o método pode ser mais lento. Assim o uso de funções de pedotransferência constitui uma alternativa para estimar a condutividade hidráulica e por conseguinte, o controle de erosão, uma vez que o mesmo é calculado pela intensidade de chuva máxima em uma hora menos o valor da condutividade hidráulica (ou da infiltração de água no solo).

Esse trabalho objetivou avaliar o serviço ecossistêmico controle de erosão a partir da estimativa da infiltração de água no solo, por funções de pedotransferência utilizadas para estimar a condutividade hidráulica do solo em diferentes usos da terra na região de Balsas-MA. Os usos da terra incluem pastagem convencional, Sistema de Plantio Direto, com soja, e cobertura de solo com gramínea; sistema de manejo convencional com Milho, e vegetação natural do Cerrado. O objetivo é avaliar o SES de controle de erosão, correlacionando a intensidade das chuvas com a infiltração de água nos diferentes usos da terra.

A pesquisa envolveu a seleção de 10 sistemas de uso da terra em três tipos de solo da região de Balsas-MA: Neossolo Quartzarênico, Latossolo Vermelho-Amarelo textura média e Latossolo Vermelho argiloso. Os tratamentos incluem lavoura de milho e pastagem em Neossolo Quartzarênico; pousio; lavoura de milho/soja com cobertura de milheto e/ou braquiária; e cultivo de milho contínuo sem cobertura de solo no Latossolo Vermelho- Amarelo textura média. E lavouras de milho com dois tempos de uso: 10 e 40 anos no Latossolo Vermelho textura argilosa, e Cerrado. Foram coletadas amostras compostas de nove amostras simples para determinar a fertilidade (incluindo o carbono orgânico total) e a granulometria, com três repetições. A infiltração de água foi avaliada com o anel simples em campo, junto das trincheiras para o estoque de carbono.

Os dados coletados foram organizados em uma planilha Excel, e duas funções de pedotransferência foram testadas para estimar a condutividade hidráulica do solo: a função de Julia et al. (2004) e a função de Cosby et al. (1984), que consideram variáveis como areia, silte, argila. A função que estimar a condutividade hidráulica com maior coeficiente de correlação de Person, e maior confiabilidade ou seja menor incerteza, será utilizada para o cálculo do controle de erosão. O cálculo do controle de erosão será realizado subtraindo a infiltração estimada pela função de pedotransferência da intensidade de chuva, ou a condutividade hidráulica do solo.

A confiabilidade da estimativa da condutividade hidráulica será avaliada comparando as medições de campo da infiltração de água com as estimativas feitas pelas funções de pedotransferência. Para tanto, serão usados parâmetros estatísticos como a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o coeficiente de correlação de Pearson para avaliar a precisão e exatidão das estimativas. O controle de erosão calculado com o valor

medido da infiltração de água no solo será comparado com o valor do controle de erosão da condutividade hidráulica estimada pela função de pedotransferência com maior precisão, usando o teste Tukey a 5% de probabilidade. Conclusões: As funções de pedotransferência aplicadas não foram adequadas para a estimativa da condutividade hidráulica para os solos e sistemas de manejo da região de Balsas. Devem ser aplicadas funções de pedotransferência por classe de solo e textura, e incluir funções que considerem variáveis relacionadas a estrutura do solo como por exemplo: água disponível, e densidade do solo. O controle de erosão foi influenciado pela textura do solo e pelos sistemas de manejo

Palavras-Chave : MATOPIBA, Sistema de plantio direto, Função de pedotransferência, Serviços Ecossistêmicos, Infiltração de água no solo.

Introdução

O MATOPIBA, região de fronteira agrícola, tem visto a expansão da agropecuária, resultando na degradação do solo e perda de serviços ecossistêmicos do solo (SES) devido ao manejo inadequado. Para enfrentar esse problema, a adoção de práticas conservacionistas e sistemas de produção mais sustentáveis, como o Sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP), tem sido promovida. O projeto EJP Soil tem como objetivo monitorar o impacto do manejo do solo no SES, usando indicadores e métodos acessíveis de baixo custo, que podem auxiliar tanto os produtores quanto políticas públicas. Um dos serviços ecossistêmicos cruciais é o controle de erosão, essencial para preservar os cursos de água em bacias hidrográficas. A estimativa do controle pode ser realizada através da infiltração de água no solo, utilizando o método do anel simples, que é menos preciso, porém mais econômico que o método do duplo anel. Em casos de solos degradados, o método pode ser demorado, assim uma alternativa é o uso de funções de pedotransferência para estimar a condutividade hidráulica e, a partir dessa estimativa calcular o controle de erosão. Dessa forma pode-se com um método mais prático e de baixo custo, pois só depende de variáveis que saem da análise de solo de rotina dos produtores: fertilidade do solo e da granulometria, estimar a condutividade hidráulica, e então calcular o serviço ecossistêmico controle de erosão. Diante do Exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar o controle de erosão calculado considerando a condutividade hidráulica estimada por duas funções de pedotransferência, em diferentes usos da terra na região de Balsas-MA.

Material e Métodos

Foram selecionados 10 sistemas de uso da terra em três tipos de solo da região de Balsas-MA: Neossolo Quartzarenico, Latossolo Vermelho-Amarelo textura média e Latossolo Vermelho argiloso. Os tratamentos são: lavoura de milho e pastagem no Neossolo Quartzarenico; pousio; lavoura de milho/soja com cobertura de milheto e/ou braquiária; e cultivo de milho contínuo sem cobertura de solo no Latossolo Vermelho-Amarelo textura média. Além disso, há lavoura de milho por 10 anos e lavoura de milho por 40 anos em Latossolo Vermelho textura argilosa; e Cerrado no Neossolo Quartzarenico, Cerrado (referência) no Latossolo Vermelho-Amarelo textura média e Cerrado (referência) em Latossolo Vermelho argiloso.

Foram coletadas amostras compostas de nove amostras simples para análise de fertilidade (incluindo o carbono orgânico total) e granulometria, com três repetições, os indicadores de fertilidade e a textura foram determinados conforme Teixeira et al. (2017). No campo, foi avaliada a infiltração de água no solo com anel simples (Roose et al., 1993), com duas avaliações junto das três trincheiras para estoque de carbono, também com três repetições. Os dados de fertilidade, granulometria, densidade do solo e infiltração de água no solo serão organizados em uma planilha Excel. Serão testadas duas funções de pedotransferência para estimar a condutividade hidráulica: a função de Julia et al.

(2004) e a função de Cosby et al (1984). O valor estimado da condutividade hidráulica pela equação mais adequada será utilizado para o cálculo do controle de erosão, em outra ação do projeto. O cálculo do controle de erosão será: intensidade de chuva (Im) – infiltração de água no solo, ou

controle de erosão: intensidade de chuva – condutividade hidráulica. A Im foi calculada conforme Campos et al(2015)

Análise estatística

Será estimada a confiabilidade da estimativa da condutividade hidráulica usando a medição da infiltração de água no solo no campo. Será selecionada a função que estime a condutividade hidráulica do solo com menor incerteza. Os dados de campo da infiltração de água no solo serão utilizados para comparar com os valores das predições de condutividade hidráulica estimados pelas PTFs através de retas 1:1, a raiz do erro quadrático médio (RMSE), que é calculada utilizando os dados de resíduos (diferença entre os dados observados e estimados), e o coeficiente de correlação de Pearson (r), que representam parâmetros de exatidão e precisão, respectivamente. O coeficiente de correlação pode ser interpretado através da escala criada por Newbold (1995), sendo classificado como: perfeito, muito forte, substancial, moderado, baixo, ínfimo e nenhum, para os respectivos valores 1; 0,99-0,7; 0,69-0,5; 0,49-0,3; 0,29-0,1; 0,09-0,01 e 0. A comparação do valor do controle de erosão calculado considerando a infiltração de água no solo estimada pela função de pedotransferência, com o valor do controle de erosão medido no campo, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Os valores da velocidade de infiltração básica (VIB), variaram de 18 mm/h no sistema de manejo no Latossolo Vermelho Amarelo textura média no sistema de manejo sem adubação a 252 mm/h no Latossolo Vermelho Amarelo textura média sob Cerrado (Tabela 1), A VIB foi influenciada pelo tipo de solo e manejo, os maiores valores são para o solo arenoso e os menores para o solo argiloso, e dentro das classes de solo e textura, em geral o uso reduziu os valores da infiltração de água no solo em relação ao cerrado (referência), de acordo com a VIB (Tabela 1). Em geral a infiltração de água é maior em solos arenosos, reduzindo nos de textura média e mais ainda nos argilosos, no entanto solos argilosos oxidícos em condição natural apresentam elevada infiltração, como observado na lavoura 40 anos, mantém um valor de VIB elevado, conforme classificação de Estados Unidos (2017), isto está relacionado a aplicação dejetos de suínos por longos anos, favorecendo o aporte de matéria orgânica do solo e com isso melhorando a estrutura do solo. E o uso especialmente convencional, leva a compactação do solo como é o caso do milho 10 anos e milho 40 anos especialmente, possivelmente a aração e gradagem, está levando a compactação e com isso maiores valores de densidade do solo, consequentemente a infiltração de água no solo é menor. O Controle de erosão foi sensível ao tipo de solo e sistemas de manejo. Os valores variam de - 216 no Latossolo Vermelho Amarelo sob cerrado a 18 no Latossolo Vermelho Amarelo no sistema de manejo sem adubação, sendo maior no solo arenoso, exceto no Latossolo Vermelho Amarelo textura média sobre o cerrado, e depois no argiloso. Os usos reduziram o controle de erosão em relação ao cerrado, não sendo tanto problema no solo arenoso e no de textura média, e no argiloso sob milho 40 anos, pois não está tendo erosão. Mas no solo argilosos no sistema de manejo com 10 anos de milho, o valor indicam que, está tendo erosão, possivelmente, ainda não teve tempos suficiente do material orgânico, melhorar a estrutura do solo, e a aração e gradagem pode estar favorecendo a compactação do solo. As funções de pedotransferência aplicadas não foram adequadas para estimar a condutividade hidráulica, pois apresentaram baixos valores de R^2 (Tabela 1), conforme a classificação de Newbold (1995). Possivelmente, esses baixos valores se devem, a elevada variabilidade espacial dos dados de infiltração de água no solo, que gera elevado desvio padrão aos valores medidos. Além disso, ao incluir solos com variação grande da textura, de arenoso a argiloso, assim apresentam comportamento distinto o que, limita que uma função seja adequada para os três solos em conjunto. Assim não devem ser aplicadas para estimativa da condutividade hidráulica e com isso do controle de erosão. Então a função de pedotransferência devem ser aplicadas dentro de cada solo

Tabela 1. Velocidade de infiltração básica (VIB) medida no campo, condutividade hidráulica estimada pela função de Julia et al. (2009) (CH1), Condutividade-hidráulica estimada pela função de Cosby et al. (1998) (CH2), e controle de erosão (CE), e R^2 da função de Julia et al. (2009) ($R^2 1$), e da função de Cosby et al (1998) ($R^2 2$) sob diferentes sistemas de uso do solo, em Três solos: Neossolo Quartzarênico (RQ), Latossolo Vermelho-Amarelo textura media (LVA t.m), e Latossolo Vermelho Argiloso (LV t.argilosa) da região de Balsas-MA.

Sistema de uso da terra e tipo de solo	VIB (mm/h)	CH1 (mm/h)	CH2 (mm/h)	CE (mm/h)	$R^2 1$	$R^2 2$
Cerrado RQ	163	83	28	-126	0,140	0,143
Cerrado LV t.m	147	35	27	-110	0,149	0,143
Cerrado LV t.m	252	10	26	-216	0,149	0,143
Lavoura de soja RQ	105	70	28	-64	0,149	0,143
Pastagem Braquiaria RQ	101	83	28	-64	0,149	0,143
Lavoura/ pousio LVA t.m	25	35	27	12	0,149	0,143
Lavoura plantas de cobertura LVA t.m	54	26	26	-18	0,149	0,143
Lavoura Solo sem adubação LVA t.m	18	26	26	18	0,149	0,143
Lavoura Milho 10 anos LV argilosa	27	10	26	9	0,149	0,143
Lavoura Milho 40 anos LV argilosa	51	7	26	-10	0,149	0,143

e textura, além disso, usar um número maior de dados. Como os coeficiente de correlação das funções foram baixos, não calculamos o controle de erosão considerando a condutividade hidráulica estimada pelas funções, e com isso não fizemos a comparação dos valores do controle de erosão entre sistemas de uso pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Conclusões

As funções de pedotransferência aplicadas não foram adequadas para a estimativa da condutividade hidráulica para os solos e sistemas de manejo da região de Balsas.

Devem ser aplicadas funções de pedotransferência por classe de solo e textura, e incluir funções que considerem variáveis relacionadas a estrutura do solo como por exemplo: água disponível, e densidade do solo

O Controle de erosão foi influenciado pela textura do solo e pelos sistemas de manejo.

Agradecimentos

A Embrapa pelo financiamento do trabalho e pela infraestrutura para execução deste trabalho.

Referências

CAMPOS, A. R., SANTOS, G. G., ANJOS, J. C. R. dos, STEFANOSKI, D. C., & MORAES, J. M. F. (2015). Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão. Revista Engenharia Na Agricultura, v.23, p.435–447, 2015.

COSBY, BJ, HORNBERGER, GM, CLAPP, RB, GINN, TR. A statistical exploration of the relationships of soil-moisture characteristics to the physical-properties of soils. Water Resour Res 20:682–690. 1984.

ESTADOS UNIDOS DEPARTMENT OF AGRICULTURE SOI SURVEY DIVISION SOIL CONSERVATION SERVICE SOIL SURVEY STAFF. Soil Survey Manual. Washington, D.C. 2017, 603p. (USDA, Agriculture, handbook, 18).

JULIA, M.F., MONREAL, T. E., JIMENEZ, A.S.C., MELÉNDEZ, E.G., 2004, Constructing a saturated hydraulic conductivity map of Spain using pedotransfer functions and spatial prediction, *Geoderma*, 123, 257–277.

NEWBOLD, P. Statistics for Business & Economics. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 144, 1995.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A. Manual de análise de solo. 3.ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. p.255-257.

Anexo 1 Cartaz Programa do Seminário Pibic 2021



17 de setembro (terça-feira)
8h30 às 16h30
Auditório da Embrapa Solos

Link para acesso remoto: <https://meet.google.com/kkj-bujf-cbt>

PROGRAMAÇÃO		
8h30	Abertura	Chefia da Embrapa Solos
8h40	Considerações do CIBE	Equipe CIBE
Apresentações Orais dos Bolsistas		
	Bolsistas	Orientadores
8h45	• Ágatha Ayra de Araújo Borges	Etelvino Henrique Novotny
9h15	• Beatriz Regina de Figueiredo	Maria Sônia Lopes da Silva
9h45	• Daniel Marques de Abreu	Ana Paula Dias Turetta
10h15	• Eduarda Freitas Storace e Silva	Alexandre Ortega Gonçalves
10h45	Intervalo	
11h00	• Jonatan Alves Pereira	Wenceslau Geraldes Teixeira
11h30	• Giselle Silva dos Santos	Rosângela Straliootto
12h00	Almoço	
13h45	• Luiz Cláudio de Araújo Costa	Fabiano de Carvalho Balieiro
14h15	• Kinston Tim Mai	Vinícius de Melo Benites
14h45	• Sophia Helena Saldanha Bithencourt	David Vilas Boas de Campos
15h15	• Arthur Barreto Ribas	Ademir Fontana
15h45	• Thamirys Gomes Dias	Guilherme Kangussu Donagemma
16h15	Encerramento Equipe CIBE	



