

Sete Lagoas, MG / Dezembro, 2024

## Caracterização dos solos de experimentos com biossolubilizadores e avaliação das formas e dos teores de fósforo

João Herbert Moreira Viana<sup>(1)</sup>, Eliane de Paula Clemente<sup>(1)</sup>, Manuel Ricardo de Albuquerque Filho<sup>(1)</sup>, Alexandre Uhlmann<sup>(2)</sup> e Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup>Pesquisadores, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG e Embrapa Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO.

**Resumo** – A caracterização dos solos é fundamental na compreensão dos processos de aquisição do fósforo (P) no sistema solo/planta e para entender os processos de biodisponibilidade de nutrientes e para se recomendar o uso de bioinsumos. A produção agrícola em fronteiras agrícolas encontra muitos desafios, incluindo a colocação em produção de áreas com solos ainda pouco conhecidos e sem avaliações agrônomicas consolidadas, como muitos dos Plintossolos do Tocantins e sul do Pará. Este trabalho visou a caracterização taxonômica, química e mineralógica de solos em Minas Gerais, Tocantins e Mato Grosso do Sul, e alguns perfis adicionais de Plintossolos do Pará. Foi realizada a descrição morfológica e a classificação dos solos, além da coleta de amostras de solo para análises laboratoriais de rotina e para análise mineralógica. Todos os solos apresentam baixo teor de P disponível pelos extratores usados, exceto os das áreas sob cultivo agrícola. Há uma grande variação entre os perfis da capacidade de retenção de P. A mineralogia mostra o grau elevado de intemperismo dos solos, indicando o potencial elevado de adsorção de fósforo, o que também é indicado pela condutividade hidráulica. Os teores totais de fósforo apresentam grande variação entre as amostras analisadas, sem correlação com os valores disponíveis pelos extratores usados. Em alguns dos solos estudados, há um grande estoque de fósforo em formas indisponíveis com potencial para ser biodisponibilizado por biossolubilizadores.

**Termos para indexação:** Plintossolos, Latossolos, fósforo disponível, taxonomia de solos.

### Characterization of soils from experiments with biosolubilizers and evaluation of phosphorus forms and contents

**Abstract** – Soil characterization is essential for understanding the processes of phosphorus (P) acquisition in the soil/plant system and for understanding the processes of nutrient bioavailability and for recommending the use of bioinputs. Agricultural production in agricultural frontiers faces many challenges, including the implementation of areas with soils that are still poorly known and without consolidated agronomic evaluations, such as many of the Plinthosols in the State of Tocantins and southern of the State of Pará. This study aimed to characterize the taxonomic, chemical and mineralogical characteristics of soils in the

#### Embrapa Milho e Sorgo

Rodovia MG 424, KM 65  
Caixa Postal 151  
35701-098 Sete Lagoas, MG  
www.embrapa.br/milho-e-sorgo  
www.embrapa.br/fale-conosco/  
sac

#### Comitê Local de Publicações

Presidente

*Maria Marta Pastina*

Secretário-executivo

*Antônio Carlos de Oliveira*

Membros

*Cláudia Teixeira Guimarães,*

*Mônica Matoso Campanha,*

*Roberto dos Santos Trindade e*

*Maria Cristina Dias Paes*

Edição executiva

*Márcio Augusto Pereira do*

*Nascimento*

Revisão de texto

*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica

*Rosângela Lacerda de Castro*

(CRB-6/2749)

Projeto gráfico

*Leandro Sousa Fazio*

Diagramação

*Márcio Augusto Pereira do*

*Nascimento*

Publicação digital: PDF

Todos os direitos  
reservados à Embrapa.

States of Minas Gerais, Tocantins and Mato Grosso do Sul, and some additional profiles of Plinthosols in Pará. Morphological description and classification of soils were performed, in addition to collecting soil samples for routine laboratory analysis and mineralogical analysis. All soils presented low levels of available P through the extractors used, except for those in areas under agricultural cultivation. There is a large variation between the profiles of P retention capacity. The mineralogy shows the high degree of weathering of the soils, indicating the high potential for phosphorus adsorption, which is also indicated by the hydraulic conductivity. The total phosphorus contents show a large variation between the samples analyzed, without correlation with the values available by the extractors. In some of the soils studied, there is a large stock of phosphorus in unavailable forms with the potential to be made bioavailable by biosolubilizers.

**Index terms:** Plinthic Oxisols, Oxisols, available phosphorus, soil taxonomy.

## Introdução

A caracterização física, química e mineralógica dos solos é fundamental na compreensão dos processos de aquisição do fósforo (P), no sistema solo/planta, incluindo aqueles sistemas com uso de biossolubilizadores. É necessário determinar a mineralogia e as propriedades eletroquímicas das fases sólidas dos solos estudados para entender os processos de biodisponibilidade de nutrientes. As interações dos íons na solução do solo com as superfícies de colóides, notadamente dos argilominerais de carga variável dos solos do Cerrado, determinam a dinâmica de equilíbrio entre as fases lábeis e a adsorção de fósforo para formas não lábeis. O manejo de corretivos e fertilizantes e dos sistemas de produção influencia a estabilidade dos sítios de adsorção específica, os processos de difusão, as formas de fósforo na solução do solo e sua disponibilidade às culturas (Novais et al., 2007). Esses manejos, no entanto, atuam de maneira limitada no pH da solução, matéria orgânica do solo e concentração de nutrientes na camada arável para, indiretamente, promover maior biodisponibilidade de fósforo às culturas. Por outro lado, o potencial de eficiência no uso do nutriente pelas plantas pode ser aumentado quando as técnicas convencionais de manejo da fertilidade são associadas à utilização de bioinsumos que aumentem a superfície de absorção radicular, associações simbióticas e processos bioquímicos de solubilização de formas orgânicas e inorgânicas de fósforo (Oliveira et al.,

2020; Oliveira-Paiva et al., 2024). Assim, conhecer as características pedológicas dos sistemas agropecuários é fundamental para compreender o funcionamento e o uso eficiente dos bioinsumos.

A produção agrícola em fronteiras agrícolas encontra muitos desafios, além das dificuldades naturais provenientes das condições precárias de logística e da falta de infraestrutura. Uma das principais dificuldades é a colocação em produção de áreas com solos ainda pouco conhecidos e pouco estudados, sem avaliações agrônômicas bem consolidadas e sem histórico de uso anterior, por terem sido, até agora, considerados solos marginais ou sem indicação de uso agrícola pelas atuais recomendações. Nessa situação, encontram-se muitos dos solos das regiões de fronteiras agrícolas do Tocantins e do sul do Pará, em grande parte classificados como Plintossolos. Esses solos, anteriormente classificados como de uso agrícola restrito ou inaptos para a agricultura (Ramalho Filho e Beek, 1995), estão sendo incorporados à atividade agrícola, e, em vários casos, com resultados positivos em termos de produtividade das principais culturas, como a soja. No entanto, grandes diferenças internas existem nessa categoria de solos, que podem ter grande variabilidade com relação às suas propriedades, como na classe de drenagem, na quantidade de fração grossa (cascalhos, calhaus e matações) e na profundidade efetiva da camada arável. Assim, sem um exame detalhado e local dos solos em cada área, no nível do talhão, não é possível prever os resultados e recomendar (ou não) o seu uso agrícola.

Embora alguns fatores limitantes possam ser tecnicamente contornáveis, com a correção de fertilidade e a remoção de grandes blocos de petroplintita por meios mecânicos, outros não são passíveis de alteração, como a profundidade efetiva da camada arável e a condutividade hidráulica dos perfis (que está associada tanto à sua condutividade hidráulica quanto à posição na paisagem). Além disso, o custo elevado de algumas operações, como a remoção de blocos de material petroplíntico de grande tamanho e a abertura de drenos em áreas com baixa drenagem natural, pode comprometer a viabilidade econômica das atividades agrícolas, além de restringir a trafegabilidade nos talhões. Aos desafios representados pelas limitações físicas desses solos, soma-se a limitação de estudos e de trabalhos de calibração dos sistemas de produção convencionais, o que faz que seu uso atual seja dirigido basicamente por meio de uma abordagem empírica pelos produtores. Assim, a avaliação do uso de bioinsumos também necessita ser conduzida de forma concomitante à avaliação dos sistemas de

produção em uso, com o estudo de todos os fatores de produção envolvidos. As informações contidas neste documento contribuem para o alcance do Objetivo 2 dos ODS, denominado:

“Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável” (Nações Unidas, 2024).

Meta 2.4:

“Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo” (Nações Unidas, 2024).

O alcance dos objetivos é atingido ao fornecer informações básicas necessárias para a indicação das práticas de manejo adequadas para o uso sustentável dos solos da região em estudo, e contribuindo para o desenvolvimento do zoneamento agrícola do risco climático em área de expansão de fronteira agrícola.

Este trabalho visou a caracterização taxonômica, química e mineralógica de solos e a avaliação de formas “disponíveis” e “totais” de fósforo de locais com experimentos com bioisolubilizadores de fósforo.

Material e métodos

Foram avaliados os perfis de solos nas áreas dos experimentos do projeto “Otimização e ampliação do uso de inoculante formulado com estirpes de *Bacillus solubilizadoras* de fosfato ( $P_2O_5$ ) para o aumento da eficiência produtiva em sistemas de produção envolvendo milho e sorgo”, em Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Tocantins, e perfis adicionais em uma fazenda de produção de soja no sul do Pará, com solos com características similares aos da área experimental em Tocantins, apresentando problemas de produtividade, para comparação (Tabela 1 e Figura 1).

Foi realizada a descrição morfológica no campo, conforme Santos et al. (2015), e a classificação dos solos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2018). Adicionalmente, de forma aproximada, foi feita a classificação pelos sistemas da Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO) (IUSS Working Group WRB, 2015) e americano (Soil Survey Staff, 2022).

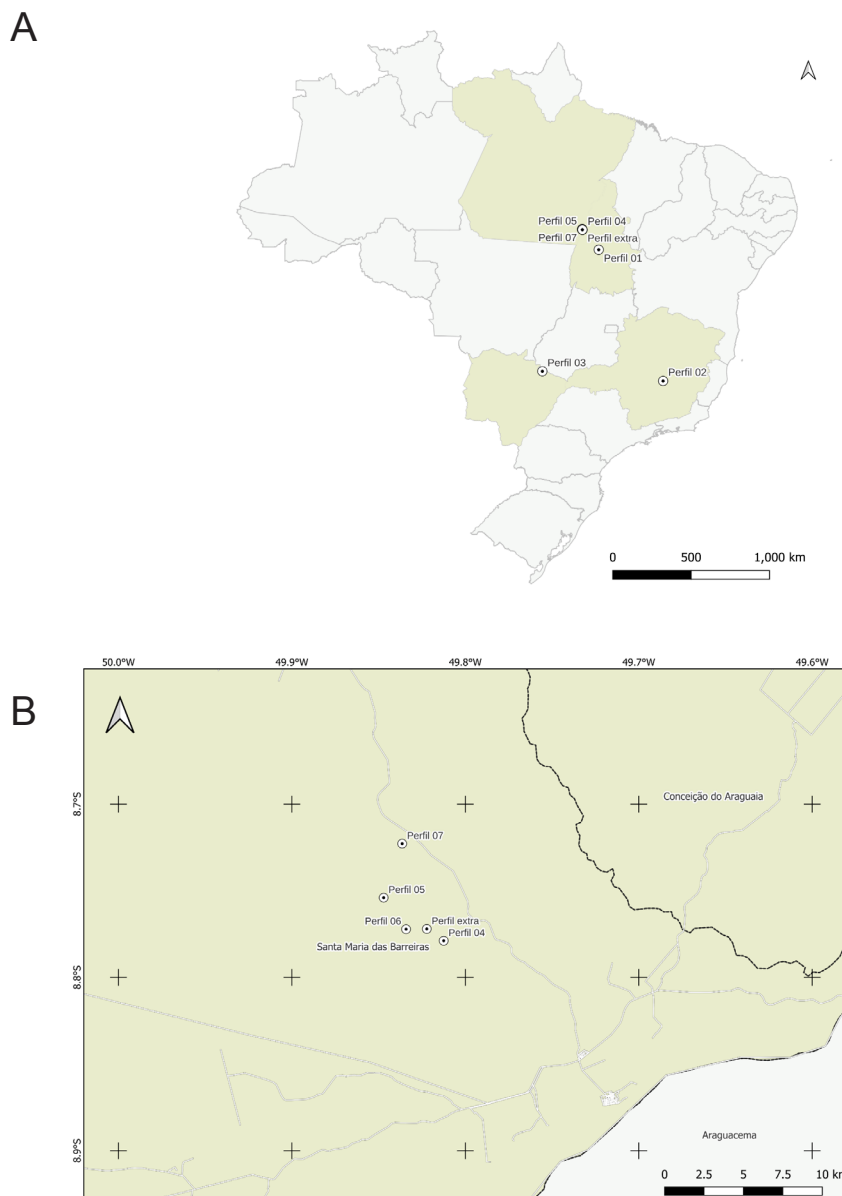
Foram coletadas amostras de solo para análises laboratoriais de rotina (granulometria e fertilidade completa, incluindo as análises de P pelos extratores de resina e Mehlich-1, e a análise de fósforo remanescente (P rem)) e para análise mineralógica pelo ataque sulfúrico, por fluorescência de raios X (FRX) e difratometria de raios X (DRX) (Camargo et al., 2009; Teixeira et al., 2017). A análise por fluorescência de raios X foi executada em pérola preparada por fusão da amostra com tetraborato de lítio em um espectrômetro WDS Bruker S8 Tiger, equipado com tubo de Rh, e a perda ao fogo (PF), por calcinação até 1.000 °C. O limite de detecção para os macroelementos foi de

Tabela 1. Localização dos perfis descritos no campo.

| Identificação | Latitude (S) | Longitude (W) | Município                 | Estado |
|---------------|--------------|---------------|---------------------------|--------|
| Perfil 1      | 10,18782     | 48,68204      | Porto Nacional            | TO     |
| Perfil 2      | 19,45352     | 44,18076      | Sete Lagoas               | MG     |
| Perfil 3      | 18,77083     | 52,62028      | Chapadão do Sul           | MS     |
| Perfil 4      | 8,778812     | 49,812488     | Santa Maria das Barreiras | PA     |
| Perfil 5      | 8,753957     | 49,847104     | Santa Maria das Barreiras | PA     |
| Perfil 6      | 8,772138     | 49,834176     | Santa Maria das Barreiras | PA     |
| Perfil 7      | 8,722798     | 49,836425     | Santa Maria das Barreiras | PA     |
| Perfil extra  | 8,771985     | 49,822234     | Santa Maria das Barreiras | PA     |

100 ppm (0,01%). A análise por difração de raios X foi executada pelo método do pó em um equipamento Rigaku Ultima IV (parâmetros: varredura: 5° a 80° (2 theta); passo: 0.0200/segundo; velocidade: 50°/minuto; tensão: 40 Kv e 20 mA; tubo selado de cobre). Foram

coletadas amostras indeformadas em anéis de 7,5 cm x 7,5 cm para medidas de condutividade hidráulica saturada pelo método do permeâmetro de carga constante. As análises estatísticas foram feitas na plataforma R (R Core Team, 2024).



**Figura 1.** Localização dos perfis estudados. (A) Brasil e (B) Detalhe dos perfis no Pará.

## Resultados e discussão

Os perfis estudados foram caracterizados e classificados conforme a Tabela 2. Os resultados de teores de fósforo pelos

extratores convencionais de fertilidade e de teores semitotais/totais pelos métodos de mineralogia estão na Tabela 3.



**Tabela 2.** Classificação taxonômica dos perfis descritos no campo pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e sua classificação aproximada pelos sistemas da FAO (WRB) e americano (Soil Taxonomy).

| Identificação | SiBCS   | WRB                     | Soil Taxonomy                   |
|---------------|---|-------------------------|---------------------------------|
| Perfil 1      | Plintossolo Pétrico<br>Concrecionário latossólico | Pisoplinthic Plinthosol | Plinthic Haplustox              |
| Perfil 2      | Latossolo Vermelho<br>Distrófico típico           | Rhodic Ferralsol        | Rhodic Haplustox                |
| Perfil 3      | Latossolo Vermelho<br>Distrófico típico           | Haplic Ferralsol        | Typic Haplustox                 |
| Perfil 4      | Plintossolo Háplico<br>Distrófico petroplântico   | Haplic Plinthosol       | Aeric Plinthaquox               |
| Perfil 5      | Plintossolo Háplico<br>Distrófico petroplântico   | Pisoplinthic Plinthosol | Plinthaquic Hapludox            |
| Perfil 6      | Plintossolo Pétrico<br>Concrecionário típico      | Pisoplinthic Plinthosol | Aeric Plinthaquox               |
| Perfil 7      | Plintossolo Pétrico<br>Litoplântico êndico        | Petric Plinthosol       | Aquic Petroferric<br>Haploperox |
| Perfil extra  | Plintossolo Pétrico<br>Concrecionário             | Pisoplinthic Plinthosol | Plinthic Haplustox              |

**Tabela 3.** Teores de fósforo pelos diferentes métodos e concentração do fósforo remanescente (P rem).

| Amostra          | Extrator de<br>Mehlich-1           | Extrator resina | P remanescente        | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> pelo ataque<br>sulfúrico | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> por FRX |
|------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------|--|---------------------------------------|
|                  | ----- (mg dm <sup>-3</sup> ) ----- |                 | (ml L <sup>-1</sup> ) | ----- (%) -----  |                                       |
| Perfil 1 Ap1     | 8.10                               | 40.80           | 12.20                 | 1.11   |                                       |
| Perfil 1 Bw2     | 0.80                               | 2.10            | 1.60                  | 0.66   | 0.09                                  |
| Perfil 2 A       | 3.30                               | 20.20           | 20.80                 | 1.99   |                                       |
| Perfil 2 Bw2     | 0.30                               | 15.60           | 7.60                  | 3.01   | 0.25                                  |
| Perfil 3 Ap      | 28.00                              | 77.90           | 27.70                 | 1.00   |                                       |
| Perfil 3 Bw2     | 1.70                               | 11.50           | 13.40                 | 0.39   | 0.05                                  |
| Perfil 4 Ap      | 3.90                               | 6.20            | 33.40                 | 0.24   |                                       |
| Perfil 4 Bw2     | 0.60                               | 6.30            | 10.60                 | 0.09   | 0.01                                  |
| Perfil 5 A1      | 0.60                               | 4.90            | 58.20                 | 0.08   |                                       |
| Perfil 5 Bw1     | 1.40                               | 4.70            | 53.30                 | 0.13   |                                       |
| Perfil 6 Ap1     | 2.60                               | 5.60            | 27.90                 | 0.41   |                                       |
| Perfil 7 Ap      | 2.30                               | 4.20            | 37.50                 | 0.11   |                                       |
| Perfil 7 Bw1     | 10.70                              | 12.80           | 42.30                 | 0.32   | 0.04                                  |
| Perfil extra Ap1 | 2.60                               | 16.60           | 30.00                 | 0.98   |                                       |

<sup>2</sup> Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/vetores/escala\\_250\\_mil/versao\\_2023/](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023/).<sup>3</sup> Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/vetores/escala\\_250\\_mil/versao\\_2023/](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023/).

O perfil 1, na área experimental de Porto Nacional, TO, é um Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico (Figuras 2 e 3 e Tabela 4), em uma mancha cujo solo principal é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, porém vizinha de áreas com predominância de Plintossolos Pétricos Concrecionários ([https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/vetores/escala\\_250\\_mil/versao\\_2023/](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023/)).

## Área experimental de Porto Nacional, TO (Perfil 1)

### Caracterização

Data: 29/11/2023

Classificação de campo: Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico

Coordenadas: 10.18782 S; 48.68204 W

Localização, município, estado. Fazenda Invernadinha, Porto Nacional, Tocantins

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: plano a suave ondulado

Altitude: 372 m

Litologia, formação geológica e cronologia: Formação Pimenteiras

Material originário: material retrabalhado

Pedregosidade: muito pedregoso

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: plano

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação primária: cerrado

Uso atual: soja

Descrito e coletado por: João Herbert Moreira Viana, Eliane de Paula Clemente, Alexandre Uhlmann.

### Descrição morfológica

Ap1: 0-10cm; 10YR 4/4, bruno amarelado escuro, úmido; argilosa com cascalho; blocos, médio para pequeno e muito pequeno moderada; plástica e pegajosa; transição plana e difusa; raízes finas e comuns; poros pouco visíveis, presença de poucos bioporos.

Ap2: 10-19 cm; 10YR 4/6, bruno amarelado escuro, úmido; franco argilosa com cascalho; blocos subangulares, média, forte; plástica e pegajosa; transição plana e abrupta; raízes finas e comuns; poros pouco visíveis, presença de poucos bioporos.

Bw1: 19-28cm; 10YR 5/8, bruno amarelado, úmido; franco argilosa com cascalho; blocos, média, fraca; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara; raízes finas e comuns; poros pouco visíveis, presença de poucos bioporos.

Bw2: 28-73 cm; 7,5YR 6/8, amarelo avermelhado, úmido; cascalhento com pouca argila; microgranular, pequena, muito forte; plástica e pegajosa; transição ondulada e difusa; raízes finas e comuns; poros pouco visíveis, presença de poucos bioporos.

Bw3: 73-115 cm; 7,5YR 5/8, bruno forte, úmido; cascalhento com pouca argila; microgranular, pequena, muito forte; plástica e pegajosa; transição ondulada e difusa; raízes finas e comuns; poros pouco visíveis, presença de poucos bioporos.

Bw4: 115-165+cm; 2,5YR 5/8, vermelho, úmido; cascalhento com pouca argila; microgranular, muito pequena, forte; plástica e muito pegajosa; transição ondulada e difusa; raízes finas e comuns; poros pouco visíveis, presença de poucos bioporos.

### Observações:

Ap1 e Ap2: pouco cascalhento; Bw1: cascalhento; Bw2 e Bw3: muito cascalhento; Bw4: muito cascalhento com saprólito; Bw2 para Bw3 aumenta o tamanho da fração grossa; a partir de 2 m, apresenta características de saprólito.

Tabela 4. Dados analíticos do perfil.

| Hz.    | Prof.  | Frações da amostra total (%) |                  |                  | Composição granulométrica da   |                                |                  |                  |                | ADA  | GF                | Relação S/A    |          |
|--------|--------|------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|----------------|--|-------------------|----------------|----------|
|        |        | Calhaus                      | Cascalho         | Terra fina       | Areia grossa                   | Areia fina                     | Areia total      | Silte            | Argila         |  |                   |                |          |
|        |        |                              |                  |                  |                                |                                |                  |                  |                |  |                   |                | cm       |
| A      | 29     | 0                            | 13               | 87               | 9,8                            | 4,1                            | 13,9             | 11,3             | 74,8           |  |                   | 0,2            |          |
| BA     | 42     | 0                            | 10               | 90               | 7,6                            | 3,3                            | 10,9             | 9,9              | 79,2           |  |                   | 0,1            |          |
| Bw1    | 91     | 0                            | 15               | 85               | 6                              | 3,5                            | 9,5              | 10,2             | 80,3           |  |                   | 0,1            |          |
| Bw2    | 144    | 0                            | 82               | 18               | 5,2                            | 3,6                            | 8,9              | 9,6              | 81,5           |  |                   | 0,1            |          |
| Bw3    | 180    | 0                            | 60               | 40               | 5,6                            | 3,5                            | 9,1              | 9,2              | 81,7           |  |                   | 0,1            |          |
| A. ex. | 290+   | 0                            | 53               | 47               | 7                              | 3,5                            | 10,5             | 9,5              | 80             |  |                   | 0,1            |          |
| Hz.    | pH     |                              | Complexo sortivo |                  |                                |                                |                  |                  |                | Valor T  | Valor V           | Sat. por Al    | P assim. |
|        |        |                              | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup>                 | Na <sup>+</sup>                | Valor S          | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup> |  |                   |                |          |
|        | H2O    | KCl                          |                  |                  |                                |                                |                  |                  |                |  |                   |                |          |
| A      | 5,4    | 4,4                          | 3,1              | 0,6              | 25                             |                                | 3,8              | 0,1              |                | 13,1   | 38,7              | 2,6            |          |
| BA     | 5,5    | 4,1                          | 0,5              | 0,1              | 0                              |                                | 0,6              | 0,8              |                | 7,3  | 9,5               | 57,7           |          |
| Bw1    | 5,7    | 4,2                          | 0,5              | 0                | 0                              |                                | 0,5              | 0,5              |                | 6,2  | 10,9              | 45,5           |          |
| Bw2    | 5,8    | 4,2                          | 0,4              | 0                | 0                              |                                | 0,4              | 0,5              |                | 5,6  | 8,4               | 57,3           |          |
| Bw3    | 5,8    | 4,3                          | 0,3              | 0                | 0                              |                                | 0,3              | 0,3              |                | 5  | 7,5               | 47,5           |          |
| A. ex. | 5,7    | 4,6                          | 0,3              | 0,1              | 0                              |                                | 0,3              | 0                |                | 4,3  | 9,8               | 5,6            |          |
| Hz.    | C org. | N                            | Rel. C/N         | Ataque sulfúrico |                                |                                |                  | Ki               | Kr             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> | Pasta saturada |          |
|        |        |                              |                  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> |                  |                |  | Equivalente       | CE             | Água     |
|        | g/kg   | g/kg                         |                  |                  | g/kg                           |                                |                  |                  |                |  |                   |                | g/kg     |
| A      | 27,5   | 2,7                          | 10,2             |                  |                                |                                |                  |                  |                |  |                   |                |          |
| BA     | 11,8   | 1,4                          | 8,4              |                  |                                |                                |                  |                  |                |  |                   |                |          |
| Bw1    | 9,5    | 1,2                          | 7,9              |                  |                                |                                |                  |                  |                |  |                   |                |          |
| Bw2    | 8,4    | 1,2                          | 7                | 32,3             | 31,9                           | 9,3                            | 1,3              | 1,7              | 1,5            | 5,4  |                   |                |          |
| Bw3    | 7,5    | 1,2                          | 6,3              |                  |                                |                                |                  |                  |                |  |                   |                |          |
| A. ex. | 5,6    | 0,9                          | 6,2              |                  |                                |                                |                  |                  |                |  |                   |                |          |

\*Hz: horizonte. Prof.: profundidade. ADA: argila dispersa em água. GF: grau de floculação. Relação S/A: relação silte/argila. Valor T: estimativa da CTC. Valor V: saturação por base. Sat. por Al: saturação por alumínio. P assim.: fósforo assimilável. C org: carbono orgânico. N: nitrogênio total. Rel. C/N: relação carbono/nitrogênio. Ki: índice de intemperismo. Kr: índice de intemperismo. CE: condutividade elétrica.

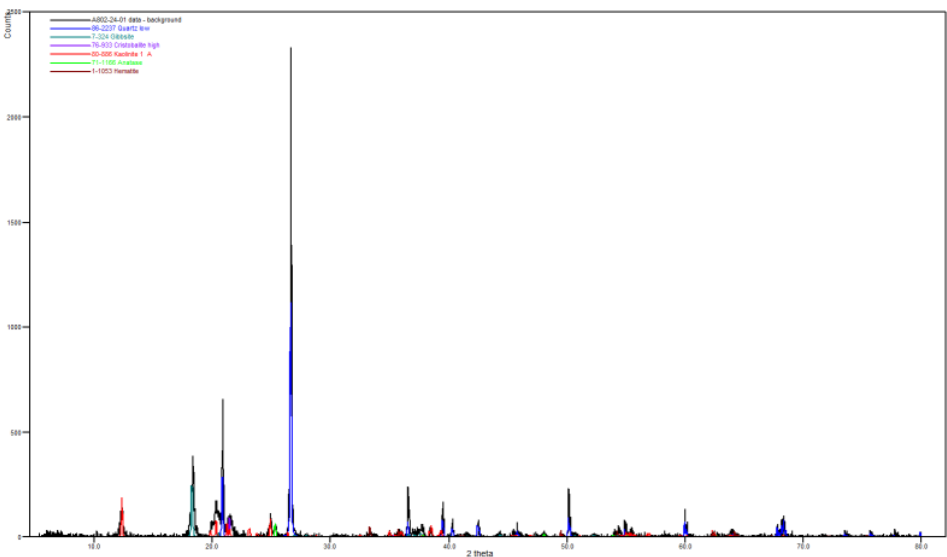


Figura 2. Difratograma de raios X da TFSA do Perfil 1.

Foto: João Herbert Moreira Viana



**Figura 3:** Perfil 1, coletado na Fazenda Invernadinha (Porto Nacional, TO).

Os perfis da fazenda em Santa Maria das Barreiras, PA, são todos Plintossolos. Os perfis 4 (Figuras 4 e 5 e Tabela 5) e 5 (Figura 6 e Tabela 6) são Plintossolos Háplicos Distróficos petroplínticos, em uma mancha de Plintossolos Pétricos Concrecionários. O Perfil 6 (Figura 7 e Tabela 7) é um Plintossolo Pétrico Concrecionário típico, em uma mancha de Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos. O Perfil 7 (Figuras 8 e 9 e Tabela 8) é um Plintossolo Pétrico litoplíntico êndico, na mesma mancha dos perfis 4 e 5. O Perfil extra (Figura 10 e Tabela 8) é um Plintossolo Pétrico Concrecionário na mesma mancha do perfil 6 ([https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/vetores/escala\\_250\\_mil/versao\\_2023/](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023/)).

### Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA primeiro ponto (Perfil 4)

#### Caracterização

Data: 28/11/2023

Classificação de Campo: Plintossolo Háplico Distrófico petroplíntico

Coordenadas: 8.778812 S; 49.812488 W

Localização, município, estado. Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: trincheira aberta em área terço plano sob lavoura anual

Altitude: 156 m

Litologia, formação geológica e cronologia: Couto Magalhães

Material originário: rochas meta sedimentar

Pedregosidade: endopedregoso

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: suave ondulado

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: moderadamente drenado

Vegetação primária: campo

Uso atual: lavoura

Descrito e coletado por: João Herbert Moreira Viana, Eliane de Paula Clemente, Alexandre Uhlmann.

#### Descrição morfológica

Ap: 0-10cm; 2,5 YR 4/2, vermelho pálido, úmido; franco argilossiltosa; maciça; pouco plástica, não pegajosa; transição ondulada e clara; raízes comuns, muito finas e muitos poros pequenos.

Bw1: 10-35cm; matriz 10 YR 5/8, bruno amarelado e mosqueado 2,5YR 4/8, vermelho, com

20% de 1 a 2 cm; franco-argilosa; blocos grande a média, fraca; plástica e pegajosa; transição ondulada e difusa; raízes poucas, muito finas e muitos poros pequenos.

Bw2: 35-52cm; matriz 10 YR 6/4 bruno amarelado claro, úmido, e 50% mosqueado, difusa 2,5YR 4/6, vermelho; franco argiloarenosa; granular muito pequena; ligeiramente plástica; não pegajosa a ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual; raízes poucas, muito finas e muitos poros pequenos.

2Bw1: 52-59cm; matriz 7.5 YR 5/6, bruno forte e mais de 50% de mosqueado, difusa, 2,5YR 4/8, vermelho, úmido; muito cascalhento; blocos, muito pequeno, fraca; transição irregular e abrupta; raízes poucas, muito finas e muitos poros pequenos..

2Bw2: 59-108 cm; matriz 7,5YR 7/4, bruno muito pálido e mais de 80% de mosqueado dominante,

2,5YR 4/8, vermelho, úmido; franco argilosa; prismas, media a pequena moderada, plástico e pegajoso; transição ondulada e difusa, raízes comuns e muito finas; poros comuns e pequenos.

2Bw3: 108-138+cm; matriz 10YR 8/1, branco e mais de 80% de mosqueado dominante, 10R 4/8 e 5/8, úmido; franco argiloso; prismas, fraco, médio a pequeno; plástico e pegajoso;

transição ondulada e difusa, raízes comuns e muito finas; poros comuns e pequenos.

### Observações:

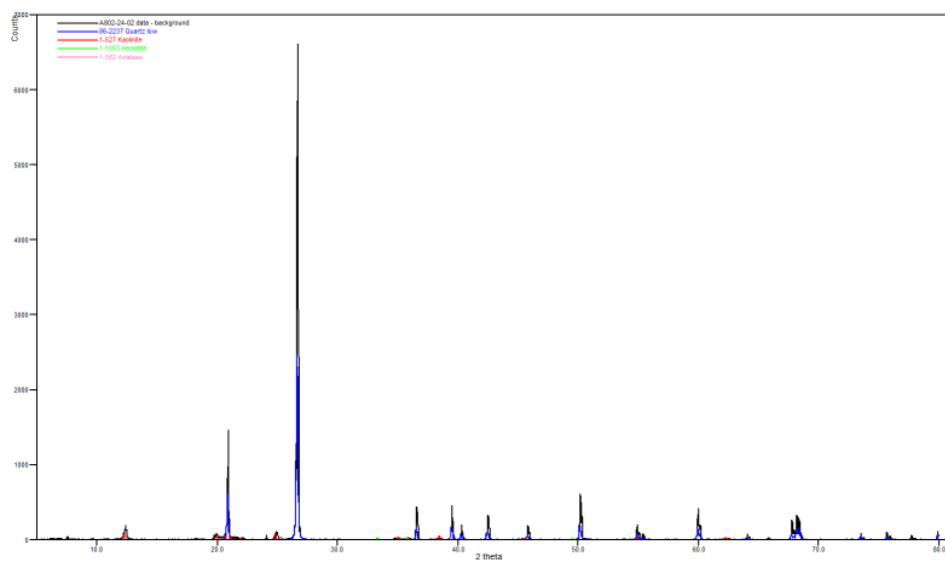
Horizontes Bw com mosqueados de plintita.

**Tabela 5.** Dados analíticos do perfil.

| Hz.  | Prof.<br><br>cm      | Frações da amostra total |                         |                            | Composição granulométrica da terra |                                  |                  |                            |                         | ADA  | GF<br><br>(%)         | Relação S/A                           |      |
|------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|--|-----------------------|---------------------------------------|------|
|      |                      | Calhaus<br><br>>20 mm    | Cascalho<br><br>20-2 mm | Terra<br>fina<br><br><2 mm | Areia<br>grossa<br><br>2-0.2 mm    | Areia<br>fina<br><br>0.2-0.05 mm | Areia<br>total   | Silte<br><br>0.05-0.002 mm | Argila<br><br><0.002 mm |  |                       |                                       |      |
|      |                      |                          |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            |                         |  |                       |                                       |      |
| Ap   | 10                   | 0                        | 10                      | 90                         | 2                                  | 60                               | 62               | 20                         | 18                      |  |                       | 1.1                                   |      |
| Bw1  | 35                   | 0                        | 3                       | 97                         | 1                                  | 53                               | 53               | 23                         | 24                      |  |                       | 1.0                                   |      |
| Bw2  | 52                   | 0                        | 3                       | 97                         | 1                                  | 47                               | 48               | 24                         | 28                      |  |                       | 0.8                                   |      |
| 2Bw1 | 59                   | 0                        | 58                      | 42                         | 2                                  | 48                               | 50               | 25                         | 25                      |  |                       | 1.0                                   |      |
| 2Bw2 | 108                  | 0                        | 4                       | 96                         | 1                                  | 39                               | 40               | 30                         | 30                      |  |                       | 1.0                                   |      |
| 2Bw3 | 138                  | 0                        | 1                       | 99                         | 1                                  | 35                               | 36               | 32                         | 32                      |  |                       | 1.0                                   |      |
| Hz.  | pH<br><br>H2O    KCl | Complexo sortivo         |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            | Valor T<br><br>(soma)   | Valor V<br><br>(%)   | Sat.<br>por Al<br>(%) | P<br>assim.<br><br>mg kg <sup>1</sup> |      |
|      |                      | Ca <sup>2+</sup>         | Mg <sup>2+</sup>        | K <sup>+</sup>             | Na <sup>+</sup>                    | Valor<br>S                       | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup>             |                         |  |                       |                                       |      |
|      |                      |                          |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            |                         |  |                       |                                       |      |
| Ap   | 5,3                  |                          | 1,39                    | 0,45                       | 0,27                               | 0,02                             | 2,13             | 0,1                        | 3,8                     | 5,93   | 36                    | 4,5                                   | 3,9  |
| Bw1  | 5,2                  |                          | 0,39                    | 0,2                        | 0,31                               | 0,02                             | 0,92             | 0,14                       | 2,6                     | 3,52   | 26,2                  | 13,2                                  | 0,7  |
| Bw2  | 5,1                  |                          | 0,22                    | 0,12                       | 0,19                               | 0,01                             | 0,55             | 0,25                       | 3,3                     | 3,85   | 14,3                  | 31,3                                  | 0,6  |
| 2Bw1 | 4,8                  |                          | 0,21                    | 0,11                       | 0,16                               | 0,01                             | 0,49             | 0,43                       | 2,9                     | 3,39   | 14,5                  | 46,7                                  | 1,1  |
| 2Bw2 |                      |                          |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            |                         |  |                       |                                       |      |
| 2Bw3 | 4,6                  |                          | 0,15                    | 0,12                       | 0,12                               | 0,02                             | 0,41             | 2,5                        | 9,7                     | 10,11  | 4,1                   | 85,8                                  | 0,2  |
| Hz.  | C org.<br><br>g/kg   | N<br><br>g/kg            | Rel. C/N                | Ataque sulfúrico           |                                    |                                  |                  | Ki                         | Kr                      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub>     | Pasta saturada                        |      |
|      |                      |                          |                         | SiO <sub>2</sub>           | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | TiO <sub>2</sub> |                            |                         |  | Equivalente.          | CE                                    | Água |
|      |                      |                          |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            |                         |  |                       |                                       |      |
| Ap   | 1,04                 |                          |                         | 75                         | 70.34                              | 15.97                            | 3.43             | 1.81                       | 1.58                    | 4.41   |                       |                                       |      |
| Bw1  | 0,24                 |                          |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            |                         |  |                       |                                       |      |
| Bw2  | 0,32                 |                          |                         | 125                        | 104.60                             | 33.51                            | 5.33             | 2.03                       | 1.69                    | 3.12   |                       |                                       |      |
| 2Bw1 | 0,28                 |                          |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            |                         |  |                       |                                       |      |
| 2Bw2 |                      |                          |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            |                         |  |                       |                                       |      |
| 2Bw3 | 0,23                 |                          |                         |                            |                                    |                                  |                  |                            |                         |  |                       |                                       |      |

\*Hz: horizonte. Prof: profundidade. ADA: argila dispersa em água. GF: grau de floculação. Relação S/A: relação silte/argila. Valor T: estimativa da CTC. Valor V: saturação por base. Sat. por Al: saturação por alumínio. P assim.: fósforo assimilável. C org: carbono orgânico. N: nitrogênio total. Rel. C/N: relação carbono/nitrogênio. Ki: índice de intemperismo. Kr: índice de intemperismo. CE: condutividade elétrica.





**Figura 4:** Difratoograma de raios X da TFSA do Perfil 4.

Foto: Eliane de Paula Clemente



**Figura 5.** Perfil 4, coletado na Fazenda Araguaia (Santa Maria das Barreiras, PA).

## Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA segundo ponto (Perfil 5)

Descrito e coletado por: João Herbert Moreira Viana, Eliane de Paula Clemente, Alexandre Uhlmann.

### Caracterização

Data: 28/11/2023

Classificação de Campo: Plintossolo Háplico Distrófico petroplântico

Coordenadas: 8.753957 S; 49.847104 W

Localização, município, estado. Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: vale de várzea

Altitude: 146 m

Litologia, formação geológica e cronologia: Couto Magalhães

Material originário: sedimento quaternário

Pedregosidade: endopedregoso

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: plano

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: imperfeitamente drenado

Vegetação primária: campo

Uso atual: pastagem

### Descrição morfológica

A1: 0-49cm; 10YR 4/3, bruno, úmido; apresenta mosqueado vermelho, muito pouco e pequeno; areia franca; grão solto; não plástica, não pegajosa; transição ondulada e difusa; raízes poucas, muito finas e poucos bioporos pequenos.

A2: 49-75cm; 10YR 6/3, bruno pálido e apresenta mosqueado amarelo, pouco e pequeno; areia franca; grão solto; não plástica, não pegajosa; transição plana e abrupta; raízes poucas, muito finas e poucos bioporos pequenos.

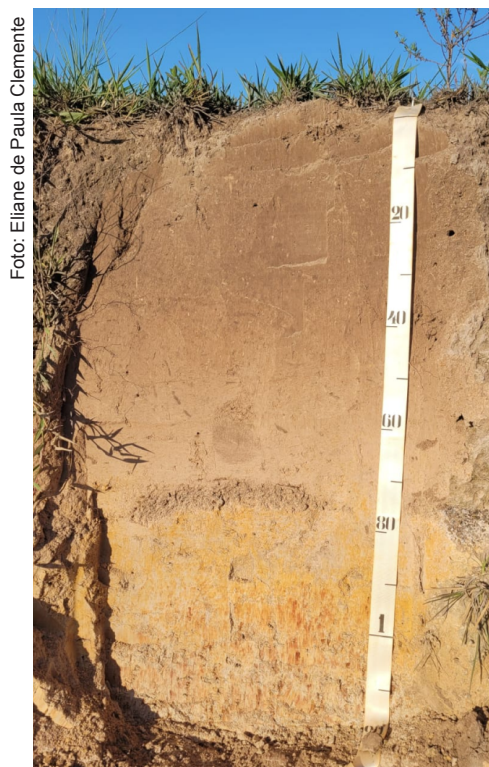
2Bw1: 75-79cm; 10YR 6/2, cinza brunado claro; franco arenosa muito cascalhenta; não pegajoso e não cascalhento; transição plana e abrupta; raízes poucas, muito finas e poucos bioporos pequenos.

2Bw2: 79-120+cm; matriz 10YR 7/3, bruno muito pálido; mosqueado 7,5 YR 6/8 amarelo avermelhado e 10R 3/6 vermelho escuro; mais de 50% de mosqueado amarelo e vermelho difusa; franco argilosa; maciça, pouco plástica e pouco pegajosa; transição plana e abrupta; raízes poucas, muito finas e poucos bioporos pequenos.

Tabela 6. Dados analíticos do perfil.

| Hz.  | Prof.  | Frações da amostra total (%) |                  |                       | Composição granulométrica da terra fina (dag/kg) |                                |                  |                |                 | ADA     | GF   | Relação S/A               |                    |
|------|--------|------------------------------|------------------|-----------------------|--|--------------------------------|------------------|----------------|-----------------|---------|--|---------------------------|--------------------|
|      |        | Calhaus                      | Cascalho         | Terra fina            | Areia grossa                                     | Areia fina                     | Areia total      | Silte          | Argila          |         |  |                           |                    |
|      |        | cm                           | >20 mm           | 20-2 mm               | <2 mm  | 2-0.2 mm                       |                  | 0.2-0.05 mm    | 0.05-0.002 (mm) |         |  |                           | <0.002 mm          |
| A1   | 49     | 0                            | 0                | 100                   | 2  | 66                             | 68               | 25             | 7               |         |  | 3.8                       |                    |
| A2   | 75     | 0                            | 0                | 100                   | 2  | 67                             | 69               | 25             | 6               |         |  | 4.1                       |                    |
| Bw1  | 79     | 0                            | 60               | 40                    | 5  | 61                             | 66               | 25             | 9               |         |  | 2.7                       |                    |
| 2Bw2 | 120    | 0                            | 2                | 98                    | 2  | 52                             | 54               | 27             | 19              |         |  | 1.4                       |                    |
| Hz.  | pH     | Complexo sortivo             |                  |                       |  |                                |                  |                | Valor T         | Valor V | Sat. por Al  | P assim.                  |                    |
|      |        | Ca <sup>2+</sup>             | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup>        | Na <sup>+</sup>                                  | Valor S                        | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup> |                 |         |  |                           |                    |
|      |        | H2O                          | KCl              | cmolc/dm <sup>3</sup> |  |                                |                  |                |                 | (soma)  | (%)  | (%)                       | mg kg <sup>1</sup> |
| A1   | 4,8    |                              | 0,04             | 0,04                  | 0,1  | 0,01                           | 0,19             | 0,62           | 2,7             | 2,88    | 6,4  | 77                        | 0,6                |
| A2   | 4,8    |                              | 0,06             | 0,05                  | 0,11   | 0,02                           | 0,24             | 0,62           | 5,2             | 5,44    | 4,4  | 72,2                      | 1,7                |
| Bw1  | 4,8    |                              | 0,06             | 0,06                  | 0,1  | 0,01                           | 0,23             | 1              | 3,5             | 3,73    | 6,2  | 81,1                      | 1,4                |
| 2Bw2 | 4,5    |                              | 0,05             | 0,05                  | 0,11   | 0,01                           | 0,22             | 2,64           | 10              | 10,22   | 2,2  | 92,2                      | 1                  |
| Hz.  | C org. | N                            | Ataque sulfúrico |                       |  |                                |                  |                | Ki              | Kr      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> Equival | Pasta saturada     |
|      |        |                              | Rel. C/N         | SiO <sub>2</sub>      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CE             |                 |         |  | Água                      |                    |
|      |        | g/kg                         | g/kg             | g/kg                  |  |                                |                  |                |                 |         |  | g/kg                      | dS/m 25 °C         |
| A1   | 0,84   |                              |                  | 89.00                 | 17.60  | 5.57                           | 2.00             | 8.60           | 7.15            | 3.16    |  |                           |                    |
| A2   | 0,92   |                              |                  |                       |  |                                |                  |                |                 |         |  |                           |                    |
| Bw1  | 0,41   |                              |                  | 46.00                 | 28.10  | 19.54                          | 2.00             | 2.78           | 1.93            | 1.44    |  |                           |                    |
| 2Bw2 | 0,49   |                              |                  |                       |  |                                |                  |                |                 |         |  |                           |                    |

\*Hz: horizonte. Prof: profundidade. ADA: argila dispersa em água. GF: grau de floculação. Relação S/A: relação silte/argila. Valor T: estimativa da CTC. Valor V: saturação por base. Sat. por Al: saturação por alumínio. P assim.: fósforo assimilável. C org: carbono orgânico. N: nitrogênio total. Rel. C/N: relação carbono/nitrogênio. Ki: índice de intemperismo. Kr: índice de intemperismo. CE: condutividade elétrica.



**Figura 6.** Perfil 5, coletado na Fazenda Araguaia (Santa Maria das Barreiras, PA).

## Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA terceiro ponto (Perfil 6)

### Caracterização

Data: 29/11/2023

Classificação de Campo: Plintossolo Pétrico Concrecionário típico

Coordenadas: 8.772138 s; 49.834176 w

Localização, município, estado. Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço superior para médio

Altitude: 166 m

Litologia, formação geológica e cronologia: Couto Magalhães

Material originário: desmonte de canga (petroplintita nodular)

Pedregosidade: muito pedregoso

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: suave ondulado

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: aparente em sulco

Drenagem: imperfeitamente drenado

Vegetação primária: campo

Uso atual: lavoura anual

Descrito e coletado por: João Herbert Moreira Viana, Eliane de Paula Clemente, Alexandre Uhlmann.

### Descrição morfológica

Ap1: 0-27cm; 10YR 4/3, bruno, úmido; franco arenoargilosa; granular muito cascalhenta, muito pequena; plástica e pegajosa; transição ondulada e difusa; raízes poucas, muito finas e poucos poros pequenos.

Ap2: 27-41cm; 10YR 6/6, bruno amarelado úmido; franco arenoargilosa; granular muito cascalhenta, muito pequena; plástica e pegajosa; transição ondulada e abrupta; raízes poucas, muito finas e poucos poros pequenos.

BC1: 41-60cm; matriz 2,5Y 7/4, amarelo pálido e mais de 30% de mosqueado difuso, 2,5YR 3/6 vermelho escuro; franco silte argilosa; prismática, forte e grande; plástico e pouco pegajoso; transição plana e difusa; raízes poucas, muito finas e poucos poros pequenos.

BC2: 60-90+cm; matriz 2,5Y 7/1, cinza claro e mais de 30% de mosqueado difuso, 2,5YR 3/6 vermelho escuro e 7,5 YR5/8 bruno forte; franco silte argilosa e cascalhenta; prismática, forte e grande; plástico e pegajoso; transição plana e difusa; raízes poucas, muito finas e poucos poros pequenos.

### Observações:

A1: + 50% de cascalho.

BC: Presença de plintita e mosqueado.



Tabela 7. Dados analíticos do perfil.

| Hz. | Prof. | Frações da amostra total (%) |          |            | Composição granulométrica da terra fina (dag/kg) |            |             |               |           | ADA | GF  | Relação S/A |
|-----|-------|------------------------------|----------|------------|--|------------|-------------|---------------|-----------|-----|-----|-------------|
|     |       | Calhaus                      | Cascalho | Terra fina | Areia grossa                                     | Areia fina | Areia total | Silte         | Argila    |     |     |             |
|     |       | cm                           | >20 mm   | 20-2 mm    | <2 mm  | 2-0.2 mm   |             | 0.05-0.002 mm | <0.002 mm |     | (%) |             |
| Ap1 | 27    | 0                            | 51       | 49         | 13   | 32         | 45          | 32            | 23        |     |     | 1.4         |
| Ap2 | 41    | 0                            | 68       | 32         | 15   | 24         | 39          | 33            | 28        |     |     | 1.2         |
| BC1 | 60    | 0                            | 12       | 88         | 4  | 14         | 18          | 34            | 48        |     |     | 0.7         |
| BC2 | 90    | 0                            | 14       | 86         | 6  | 14         | 20          | 34            | 46        |     |     | 0.7         |

| Hz. | pH               |     | Complexo sortivo      |                  |                |                 |         |                  |                | Valor T | Valor V | Sat. por Al | P assim.            |
|-----|------------------|-----|-----------------------|------------------|----------------|-----------------|---------|------------------|----------------|---------|---------|-------------|---------------------|
|     |                  |     | Ca <sup>2+</sup>      | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | Valor S | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup> |         |         |             |                     |
|     | H <sub>2</sub> O | KCl | cmolc/dm <sup>3</sup> |                  |                |                 |         |                  |                | (soma)  | (%)     | (%)         | mg kg <sup>-1</sup> |
| Ap1 | 5,2              |     | 3,25                  | 1,42             | 0,18           | 0,03            | 4,87    | 0,1              | 3,2            | 8,07    | 60,4    | 2           | 2,6                 |
| Ap2 | 4,8              |     | 0,87                  | 0,63             | 0,14           | 0,05            | 1,68    | 0,56             | 5,7            | 7,38    | 22,8    | 24,9        | 1,6                 |
| BC1 | 4,8              |     | 0,08                  | 0,1              | 0,14           | 0,05            | 0,36    | 3,59             | 11,4           | 11,76   | 3,1     | 90,9        | 0,8                 |
| BC2 | 4,6              |     | 0,08                  | 0,09             | 0,13           | 0,04            | 0,35    | 4,24             | 15,2           | 15,55   | 2,3     | 92,4        | 1,2                 |

| Hz. | C org. | N | Ataque sulfúrico |                  |                                |                                |                  |      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> Equivalente. | Pasta saturada |      |
|-----|--------|---|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|--|--------------------------------|----------------|------|
|     |        |   | Rel. C/N         | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Ki   | Kr   |                                | CE             | Água |
|     |        |   |                  | g/kg             |                                |                                |                  |      |  | g/kg                           | dS/m 25 °C     | (%)  |
| Ap1 | 0,85   |   |                  | 100              | 76.82                          | 89.81                          | 2.48             | 2.21 | 1.27   | 0.86                           |                |      |
| Ap2 | 0,73   |   |                  |                  |                                |                                |                  |      |  |                                |                |      |
| BC1 | 0,56   |   |                  |                  |                                |                                |                  |      |  |                                |                |      |
| BC2 | 0,35   |   |                  |                  |                                |                                |                  |      |  |                                |                |      |

\*Hz: horizonte. Prof: profundidade. ADA: argila dispersa em água. GF: grau de floculação. Relação S/A: relação silte/argila. Valor T: estimativa da CTC. Valor V: saturação por base. Sat. por Al: saturação por alumínio. P assim.: fósforo assimilável. C org: carbono orgânico. N: nitrogênio total. Rel. C/N: relação carbono/nitrogênio. Ki: índice de intemperismo. Kr: índice de intemperismo. CE: condutividade elétrica.

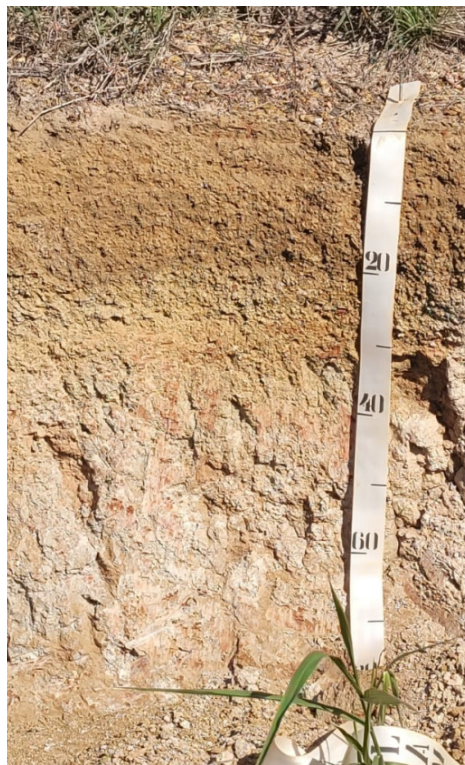


Foto: Eliane de Paula Clemente

Figura 7. Perfil 6, coletado na Fazenda Araguaia (Santa Maria das Barreiras, PA).

## Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA quarto ponto (Perfil 7)

### Caracterização

Data: 27/11/2023

Classificação de Campo: Plintossolo Pétrico Lito-plíntico êndico

Coordenadas: 8.722798 S; 49.836425 W

Localização, município, estado. Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço superior

Altitude: 171 m

Litologia, formação geológica e cronologia: Couto Magalhães

Material originário: retrabalhamento de canga

Pedregosidade: endopedregoso

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: suave ondulado

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: moderadamente drenado/mal drenado

Vegetação primária: cerrado

Uso atual: lavoura anual

Descrito e coletado por: João Herbert Moreira Viana, Eliane de Paula Clemente, Alexandre Uhlmann.

### Descrição morfológica

Ap: 0-12cm; 10YR 5/3, bruno, úmido; franco arenosa; maciça; pouco plástica e pouco pegajosa; transição plana e gradual; raízes comuns, muito finas e poucos poros pequenos.

Bw1: 12-40cm; 10YR 6/4, bruno amarelado claro e mosqueado 10R 3/4 + 2,5 YR 4/6, vermelho, úmido; franco argilosa com cascalho; blocos subangulares fracos, médios a pequenos; plástica e pegajosa; transição ondulada, abrupta e irregular; raízes comuns, finas e poros comuns e pequenos

F: 40-65cm; petroplintita com núcleo mais vermelho e capa amarelada 10R 3/6 a 2,5YR 4/8.

BC: 65-115+cm; matriz 7,5YR 7/2, cinza rosado e mais de 30% de mosqueado variado e aleatório, 10R 4/8 vermelho e 10 YR 6/8 amarelo brunado; francoargilosa; prismática, fraca, média a grande; pouco plástico e pegajoso; raízes poucas e muito finas; muito poucos poros fissural e fino.

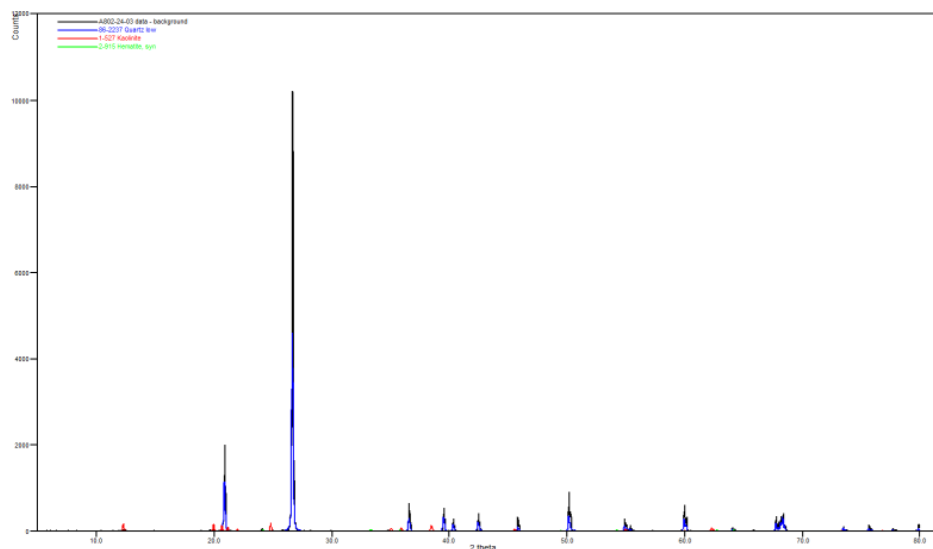
**Observações:** F com muitos espaços preenchidos com a matriz de cima.

Tabela 8. Dados analíticos do perfil.

| H <sub>z.</sub> | Prof.            | Frações da amostra total (%) |                  |                  | Composição granulométrica da terra fina (dag/kg) |                                |                  |   |                               | ADA            | GF         | Relação S/A |                    |
|-----------------|------------------|------------------------------|------------------|------------------|--|--------------------------------|------------------|---|-------------------------------|----------------|------------|-------------|--------------------|
|                 |                  | Calhaus                      | Cascalho         | Terra fina       | Areia grossa                                     | Areia fina                     | Areia total      | Silte   | Argila                        |                |            |             |                    |
|                 |                  |                              |                  |                  |  |                                |                  |   |                               |                |            |             | cm                 |
| Ap              | 12               | 0                            | 0                | 100              | 1  | 55                             | 56               | 30  | 14                            |                |            | 2.2         |                    |
| Bw1             | 40               | 0                            | 0                | 100              | 2  | 57                             | 59               | 30  | 11                            |                |            | 2.7         |                    |
| F               | 65               | 0                            | 60               | 40               | 3  | 48                             | 51               | 32  | 17                            |                |            | 1.9         |                    |
| BC              | 115              | 0                            | 2                | 98               | 1  | 46                             | 47               | 33  | 20                            |                |            | 1.7         |                    |
| H <sub>z.</sub> | pH               |                              | Complexo sortivo |                  |  |                                |                  |   |                               | Valor T        | Valor V    | Sat. por Al | P assim.           |
|                 | H <sub>2</sub> O | KCl                          | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup>                                   | Na <sup>+</sup>                | Valor S          | Al <sup>3+</sup>  | H <sup>+</sup>                |                |            |             |                    |
|                 |                  |                              | cmolc/dm³        |                  |  |                                |                  |   |                               | (soma)         | (%)        | (%)         | mg kg <sup>1</sup> |
| Ap              | 5,3              |                              | 1,04             | 0,41             | 0,21   | 0,02                           | 1,68             | 0,12  | 3,1                           | 4,78           | 35,2       | 6,7         | 2,3                |
| Bw1             | 6                |                              | 2,45             | 0,86             | 0,24   | 0,02                           | 3,57             | 0   | 4,9                           | 8,47           | 42,2       | 0           | 10,7               |
| F               | 5,1              |                              | 0,96             | 0,44             | 0,24   | 0,04                           | 1,68             | 0,19  | 3,1                           | 4,78           | 35,1       | 10,2        | 3,8                |
| BC              | 4,5              |                              | 0,23             | 0,17             | 0,12   | 0,02                           | 0,55             | 2,32  | 9,8                           | 10,35          | 5,3        | 80,9        | 1,2                |
| H <sub>z.</sub> | C org.           | N                            | Rel. C/N         | Ataque sulfúrico |  |                                |                  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> Equivalente | Pasta saturada |            |             |                    |
|                 |                  |                              |                  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> |   |                               | Ki             | Kr         | CE          | Água               |
|                 | g/kg             | g/kg                         |                  | g/kg             |  |                                |                  |   |                               | g/kg           | dS/m 25 °C | (%)         |                    |
| Ap              | 0,84             |                              |                  | 74               | 50.14  | 15.65                          | 2.76             | 2.51  | 2.09                          | 3.20           |            |             |                    |
| Bw1             | 0,92             |                              |                  | 55               | 36.87  | 10.92                          | 2.38             | 2.54  | 2.13                          | 3.38           |            |             |                    |
| F               | 0,41             |                              |                  |                  |  |                                |                  |   |                               |                |            |             |                    |
| BC              | 0,49             |                              |                  |                  |  |                                |                  |   |                               |                |            |             |                    |

\*Hz: horizonte. Prof: profundidade. ADA: argila dispersa em água. GF: grau de floculação. Relação S/A: relação silte/argila. Valor T: estimativa da CTC. Valor V: saturação por base. Sat. por Al: saturação por alumínio. P assim.: fósforo assimilável. C org: carbono orgânico. N: nitrogênio total. Rel. C/N: relação carbono/nitrogênio. Ki: índice de intemperismo. Kr: índice de intemperismo. CE: condutividade elétrica.





**Figura 8.** Difratograma de raios X da TFSA do Perfil 7.



Foto: Eliane de Paula Clemente

**Figura 9.** Perfil 7, coletado na Fazenda Araguaia (Santa Maria das Barreiras, PA).

### **Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA quinto ponto (Perfil extra)**

#### **Caracterização**

Data: 27/11/2023

Classificação de Campo: Plintossolo Pétrico Concrecionário

Coordenadas: 8.771985 S; 49.822234 W

Localização, município, estado. Fazenda Araguaia, Santa Maria das Barreiras, PA

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço superior

Altitude: 183 m

Litologia, formação geológica e cronologia: Couto Magalhães

Material originário: retrabalhamento de canga

Pedregosidade: pedregoso

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: ondulado

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação primária: cerrado

Uso atual: lavoura anual

Descrito e coletado por: João Herbert Moreira Viana, Eliane de Paula Clemente, Alexandre Uhlmann.

Tabela 9. Dados analíticos do perfil.

| Hz. | Prof.  | Frações da amostra total (%) |                  |                  |                                | Composição granulométrica da terra fina (daa/ka) |                  |                  |                | ADA                      | GF  | Relação S/A |                    |
|-----|--------|------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--|------------------|------------------|----------------|--------------------------|---|-------------|--------------------|
|     |        | Calhaus                      | Cascalho         | Terra fina       | Areia grossa                   | Areia fina                                       | Areia total      | Silte            | Argila         |                          |   |             |                    |
|     |        |                              |                  |                  |                                |  |                  |                  |                |                          |   |             |                    |
| cm  | >20 mm | 20-2 mm                      | <2 mm            | 2-0.2 mm         | 0.2-0.05 mm                    |  | 0.05-0.002 mm    | <0.002 mm        | (%)            |                          |   |             |                    |
| Ap1 | 20     | 0                            | 81               | 19               | 9                              | 27   | 36               | 14               | 50             |                          |   | 0.3         |                    |
| Ap2 | 40     | 0                            | 61               | 39               | 8                              | 21   | 29               | 16               | 55             |                          |   | 0.3         |                    |
| Hz. | pH     |                              | Complexo sortivo |                  |                                |  |                  |                  |                | Valor T                  | Valor V   | Sat. por Al | P assim.           |
|     |        |                              | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup>                 | Na <sup>+</sup>                                  | Valor S          | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup> |                          |   |             |                    |
|     | H2O    | KCl                          | cmolc/dm³        |                  |                                |  |                  |                  |                | (soma)                   | (%)   | (%)         | mg kg <sup>1</sup> |
| Ap1 | 5,1    |                              | 0,96             | 0,44             | 0,24                           | 0,04   | 1,68             | 0,19             | 3,1            | 4,78                     | 35,1  | 10,2        | 3,8                |
| Ap2 | 4,5    |                              | 0,23             | 0,17             | 0,12                           | 0,02   | 0,55             | 2,32             | 9,8            | 10,35                    | 5,3   | 80,9        | 1,2                |
| Hz. | C org. | N                            | Ataque sulfúrico |                  |                                |  |                  |                  |                | CaCO <sub>3</sub> Equiv. | Pasta saturada  |             |                    |
|     |        |                              | Rel. C/N         | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | TiO <sub>2</sub> | Ki               | Kr             |                          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CE          | Água               |
|     | g/kg   | g/kg                         | g/kg             |                  |                                |  |                  |                  |                | g/kg                     | dS/m 25 °C  | (%)         |                    |
| Ap1 | 0,93   |                              |                  | 186              | 216.52                         | 178.25   | 8.48             | 1.46             | 0.96           | 1.21                     |   |             |                    |
| Ap2 | 0,55   |                              |                  |                  |                                |  |                  |                  |                |                          |   |             |                    |

\* Hz: horizonte. Prof: profundidade. ADA: argila dispersa em água. GF: grau de flocculação. Relação S/A: relação silte/argila. Valor T: estimativa da CTC. Valor V: saturação por base. Sat. por Al: saturação por alumínio. P assim.: fósforo assimilável. C org: carbono orgânico. N: nitrogênio total. Rel. C/N: relação carbono/nitrogênio. Ki: índice de intemperismo. Kr: índice de intemperismo. CE: condutividade elétrica.



Figura 10. Perfil extra, coletado na Fazenda Araguaia (Santa Maria das Barreiras, PA).

As áreas experimentais em Minas Gerais (Perfil 2, Figuras 12 e 13 e Tabela 10) e no Mato Grosso do Sul (Perfil 3, Figuras 14 e 15 e Tabela 11) apresentam perfis classificados como Latossolos Vermelhos distróficos típicos. Esses solos são os dominantes e representativos dos solos muito argilosos do Cerrado mineiro, na área

experimental de Minas Gerais (Panoso et al., 2002), e também o são para a área de Chapadão do Sul, MS, (Mato Grosso do Sul, 2024).

## Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG (Perfil 2)

### Caracterização

Data: 9/5/2023

Classificação de campo: Latossolo Vermelho Distrófico típico

Coordenadas: 19.45352 S; 44.18076 W

Localização, município, estado. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: plano a suave ondulado

Altitude: 730 m

Litologia, formação geológica e cronologia: Formação Serra de Santa Helena, Grupo Bambuí, neoproterozoico

Material originário: material retrabalhado

Pedregosidade: não pedregoso

Rochosidade: não rochosa

Relevo local: plano

Relevo regional: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação primária: cerrado

Uso atual: cerrado (reserva)

Descrito e coletado por: João Herbert Moreira Viana, Eliane de Paula Clemente, Manoel Ricardo de Albuquerque Filho.

### Descrição morfológica

A1: 0-11 cm; 2.5 YR 3/6, vermelho escuro, úmido; argilosa; blocos subangulares, médio para pequeno moderada que se desfaz em microgranular; plástica e pegajosa; transição plana e difusa; raízes finas abundantes, poucas grossas; poros muitos médios.

BA: 11-29 cm; 2.5 YR 3/6, vermelho escuro, úmido; argilosa; blocos subangulares, médio para grande moderada que se desfaz em microgranular; plástica e pegajosa; transição plana e abrupta; raízes finas

abundantes, poucas grossas; poros muitos médios.

Bw1: 29-65 cm; 2.5 YR 3/6, vermelho escuro, úmido; argilosa; microgranular, forte; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara; raízes poucas grossas; poros muitos médios.

Bw2: 65-160+cm; 2.5 YR 2.5/4, bruno avermelhado escuro, úmido; argilosa; microgranular, forte; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara; raízes poucas grossas; poros muitos médios.

### Observações:

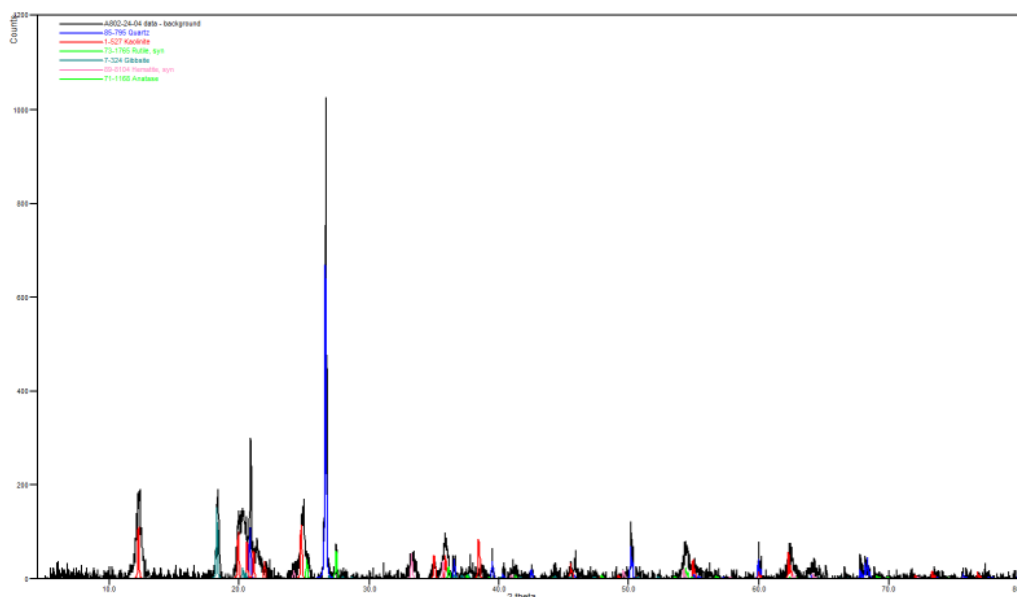
Muita atividade biológica, fragmentos de carvão distribuídos em todo o perfil (linha de carvão a 70 cm).

Tabela 10. Dados analíticos do perfil.

| Hz. | Prof.  | Frações da amostra total |                       |                  | Composição granulométrica da terra |                                |                  |                  |  | ADA                       | GF             | Relação S/A |                     |
|-----|--------|--------------------------|-----------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|--|---------------------------|----------------|-------------|---------------------|
|     |        | Calhaus                  | Cascalho              | Terra fina       | Areia grossa                       | Areia fina                     | Areia total      | Silte            | Argila   |                           |                |             |                     |
|     |        |                          |                       |                  |                                    |                                |                  |                  |  |                           |                |             | cm                  |
| A   | 29     | 0                        | 0                     | 100              |                                    |                                | 13               | 14               | 73   |                           |                | 0.2         |                     |
| AB  | 42     | 0                        | 0                     | 100              |                                    |                                | 9                | 10               | 81   |                           |                | 0.1         |                     |
| Bw1 | 91     | 0                        | 0                     | 100              |                                    |                                | 9                | 9                | 82   |                           |                | 0.1         |                     |
| Bw2 | 144    | 0                        | 0                     | 100              |                                    |                                | 9                | 6                | 85   |                           |                | 0.1         |                     |
| Hz. | pH     |                          | Complexo sortivo      |                  |                                    |                                |                  |                  | Valor T  | Valor V                   | Sat. por Al    | P assim.    |                     |
|     | H2O    | KCl                      | Ca <sup>2+</sup>      | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup>                     | Na <sup>+</sup>                | Valor S          | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup>   | (soma)                    | (%)            | (%)         | mg kg <sup>-1</sup> |
|     |        |                          | cmolc/dm <sup>3</sup> |                  |                                    |                                |                  |                  |  |                           |                |             |                     |
| A   | 6,2    |                          | 8,36                  | 0,64             | 0,14                               | 0,03                           | 9,17             | 0                | 2,5  | 11,67                     | 78,6           | 0           | 3,3                 |
| AB  |        |                          |                       |                  |                                    |                                |                  |                  |  |                           |                |             |                     |
| Bw1 | 4,9    |                          | 0,42                  | 0,06             | 0,03                               | 0,02                           | 0,53             | 0,67             | 5,7  | 6,23                      | 8,5            | 55,9        | 0,4                 |
| Bw2 | 4,8    |                          | 0,09                  | 0,05             | 0,01                               | 0,03                           | 0,18             | 0,59             | 5  | 5,18                      | 3,6            | 76,2        | 0,3                 |
| Hz. | C org. | N                        | Ataque sulfúrico      |                  |                                    |                                |                  |                  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> Equival | Pasta saturada |             |                     |
|     |        |                          | Rel. C/N              | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Ki               |  | Kr                        | ente           | CE          | Água                |
|     | g/kg   | g/kg                     |                       | g/kg             |                                    |                                |                  |                  |  | g/kg                      | dS/m 25 °C     | (%)         |                     |
| A   | 2,27   |                          |                       | 222              | 251                                | 107                            | 8                | 1.50             | 1.18   | 2.35                      |                |             |                     |
| AB  |        |                          |                       |                  |                                    |                                |                  |                  |  |                           |                |             |                     |
| Bw1 | 2,18   |                          |                       |                  |                                    |                                |                  |                  |  |                           |                |             |                     |
| Bw2 | 1,08   |                          |                       | 218              | 269                                | 106                            | 7,2              | 1,38             | 1,10   | 2,54                      |                |             |                     |

\*Hz: horizonte. Prof: profundidade. ADA: argila dispersa em água. GF: grau de floculação. Relação S/A: relação silte/argila. Valor T: estimativa da CTC. Valor V: saturação por base. Sat. por Al: saturação por alumínio. P assim.: fósforo assimilável. C org: carbono orgânico. N: nitrogênio total. Rel. C/N: relação carbono/nitrogênio. Ki: índice de intemperismo. Kr: índice de intemperismo. CE: condutividade elétrica.





**Figura 11.** Difratograma de raios X da TFSA do Perfil 2.



**Figura 12.** Perfil 2, coletado na Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG).

**Universidade Federal do  
Mato Grosso do Sul, Campus  
Chapadão do Sul, MS (Perfil 3)**

#### **Caracterização**

Data: 27/4/2022

Classificação de Campo: Latossolo Vermelho Distrófico  
típico

Coordenadas: 18.77083 S; 52.62028 W

Localização, município, estado. Campo Experimental da  
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul,  
Campus Chapadão do Sul, MS

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: plano  
a suave ondulado

Altitude: 807 m

Litologia, formação geológica e cronologia: Formação  
Cachoeirinha

Material originário: sedimentos inconsolidados  
 Pedregosidade: não pedregoso  
 Rochosidade: não rochosa  
 Relevo local: plano  
 Relevo regional: plano  
 Erosão: não aparente  
 Drenagem: excessivamente drenado  
 Vegetação primária: cerrado  
 Uso atual: área de pousio  
 Descrito e coletado por: M. R. Albuquerque Filho.

microgranular; friável mesmo seco, boa plasticidade e pegajosidade quando úmido, com muitas raízes finas e muito finas, além de abundantes canais biológicos, transição difusa.

Bw1: 40-110cm; 2.5 YR 4/6, vermelho, úmido; muito argiloso; microgranular a pequena granular que se desfaz facilmente a microgranular; muito friável quando seco e muito plástico e boa pegajosidade quando úmido; muitas raízes muito finas e comuns raízes finas; raros fragmentos de carvão pequenos a muito pequenos e abundantes canais biológicos, sendo comuns os ninhos de corós.

Bw2: 110-190 cm+; muito argiloso; microgranular, pequena, muito forte; muito friável quando seco, plástico e pegajoso quando úmido, sem macrocanais de corós e sem fragmentos de carvão perceptíveis; comuns raízes finas e muito finas.

#### Observações:

Solo desagregado nos primeiros centímetros da superfície e ligeiro adensamento, característico de “pé de grade” de 20 cm a 25 cm de profundidade, em configurar um impedimento físico a raízes ou drenagem.

#### Descrição morfológica

Ap: 0-25 cm; 2.5 YR 3/4, bruno avermelhado escuro úmido; argiloso/muito argiloso; microgranular + muito pequena granular + granular que se desfaz facilmente em microgranular; abundantes raízes muito finas e finas, raízes médias comuns até 10 cm e não foram percebidas a partir dessa profundidade; Plástico e ligeiramente pegajoso quando úmido; transição plana e abrupta para o horizonte BA. Muitos fragmentos pequenos de carvão, concentrados de 10 a 20 cm de profundidade.

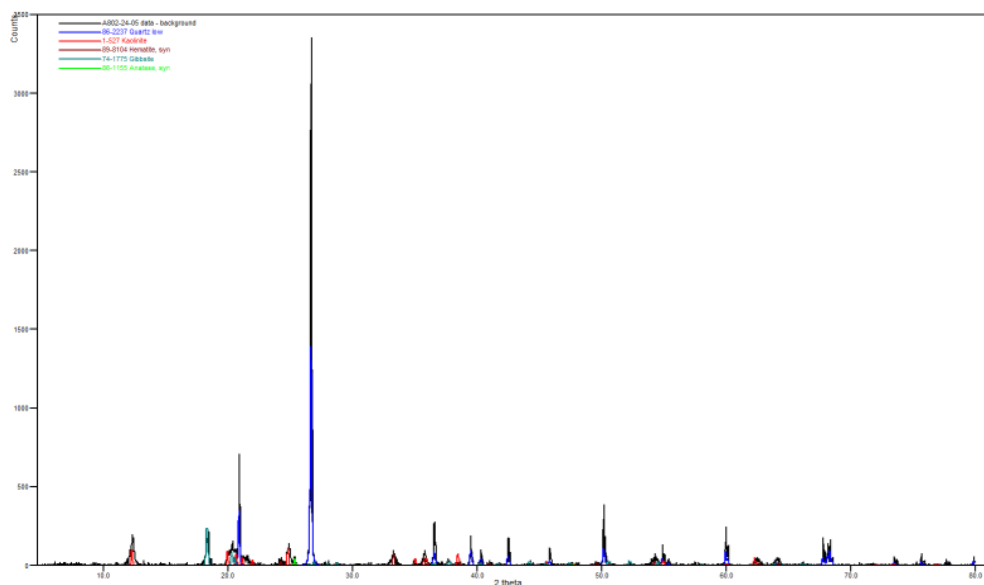
BA: 25-40 cm; muito argiloso; pequena a média granular que se desfaz em muito pequena a

Tabela 11. Dados analíticos do perfil.

| Hz. | Prof.  | Frações da amostra total (%) |                  |                  | Composição granulométrica da terra |                                |                  |                |        | ADA  | GF                | Relação S/A         |             |
|-----|--------|------------------------------|------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------|--------|--|-------------------|---------------------|-------------|
|     |        | Calhaus                      | Cascalho         | Terra fina       | Areia grossa                       | Areia fina                     | Areia total      | Silte          | Argila |  |                   |                     |             |
|     |        | cm                           | >20 mm           | 20-2 mm          | <2 mm                              | 2-0.2 mm                       |                  |                |        |  |                   |                     | 0.2-0.05 mm |
| Ap  | 29     | 0                            | 0                | 100              |                                    |                                | 51               | 4              | 45     |  |                   | 0.1                 |             |
| BA  | 42     | 0                            | 0                | 100              |                                    |                                | 48               | 5              | 47     |  |                   | 0.1                 |             |
| Bw1 | 91     | 0                            | 0                | 100              |                                    |                                | 45               | 4              | 51     |  |                   | 0.1                 |             |
| Bw2 | 144    | 0                            | 0                | 100              |                                    |                                | 44               | 3              | 53     |  |                   | 0.1                 |             |
| Hz. | pH     | Complexo sortivo             |                  |                  |                                    |                                |                  |                |        | Valor T  | Valor V           | Sat. por Al         | P assim.    |
|     |        | Ca <sup>2+</sup>             | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup>   | Na <sup>+</sup>                    | Valor S                        | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup> |        |  |                   |                     |             |
|     | H2O    | KCl                          | cmolc/dm³        |                  |                                    |                                |                  | (soma)         |        | (%)  | (%)               | mg kg <sup>-1</sup> |             |
| Ap  | 5,6    |                              | 3,72             | 0,6              | 0,18                               | 0,03                           | 4,53             | 0              | 3,5    | 8,03   | 56,4              | 0                   | 28          |
| BA  |        |                              |                  |                  |                                    |                                |                  |                |        |  |                   |                     |             |
| Bw1 | 5,6    |                              | 0,78             | 0,14             | 0,13                               | 0,02                           | 1,06             | 0              | 2,4    | 3,46   | 30,7              | 0                   | 1,7         |
| Bw2 |        |                              |                  |                  |                                    |                                |                  |                |        |  |                   |                     |             |
| Hz. | C org. | N                            | Rel. C/N         | Ataque sulfúrico |                                    |                                |                  | Ki             | Kr     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> | Pasta saturada      |             |
|     |        |                              |                  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> |                |        |  | Equivalente       | CE                  | Água        |
|     | g/kg   | g/kg                         |                  | g/kg             |                                    |                                |                  | g/kg           | g/kg   | g/kg   | dS/m 25 °C        | (%)                 |             |
| Ap  | 1,57   |                              |                  | 120              | 189.29                             | 74.58                          | 8.86             | 1.08           | 0.86   | 2.54   |                   |                     |             |
| BA  |        |                              |                  |                  |                                    |                                |                  |                |        |  |                   |                     |             |
| Bw1 | 0,52   |                              |                  | 136              | 209.16                             | 82.04                          | 10.74            | 1.11           | 0.88   | 2.55   |                   |                     |             |
| Bw2 |        |                              |                  |                  |                                    |                                |                  |                |        |  |                   |                     |             |

\*Hz: horizonte. Prof.: profundidade. ADA: argila dispersa em água. GF: grau de floculação. Relação S/A: relação silte/argila. Valor T: estimativa da CTC. Valor V: saturação por base. Sat. por Al: saturação por alumínio. P assim.: fósforo assimilável. C org: carbono orgânico. N: nitrogênio total. Rel. C/N: relação carbono/nitrogênio. Ki: índice de intemperismo. Kr: índice de intemperismo. CE: condutividade elétrica.





**Figura 13.** Difratoograma de raios X da TFSA do Perfil 3.



**Figura 14.** Perfil 3, coletado na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (Chapadão do Sul, MS).

Os perfis de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul são representativos dos solos já em uso nas áreas do Cerrado brasileiro, para os quais já existem uma grande quantidade de informações de pesquisa e recomendações de uso de insumos bem consolidadas. Os Plintossolos de Tocantins e do Pará são solos de fronteira agrícola, para os quais ainda não há trabalhos de recomendação e calibração de doses de corretivos e fertilizantes consolidados, de forma que existe a demanda para a validação de sistemas de produção adaptados a essa região e a esses solos. Alguns desses solos permitem produtividades

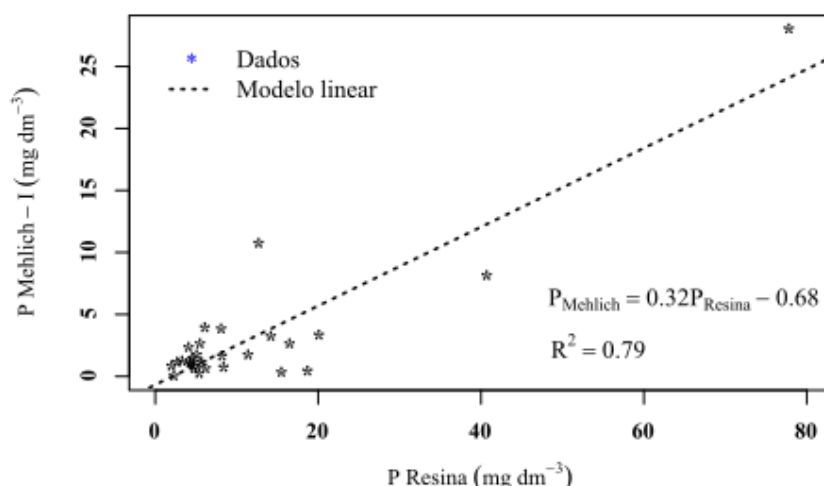
elevadas e estáveis, enquanto outros não têm permitido produtividades economicamente viáveis. São necessários trabalhos para a avaliação da capacidade de uso e para o zoneamento agrícola desses solos, que apresentam grande variabilidade de características físicas e morfológicas, como pode ser observado nas descrições dos perfis.

Os valores dos teores de fósforo obtidos por vários métodos são apresentados na Tabela 3, e sua interpretação é apresentada na Tabela 12, conforme as recomendações dos comitês de fertilidade de Minas Gerais (Comissão de Fertilidade de Solo

do Estado de Minas Gerais (CFSEMG)), do Espírito Santo (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER)) e de São Paulo (Instituto Agrônomo (IAC)) (Ribeiro et al., 1999; Camargo et al 2009; Prezotti e Guarçoni, 2013).

Os dados indicam que, em sua maioria, os horizontes dos solos apresentaram baixos teores de fósforo disponíveis pelos extratores utilizados (Mehlich-1 e resina). A exceção ficou para os horizontes superficiais das áreas sob cultivo

agrícola dos perfis 1 e 2 (valor médio) e perfil 3 (valor alto), pelo critério do IAC. Os demais perfis apresentaram valores baixos ou muito baixos, indicando um potencial de resposta à aplicação do fósforo (Tabela 12). A correlação entre os dois extratores foi estatisticamente significativa, conforme esperado, mas com grande dispersão dos dados (Figura 15), indicando que é necessário avaliar qual método de análise é o mais adequado, em trabalhos de calibração com resultados de produção vegetal.



**Figura 15.** Regressão linear entre os resultados do teor de P disponível pelo extrator de Mehlich-1 e pelo extrator de resina.

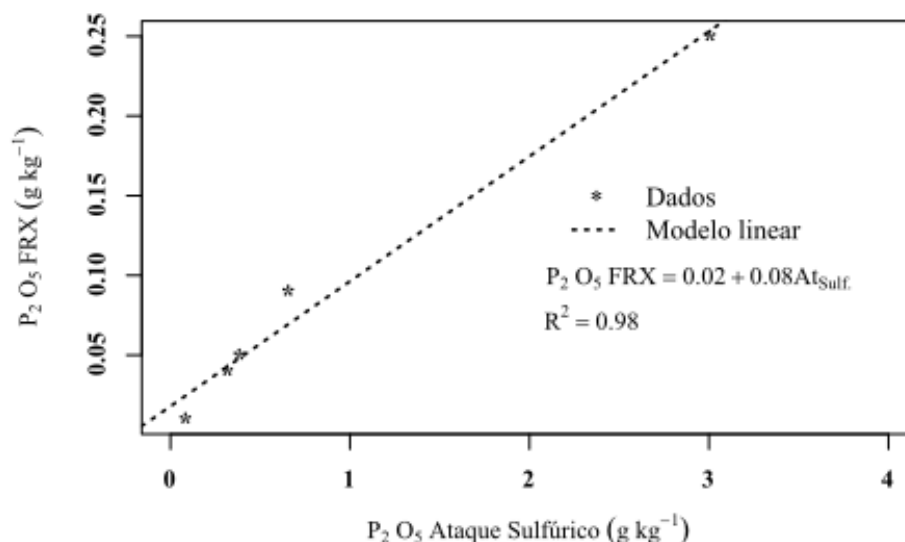
**Tabela 12.** Interpretação das classes de fósforo disponível por diferentes critérios, conforme recomendado pelos comitês de fertilidade de Minas Gerais (CFSEMG) e Espírito Santo/São Paulo (INCAPER/IAC).

| Amostra          | INCAPER-P rem*               | CFSEMG-P rem                 | CFSEMG-Argila                | IAC/INCAPER            |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|
|                  | P pelo extrator de Mehlich-1 | P pelo extrator de Mehlich-1 | P pelo extrator de Mehlich-1 | P pelo extrator resina |
| Perfil 1 A1      | Baixo                        | Baixo                        | Baixo                        | Médio                  |
| Perfil 1 Bw2     | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Muito baixo            |
| Perfil 2 A       | Baixo                        | Muito baixo                  | Baixo                        | Médio                  |
| Perfil 2 Bw2     | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Baixo                  |
| Perfil 3 Ap      | Baixo                        | Muito bom                    | Bom                          | Alto                   |
| Perfil 3 Bw2     | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Baixo                  |
| Perfil 4 Ap      | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Muito Baixo            |
| Perfil 4 Bw2     | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Muito Baixo            |
| Perfil 5 A1      | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Muito Baixo            |
| Perfil 5 Bw1     | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Muito Baixo            |
| Perfil 6 Ap1     | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Muito Baixo            |
| Perfil 7 Ap      | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Muito Baixo            |
| Perfil 7 Bw1     | Baixo                        | Muito baixo                  | Baixo                        | Baixo                  |
| Perfil extra Ap1 | Baixo                        | Muito baixo                  | Muito baixo                  | Baixo                  |

(\*)INCAPER: P rem: classes de interpretação para fósforo disponível pelo extrator de Mehlich-1 com o critério do fósforo remanescente. CFSEMG: P rem: classes de interpretação para fósforo disponível pelo extrator de Mehlich-1 com o critério do fósforo remanescente. CFSEMG: argila: classes de interpretação para fósforo disponível pelo extrator de Mehlich-1 com o critério de teor de argila. IAC/INCAPER: classes de interpretação para fósforo disponível pelo extrator resina.

Os teores de P obtidos pelo ataque sulfúrico e pela fluorescência de raios X, que contabilizam praticamente todas as formas de fósforo (Tabela 3), incluindo as não lábeis e/ou não disponíveis, indicam que há grande variação de estoque de P total nos solos em estudo. Os dois métodos apresentaram correlação elevada, a despeito da grande diferença

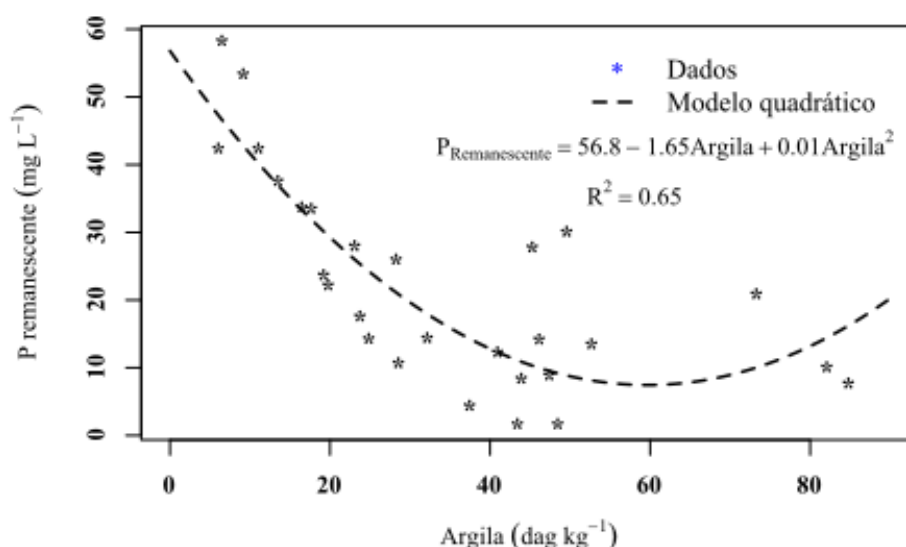
em valor absoluto dos teores medidos (Figura 16). É necessário ainda estudar até que ponto essas formas podem ser disponibilizadas pela utilização de bioinsumos, especialmente as bactérias solubilizadoras de fósforo, já que parte pode estar associada a fases bem cristalinas e protegida mecanicamente no interior de partículas.



**Figura 16.** Regressão linear entre os teores de fosfato ( $P_2O_5$ ) pelo ataque sulfúrico e os teores de  $P_2O_5$  pela fluorescência de raios X.

Os resultados da concentração do fósforo remanescente (P rem) indicam uma grande variação da capacidade tampão de fósforo entre os solos analisados (Tabela 3). O fósforo remanescente mede indiretamente a capacidade tampão do P no solo, sendo necessário para estimar seus níveis críticos para solos com diferentes capacidades tampão. É considerado mais adequado que o teor de argila como medida indireta da capacidade tampão do solo, por ser sensível à natureza

mineralógica da fração argila do solo (Alvares V. et al. 2017). Pode ser usado para estimar a quantidade de argila, para fins de recomendação de adubação (Prezotti e Guarçoni, 2013), como nos critérios apresentados na Tabela 12. Os resultados das análises dos solos, aqui mostrados, indicam que a correlação entre o P rem e os teores de argila apresenta uma relação não linear, com uma tendência à maior dispersão com os teores mais elevados de argila (Figura 17).



**Figura 17.** Regressão quadrática entre os resultados dos teores de argila e os de P remanescente.

O fósforo remanescente está associado ao grau de intemperismo dos solos (Eberhardt et al, 2008; Fontana et al., 2013), que concentra residualmente os óxidos de ferro e alumínio que adsorvem o P em solução. O grau de intemperismo pode ser avaliado pelos índices Ki e Kr (nos dados de mineralogia dos perfis), que indicam as relações de óxidos com o silício, e pela assembleia mineralógica, na qual os minerais presentes estão diretamente relacionados com o grau de intemperismo. Assim, o P rem tem correlação significativa com o Ki, como indicado pelos resultados das análises dos perfis (Figura 18). As alterações sofridas por esses solos em função do intemperismo podem ser observadas nas tabelas de elementos maiores e elementos menores (Tabelas 13 e 14), com a perda de silício e bases lixiviáveis (cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na)), e a concentração de óxidos de ferro, alumínio e seus afins geoquímicos. O resultado é a

formação dos minerais indicadores de alto grau de intemperismo e a ausência de minerais facilmente intemperizáveis (Tabela 15). Essas concentrações são também dependentes da composição original dos materiais de origem dos solos (Perfil 1: Folhelhos da Formação Pimenteiras–Grupo Canindé. Perfil 2: Siltitos da Formação Serra de Santa Helena–Grupo Bambuí. Perfil 3: Formação Cachoeirinha. Perfis 4 a 7: Formação Couto Magalhães, Figueiredo et al., (2007); Panoso et al., (2002); Ribeiro et al., (2022). Os resultados do Ki indicam que os dois Latossolos e os Plintossolos Perfil 1 e Perfil 7 apresentam grau de intemperismo mais avançado que os demais perfis ( $Ki < 2,0$ ), o que indica um maior potencial de adsorção de P. Os resultados do Perfil 2 Bw2 são compatíveis com estudos mineralógicos anteriores de solos na mesma área, com constituição mineralógica caulinitico-gibbsítica (Galvão e Schulze, 1996).

**Tabela 13.** Resultados da análise química com os demais elementos maiores analisados por fluorescência de raios X (FRX).

| Amostra      | PF*   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | MnO   | BaO   | ZrO <sub>2</sub> |
|--------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|-------|-------|------------------|
| Perfil 1Bw2  | 14.69 | 44.40            | 27.76                          | 10.37                          | 1.99             | 0.06 | 0.10 | 0.04              | 0.22             | <0.01 | 0.02  | 0.06             |
| Perfil 2 Bw2 | 15.84 | 36.34            | 33.99                          | 10.93                          | 1.90             | 0.06 | 0.18 | 0.03              | 0.25             | <0.01 | 0.02  | 0.02             |
| Perfil 3 Bw2 | 10.88 | 57.29            | 21.95                          | 8.13                           | 1.35             | 0.04 | 0.01 | 0.02              | 0.04             | <0.01 | <0.01 | 0.02             |
| Perfil 4 Bw2 | 4.59  | 78.73            | 11.28                          | 3.53                           | 0.69             | 0.03 | 0.24 | <0.01             | 0.61             | <0.01 | <0.01 | 0.10             |
| Perfil 7 Bw1 | 2.96  | 89.07            | 5.32                           | 1.31                           | 0.32             | 0.14 | 0.13 | <0.01             | 0.41             | <0.01 | <0.01 | 0.10             |

\*PF: perda ao fogo. <0.01: abaixo do limite de detecção.

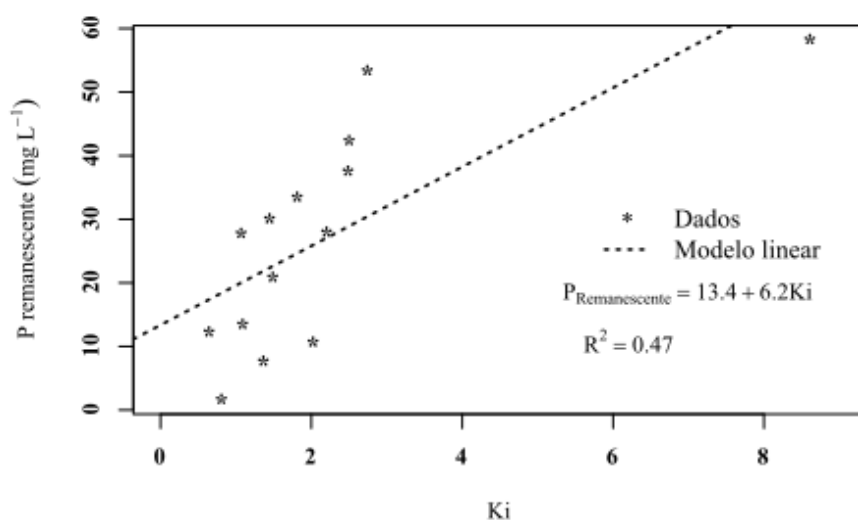
**Tabela 14.** Resultados da análise química com os elementos menores analisados por fluorescência de raios X (FRX).

| Amostra      | Sc   | V   | Cr  | Ni   | Cu | Zn   | Ga | As   | Rb   | Sr   | Y    | Zr  | Nb | Ba   | La   | Ce   | Pb   | Th   |
|--------------|------|-----|-----|------|----|------|----|------|------|------|------|-----|----|------|------|------|------|------|
| Perfil 1Bw2  | 31   | 294 | 141 | 20   | 26 | 22   | 35 | 36   | 11   | 39   | 36   | 624 | 34 | 139  | 36   | 175  | 23   | 26   |
| Perfil 2 Bw2 | 39   | 242 | 159 | 48   | 50 | 48   | 39 | 49   | 15   | 121  | 30   | 390 | 29 | 190  | 78   | 217  | 54   | 27   |
| Perfil 3 Bw2 | 16   | 191 | 93  | 13   | 24 | < LQ | 29 | 16   | < LQ | < LQ | < LQ | 387 | 22 | < LQ | < LQ | 24   | 16   | 17   |
| Perfil 4 Bw2 | 9    | 67  | 39  | < LQ | 17 | < LQ | 15 | < LQ | 34   | < LQ | < LQ | 732 | 14 | 122  | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |
| Perfil 7 Bw1 | < LQ | 32  | 22  | < LQ | 17 | < LQ | 9  | < LQ | 23   | < LQ | < LQ | 819 | 8  | 73   | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |

\*<LQ: abaixo do limite de quantificação.

**Tabela 15.** Resultados da análise mineralógica com os minerais predominantes identificados por difratometria de raios X (DRX).

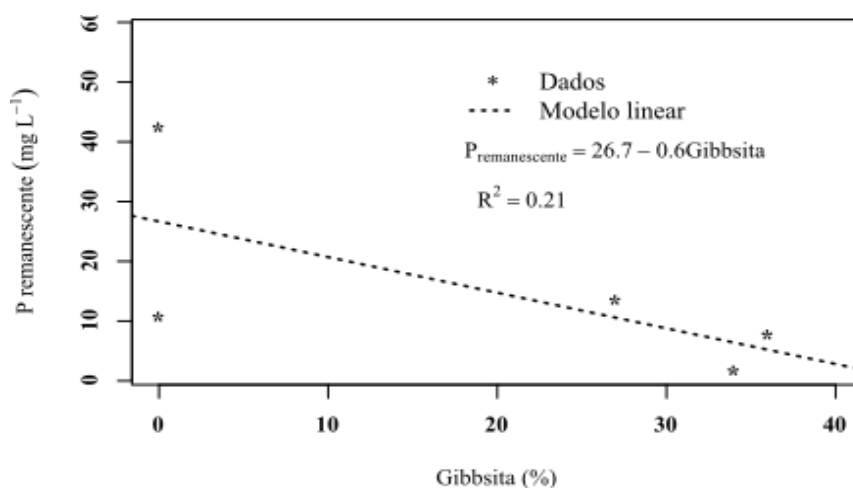
| Amostra      | Quartzo/cristobalita | Hematita | Caulinita | Rutilo/anatásio | Gibbsita | Outros |
|--------------|----------------------|----------|-----------|-----------------|----------|--------|
| Perfil 1Bw2  | 40.00                | 10.00    | 12.00     | 2.00            | 34.00    | 2.00   |
| Perfil 2 Bw2 | 28.00                | 11.00    | 22.00     | 2.00            | 36.00    | 1.00   |
| Perfil 3 Bw2 | 54.00                | 8.00     | 9.00      | 1.00            | 27.00    | 1.00   |
| Perfil 4 Bw2 | 29.00                | 4.00     | 65.00     | 0.00            | 0.00     | 2.00   |
| Perfil 7 Bw1 | 13.00                | 1.00     | 83.00     | 0.00            | 0.00     | 2.00   |



**Figura 18.** Regressão linear entre os resultados do Ki e os teores de P remanescente.

Os teores de P remanescente se reduziram com o incremento dos teores dos minerais de óxidos de alumínio (gibbsita, Figura 19) e de ferro (hematita, Figura 20), identificados nas amostras dos solos, com tendência contrária para a caulinita (Figura 21). As regressões não foram estatisticamente significativas, o que pode ser devido ao grau generalizado de intemperismo desses solos, mas as tendências gerais podem

ser observadas. Outra característica relacionada indiretamente ao intemperismo é a condutividade hidráulica saturada (Tabela 16), que está relacionada diretamente ao teor de argila. Nos solos mais intemperizados, especialmente nos Latossolos, a porosidade elevada associada à argila microestruturada justifica o incremento da condutividade hidráulica saturada (Ksat) com o aumento do teor de argila (Figura 22).



**Figura 19.** Regressão linear entre os teores de gibbsita e os teores de P remanescente.



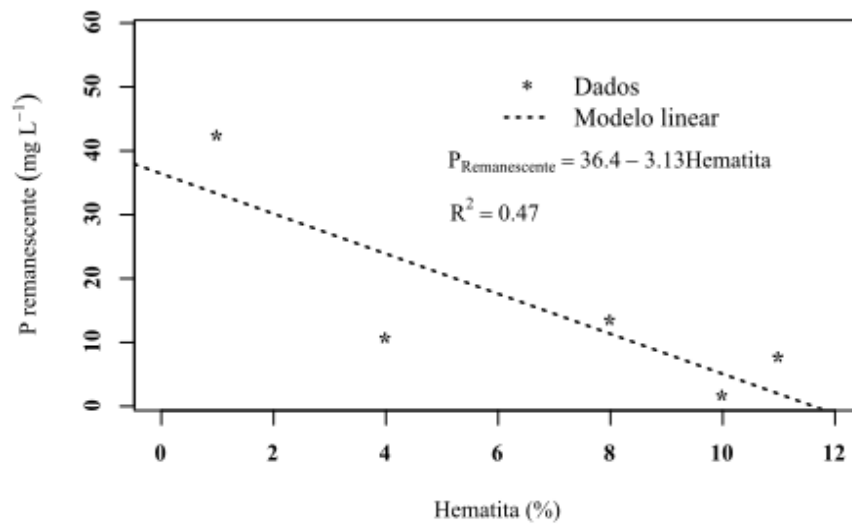


Figura 20. Regressão linear entre os teores de hematita e os teores de P remanescente.

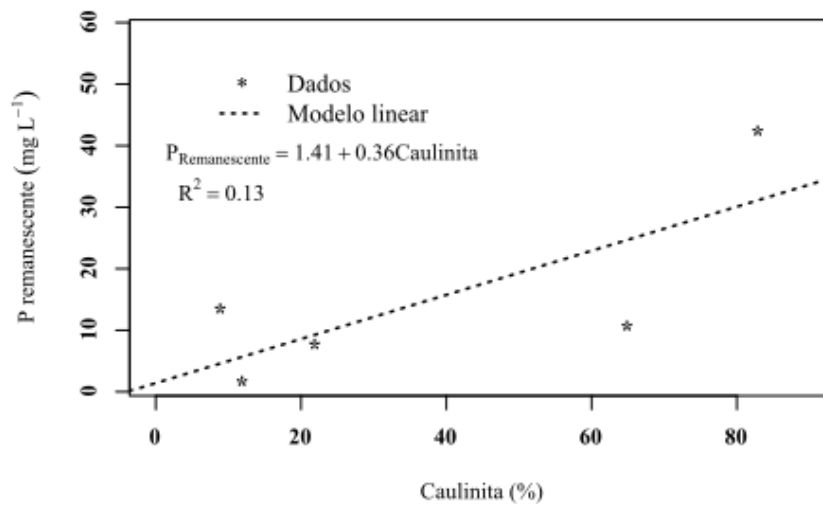


Figura 21. Regressão linear entre os teores de caulinita e os teores de P remanescente.

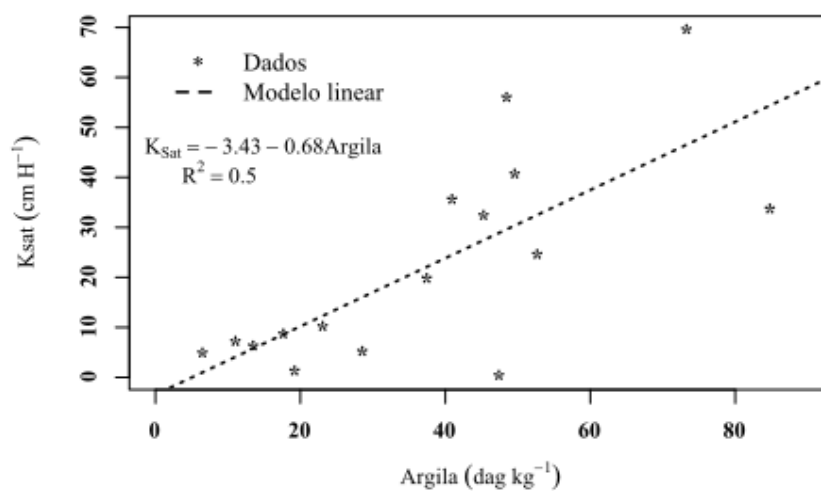


Figura 22. Regressão linear entre os teores de argila e os valores de condutividade hidráulica saturada (Ksat).

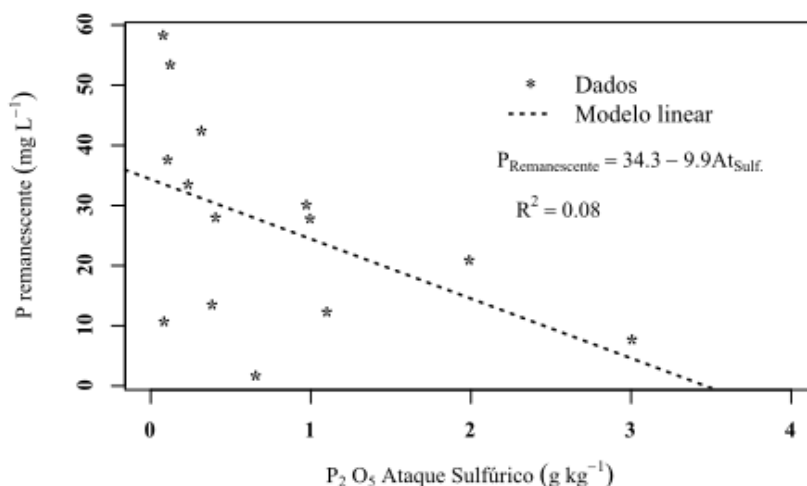
**Tabela 16.** Condutividade hidráulica saturada dos solos estudados.

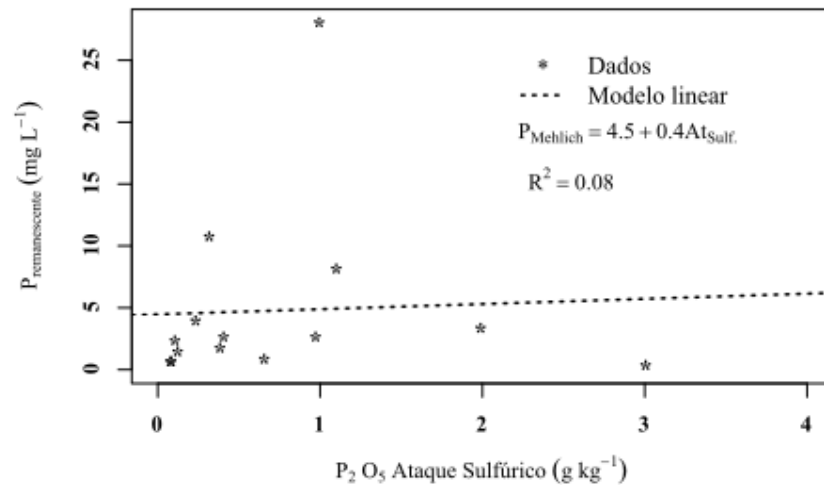
| Identificação | Horizonte | Ksat* (cm H <sup>-1</sup> ) | Classe de drenagem   |
|---------------|-----------|-----------------------------|----------------------|
| Perfil 1      | A1        | 35.5                        | Muito rápida         |
|               | Bw1       | 19.7                        | Rápida               |
|               | Bw4       | 55.9                        | Muito rápida         |
| Perfil 2      | A         | 69.5                        | Muito rápida         |
|               | Bw1       | 33.6                        | Muito rápida         |
| Perfil 3      | Ap1       | 32.3                        | Muito rápida         |
|               | Bw2       | 24.5                        | Rápida               |
| Perfil 4      | Ap        | 8.6                         | Moderadamente rápida |
|               | Bw2       | 5.1                         | Moderada             |
| Perfil 5      | A1        | 4.8                         | Moderada             |
|               | 2Bw2      | 1.2                         | Moderadamente Lenta  |
| Perfil 6      | Ap1       | 10.1                        | Moderadamente rápida |
|               | BC1       | 0.3                         | Lenta                |
| Perfil 7      | Ap        | 6.2                         | Moderada             |
|               | Bw1       | 7.1                         | Moderadamente rápida |
| Perfil extra  | Ap1       | 40.6                        | Muito rápida         |

\*Ksat: condutividade hidráulica saturada.

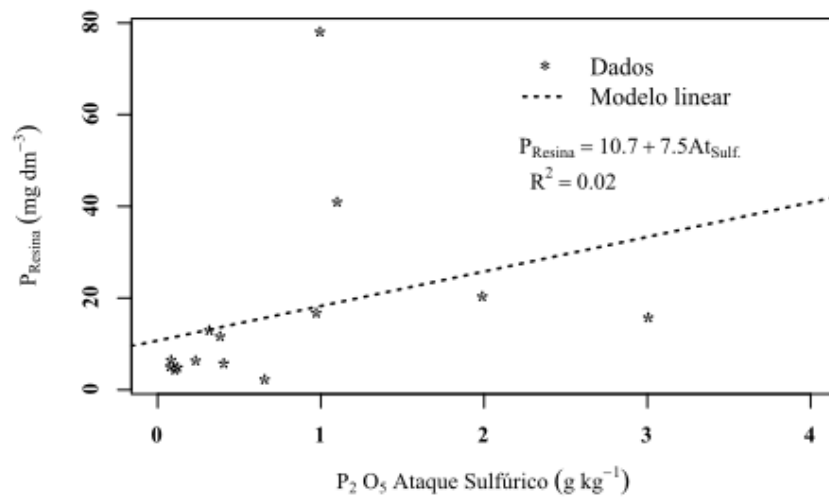
Os dados do ataque sulfúrico assumem que somente os argilominerais secundários são dissolvidos, sendo relacionados aos da fração coloidal do solo (Teixeira et al. 2017). Os valores do ataque sulfúrico não se correlacionaram de forma estatisticamente significativa com os teores de P remanescente (Figura 23),

nem com os valores de P disponível pelos extratores de Mehlich-1 (Figura 24) ou de resina (Figura 25), indicando que a maior parte do P presente nos solos está em fases não lábeis/não disponíveis. Esse é um repositório de fósforo que bioinsumos podem ajudar a acessar e disponibilizar.

**Figura 23.** Regressão linear entre os teores de  $P_2O_5$  pelo ataque sulfúrico e os resultados de P remanescente.



**Figura 24.** Regressão linear entre os teores de  $P_2O_5$  pelo ataque sulfúrico e os teores de P disponível pelo extrator de Mehlich-1.



**Figura 25.** Regressão linear entre os teores de  $P_2O_5$  pelo ataque sulfúrico e os teores de P disponível pelo extrator de resina.

## Conclusões

Os solos das áreas experimentais de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul são Latossolos argilosos bem característicos e representativos das suas regiões. Os solos estudados do Tocantins e do Pará são Plintossolos da fronteira agrícola do Norte, com grande variabilidade de feições e de potenciais produtivos, mas ainda carentes de sistemas de produção adequadamente validados.

Todos os solos apresentam baixo teor de P disponível pelos extratores usados, com exceção dos horizontes superficiais das áreas sob cultivo agrícola. Há uma grande variação entre os perfis da capacidade de retenção de P, estimada pelo P remanescente, que está correlacionado com a granulometria e com o grau de intemperismo dos solos. Os dados de mineralogia indicam o grau elevado de intemperismo dos solos, com dominância absoluta de minerais de argila 1:1 (caulinita) e óxidos de ferro, alumínio e titânio, indicando o potencial elevado de adsorção de fósforo. Os dados de condutividade hidráulica também estão em consonância com as classes dos perfis estudados.

Os teores totais de fósforo, tanto pelo ataque sulfúrico como pela fluorescência de raios X, indicam grande variação entre as amostras analisadas, sem correlação com os valores disponíveis pelos extratores usados. Em alguns dos solos estudados, há um grande estoque de fósforo que pode apresentar potencial para ser disponibilizado por biossolubilizadores.

## Referências

- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R.F.; CANTARUTTI, R.B.; TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D.V.B. 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. 573 p.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas; Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106).
- EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1009-1016, 2008.
- FIGUEIREDO, F T; PETRI, S.; NOGUEIRA, A C R.; HIDALGO, R L.; SILVA JÚNIOR, J B C. **A formação Couto Magalhães, neoproterozoico da faixa Araguaia: fácies e estratigrafia do furo SMD-08, Redenção, Pará**. Belém; Sociedade Brasileira de Geologia. 2007. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001709623>
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; SANTOS, A.C.; ANJOS, L.H.C.; BERNINI, T. A.; FERNÁNDEZ, C.F.D. **Fósforo remanescente em solos formados sob diferentes materiais de origem em três toposequências, Pinheiral- RJ**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2089-2102, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n5p2089
- GALVÃO, T. C. de B.; SCHULZE, D. G. Mineralogical properties of a collapsible lateritic soil from Minas Gerais, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 6, p. 1969-1978, 1996.
- IUSS Working Group WRB. **World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**.
- MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Estado de Mato Grosso do Sul: [mapa de solos]**. Disponível em: [http://www.servicos.ms.gov.br/semade\\_download/Mapas%20Tem%C3%A1ticos/Mapa%20Solos.pdf](http://www.servicos.ms.gov.br/semade_download/Mapas%20Tem%C3%A1ticos/Mapa%20Solos.pdf). Acesso em: 13 out. 2024.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2: fome zero e agricultura sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 dez. 2024.
- OLIVEIRA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).
- OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; SOUSA, S. M. RIBEIRO, V. P.; SANTOS, F. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E. Inoculation with Bacillus megaterium CNPMS B119 and Bacillus subtilis CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1/13, 2024.



NOVAIS R.F., SMYTH T.J., NUNES, F. N. Fósforo. In: Fósforo. In: NOVAIS, R.F. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, , 2007. p. 471-550..

PANOSO, L. A.; RAMOS, D. P.; BRANDÃO, M. **Solos do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo**: suas características e classificação no novo sistema brasileiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 5).

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI M., A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper. 2013. 104 p. ISBN 978-85-89274-21-0

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foudation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/> Acesso em: 5 set. 2024.

RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, 1995. 65 p.

RIBEIRO, A. C.GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.).**Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RIBEIRO, P.; FRASCA, A. A. S.; CARNEIRO, J. S. M.; HATTINGH, K.; REZENDE, E. S.; MARTINS, F. R. **Mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Tocantins - Escala 1:500.000**. Goiânia: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2022. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22530>

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO 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. E-book. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub>. Acesso em: 27 mai. 2019.

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 solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**, 13th edition. [Washington, DC]: USDA Natural Resources Conservation Service, 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. 573p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171907/1/Manualde-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2018.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (orgs.). **Geologia e recursos minerais do estado do Pará. Belém**: CPRM, 2008. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil – PGB. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/10443>

