



Guia de Campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos



UFAM



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

*Universidade Federal do Amazonas
Universidade do Estado do Amazonas
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*

Guia de Campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

RCC das Várzeas do Médio Rio Amazonas e Entorno

*José Francisco Lumbreras
Maurício Rizzato Coelho
Virlei Álvaro de Oliveira
Hedinaldo Narciso Lima
Wenceslau Geraldes Teixeira
Luís Antônio Coutrim dos Santos
Maria do Rosário Lobato Rodrigues
Maria de Lourdes Mendonça-Santos*

Editores técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2025

Embrapa

Parque Estação Biológica
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo e editoração

Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1024
CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ
<https://www.embrapa.br/solos>

Comitê Local de Publicações

Presidente
Cláudia Pozzi Jantalia

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
Wenceslau Gerales Teixeira

Edição executiva

Marcos Antônio Nakayama

Revisão de texto

Maria da Conceição Alves

Normalização bibliográfica

Luciana Sampaio de Araujo (CRB-7/5165)

Maria Augusta Abtibol Brito de Sousa (CRB-11/420)

Projeto gráfico e editoração eletrônica

Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Capa

Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Foto da capa

José Francisco Lumbreras

1ª edição

Publicação digital (2025): PDF

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

Guia de campo da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos : RCC das várzeas do médio Rio Amazonas e entorno / José Francisco Lumbreras ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2025.
PDF (803 p.) : il. color.

ISBN 978-65-5467-118-7.

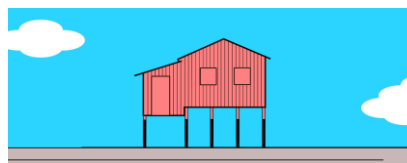
1. Classificação do solo. 2. Geomorfologia. 3. Geologia. 4. Mineralogia. 5. Análise do solo. 6. Clima. I. Lumbreras, José Francisco. II. Coelho, Maurício Rizzato. III. Oliveira, Virlei Álvaro de. IV. Lima, Hedinaldo Narciso. V. Teixeira, Wenceslau Gerales. VI. Santos, Luís Antônio Coutrim dos. VII. Rodrigues, Maria do Rosário Lobato. VIII. Mendonça-Santos, Maria de Lourdes. IX. Embrapa Solos.

CDD (23. ed.) 631.44

Luciana Sampaio de Araujo (CRB-7/5165)

© 2025 Embrapa

Capítulo 23



Avaliação dos teores de fósforo por diferentes métodos nos perfis de solos da XV RCC

*Marcos Gervasio Pereira
Matheus da Silva de Carvalho
Ademir Fontana*

1. Introdução

O fósforo (P) é um macronutriente essencial e de grande exigência para o desenvolvimento das culturas e, em função do aumento da necessidade de produção mundial, há constante e crescente demanda por fontes desse nutriente, como os fertilizantes fosfatados, levando à pressão do mercado internacional por esse insumo e a variações significativas dos preços.

Diante disso, estudos que possibilitem a quantificação dos teores de P disponível no solo são fundamentais tanto para a formação, ou o estabelecimento, quanto para a manutenção de cultivos agrícolas. No solo, o P está presente principalmente na forma de ânions (H_2PO_3^- e HPO_3^-) e devido às suas propriedades químicas pode ter a sua disponibilidade influenciada por uma série de fatores, especialmente os teores de argila, a matéria orgânica, a mineralogia da fração argila e o pH do solo (Patle et al., 2019).

Em ambientes tropicais, o intenso intemperismo reduz a capacidade de troca catiônica do solo, tornando os coloides minerais mais eletropositivos e muitas vezes possuindo capacidade de troca aniônica, aumentando a retenção de ânions, como os fosfatos (Novais et al., 2007). Nessas condições, a diminuição do pH e o aumento dos óxidos de ferro (hematita e goethita), que expressam cores vermelhas e amarelas, respectivamente, e de alumínio (gibbsita) no solo, favorecem as ligações covalentes entre a superfície dos óxidos e o fosfato da solução, processo conhecido como adsorção específica, que reduz a solubilidade e a disponibilidade do P. Essa condição torna-se mais acentuada à medida que há aumento dos teores de argila, que são os

principais responsáveis pela retenção de P (Cabral et al., 2020; Fontana et al., 2021; Gotz et al., 2024), levando, assim, à inclusão em manuais de interpretação e recomendação de nutrientes de tabelas cujos níveis de recomendação de aplicação de P variam em função dos teores de argila. Em outro extremo, solos pouco intemperizados com valores de pH neutros ou alcalinos (em torno de 7,0) e com alta disponibilidade de Ca^{2+} favorecem a formação de fosfato de cálcio, um composto de baixa solubilidade que também reduz a disponibilidade de P no solo (Silva et al., 2017).

No Brasil, o método mais utilizado para a extração do P disponível é o Mehlich-1, uma solução diluída composta de dois ácidos fortes, o H_2SO_4 e o HCl . Esse método destaca-se por produzir extratos límpidos, com rápida decantação, sem necessidade de filtração. Entretanto, é inadequado para solos com pH alto e teores elevados de Ca^{2+} , pois o caráter ácido da solução extratora solubiliza o fosfato de cálcio e superestima os teores de P disponível (Silva; Raij, 1999), tampouco não é adequado para solos com aplicações de fosfato na forma de adubos, o qual extrairá quantidades significativas, superestimando dessa forma os teores de P disponível. Nessas condições, o uso de extratores alcalinos, como o método Olsen, que utiliza solução tamponada de NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 8,5 (Olsen et al., 1954), torna-se mais adequado na quantificação do P disponível em solos de pH elevado, apesar de possuir algumas limitações, como a necessidade de filtração e a obtenção de extrato de cor amarelada. O princípio do método baseia-se no funcionamento do HCO_3^- como um bom trocador de fosfato, enquanto o Na^+ reduz a atividade do Ca^{2+} que fica em solução (Corrales, 2013).

Considerando a sensível variação da disponibilidade de P no solo com modificações do pH, seja em condições ácidas, devido à ligação com óxidos de ferro e alumínio, seja em condições alcalinas, resultando na formação de fosfato tricálcico, a avaliação adequada da capacidade de adsorção de P torna-se uma importante ferramenta no manejo da fertilidade do solo. Alguns manuais de interpretação e recomendação de nutrientes incluem tabelas cujos níveis de P a serem aplicados são decorrentes dos teores de P remanescente (P-rem). A determinação da capacidade de adsorção pode ser realizada a partir da análise de P-rem, método no qual amostras de terra são colocadas em equilíbrio com uma solução de cloreto de cálcio contendo uma quantidade conhecida de P (Alvarez V. et al., 2017). A disponibilidade de P no solo deve-se a adsorção específica, fixação ou precipitação, e pode ser avaliada pela análise do P-rem. A capacidade tampão do solo e a afinidade do P pelos sítios dos colóides podem funcionar como um indicativo do potencial de remobilização desse elemento (Alvarez V. et al., 2000).

O Mehlich-1 apresenta limitações bastante significativas, uma vez que em solos com elevados teores de P, como os solos que possuem um horizonte superficial A antrópico, o fosfato encontra-se precipitado, mas dessa forma os valores de P são superestimados. Nesse sentido, outros extratores como Olsen e Mehlich-3 foram desenvolvidos para contornar essa limitação decorrente da presença do cálcio (Souza, 2009). Estudos como os de Lehmann et al. (2004), Costa et al. (2017) e Kabala et al. (2018) desenvolvidos com solos que apresentam horizontes A antrópico têm demonstrado que o extrator Mehlich-3 é mais adequado para a quantificação dos teores de P nesses horizontes.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi comparar os valores de P quantificados pelos métodos de Mehlich-1, P remanescente (P-rem) e Olsen nos perfis de solo da XV RCC, assim como comparar os teores de P quantificados pelos métodos de Mehlich-1 e Mehlich-3 em perfis com horizontes antrópicos ou influência antrópica.

2. Material e métodos

2.1 Análises laboratoriais

Os teores de argila, de P determinado pelo método Mehlich-1 (P-Meh-1), Ca^{2+} , Mg^{2+} , carbono orgânico total (COT), capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, e os valores de pH em H_2O , ΔpH ($\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$) são oriundos do Capítulo 9 deste Guia de Campo, cujos procedimentos analíticos são aqueles preconizados por métodos contemplados em Teixeira et al. (2017).

Para a extração de P pelo método de Olsen, utilizou-se solução alcalina tamponada de NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 8,5 na proporção solo:extrator 1:20 (Olsen et al., 1954). As análises utilizando P-Ols foram realizadas em perfis selecionados previamente em função de eles apresentarem valores de pH elevado e/ou altos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

Para a determinação do P remanescente, empregou-se a solução de CaCl_2 $0,010 \text{ mol L}^{-1}$, contendo 60 mg L^{-1} de P na proporção solo:extrator 1:10 (Teixeira et al., 2017).

A solução extratora Mehlich-3 foi preparada de acordo com Mehlich (1984), com os seguintes reagentes e concentrações: CH_3COOH ($0,2 \text{ mol L}^{-1}$); NH_4NO_3 ($0,25 \text{ mol L}^{-1}$); NH_4F ($0,015 \text{ mol L}^{-1}$); HNO_3 ($0,013 \text{ mol L}^{-1}$) e EDTA ($0,001 \text{ mol L}^{-1}$). O processo de extração foi similar ao utilizado para o Mehlich-1. Após a etapa de extração por cada método, os teores de P foram quantificados por colorimetria (660 nm) a partir da absorbância do complexo

fosfomolíbico. Esse método foi empregado nos solos que apresentam horizontes diagnósticos superficiais A antrópico.

Para a análise utilizando os extratores de Mehlich-1 e Olsen, amostras foram analisadas por massa, sendo os resultados expressos em mg kg^{-1} . Já para o P remanescente, a análise foi por volume, sendo expressa em mg L^{-1} .

2.2 Análises estatísticas

Os valores de pH em H_2O , ΔpH , Ca, Mg, COT, CTC, teor de argila, P Mehlich-1 (P-Meh-1), P Olsen (P-Ols) e P remanescente (P-rem) foram submetidos ao teste de correlação de Pearson a 5% de significância, utilizando-se o software R (R Core Team, 2023). Adicionalmente, para os solos com horizontes A antrópico e com influência antrópica, foi realizada uma análise de correlação entre os teores de P determinados pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3.

2. Resultados e discussão

De maneira geral, verificou-se que os perfis localizados nos ambientes de várzeas, a saber: AM-05, AM-06, AM-07, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17, apresentaram maiores teores de P, sendo exceção a esse padrão o perfil AM-08. Quanto aos perfis situados nas áreas de terra firme, os maiores valores foram quantificados em AM-01. Os teores de P-Meh-1 variaram de 0 a 334 mg kg^{-1} , enquanto os de P-Ols variaram de 7 a 153 mg kg^{-1} . Os valores de P obtidos pelo extrator de Olsen (P-Ols) foram inferiores aos determinados pelo extrator Mehlich-1 (P-Meh-1) na maioria dos horizontes dos perfis de solo estudados, em especial nos perfis AM-01 e PA-05 (Tabela 23.1). Nos perfis AM-01 e PA-07, os teores de P também foram quantificados com o emprego do extrator Mehlich-3, obtendo-se valores que oscilaram entre 309 e 1421 mg kg^{-1} para o perfil AM-01 e 80 mg kg^{-1} para o horizonte A do perfil PA-07 (Tabela 23.2).

Com o emprego do extrator Mehlich-1, foram quantificados maiores teores de P disponível para alguns perfis, especialmente naqueles em que foram observados menores valores de pH em H_2O . Devido às condições de pH alcalino em alguns horizontes de um pequeno número de perfis, os teores de P pelo método de Mehlich-1 foram superestimados. Esse resultado está relacionado à elevada acidez da solução extratora ($\text{pH} \approx 1,5$), que intensifica a liberação de P, em solos com grande disponibilidade de cálcio (Ca^{2+}) (Pessoa Júnior, 2016),

favorecendo a formação de fosfato de cálcio (White; Taylor, 1977). Nessas condições, o extrator Olsen torna-se mais adequado devido ao pH mais básico (pH~8,5) da solução extratora.

Os teores de P extraídos pelo Mehlich-3 foram superiores em comparação ao Mehlich-1. Esse padrão também foi observado em outros estudos como os de Bortolon et al. (2009, 2011), Bortolon e Gianello (2010), Schlindwein et al. (2011) e Steiner et al. (2012). Verificou-se que os valores de P extraídos com Mehlich-3 apresentaram correlação positiva e significativa com os obtidos pelo extrator Mehlich-1.

Tabela 23.1. Teores de fósforo obtidos por diferentes métodos e variáveis correlacionadas dos perfis de solo da XV RCC, classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Horizonte	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ΔpH ⁽¹⁾	COT ⁽²⁾ g kg ⁻¹	Ca ⁽³⁾ -----cmolc kg ⁻¹ -----	Mg ⁽⁴⁾	CTC ⁽⁵⁾	Argila %	P-Meh-1 ⁽⁶⁾ ----mg kg ⁻¹ -----	P-Ols ⁽⁷⁾	P-rem ⁽⁸⁾ mg L ⁻¹
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico											
Au1	5,2	4,8	-0,4	21,7	6,6	1,5	15,8	30	134	41	45
Au2	5,1	4,6	-0,5	16,5	5,3	0,7	13,8	33	121	54	42
Au3	5,1	4,5	-0,6	13,1	3,8	0,9	13,5	37	104	69	44
Au4	5,0	4,3	-0,7	12,7	3,6	0,6	13,5	50	334	76	42
Au5	5,1	4,4	-0,7	11,0	3,6	0,6	13,3	49	308	91	40
ABu	5,0	4,3	-0,7	8,7	2,7	0,6	11,8	50	260	101	39
BAu1	4,9	4,4	-0,5	4,7	1,9	0,4	7,2	58	117	79	43
BAu2	4,9	4,6	-0,3	2,1	1,4	0,4	5,9	66	157	134	46
Bt	4,9	4,5	-0,4	1,4	1,3	0,4	5,6	69	177	153	50
Bw	4,9	4,5	-0,4	1,1	0,9	0,3	4,6	68	181	143	49
AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplúntico											
A	4,6	4,0	-0,6	17,8	1,1	1,0	11,8	59	2		35
BA1	4,5	4,2	-0,3	8,4		0,6	4,8	65	2		38
BA2	4,5	4,1	-0,4	6,0		0,2	3,7	71	2		35
Bw1	4,5	4,1	-0,4	4,1		0,1	2,9	76	1		33
Bw2	4,6	4,2	-0,4	2,9		0,1	2,6	79	3		30
Bw3	4,7	4,2	-0,5	2,3		0,1	2,2	77	3		28
Bw4	4,8	4,4	-0,4	1,7		0,1	1,8	81	3		37
Bwc1	4,9	4,4	-0,5	1,4		0,1	1,8	78	1		22
Bwc2	5,0	4,4	-0,6	1,0		0,1	1,1	76	1		25
AM-05 – Gleissolo Háptico Ta Eutrófico neofluvisólico											
Ag	4,5	3,7	-0,8	15,7	8,1	3,0	22	21	49	22	24
2CAg	4,5	3,6	-0,9	14,5	6,6	3,3	21,4	21	44	22	18
3Cg1	4,7	3,6	-1,1	7,9	4,9	3,1	18	21	33	11	19
3Cg2	4,8	3,6	-1,2	7,4	7,0	6,6	21,6	33	11	9	17
4Cg3	5,1	3,9	-1,2	2,1	11,1	6,9	22,6	27	8	15	23
4Cg4	5,5	4,4	-1,1	2,1	12,3	7,8	23,5	26	9	26	24

Continua...

Tabela 23.1. Continuação.

Horizonte	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ΔpH ⁽¹⁾	COT ⁽²⁾	Ca ⁽³⁾	Mg ⁽⁴⁾	CTC ⁽⁵⁾	Argila	P-Meh-1 ⁽⁶⁾	P-Ols ⁽⁷⁾	P-rem ⁽⁸⁾
				g kg ⁻¹	-----cmol _c kg ⁻¹ -----		%	----mg kg ⁻¹ -----		mg L ⁻¹	
AM-06 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvisólico											
Apg	5,1	4,4	-0,7	9,0	9,2	2,9	17,1	13	96	14	32
2ACg	4,9	4,0	-0,9	5,3	7,8	3,1	16,4	16	79	14	30
3Cg1	5,3	4,3	-1,0	3,2	8,8	2,9	15,4	14	73	15	35
4Cg2	5,4	4,2	-1,2	2,9	9,7	3,5	16,8	20	26	12	34
5Cg3	5,8	4,5	-1,3	1,7	10,2	3,9	16,7	18	19	16	35
6Cg4	6,0	4,6	-1,4	0,7	9,6	4,4	16,4	14	81	13	35
7Cg5	6,0	4,6	-1,4	1,2	10,1	5,7	18,3	17	51	19	41
AM-07 – Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico											
A1	5,2	4,3	-0,9	6,2	10,0	2,6	17,1	12	67	10	35
A2	5,4	4,7	-0,7	7,6	10,5	2,2	16,9	9	71	14	40
BA	5,2	4,2	-1,0	4,3	9,8	2,9	17	11	83	11	39
Bi	5,7	4,6	-1,1	3,2	9,8	3,0	16,1	11	39	13	40
2C	5,8	4,6	-1,2	3,1	10,1	4,0	17,2	15	67	12	44
2Cg	6,6	5,2	-1,4	2,2	11,2	5,4	18,6	15	55	22	47
AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico											
A	4,2	3,8	-0,4	13,7	0,6		7,2	13	2		34
Btg1	4,1	3,8	-0,3	3,4	0,2		5,5	16	1		31
2Btg2	4,2	3,8	-0,4	2,9	0,2		8,8	36	1		22
2Btgf1	4,5	3,9	-0,6	3,1	0,2		11,3	46	0		11
2Btgf2	4,6	3,9	-0,7	1,5	0,1		13,4	47	0		11
2Cg1	4,5	3,8	-0,7	1,2	0,2		14,5	47	0		13
3Cg2	4,4	3,6	-0,8	1,2	0,8		28,5	79	0		10
AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico											
A1	4,1	3,1	-1,0	3,4	0,1		2,5	2	2		58
A2	4,6	3,4	-1,2	3,1	0,1		1,1	0	0		55
AE	4,5	3,3	-1,2	3,8	0,1		2,2	0	1		46
E1	5,4	4,2	-1,2	0,2	0,1		0,1	0	0		52
E2	5,8	5,0	-0,8	0,3	0,1		0,1	0	0		53
2E3	5,8	4,9	-0,9	0,2	0,1		0,1	0	0		52
3Bh	4,7	3,8	-0,9	5,5	0,1		6,0	7	4		49
4Bhsm	4,9	4,3	-0,6	9,0	0,0		8,1	10	53		27
4Bhs	5,0	4,4	-0,6	9,9	0,0		7,8	8	43		20
4Bs	5,0	4,6	-0,4	3,9	0,0		4,1	10	13		19
5C	5,1	4,6	-0,5	2,8	0,0		2,9	19	4		39
AM-11 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvisólico											
A1	5,2	4,7	-0,5	8,0	10,0	3,1	17,6	19	56	20	35
A2	5,1	4,4	-0,7	7,2	9,7	2,8	17,2	18	52	19	34
Cg1	5,1	4,3	-0,8	6,5	9,2	3,0	16,8	17	63	19	35
Cg2	4,7	4,1	-0,6	7,2	8,6	2,9	17,2	16	71	13	26
2Cg3	4,8	4,2	-0,6	5,3	7,1	3,2	16	16	59	29	30
3Cg4	4,7	4,1	-0,6	5,2	6,8	1,8	13,7	12	55	17	29
4Cg5	5,2	4,5	-0,7	6,5	7,1	3,2	14,9	14	61	21	34
4Cg6	5,6	5,0	-0,6	5,8	7,6	2,9	13,3	13	77	16	32

Continua...

Tabela 23.1. Continuação.

Horizonte	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ΔpH ⁽¹⁾	COT ⁽²⁾ g kg ⁻¹	Ca ⁽³⁾ -----cmol _c kg ⁻¹ -----	Mg ⁽⁴⁾	CTC ⁽⁵⁾	Argila %	P-Meh-1 ⁽⁶⁾ -----mg kg ⁻¹ -----	P-Ols ⁽⁷⁾	P-rem ⁽⁸⁾ mg L ⁻¹
AM-12 – Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvisólico											
Apg1	4,5	3,8	-0,7	22,4	1,6	0,9	18,1	34	12	20	24
2Apg2	4,4	3,8	-0,6	9,8	0,6	0,9	11	25	5	14	28
3Cg	4,8	4,1	-0,7	3,1		0,2	4,5	14	3	18	31
4Abg	5,2	4,3	-0,9	1,9		0,3	3,2	14	4	11	35
4C'g1	5,4	4,4	-1,0	0,6		0,2	2,6	10	6	35	30
5C'g2	5,1	4,4	-0,7	0,4		0,2	2,6	15	7	18	22
AM-15 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvisólico											
Ag	5,5	4,9	-0,6	5,2	4,6	1,9	9,7	4	68	13	42
2C	5,9	5,0	-0,9	1,1	3,3	1,1	5,6	2	68	9	49
3Cg	5,2	4,6	-0,6	6,6	7,9	2,8	14,7	11	67	10	46
4C	5,3	4,6	-0,7	2,1	4,1	1,5	8,2	11	62	11	36
5Abg	4,8	4,2	-0,6	13,1	9,8	3,6	21,3	19	39	20	31
5Cg1	5,9	5,0	-0,9	3,5	7,4	3,2	12,9	11	61	13	34
6Cg2	5,1	4,3	-0,8	4,9	7,6	3,1	14,8	18	44	15	34
6Cg3	5,4	4,5	-0,9	3,6	6,5	2,6	11,8	16	32	12	41
7Cg4	5,5	4,5	-1,0	1,7	6,5	3,0	12,2	12	37	18	43
AM-16 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico											
Ag	4,4	3,6	-0,8	12,3	6,2	3,1	19,1	21	37	17	23
CAG	4,5	3,6	-0,9	11,8	6,4	3,1	18,9	21	35	16	27
2Abg	4,7	3,5	-1,2	12,3	7,7	5,7	25,5	36	6	11	33
2Cg	5,5	3,9	-1,6	3,1	7,4	5,8	17,7	31	2	7	36
2Cgn1	7,3	5,1	-2,2	1,3	8,2	7,1	17,8	19	4	10	44
2Cgn2	7,9	5,6	-2,3	1,1	9,7	9,5	22,1	27	4	16	57
2Cgn3	8,2	5,8	-2,4	1,6	9,6	8,6	20,6	20	12	12	47
PA-05 – Latossolo Amarelo Distrófico típico											
A1	4,2	3,6	-0,6	23,5	1,1	0,5	13,2	75	7		34
A2	4,4	3,7	-0,7	11,8		0,3	7,4	83	3		24
BA	4,3	3,8	-0,5	6,0		0,2	5	89	1		29
Bw1	4,4	3,9	-0,5	5,0		0,2	4,4	91	1		31
Bw2	4,5	4,0	-0,5	2,5		0,1	3,7	83	0		24
Bw3	4,7	4,2	-0,5	1,9		0,3	2,9	75	0		22
PA-06 – Neossolo Quartzarênico Órtico húmico											
A1	4,5	3,7	-0,8	21,0		0,1	14,4	95	8		31
A2	5,2	4,0	-0,8	16,9		0,1	9,7	81	5		23
A3	5,2	4,2	-1,0	13,5		0,1	7,1	80	1		22
A4	5,1	4,2	-0,9	8,0		0,1	4,7	83	1		21
A5	5,2	4,3	-0,9	5,4		0,1	4,4	87	1		27
AC	5,1	4,3	-0,8	2,9		0,1	3,4	81	1		37
C	5,0	4,3	-0,7	1,5		0,1	2,1	95	2		42

Continua...

Tabela 23.1. Continuação.

Horizonte	pH _{H2O}	pH _{KCl}	ΔpH ⁽¹⁾	COT ⁽²⁾	Ca ⁽³⁾	Mg ⁽⁴⁾	CTC ⁽⁵⁾	Argila	P-Meh-1 ⁽⁶⁾	P-Ols ⁽⁷⁾	P-rem ⁽⁸⁾
				g kg ⁻¹	-----cmol _c kg ⁻¹ -----		%	----mg kg ⁻¹ -----		mg L ⁻¹	
PA-07 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico											
A1	4,6	3,9	-0,7	33,6	2,0	0,7	24,9	67	3	14	25
A2	4,7	4,0	-0,7	28,5		0,4	17,6	61	1	9	19
A3	4,6	4,0	-0,6	24,2		0,2	15,6	74	1	7	18
A4	4,6	4,0	-0,6	16,4		0,1	11,4	83	0	19	20
A5	4,5	4,0	-0,5	13,1		0,1	9,3	85	0	8	23
AB	4,6	4,0	-0,6	7,7		0,1	6,5	87	0	8	23
BA	4,6	4,1	-0,5	5,4		0,1	5,2	82	0	7	24
Bw	4,7	4,3	-0,4	3,5		0,1	3,5	79	0	8	21
PA-13 – Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico											
Apg	4,6	3,9	-0,7	20,7	7,1	3,7	23,7	41	39	25	29
2CAg	4,6	3,9	-0,7	7,2	5,9	3,8	17,8	26	37	17	21
2Cg1	5,2	4,1	-1,1	4,3	7,9	3,9	16,5	23	32	13	37
2Cg2	5,3	4,1	-1,2	3,3	7,8	4,1	16,5	25	12	22	18
3Cgn1	5,4	4,0	-1,4	3,9	8,4	5,1	19,3	31	6	12	23
3Cgn2	5,5	4,0	-1,5	2,4	6,0	4,4	16,8	29	3	28	30
3Cgn3	7,6	5,7	-1,9	1,2	7,6	7,5	21,0	30	5	19	46
PA-14 – Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico											
A	4,3	4,0	-0,3	16,2	11,7	6,4	36,8	53	17	16	25
2CAvg	4,7	3,8	-0,9	8,4	9,6	6,6	23,9	50	6	14	33
2Cvg1	4,8	3,8	-1,0	2,3	7,0	6,2	19,0	37	2	15	32
2Cvg2	5,2	4,0	-1,2	1,8	7,5	8,4	20,1	42	1	10	39
2Cvg3	6,9	5,6	-1,3	1,0	9,3	14,1	25,9	39	1	18	33
2Cvgn	7,7	6,3	-1,4	0,9	10,4	15,8	28,4	41	1	9	44
2C'vg1	8,2	7,2	-1,0	0,6	10,1	10,2	21,6	30	3	10	41
2C'vg2	8,2	7,1	-1,1	0,5	11,9	10,4	23,7	31	7	19	39
PA-17 – Organossolo Háplico Hêmico típico											
Hd1	4,5	3,8	-0,7	94,4	9,5	1,5	40,1	39	7	16	36
Hd2	4,5	3,7	-0,8	88,6	5,4	1,2	40,9	42	4	13	33
Hd3	4,1	3,4	-0,7	129,0	2,5	1,1	68,6	28	2	15	25

⁽¹⁾ Δ pH = pH KCl – pH H₂O; ⁽²⁾COT = carbono orgânico total; ⁽³⁾Ca = cálcio trocável; ⁽⁴⁾Mg = magnésio trocável;

⁽⁵⁾CTC = capacidade de troca catiônica; ⁽⁶⁾P-Meh-1: fósforo pelo método Mehlich-1; ⁽⁷⁾P-Ols: fósforo pelo método de Olsen;

⁽⁸⁾P-rem: fósforo remanescente.

Fonte: Santos et al. (2018).

Tabela 23.2. Teores de fósforo determinados com o extrator Mehlich-3 nos perfis AM-01 e PA-07, classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Horizonte	mg kg ⁻¹
AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico	
Au1	309
Au2	381
Au3	423
Au4	1392
Au5	1421
ABu	1294
BAu1	572
BAu2	630
Bt	-
Bw	-
PA-07 – Latossolo Amarelo Distrófico húmico	
A1	80
A2	4
A3	3
A4	3
A5	3
AB	9
BA	-
Bw	-

Fonte: Santos et al. (2018).

Alguns horizontes dos perfis AM-07 (Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico) e AM-15 (Gleissolo Háptico Ta Eutrófico neofluvissólico) apresentam valores de pH em H₂O \geq 5,8 e de Ca²⁺ trocável mais elevados (variando de 3,7 a 10,4 cmol_c kg⁻¹) em comparação aos demais horizontes dos perfis estudados. Observa-se teores elevados de P extraído pelo Mehlich-1 nesses perfis, tendo em vista que a acidez do extrator Mehlich-1 (pH \approx 1,5) resultou na solubilização dessas formas de P.

Quanto aos valores de P remanescente (P-rem), foi observada grande variabilidade entre os perfis de solos estudados, entre 10 e 58 mg L⁻¹ (Tabela 23.1). Os maiores valores foram verificados nos horizontes superficiais dos perfis AM-01, AM-09, AM-15, AM-16 e PA-14, sendo predominantemente > 40 mg L⁻¹. Nesses horizontes, o predomínio da textura franco-argiloarenosa ou argiloarenosa e Δ pH mais baixo (mais negativo, ou até negativo, *e.g.*, AM-01 e AM-09) em comparação aos demais horizontes dos perfis refletem a menor capacidade de adsorção de fosfatos, o que explica os altos valores de P-rem (Roy et al., 2016).

Pela análise da Figura 23.1, verifica-se que não houve correlação significativa entre P-rem e argila. Entretanto, foi verificada correlação positiva entre os teores de P-Ols com P-Meh-1, P-rem e argila.

Em relação aos valores de P obtidos pelo Mehlich-3, foi possível observar que foram superiores aos determinados pelo Mehlich-1 nos horizontes antrópicos. Os maiores valores de P extraídos por Mehlich-3 podem estar relacionados ao fato de este método extrair preferencialmente P ligado a Fe e Al, que são as formas predominantes nos solos antrópicos, enquanto o Mehlich-1 extrai de forma preferencial as formas de P ligado ao Ca^{2+} (Bortolon et al., 2009). Esse padrão pode ser decorrente da quantificação do P ligado a apatitas biogênicas e é também observado nos estudos de Lehmann et al. (2004) e Falcão et al. (2009) ao analisar as Terras Pretas no Amazonas. Adicionalmente, o extrator Mehlich-3, por causa da presença do EDTA, pode extrair formas orgânicas de P (Gatiboni et al., 2005). Pela análise da Figura 23.1, verifica-se não haver correlação significativa entre P-rem, P-Meh-1 e P-Ols e argila. Na Figura 23.2 é apresentada a correlação obtida entre os teores de P determinados pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3.

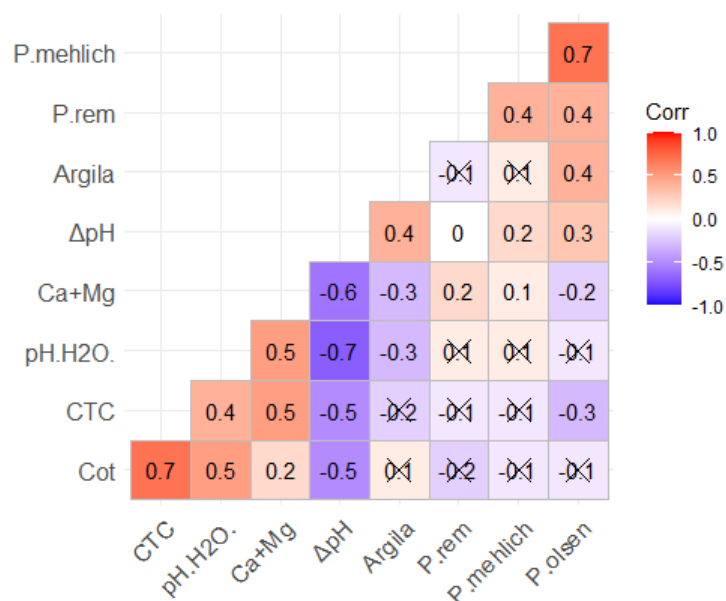


Figura 23.1. Matriz de correlação de Pearson a 5% de significância entre os atributos dos perfis em estudo (horizontes superficiais e subsuperficiais). Legenda: ΔpH = pH KCl – pH H₂O; COT = carbono orgânico total; Ca + Mg = cálcio trocável + magnésio trocável; CTC = capacidade de troca catiônica; P-Meh-1: fósforo pelo método Mehlich-1; P-Ols: fósforo pelo método de Olsen; P-rem: fósforo remanescente. Valores não assinalados com X apresentam significância a 5% de probabilidade.

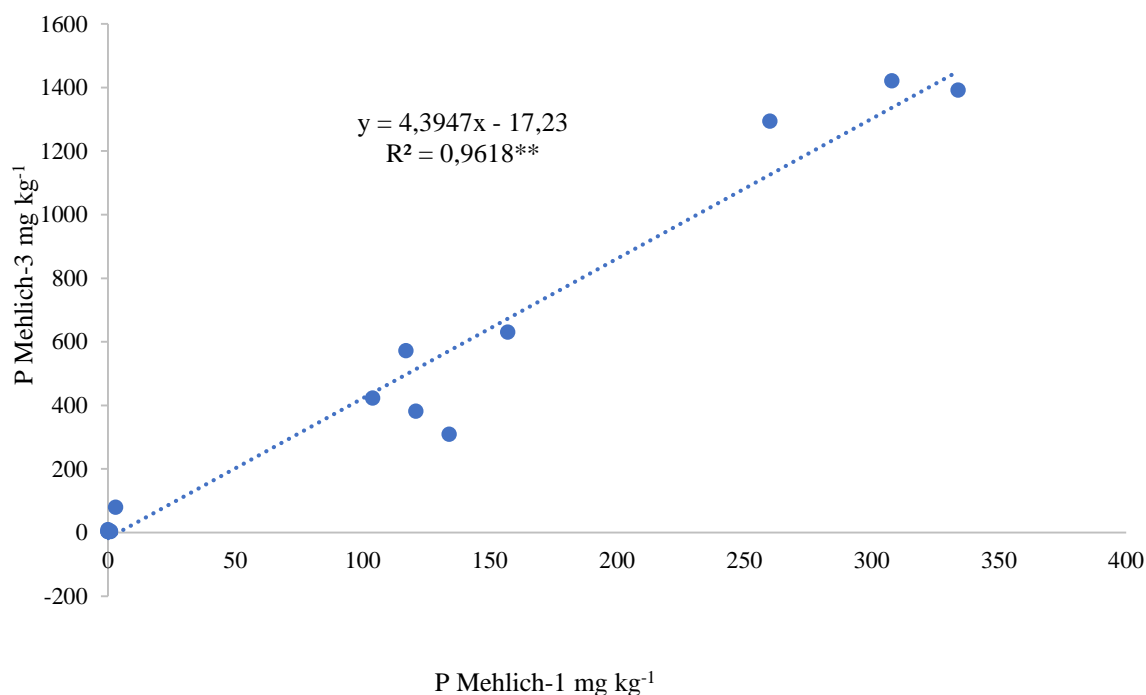


Figura 23.2. Correlação entre os teores de P determinados pelo extrator Mehlich-1 e Mehlich-3.

Ao se analisar a Figura 23.2, verifica-se haver correlação entre os métodos Mehlich-1 e Mehlich-3, indicando que os resultados obtidos através da solução extratora Mehlich-1 podem ser convertidos para teores determinados por Mehlich-3. Esse resultado é concordante com os estudos desenvolvidos por Kabala et al. (2018) analisando solos da Polônia e do Brasil, com o emprego de diferentes extratores de P. Os autores verificaram que o extrator Mehlich-3 foi o mais recomendado em comparação aos outros métodos de determinação de P. Esses achados reforçam a aplicabilidade do extrator Mehlich-3 como ferramenta confiável na estimativa do P disponível, sobretudo em solos com características que limitam a eficiência do Mehlich-1. Assim, a existência de correlação positiva entre os métodos permite não apenas a conversão segura entre os resultados, mas também amplia as possibilidades de escolha metodológica em estudos de classificação de solos.

3. Considerações finais

De maneira geral, verificou-se que os perfis localizados em ambientes de várzeas, a saber: AM-05, AM-06, AM-07, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16, PA-13, PA-14 e PA-17, apresentaram maiores valores de P em comparação aos localizados nas áreas de terra firme, sendo exceção a esse padrão o perfil AM-08. Quanto aos perfis localizados nas áreas de terra firme, os maiores valores foram quantificados no perfil AM-01.

Para os perfis AM-02 e PA-05 com o emprego da solução Mehlich-3, foram quantificados maiores teores de P em comparação aos outros métodos utilizados. Adicionalmente foi observada correlação positiva e significativa entre os teores de P extraídos pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3, o que possibilita a conversão dos resultados obtidos com o extrator Mehlich-1.

O extrator Mehlich-3 apresenta potencial para ser utilizado na identificação do horizonte A antrópico, sendo ainda necessário o emprego do extrator em um maior número de horizontes antrópicos.

Referências

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B. de. Fósforo remanescente. In: 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. pt. 2, cap. 25, p. 337-342. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1088719>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. de. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Extração de cobre e de zinco por soluções multielementares em solos do sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 40, n. 3, p. 670-673, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000035>.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHLINDWEIN, J.A. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para o milho pelos métodos Mehlich-1 e Mehlich-3. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 4, p. 305-312, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5380/rsa.v10i4.14728>.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; WELTER, S.; ALMEIDA, R. G. O.; GIASSON, E. Simultaneous extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils and potassium recommendations for crops in Southern Brazil. **Pedosphere**, v. 21, n. 3, p. 365-372, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60137-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60137-9).
- CABRAL, C. E. A.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; CARVALHO, K. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; MOTTA, L. J. M.; MATTOS, J. S.; ALVES, L. B.; BAYS, A. P. Ammonium sulfate enhances the effectiveness of reactive natural phosphate for fertilizing tropical grasses. **Tropical Grasslands-Forrajões Tropicales**, v. 8, n. 2, p. 86-92, 2020. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(8\)86-92](https://doi.org/10.17138/TGFT(8)86-92).
- CORRALES, R. A. F. **Avaliação e calibração de extratores de fósforo em três diferentes ordens de solo da Costa Rica**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2013.tde-27032013-132735>.
- COSTA, A. da R.; SILVA JÚNIOR, M. L.; KERN, D. C.; RUIVO, M. de L. P.; MARICHAL, R. Forms of soil organic phosphorus at black earth sites in the Eastern Amazon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 1-12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170001>.
- FALCÃO, N.; MOREIRA, A.; COMENFORD, N. B. A fertilidade dos solos de Terra Preta de índio da Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 189-200. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/580068>. Acesso em: 12 ago. 2025.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, J. J. S. dos; DONAGEMMA, G. K.; SANTOS, O. A. Q. dos. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída. **Revista Agrogeoambiental**, v. 13, n. 3, p. 606-614, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v13n320211639>.

GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. dos S.; FLORES, A. F. C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J.; LIMA, M. A. S. de. Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-NMR in successive cropped soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 19/20, p. 2625-2640, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103620500301917>.

GOTZ, L. F.; ALMEIDA, A. N. F. de; NUNES, R. de S.; CONDRON, L. M.; PAVINATO, P. S. Assessment of phosphorus use and availability by contrasting crop plants in a tropical soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 60, p. 603-612, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-024-01833-w>.

KABALA, C.; GALKA, B.; LABAZ, B.; ANJOS, L.; CAVASSANI, R. de S. Towards more simple and coherent chemical criteria in a classification of anthropogenic soils: a comparison of phosphorus tests for diagnostic horizons and properties. **Geoderma**, v. 320, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.024>.

LEHMANN, J.; CAMPOS, C. V.; VASCONSELOS, de M. J. L.; GERMAN, L. Sequential P fractionation of relict Anthropogenic Dark Earths of Amazonia. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (ed.). **Amazonian Dark Earths: explorations in space and time**. Berlin: Springer, 2004. cap. 8, p. 113-123. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7_8.

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. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103628409367568>.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATENABE, F. S.; DEAN, L. A. **Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate**. Washington, DC: USDA, 1954. 22 p. (USDA. Circular, 939).

PATLE, T.; KHADDAR, V. K.; TIWARI, R.; PARA, P. Evaluation of phosphorus availability and phosphorus fixation in four different soils orders. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 2, p. 2087-2090, 2019. Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue2/PartAI/8-2-182-860.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

PESSOA JÚNIOR, E. S. F.; SANTANA, G. P. Study of the extractable phosphate in the Archaeological Black Earth. **Review of Research Journal**, v. 6, n. 3, p. 1-11, 2016. Disponível em: <https://oldrdr.lbp.world/UploadedData/2755.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2025.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

ROY, E. D.; RICHARDS, P. D.; MARTINELLI, L. A.; DELLA COLETTA, L.; LINS, S. R. M.; VAZQUEZ, F. F.; WILLING, E.; SPERA, S. A.; VANWEY, L. K.; PORDER, S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, v. 2, n. 5, 16043, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.43>.

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. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 12 ago. 2025.

SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Soil phosphorus available for crops and grasses extracted with three soil-test methods in Southern Brazilian soils amended with phosphate rock. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 42, n. 3, p. 283-292, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.538881>.

SILVA, F. C. da; RAIJ, B. van. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000200016>.

SILVA, M. B.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; COOPER, M.; CAVASSANI, R. de S. Soils in the karst landscape of Bodoquena plateau in cerrado region of Brazil. **Catena**, v. 154, p. 107-117, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.022>.

SOUZA, K. W. de; LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; TEIXEIRA, W. G.; PULROLNIK, K.; CORRÊA, G. R. Phosphorus forms in cultivated Indian Black Earth (Anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1347-1355, 2009.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500027>.

STEINER, F.; LANA, M. do C.; ZOZ, T.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R. Extraction methods and availability of phosphorus for soybean in soils from Paraná State, Brazil. **Semina: ciências agrárias**, v. 33, n. 3, p. 1005-1014, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n3p1005>.

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. 573 p. Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>. Acesso em: 12 ago. 2025.

WHITE, R. E.; TAYLOR, A. W. Effect of pH on phosphate adsorption and isotopic exchange in acid soils at low and high additions of soluble phosphate. **Journal of Soil Science**, v. 28, n. 1, p. 48-61, 1977.

DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1977.tb02295.x>.