



ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO JANE VANINI – CÁCERES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM PLINTOSSOLO E LATOSSOLO PELA APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR E BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS

SAYONARA ROCHA BISSOLLI

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2026**



ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO JANE VANINI – CÁCERES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



SAYONARA ROCHA BISSOLLI

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM PLINTOSSOLO E LATOSSOLO PELA
APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR E BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2026**



FICHA CATALOGRÁFICA

R672d Bissolli, Sayonara Rocha.

DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM PLINTOSSOLO E LATOSSOLO PELA
APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR E BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS /
Sayonara da Silva Rocha. - Cáceres, 2026.
43f.: il.

Universidade do Estado de Mato Grosso "Carlos Alberto Reyes
Maldonado", Ciências Ambientais/CAC-PPGCA - Cáceres - Mestrado
Academico, Campus Universitário De Cáceres "Jane Vanini".

Orientador: Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli.

1. adubação fosfatada. 2. pó de rocha. 3. solos tropicais. I.
Pierangeli, Dra. Maria Aparecida Pereira. II. Título.

UNEMAT / MTSCB

CDU 631.8



SAYONARA ROCHA BISSOLLI

**DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM PLINTOSSOLO E LATOSSOLO PELA
APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR E BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS**

Essa qualificação foi julgada e aprovada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Cáceres, 02 de junho de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli
Orientadora

Dra. Solange Ikeda Castrillon
Membro interno PPGCA

Dr. Fernando Luiz Silva
Membro externo – IFMT

Dr. Juberto Babilônia de Sousa
Suplente - PPGEIO



ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO JANE VANINI – CÁCERES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



DEDICATÓRIA

*A minha família e orientadora, por acreditar em mim e tornar possível a
realização deste sonho acadêmico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda esta caminhada, permitindo que eu superasse os desafios e chegasse até aqui.

À minha orientadora, expresso minha profunda gratidão por ter acreditado em mim. Sua orientação, apoio, paciência e ensinamentos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao meu marido Camilo, agradeço pelo amor, companheirismo, compreensão e incentivo em todos os momentos, especialmente nos períodos mais desafiadores desta jornada. Seu apoio foi essencial para que eu pudesse seguir em frente e concluir esta etapa tão importante da minha vida.

À minha prima Kaysa, deixo meu sincero agradecimento pelo apoio, incentivo e por sempre acreditar no meu potencial. Sua presença e palavras de encorajamento foram muito importantes durante essa trajetória.

Ao meu amigo Carlos, que plantou em mim a semente de uma possibilidade real de realizar o sonho do mestrado. Sou profundamente grata por ter acreditado em minha capacidade e por me incentivar a dar esse passo tão importante em minha trajetória acadêmica.

À família Izídio, minha sincera gratidão por terem aberto as portas de sua casa, oferecendo acolhimento, carinho e pouso durante o período em que precisei concluir minhas disciplinas. A generosidade de vocês tornou essa jornada mais leve e possível de ser concluída.

Aos professores do programa de pós-graduação, pelos ensinamentos compartilhados e pelas valiosas contribuições para a minha formação acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a concretização deste importante passo em minha trajetória acadêmica e profissional.

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	8
LISTA DE QUADROS E TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Plintossolos e a dinâmica do fósforo em ambientes hidromórficos ...	19
3 METODOLOGIA	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5 CONCLUSÃO	34
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

2,5 YR 2,5/4 Bruno-avermelhado-escuro

2,5 YR 3/6 Vermelho Escuro

5YR 3/1 Cinzento Muito Escuro

5YR 6/1 Cinzento

Al Alumínio

B. megaterium *Bacillus megaterium*

CaO Óxido de Cálcio

CTC Capacidade de Troca de Cátions

Fe Ferro

Fe₂O₃ Hematita

FeO(OH) Goethita

K₂O Óxido de potássio

MAPA Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

mg dm⁻³ Miligrama por decímetro cúbico

MgO Óxido de Magnésio

NPK Nitrogênio, Fósforo e Potássio

P Fósforo

P₂O₅ Pentóxido de fósforo

pH Potencial hidrogeniônico

REM Remineralizador

S Enxofre

SiO₂ Dióxido de Silício

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1. Teores mínimos do macronutriente fósforo e de micronutrientes que podem ser declarados nos remineralizadores.....	18
Tabela 2. Atributos de fertilidade dos solos usados no experimento, coletados no município de Pontes e Lacerda – MT.....	23
Tabela 3. Tratamentos e respectivas doses de P aplicados considerando os teores de P_2O_5 total e solúvel do remineralizador.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Teores de P disponível (mg dm^{-3}) nos solos provenientes de 6 sítios de coleta, sob diferentes solos (Latossolo e Plintossolo) e usos anteriores (vegetação nativa, pastagem e agricultura), após 60 dias de aplicação de remineralizador e bactérias solubilizadoras	25
Figura 2. Regressão entre os teores de P disponível (mg dm^{-3}) nos solos provenientes de 6 sítios de coleta, sob diferentes solos (Latossolo e Plintossolo) e usos anteriores (vegetação nativa, pastagem e agricultura), após 60 dias de aplicação de remineralizador e bactérias solubilizadoras.	29

RESUMO

BISSOLI, Rocha Sayonara. DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM PLINTOSSOLO E LATOSSOLO PELA APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR E BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS. Cáceres: UNEMAT, 2026. 43 pp (Dissertação – Mestrado em Ciências Ambientais)¹.

O fósforo (P) é um macronutriente essencial ao desenvolvimento das plantas, porém sua disponibilidade em solos tropicais é limitada devido à elevada capacidade de adsorção e fixação, especialmente em solos altamente intemperizados. Nesse contexto, alternativas como o uso de remineralizadores associados a microrganismos solubilizadores têm sido estudadas visando maior eficiência agrônômica e sustentabilidade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a disponibilidade de fósforo em Latossolo e Plintossolo sob diferentes usos do solo (vegetação nativa, agricultura e pastagem), após a aplicação de remineralizador, isoladamente e em associação com *Bacillus megaterium*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 4 x 4 repetições, com diferentes doses de remineralizador (0; 1.053; 2.106; e 6.667 kg ha⁻¹) e presença de *Bacillus megaterium* e outro esquema fatorial adicional 6 x 2 x 4 com ausência de *Bacillus megaterium*, que juntos totalizam 144 unidades experimentais. Após 60 dias de incubação, os teores de fósforo disponível foram determinados pelo método Mehlich-1. Os resultados indicaram que as doses de remineralizador bem como a textura e manejo de uso anterior de solo influenciaram significativamente a disponibilidade de fósforo, com maiores incrementos observados no Plintossolo, especialmente em áreas sob agricultura e pastagem. O Latossolo, áreas nativas e agricultura, apresentou os menores teores de fósforo disponível, refletindo sua maior capacidade de fixação. O aumento das doses de remineralizador promoveu elevação nos teores de fósforo, porém com respostas variáveis entre os solos e usos. A inoculação com *Bacillus megaterium* não apresentou efeito significativo sobre a disponibilidade de fósforo nas condições avaliadas. Conclui-se que o remineralizador possui potencial como fonte alternativa de fósforo, sendo sua eficiência dependente de características como textura e uso dos solos, bem como da dose aplicada, enquanto a associação com bactérias solubilizadoras não promoveu benefícios nas condições experimentais adotadas.

Palavras-chave: adubação fosfatada; pó de rocha; solos tropicais.

¹ Orientadora Prof.^a Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli, UNEMAT

ABSTRACT

BISSOLI, Rocha Sayonara. PHOSPHORUS AVAILABILITY IN PLINTOSOL AND LATOSOL THROUGH THE APPLICATION OF REMINERALIZER AND SOLUBILIZING BACTERIA. Cáceres: UNEMAT, 2026. 43 pp (Dissertation – Master's in Environmental Sciences)².

Phosphorus (P) is an essential macronutrient for plant development; however, its availability in tropical soils is limited due to its high adsorption and fixation capacity, especially in highly weathered soils. In this context, alternatives such as the use of remineralizers associated with solubilizing microorganisms have been developed with greater agronomic efficiency and sustainability. This study aimed to evaluate the availability of phosphorus in Oxisol and Plinthosol under different land uses (native vegetation, agriculture, and pasture) after the application of a remineralizer, alone and in combination with *Bacillus megaterium*. The experiment was conducted in a randomized proprietary design, in a 6 x 4 x 4 factorial scheme with repetitions, using different doses of remineralizer (0; 1.053; 2.106; and 6.667 kg ha⁻¹) and the presence of *Bacillus megaterium*, and another additional 6 x 2 x 4 factorial scheme with the absence of *Bacillus megaterium*, totaling 144 experimental units. After 60 days of incubation, the available phosphorus content was determined by the Mehlich-1 method. The results indicated that the remineralizer doses, as well as the soil texture and previous land use management, significantly influenced phosphorus availability, with greater increases distributed in the Plinthosol, especially in areas under agriculture and pasture. The Latosol, native and agricultural areas, presented the lowest levels of available phosphorus, reflecting its greater fixation capacity. Increasing the remineralizer doses promoted an increase in phosphorus levels, but with variable responses among soils and land uses. Inoculation with *Bacillus megaterium* did not show a significant effect on match availability under the evaluated conditions. It is concluded that the remineralizer has potential as an alternative phosphorus source, its efficiency depending on characteristics such as soil texture and use, as well as the applied dose, while the association with solubilizing bacteria does not promote benefits under the required experimental conditions.

Keywords: phosphate fertilization; rock dust; tropical soils.

² Major professor: Maria Aparecida Pereira Pierangeli, DSc. – UNEMAT

1 INTRODUÇÃO

O fósforo é um elemento químico essencial à vida, desempenhando papel fundamental na nutrição vegetal e animal, sendo este classificado como macronutriente primário, dada sua participação direta em processos metabólicos essenciais, sendo indispensável para o desenvolvimento fisiológico e bioquímico dos vegetais, atuando em funções como transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos e formação de membranas celulares (COSTA et al., 2024).

Segundo Silva et al (2021) os solos brasileiros frequentemente necessitam de uso de fertilizantes, em razão a baixa fertilidade que naturalmente a maioria dos solos apresentam, devido ao intemperismo acentuado da região tropical, bem como a intensa atividade agrícola, deixando os solos suscetíveis a erosão, perda de nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio.

Em solos tropicais, caracterizados por elevados teores de óxidos de ferro e alumínio, a adubação fosfatada torna-se uma prática indispensável devido à alta capacidade de fixação do elemento, que limita sua biodisponibilidade (NOVAIS et al., 2007). Contudo, o manejo inadequado e o aporte excessivo de fertilizantes fósfatados transcendem a esfera agrônômica, configurando-se como uma preocupação ambiental crítica. O transporte de P via escoamento superficial ou lixiviação para corpos d'água pode desencadear o processo de eutrofização, onde o enriquecimento de nutrientes promove o crescimento descontrolado de algas e a subsequente degradação da qualidade hídrica (WITHERS et al., 2014; SMITH; SCHINDLER, 2009).

Falcão e Silva (2004) destacam que, nos solos do bioma Cerrado, como os Latossolos e os Plintossolos, a dinâmica do fósforo é condicionada pela elevada capacidade de adsorção e fixação desse nutriente, característica associada à mineralogia desses solos, principalmente à presença de óxidos de ferro e alumínio, essa elevada retenção de P reduz sua disponibilidade na solução do solo, limitando a eficiência do nutriente para as plantas.

Nesse contexto, Cardoso et al., (2025) reforçam que a agricultura brasileira apresenta alta dependência de fertilizantes fosfatados, uma vez que, aproximadamente 22 % do consumo nacional de fertilizantes corresponde a

fontes de fósforo, reflexo relacionado as características dos solos tropicais, principalmente em estados de elevado produção agrícola como Mato Grosso onde o manejo fosfatado é essencial para a manutenção da produtividade dos sistemas de cultivo.

Segundo dados da Associação Nacional para a Difusão de Adubos - ANDA, o estado de Mato Grosso recebeu 9,05 milhões de toneladas de fertilizantes entre janeiro e outubro de 2025, representando cerca de 22% da demanda nacional (ANDA, 2025). Esse cenário está diretamente relacionado à predominância das culturas da soja, milho e algodão, que apresentam elevada exigência nutricional e dependem do adequado suprimento de macro e micronutrientes para atingir altos níveis de produtividade (CRUZ et al., 2015; FERREIRA; CARVALHO, 2014).

Diante do crescente aumento nos custos com fertilizantes solúveis, bem como demanda crescente por opções alternativas e sustentáveis, tem-se ainda uma necessidade em buscar por novas tecnologias no tocante a fontes de fertilizantes, uma vez que em sua maioria a matéria-prima utilizada na produção destes é importada (ALMEIDA JUNIOR et al., 2022).

De acordo com Martins (2023) os remineralizadores são produtos derivados de rochas silicáticas moídas que, ao serem aplicados ao solo, têm a capacidade de melhorar suas características químicas, físicas e biológicas, embora atuem de forma semelhante aos condicionadores de solo, sua abordagem é diferente: em vez de se limitar a aprimorar a estrutura do solo, os remineralizadores oferecem vários minerais, a depender da rocha, que podem interagir com os componentes do solo, resultando na formação de novos compostos minerais e na revitalização do solo agrícola.

Ainda de acordo com Almeida Junior et al. (2022) a remineralização é uma alternativa sustentável e eficaz para a fertilização do solo e a reposição de minerais que são removidos pelas culturas agrícolas, essa prática envolve a aplicação de pó de determinados tipos de rochas ou minerais, que favorecem a fertilidade do solo de maneira significativa.

Contudo, a baixa solubilidade do fósforo presente nos remineralizadores de solo limita sua disponibilidade para as plantas, evidenciando a importância do

uso de microrganismos solubilizadores para aumentar seu aproveitamento pelas culturas (CARMO, 2017).

Segundo Pedral (2024) embora as bactérias solubilizadoras de fósforo apresentem potencial para aumentar a disponibilidade desse nutriente no solo, sua eficiência está diretamente relacionada às características físico-químicas do ambiente. Em solos tropicais altamente intemperizados, a elevada presença de óxidos de ferro e alumínio pode intensificar os processos de adsorção de fósforo.

Dessa forma, a eficácia da inoculação depende não apenas da capacidade dos microrganismos em solubilizar o fósforo, mas também da interação entre a atividade microbiana, a mineralogia do solo e a dinâmica do nutriente no sistema.

Além disso, fatores como pH, teor de matéria orgânica, umidade e manejo do solo podem influenciar a atividade e a sobrevivência das bactérias solubilizadoras de fósforo, condicionando sua eficiência na disponibilização do nutriente às plantas (CRUZ et al., 2024).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de remineralizador como fonte de fósforo, associado à inoculação de bactérias solubilizadoras *Bacillus megaterium*, espécie reconhecida pela eficiência na solubilização de fosfatos, sobre a disponibilidade de fósforo em dois solos típicos do estado de Mato Grosso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil construiu, ao longo das últimas cinco décadas, uma verdadeira "poupança" de fósforo em seus solos, mas a um custo de eficiência desafiador. Estima-se que, das mais de 50 milhões de toneladas de P aplicadas via fertilizantes desde a década de 1970, cerca de 70% a 90% tenham ficado retidos na matriz do solo (o chamado "fósforo legado"), devido ao processo de adsorção específica em oxihidróxidos de ferro e alumínio, típicos de solos tropicais intemperizados (GATIBONI et al., 2020). Conforme destacado por pesquisadores como Roy et al. (2016) e Withers et al. (2018), essa acumulação representa um passivo econômico bilionário, mas também uma oportunidade

estratégica: o grande desafio do técnico de campo moderno não é apenas adicionar mais insumo, mas utilizar ferramentas de precisão e microrganismos solubilizadores para "desbloquear" esse estoque e tornar a agricultura brasileira mais sustentável e menos dependente de importações. Diante disso, também o uso de "pó de rocha" ou remineralizadores são, atualmente, indicados para suprir a demanda de P para as lavouras.

Os remineralizadores de solos (REM) são materiais de origem geológica obtidos pela moagem de rochas, aplicados ao solo com a finalidade de fornecer nutrientes e promover processos de remineralização. Sua atuação envolve a dissolução gradual de minerais primários, a liberação de elementos essenciais às plantas e a formação de novas fases minerais no solo, contribuindo para melhorias em atributos químicos, físicos e biológicos. Além de exercerem efeito condicionador, os remineralizadores participam de processos geoquímicos e biológicos que favorecem o aumento da capacidade de retenção de nutrientes, a atividade microbiana e a recuperação da fertilidade dos solos agrícolas (MARTINS et al., 2023; SOUZA et al., 2017)

Para Silva et al. (2013) a utilização dos remineralizadores possibilita melhor fertilidade dos solos, bem como resultados satisfatórios no tocante aos aspectos nutricionais e conservação dos recursos naturais por períodos prolongados, promovendo deste modo, efeito residual nos solos em que houve aplicação, proporcionando melhores condições para crescimento de plantas, com incrementos no pH do solo, CTC, disponibilidade de nutrientes bem como redução da saturação de alumínio.

A utilização de pós de rochas como alternativa à fertilização convencional tem se intensificado nas últimas décadas, sobretudo em função da necessidade de reduzir os custos de produção agrícola e a dependência de fertilizantes minerais importados (CUNHA e NETO, 2015). Nesse sentido, os remineralizadores destacam-se como insumos de liberação gradual de nutrientes, apresentando vantagens relacionadas à sustentabilidade e à viabilidade econômica no longo prazo, além de contribuírem para a redução do uso de insumos químicos convencionais e para a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis (SANTOS et al., 2024).

Entretanto, a adoção de remineralizadores deve considerar as particularidades ambientais e as restrições legais desses sistemas, no Estado de Mato Grosso, a Lei Complementar nº 829 de 11 de novembro de 2025 estabelece normas para a proteção e o uso sustentável de áreas úmidas, classificando como de uso restrito as regiões inseridas em planícies alagáveis, como o Pantanal, o Vale do Guaporé e a planície do Araguaia, incidindo sobre ambientes com solos hidromórficos, como os Plintossolos. Embora não trate diretamente dessas classes de solo, a legislação impõe limitações ao uso e ao manejo, especialmente quanto à drenagem e às intervenções antrópicas, o que deve ser considerado na aplicação de tecnologias alternativas, como os remineralizadores, visando conciliar produtividade agrícola e conservação ambiental (MATO GROSSO, 2025).

Nesse contexto, a preservação dos Plintossolos configura-se como uma necessidade ambiental estratégica, considerando suas limitações intrínsecas e sua associação com ecossistemas hidromórficos. A concepção de que essas áreas são improdutivas e passíveis de conversão para agricultura intensiva é tecnicamente superada, por desconsiderar os serviços ecossistêmicos que desempenham, como a regulação hídrica, a ciclagem de nutrientes e a manutenção da biodiversidade (SANTOS et al., 2018; MATO GROSSO, 2025).

Esses ambientes são caracterizados por condições de saturação hídrica e variações no nível do lençol freático, que favorecem processos de oxirredução, especialmente envolvendo o ferro, determinantes na formação dos Plintossolos (RAMOS et al., 2023). Tais condições impõem restrições ao uso agrícola, mas também conferem elevada importância ecológica a esses sistemas. Nesse sentido, o uso de remineralizadores tem sido apontado como alternativa para a melhoria da fertilidade de solos tropicais, promovendo incrementos nos teores de nutrientes, como fósforo e potássio, inclusive em ambientes com limitações edáficas (COUTO et al., 2024). Contudo, a eficiência desses insumos está diretamente condicionada à dinâmica hidrológica e às características físico-químicas do solo, o que reforça a necessidade de estratégias de manejo que integrem produtividade agrícola e conservação dos serviços ecossistêmicos (OLIVEIRA et al., 2022).

Do ponto de vista agronômico, o uso de remineralizadores em áreas com restrições ambientais deve considerar não apenas os efeitos imediatos, mas também seu impacto residual no solo. Por apresentarem liberação gradual de nutrientes, esses insumos contribuem, ao longo do tempo, para melhorias na fertilidade, na estrutura e na retenção de nutrientes, favorecendo sistemas produtivos mais resilientes e menos dependentes de fertilizantes solúveis (THEODORO et al., 2010; VAN STRAATEN, 2006; FERREIRA et al., 2024).

Diante disso, conforme estabelecido pela Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para uso agrícola é necessário que o remineralizador apresente alguns requisitos como granulometria sendo estas, *filler*, pó e farelado; soma de bases totais ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$) de 9%, no mínimo; teor de K_2O total de 1%, no mínimo; teor máximo de sílica livre entre 18% e 25%; teor de fósforo (P_2O_5) acima de 1%; limites para micronutrientes (BRASIL, 2016) conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Teores mínimos do macronutriente fósforo e de micronutrientes que podem ser declarados nos remineralizadores.

Características	Teor total mínimo (% peso/peso)
Fósforo (P_2O_5)	1,0
Boro (B)	0,03
Cloro (Cl)	0,1
Cobalto (Co)	0,005
Cobre (Cu)	0,5
Ferro (Fe)	0,1
Manganês (Mn)	0,1
Molibdênio (Mo)	0,005
Níquel (Ni)	0,005
Selênio (Se)	0,03
Silício (Si)	0,05
Zinco (Zn)	0,1

Fonte: Brasil, 2016.

Couto et al. (2024) ao avaliar a utilização de remineralizador fosfatado de solo como fonte alternativa de adubação de fósforo e potássio para produção e crescimento da cultura do feijão, obtiveram resultados positivos indicando que a

utilização do mesmo pode substituir em até 33% a adubação mineral convencional.

Resultados positivos também são descritos por Hanish et al. (2024) ao avaliarem o uso do pó de basalto observaram melhora gradual nos atributos químicos do solo, favorecendo a disponibilidade de nutrientes e refletindo positivamente no crescimento e na produtividade das hortaliças, uma vez que, o remineralizador atua como fonte de liberação lenta, contribuindo para maior estabilidade nutricional. Dessa forma, seu uso favorece sistemas produtivos mais sustentáveis, reduzindo a dependência de fertilizantes solúveis e promovendo manejo mais equilibrado da fertilidade do solo.

No entanto, a baixa solubilidade inicial do fósforo presente nas rochas moídas pode restringir sua disponibilidade imediata às plantas (VASSILEV et al., 2006).

Diante dessa limitação, a associação de remineralizadores com microrganismos solubilizadores de fósforo, como *Bacillus megaterium*, surge como uma estratégia promissora para aumentar a eficiência agrônômica desses insumos, uma vez que, amplamente encontrada no solo, é reconhecida por sua capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis por meio da produção de ácidos orgânicos que atuam na acidificação da rizosfera e na liberação de fósforo para a solução do solo (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1999; ZHANG et al., 2018).

2.1 Plintossolos e a dinâmica do fósforo em ambientes hidromórficos

Os Plintossolos representam uma ordem do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) com papel crucial na regulação hidrológica das paisagens tropicais (SANTOS et al., 2018). Sua principal característica é a presença da plintita — material rico em óxidos de ferro e alumínio que, sob condições específicas de oxirredução, pode endurecer irreversivelmente, formando a petroplintita ou canga (MOREAU et al., 2006). Intrinsecamente ligados a ambientes de várzeas, planícies aluvionais e áreas com lençol freático oscilante, esses solos são considerados hidromórficos de alta sensibilidade,

exigindo um manejo que transcende a técnica agrícola para alcançar a conservação ambiental.

Diferente dos Latossolos, que dominam as chapadas bem drenadas e apresentam uma capacidade de adsorção de fósforo (P) mais estática e elevada devido à mineralogia rica em caulinita e óxidos (NOVAIS; SMYTH, 1999), os Plintossolos exibem uma dinâmica de nutrientes influenciada pelo ciclo redox.

Em períodos de encharcamento, a dissolução redutiva dos óxidos de ferro pode liberar o fósforo para a solução do solo, aumentando sua disponibilidade temporária; no entanto, esse processo é instável e se reverte durante a secagem, quando o ferro reoxida e volta a adsorver o nutriente (FAGERIA; STONE, 2003).

Embora possam apresentar menor área superficial específica que os Latossolos, o manejo do P em Plintossolos demanda cautela, especialmente em áreas de várzea onde o aporte de matéria orgânica pode auxiliar no bloqueio dos sítios de adsorção. Estudos recentes reforçam que o acúmulo histórico de P no Brasil, o chamado "fósforo legado", exige estratégias de manejo que considerem essas variações de disponibilidade para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes (GATIBONI et al., 2020).

Do ponto de vista agrícola, o excesso de umidade natural limita o desenvolvimento radicular da maioria das culturas. Contudo, a drenagem artificial como tentativa de correção é uma prática de alto risco: a retirada da água acelera a oxidação do ferro, desencadeando a formação da petroplintita e tornando o solo praticamente estéril devido à perda de porosidade e permeabilidade (SANTOS et al., 2018). Assim, o uso sustentável dessas áreas deve priorizar o monitoramento do lençol freático, a utilização de maquinário leve para evitar a compactação e a escolha de culturas adaptadas ao encharcamento temporário, como em sistemas silvipastoris.

A preservação desses solos é um imperativo ambiental, visto que atuam como "esponjas" naturais que controlam cheias e mantêm aquíferos. Em Mato Grosso, a ocorrência de Plintossolos é estrategicamente restrita ao Pantanal Mato-Grossense e à Depressão do Guaporé, onde o relevo plano favorece a acumulação de sedimentos e o ciclo de inundação sazonal indispensável à plintização (SEPLAN, 2001). Devido a essa fragilidade e importância ecológica,

essas áreas são consideradas de uso restrito e protegidas por marcos legais rigorosos.

Nesse contexto, a Lei Estadual nº 12.197/2023 (Lei do Pantanal) estabelece restrições à alteração das drenagens naturais e à implantação de estruturas que possam modificar a dinâmica hidrológica das áreas úmidas, reforçando a necessidade de práticas agrícolas compatíveis com a conservação dos ecossistemas pantaneiros (MATO GROSSO, 2023).

Mais recentemente, a Lei Complementar nº 829, de 11 de novembro de 2025, reforçou os parâmetros de proteção para as Áreas Úmidas, consolidando o entendimento de que intervenções drásticas nestes ecossistemas geram passivos ambientais irreversíveis. É necessário ponderar, entretanto, que muitos agricultores e assentamentos rurais em Mato Grosso possuem terras predominantemente nestas áreas. Portanto, a viabilidade dessas propriedades depende de práticas de manejo orientadas que respeitem o ciclo hidrológico regional, transformando a legislação em um mecanismo de segurança produtiva a longo prazo, em vez de um mero entrave ao desenvolvimento (MATO GROSSO, 2025).

3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado com amostras de solos de áreas agrícolas do município de Pontes e Lacerda – MT, localizado nas coordenadas geográficas 15° 13' 33" S e 59° 20' 06" W, com altitude aproximada de 254 metros. Nessa região, com predominância de Latossolos em área mais elevadas e Plintossolos em área mais baixas (MOREIRA e VASCONCELOS., 2007) os quais foram escolhidos para esse estudo por serem solos normalmente com baixos teores de P e com alta capacidade de adsorção e fixação de P.

Após a identificação das propriedades de áreas com essas classes de solos, foram selecionadas áreas de Latossolo e Plintossolo e estabelecidos contatos com os produtores responsáveis, a fim de obter informações acerca do histórico de uso e manejo do solo. Como critério de seleção, foram consideradas

áreas agrícolas aquelas submetidas ao cultivo contínuo por período mínimo de três anos, enquanto as áreas de pastagem corresponderam àquelas sob uso por, no mínimo, cinco anos.

Em cada classe de solo foram selecionadas áreas de vegetação nativa, agricultura e pastagens. Nessas áreas foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0-0,3 m, as quais foram analisadas para caracterização da sua fertilidade (Tabela 2).

O experimento de incubação do solo com as doses do remineralizador e bactérias solubilizadoras foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação destes na disponibilidade de fósforo (P) em diferentes solos e áreas sob distintos usos da terra.

O remineralizador, conforme informações técnicas fornecidas pelo fabricante, apresenta em sua composição 19% de P_2O_5 total, sendo 3% de P_2O_5 solúvel em água; 18% de CaO; 3% de MgO e; 5% de enxofre (S). O produto possui granulometria farelado.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por dois esquemas fatoriais. O primeiro consistiu em um arranjo fatorial 6×4 com quatro repetições, envolvendo seis sítios de coleta e quatro doses de remineralizador associadas à inoculação com *Bacillus megaterium* (0, 1.053, 2.106 e 6.667 kg ha⁻¹), totalizando 96 unidades experimentais.

Adicionalmente, foi conduzido um segundo arranjo fatorial 6×2 , com quatro repetições, porém sem inoculação bacteriana, envolvendo os mesmos seis sítios de coleta e duas doses do remineralizador (0 e 1.053 kg ha⁻¹), totalizando 48 unidades experimentais.

Foram utilizadas 4 repetições para cada combinação, totalizando 144 unidades experimentais, constituídas de vaso de polietileno de 1 kg de capacidade preenchido com 0,5 kg de solo das áreas de vegetação nativa, área agrícola e pastagem, de acordo com a classe de solo.

Tabela 2. Atributos de fertilidade dos solos usados no experimento, coletados no município de Pontes e Lacerda – MT.

Área	pH	pH	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			g dm ⁻³	
	H ₂ O	CaCl ₂	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H	MO ¹
Plintossolo Agricultura	6,7	6,00	20,58	98,9	2,94	0,78	0,00	1,25	13,97
Plintossolo Pastagem	5,6	4,6	8,31	78,2	2,58	0,93	0,06	1,94	13,68
Plintossolo Nativa	4,8	4,00	1,95	43,7	1,68	0,73	1,5	3,5	20,04
Latossolo Agricultura	5,6	4,7	1,78	25,3	2,81	0,59	0,06	3,19	19,58
Latossolo Pastagem	5,8	5,1	2,57	27,6	4,1	0,88	0,00	2,88	22,8
Latossolo Nativa	5,6	4,8	1,61	29,9	3,21	0,63	0,06	2,69	20,04

Granulometria (g kg ⁻¹)			
Área	Areia	Silte	Argila
Plintossolo Agricultura	420,0	256,0	324,0
Plintossolo Pastagem	434,5	241,5	324,0
Plintossolo Nativa	159,0	287,5	553,5
Latossolo Agricultura	231,5	188,0	580,5
Latossolo Pastagem	260,5	172,5	567,0
Latossolo Nativa	246,0	187,0	567,0

Área	cmol _c dm ⁻³		%
	SB ²	T ³	V ⁴
Plintossolo Agricultura	3,97	5,22	76,05
Plintossolo Pastagem	3,71	5,71	64,97
Plintossolo Nativa	2,52	7,52	33,51
Latossolo Agricultura	3,46	6,71	51,56
Latossolo Pastagem	5,05	7,93	63,68
Latossolo Nativa	3,92	6,67	58,77

¹M.O = matéria orgânica; ²SB = soma de bases; ³T= capacidade de troca de cátions a pH 7; ⁴V = saturação por bases.

De forma associada foi utilizado um produto biológico contendo bactérias solubilizadoras de fósforo, composto pelo microrganismo *Bacillus megaterium*.

Segundo as recomendações do fabricante, o solubilizador biológico foi aplicado na forma preventiva, na dosagem de 2 mL por litro de água. A aplicação foi realizada via solo.

As doses de P foram determinadas para uma recomendação de em média 200 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e dessa forma, os tratamentos consistiram em seis combinações (T1 a T6), cujas doses foram (kg por hectare) são mostradas na Tabela 3 :

Tabela 3. Tratamentos e respectivas doses de P aplicados considerando os teores de P_2O_5 total e solúvel do remineralizador.

Tratamentos	P_2O_5 aplicado ¹	P_2O_5 aplicado ²
T1: 0,0 kg/ha de remineralizador sem bactéria solubilizadora;	0 (0) ³	0
T2: 1.053 kg/ha de remineralizador;	200 (88)	32 (14)
T3: 0,0 kg/ha de remineralizador + <i>B. megaterium</i> ;	0 (0)	0 (0)
T4: 1.053 kg/ha de remineralizaor total + <i>B. megaterium</i> ;	200 (88)	32 (14)
T5: 2.106 kg/ha de remineralizador + <i>B. megaterium</i> ;	400 (175)	63 (28)
T6: 6.667 kg/ha de remineralizador + <i>B. megaterium</i> .	1267 (554)	200 (88)

¹ Considerando o teor total de P_2O_5 no remineralizador (19%); ² Considerando o teor solúvel de P_2O_5 no remineralizador (3%); ³Valores entre parênteses se referem ao teor de P elementar equivalente à 44% da forma molecular P_2O_5 .

O inoculante contendo o *Bacillus megaterium* foi aplicado nos tratamentos T3, T4, T5 e T6, conforme as recomendações do fabricante para aplicação preventiva. A aplicação consistiu em uma dose única de 2 mL para cada litro de água, realizada no primeiro dia do experimento. A quantidade aplicada em cada vaso foi calculada em litros, mantendo-se a umidade do solo em aproximadamente 70% da capacidade de campo máxima de retenção de água.

Após a incorporação do remineralizador e a aplicação da bactéria, a mistura solo/tratamentos foi mantida em incubação por um período de 60 dias sendo a umidade mantida na capacidade de campo, controlada por pesagem dos vasos. Ao final do período de incubação a disponibilidade de fósforo no solo foi determinada utilizando-se o extrator Mehlich-1, conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

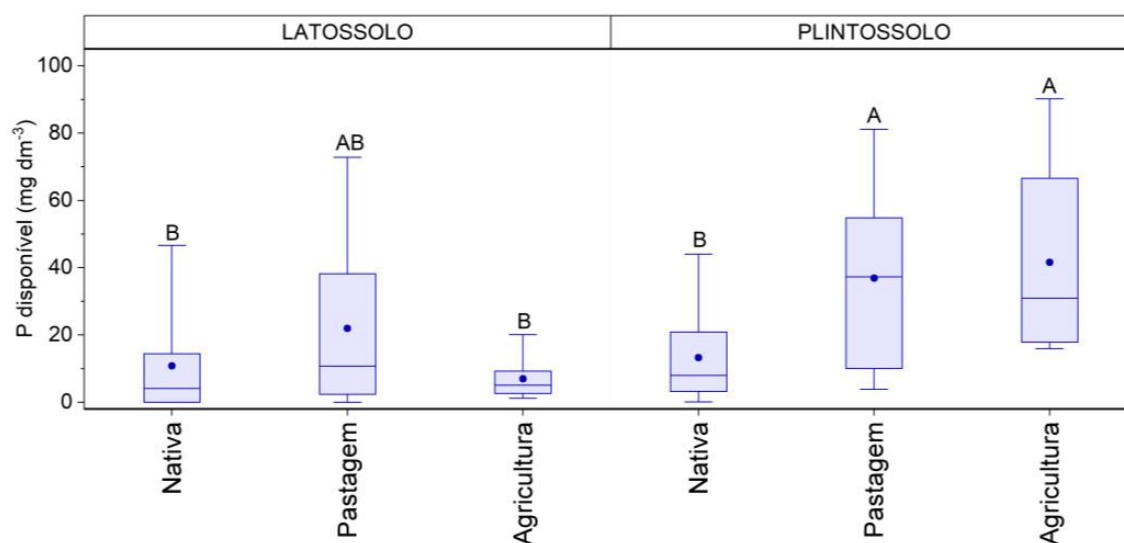
Análise de variância foi realizada para os fatores sítios de coleta e para o fator *B. megaterium*, com 5% de significância e teste de Tukey para os resultados com diferença significativa. A análise de regressão foi realizada para o fator doses de remineralizador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme apresentado na Figura 1, observa-se variação significativa dos teores de P disponível entre os diferentes sítios de coleta, com destaque para valores mais elevados nos sítios sob pastagem e agricultura, especialmente no Plintossolo.

A análise de variância indicou efeito significativo na disponibilidade de P em função do uso do remineralizador nos diferentes sítios de coleta. Logo, o teste Tukey mostrou diferença significativa ($p < 0,05$) indicando resultados positivos para o uso de remineralizador em Plintossolo área de agricultura e pastagem, quando comparadas as áreas de Latossolo.

Figura 1. Teores de P disponível (mg dm^{-3}) nos solos provenientes de 6 sítios de coleta, sob diferentes solos (Latossolo e Plintossolo) e usos anteriores (vegetação nativa, pastagem e agricultura), após 60 dias de aplicação de remineralizador e bactérias solubilizadoras.



Letras diferentes entre os sítios de coleta representam diferença estatística ao nível de 5% pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Com base nos dados da granulometria (Tabela 2), as áreas de Plintossolo apresentam textura variando de média (franco-argilosa) a argilosa, enquanto os Latossolos apresentam textura argilosa, característica que influencia a adsorção

e retenção de fósforo, resultando em respostas distintas na disponibilidade desse nutriente entre usos de solos e os tratamentos avaliados.

De fato, a literatura científica reconhece que a retenção de P no solo é diretamente influenciada pela textura, de modo que solos com maior teor de argila tendem a adsorver o P mais fortemente, o que pode resultar na redução de sua disponibilidade para as plantas (MALUF et al. 2015; VALADARES et al., 2003).

Embora não tenha sido possível quantificar os teores de óxidos de Fe nesses solos, sua cor, 5YR 6/1 (seca) – cinzento e 5YR 3/1 (úmida) – cinzento muito-escuro no Plintossolo; e 2,5 YR 3/6 (seca) – vermelho-escuro e 2,5 YR 2,5/4 (úmida) – bruno-avermelhado-escuro no Latossolo, evidenciam maiores teores de Fe no Latossolo. A mineralogia dos Latossolos é marcada pelo avançado grau de intemperismo, com predominância de óxidos de ferro como hematita Fe_2O_3 goethita $\text{FeO}(\text{OH})$, conforme destacado por Ker (1997). Esses minerais são responsáveis pela coloração vermelho-intensa (matizes 2,5YR), indicativa de maior teor de hematita, típica de ambientes bem drenados e altamente oxidados.

Ainda, de acordo com Brady e Weil (2013), os óxidos de ferro apresentam elevada área superficial específica e abundância de grupos hidroxila reativos, que favorecem a adsorção específica de ânions como o fosfato por meio de troca de ligantes, formando complexos de esfera interna de alta estabilidade. Assim, a elevada concentração e cristalinidade desses óxidos nos Latossolos explicam sua alta capacidade tampão e forte retenção de fósforo, reduzindo a fração lábil do nutriente na solução do solo quando comparados a solos com influência hidromórfica, tais como os Plintossolos.

Conforme descrito por Santos et al. (2025) em Plintossolos, cujas cores acinzentadas nas camadas superiores indicam gleização, a presença de condições redutoras decorrentes do hidromorfismo influencia diretamente a dinâmica do Fe no solo, onde a alternância entre condições oxidantes e redutoras, favorecem a mobilização do Fe no perfil. Estes podem apresentar menor estabilidade de óxidos cristalinos sob saturação hídrica (KER, 1997).

Segundo Brady e Weil (2013) a redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio pode levar à dissolução parcial de óxidos de ferro, reduzindo temporariamente os sítios ativos de adsorção específica de ânions como o fosfato. Considerando que a fixação de P em solos tropicais está fortemente associada à presença de óxidos de Fe e Al (NOVAIS; SMYTH, 1999; FINK et al., 2014), a menor quantidade ou menor estabilidade desses minerais no Plintossolo pode resultar em menor retenção estável do fósforo. Assim, o P liberado pelo remineralizador tende a permanecer por mais tempo na solução do solo ou em frações lábeis, refletindo em maior disponibilidade detectada na análise química (Figura 1). Já no Latossolo, a "força" com que os óxidos de ferro retêm o P pode superar a capacidade de solubilização imediata do sistema (remineralizador + bactérias), mantendo o nutriente em formas não-lábeis (não disponíveis).

Outro fator que explica a disponibilidade de P é o pH do solo. A maior disponibilidade de fósforo em solos com pH acima de 5,8, após a aplicação de remineralizadores, deve-se à redução da força de adsorção exercida pelos oxihidróxidos de ferro e alumínio, que em pH mais ácidos ($\text{pH} < 5,5$) retêm o nutriente de forma quase irreversível. Nesse ambiente de maior equilíbrio químico, ocorre uma sinergia entre a competição química dos silicatos pelos sítios de fixação e o estímulo à atividade da microbiota do solo, que secreta ácidos orgânicos responsáveis por acelerar a solubilização mineral e a dessorção do fósforo para a solução (RESENDE et al., 2006; MANCUSO et al., 2014). De acordo com Mancuso et al. (2014) em $\text{pH} > 5,8$ o alumínio já foi precipitado e os sítios de adsorção de P estão mais saturados por hidroxilas ou competindo com outros ânions, permitindo que o P liberado pelo pó de rocha permaneça na solução do solo.

Ratke et al. (2020) ao estudarem diferentes tipos de pós de rochas (remineralizadores) como fonte de fósforo e potássio para plantas, observaram que a eficácia depende de fatores como mineralogia da rocha, granulometria, estabilidade de dissolução sob condições do solo e observaram que materiais com alto teor de SiO_2 aumentam o teor de P do solo favorecendo o crescimento de parte aérea das plantas de milho (*Zea mays*).

Resultados positivos também são relatados por Couto et al. (2024) ao avaliarem a substituição parcial da adubação mineral por remineralizador contendo aproximadamente 3% de P_2O_5 na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*), verificaram que o uso desse insumo permite substituir até 33% da adubação fosfatada e potássica sem prejuízo ao desempenho produtivo. No entanto, os autores observaram que a aplicação isolada do remineralizador não foi suficiente para suprir a demanda nutricional da cultura, sendo necessária a complementação com fertilizantes minerais para garantir maior produtividade, especialmente devido à limitada disponibilidade inicial de nutrientes.

Ferreira et al. (2024) ao avaliarem a caracterização química do solo sob doses crescentes de um remineralizador de fonte fosfática em Neossolo Quartzarênico, Plintossolo Pétrico e Plintossolo Háplico Distrófico em áreas de várzea, observaram que, no Plintossolo Háplico, a menor concentração de P disponível ocorreu na dose de $1,37 \text{ Mg ha}^{-1}$, com valor de $13,59 \text{ mg dm}^{-3}$. Esse resultado foi atribuído à constituição da rocha utilizada, cujo fornecimento de P ao solo depende do seu intemperismo, considerando que o material apresentava teor de 5,76% de P_2O_5 .

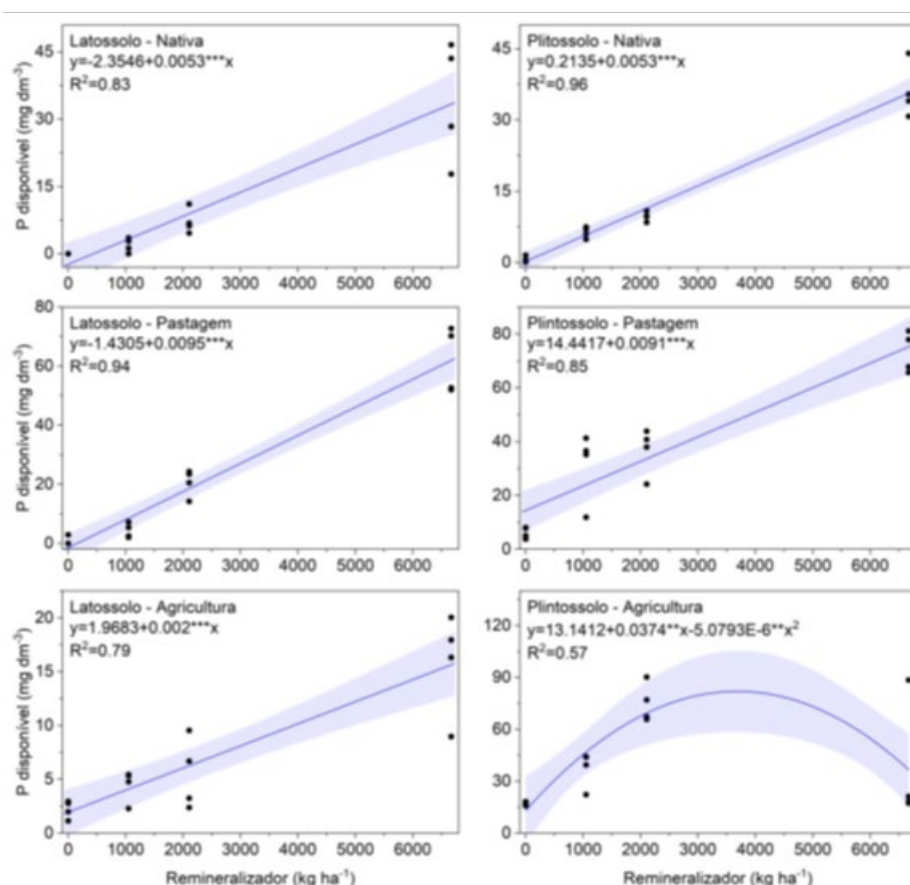
De forma semelhante, no presente estudo, os resultados apresentados na Figura 2 indicam que a disponibilidade de P no solo também foi influenciada pela aplicação de remineralizador. Observa-se, de maneira geral, aumento do P disponível com a elevação das doses, embora com padrões distintos de resposta entre os diferentes solos avaliados, evidenciando que a dinâmica de liberação do fósforo está relacionada tanto à dose aplicada quanto às características do solo.

A análise dos teores de fósforo disponível, após os tratamentos, demonstrou respostas diferentes entre os sítios de coletas, contudo a dosagem com 6.667 kg de remineralizador + *Bacillus megaterium* proporcionou os maiores valores de P sob Latossolo área nativa, pastagem e agricultura, bem como Plintossolo área nativa e de pastagem, demonstrando ser a dose mais indicada para suprir a necessidade de P das plantas.

Por outro lado, a resposta quadrática observada para o fósforo disponível no Plintossolo sob agricultura sugere que, embora o remineralizador tenha

promovido incremento inicial do nutriente, a maior dose aplicada pode ter favorecido processos de sorção de P. Os Plintossolos apresentam acúmulo expressivo de compostos de ferro em sua constituição (RAMOS et al., 2024), e os óxidos de Fe são reconhecidos como importantes adsorventes de fósforo em solos tropicais (VILAR et al., 2010; GONÇALVES et al., 2011). Assim, parte do fósforo liberado pelo remineralizador pode ter sido retida em formas menos disponíveis, justificando a redução observada na dose de 6.667 kg ha⁻¹.

Figura 2. Regressão entre os teores de P disponível (mg dm⁻³) nos solos provenientes de 6 sítios de coleta, sob diferentes solos (Latossolo e Plintossolo) e usos anteriores (vegetação nativa, pastagem e agricultura), após 60 dias de aplicação de remineralizador e bactérias solubilizadoras.



Nível de significância do coeficiente angular da regressão pelo test t: ** p<0.01 e *** p<0.001.

A resposta positiva do P disponível em função do aumento das doses está de acordo com a literatura que descreve os remineralizadores como fontes de liberação gradual de nutrientes, cuja eficiência está associada à dissolução progressiva de minerais silicáticos. Van Straaten (2006) destaca que esses materiais apresentam baixa solubilidade inicial, sendo sua atuação controlada por processos de intemperismo ao longo do tempo, o que justifica o aumento gradual do P observado com o incremento das doses.

No Latossolo, a relação linear entre doses e P disponível, observada em todos os sítios de coleta, sugere que não houve saturação do sistema no intervalo avaliado. Esse comportamento corrobora com o descrito por Hinsinger et al. (2001), que apontam que a liberação de nutrientes a partir de minerais primários ocorre de forma contínua, sendo dependente da superfície de reação e das condições químicas do solo. No entanto, a literatura também indica que

Latossolos possuem elevada capacidade de adsorção de fósforo devido à presença de óxidos de ferro e alumínio, o que pode explicar os incrementos mais discretos observados no uso agrícola, conforme discutido por Novais e Smyth (1999).

Conforme demonstrado na Figura 2, a disponibilidade de fósforo aumentou em resposta à aplicação do remineralizador na área de pastagem, com incrementos mais pronunciados a partir de aproximadamente 2.000 kg ha^{-1} .

Esse comportamento pode estar relacionado à liberação gradual de nutrientes decorrente do intemperismo dos minerais presentes no remineralizador (LUCHESE et al., 2024). Além disso, sistemas de pastagem apresentam intensa ciclagem de nutrientes promovida pelo sistema radicular das gramíneas e pelo aporte contínuo de resíduos vegetais ao solo (VENDRAMINI et al., 2014). Contribuindo para a manutenção e a dinâmica do fósforo na camada superficial do solo. Resultados semelhantes foram observados por Selhorst et al. (2022), que verificaram aumento das frações disponíveis de P em solos sob pastagem em resposta ao aporte de fósforo.

Por outro lado, no Plintossolo a resposta linear observada sob vegetação nativa e pastagem indica comportamento semelhante ao esperado para solos com menor limitação imediata de disponibilidade química de P, ainda que

influenciados por elevada presença de óxidos de Fe. Entretanto, no sistema agrícola, a resposta quadrática observada, com máximo estimado em doses intermediárias ($\sim 4.000 \text{ kg ha}^{-1}$), sugere que incrementos adicionais do remineralizador não resultaram em aumentos proporcionais do fósforo disponível. Esse comportamento pode estar associado ao aumento da adsorção do nutriente em superfícies reativas do solo, especialmente óxidos de ferro e alumínio, reduzindo a fração disponível em doses mais elevadas (NOVAIS et al., 2007; VILAR et al., 2010; GONÇALVES et al., 2011).

Esse comportamento é amplamente discutido na literatura a respeito da fertilidade de solos tropicais. Novais e Smyth (1999) destacam que solos ricos em óxidos de ferro e alumínio apresentam, por exemplo, elevada capacidade de adsorção de fósforo, o que reduz sua disponibilidade na solução do solo. Assim, em doses elevadas, parte do P liberado pode ser rapidamente imobilizado, explicando a ausência de resposta proporcional.

Além disso, Harley e Gilkes (2000) apontam que a dissolução de minerais silicáticos é limitada por fatores cinéticos, o que significa que aumentos de dose não necessariamente resultam em maior taxa de liberação em curto prazo. Esse efeito, combinado com processos de adsorção no Plintossolo, contribui para a estabilização da resposta em altas doses.

De forma integrada, os resultados da Figura 2 corroboram a literatura ao demonstrar que a eficiência dos remineralizadores depende da interação entre dose aplicada, mineralogia do solo e sistema de uso da terra. Enquanto doses intermediárias ($2.000\text{--}4.000 \text{ kg ha}^{-1}$) representam a faixa de maior eficiência agrônômica, doses elevadas não resultam em ganhos proporcionais de P disponível, especialmente em ambientes agrícolas com maior limitação química, como o Plintossolo.

Resultados desses estudos corroboram os realizados por Luchese et al. (2024), os quais relatam que o uso de remineralizadores promoveu aumento da disponibilidade de P em diferentes classes de solos, com resposta dependente das propriedades edáficas. Em solo argiloso, com P inicial muito baixo ($1,30 \text{ mg dm}^{-3}$), houve incremento significativo, alcançando valores próximos de 12 mg dm^{-3} , enquanto em solo arenoso, com maior P inicial ($23,01 \text{ mg dm}^{-3}$), os

aumentos foram mais expressivos, resultando em teores classificados como muito altos.

Com relação ao uso de *B. megaterium* no presente estudo é possível afirmar que a inoculação da mesma não demonstrou efeito significativo sob os teores de P disponíveis em nenhum dos sítios de coletas, uma vez que, com a aplicação de 1.053 kg ha⁻¹ de remineralizador, observa-se aumento nos teores de P disponível (14,87 mg dm⁻³), efeito que também se mantém quando essa mesma dose é associada à bactéria solubilizadora (T4) disponibilizando 14,31 mg dm⁻³ de P, indicando que a presença do remineralizador é o principal fator responsável pelo incremento inicial de P.

Segundo Pedral (2024) a *B. megaterium* é caracterizada como um microrganismo de vida livre no solo, amplamente distribuído em ambientes edáficos e não dependente de simbiose obrigatória com plantas. Entretanto, sua atividade está frequentemente associada à rizosfera, podendo ser favorecida pela presença de vegetação, devido à maior disponibilidade de compostos orgânicos oriundos de exsudatos radiculares e ao aumento da atividade biológica (FREITAS, 1994).

Além disso, bactérias solubilizadoras de fósforo atuam diretamente na disponibilização desse nutriente para absorção pelas plantas, indicando que sua eficiência está relacionada à interação com o sistema radicular (SANTOS et al., 2021). Dessa forma, a ausência de plantas no presente estudo pode ter limitado a eficiência da bactéria na solubilização de fósforo, contribuindo para a ausência de efeito significativo observada.

Para Oliveira et al. (2024) a ausência de resposta à inoculação com *B. megaterium* em ambas as classes de solo indica que, embora bactérias solubilizadoras de fósforo estejam presentes em solos com diferentes níveis de fertilidade, sua eficiência é dependente das condições físico-químicas do ambiente como pH do solo; teor de matéria orgânica; umidade do solo; temperatura; mineralogia do solo e disponibilidade inicial de P.

Os resultados desse trabalho corroboram os resultados de Fagotti (2023) ao avaliar o uso de diferentes gêneros de bactérias solubilizadoras (*Azzospirillum sp*; *Pseudomonas*; *Bacillus*) no crescimento de milho enfatiza que

a baixa resposta à inoculação em solos com baixos teores de P pode estar relacionada à necessidade inicial de fósforo pelas bactérias para manter seu próprio metabolismo, antes de atuarem efetivamente como promotoras de crescimento. Deste modo seu efeito reduzido pode estar diretamente associado à limitada disponibilidade de P no solo que provavelmente restringiu a atividade e a eficiência das bactérias inoculadas.

Por outro lado, resultados positivos foram obtidos por Pereira (2022) que avaliou o efeito da inoculação com *B. megaterium* sobre a disponibilidade de fósforo em Latossolo, considerando diferentes fontes de P (solúveis e pouco solúveis), demonstrando que a presença da bactéria aumentou os teores de P disponível, promovendo a solubilização de formas menos disponíveis desse nutriente. Logo, o uso de *B. megaterium* quando associados a fosfatos naturais proporcionaram maior eficiência na liberação gradual de P demonstrando capacidade de melhorar a disponibilidade de P e potencializar o uso de fontes fosfatadas alternativas.

Ao contrário do observado por Giovelli (2022) a inoculação com *Bacillus megaterium* não resultou em aumento da disponibilidade de P no solo nem em melhorias na eficiência de uso do nutriente pelas plantas, independentemente do solo avaliado. Esses resultados indicam limitada atuação da bactéria na solubilização e no aproveitamento do fósforo, possivelmente em razão da baixa disponibilidade inicial de substrato e da elevada fixação de P por óxidos de Fe e Al, típicos de Latossolos e Argilossolos, o que restringe a eficácia desse microrganismo em razão às características físico-químicas e mineralógicas do solo que influenciam a dinâmica do fósforo (P) e a atuação do *Bacillus megaterium*.

De acordo com Pedral (2024) a inoculação com *B. megaterium* também não promoveu aumento da disponibilidade de P no solo nem ganhos em biomassa no desenvolvimento inicial do milho, mesmo sob diferentes doses. Esses resultados corroboram os obtidos neste estudo, no qual a associação entre remineralizador e *B. megaterium* também não resultou em incremento de P disponível em solos com alta capacidade de fixação, tal evidência indica que a limitação à solubilização do fósforo não está necessariamente relacionada à

fonte de P ou à presença de bactérias solubilizadoras, mas, possivelmente, às propriedades físico-químicas do solo que limitam esse processo.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação do remineralizador promoveu aumento significativo na disponibilidade de fósforo, com resposta dependente da dose, da classe e do uso do solo. O Plintossolo apresentou maior incremento nos teores de P disponível, principalmente nas áreas de agricultura e pastagem favorecido pela textura e pH resultante do uso anterior do solo bem como menor capacidade de fixação quando comparado ao Latossolo

As maiores doses de remineralizador, sendo os tratamentos com 2.106 kg de remineralizador + *B. megaterium* (T5) e 6.667 kg de remineralizador + *B. megaterium* (T6), proporcionaram os maiores teores de P disponível, indicando que a quantidade aplicada foi determinante para a elevação do nutriente no solo.

A inoculação com *Bacillus megaterium* não promoveu efeito significativo sobre a disponibilidade de fósforo em nenhuma das condições avaliadas. Tal resultado sugere que a eficiência desse microrganismo está condicionada a fatores como a presença de plantas, disponibilidade inicial de fósforo e condições edáficas favoráveis à atividade microbiana. A ausência de resposta à inoculação indica que, nas condições experimentais adotadas, a limitação na disponibilização do fósforo esteve mais relacionada às características do solo do que à atuação biológica.

Conclui-se que o remineralizador apresenta potencial como fonte alternativa de fósforo, principalmente em Plintossolos e em áreas sob uso agrícola e pastagem, contribuindo como estratégia para o manejo sustentável da fertilidade do solo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA JUNIOR, J. J.; SOUZA, A. I.; ALMEIDA, E. V. de; CARNEIRO, A. O. T.; SANTOS, L. J. S.; GARCIA, E. da. C.; BASTOS, R. J. M. M.; FERREIRA, D. V.; SILVA, V. J. A.; MIRANDA, B. C.; SILVA, da. D. S. Milho implantado em segunda safra no centro-oeste do Brasil com utilização do remineralizador micaxisto / Second-crop corn planted in central-western Brazil using micaxisto remineralizer. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 4, p. 29669-29680, 2022

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA).

Entregas de fertilizantes ao mercado brasileiro – Estatísticas mensais 2025. São Paulo: ANDA, 2025. Disponível em: <<https://anda.org.br>> Acesso em: 04 de Junho, 2026.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Brasília, DF: MAPA, 2016.

CARDOSO, V. M.; PFEIFER, A.; KENNEDY, H. J.; CHIODI, L. A.; JANK, M. S.; GOMES, G. C. Geopolítica global dos fertilizantes: impactos sobre o agronegócio brasileiro. São Paulo: *Inspere Agro Global*, 2025. Working paper n. 7/2025

CARMO, T. S. **BIOSOLUBILIZAÇÃO DE FÓSFORO PROVENIENTE DE ROCHA FOSFÁTICA UTILIZANDO FUNGOS E BACTÉRIAS.** Tese: Doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

COSTA, K. S. de. Q.; OLIVEIRA, C. F. de; MELO, M. P.; VAZ, C.F.; MELO, N. C.; MORAES, F. K. C. Fósforo no sistema solo-planta: uma revisão. *REVISTA OBSERVATORIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, Curitiba, v. 22, n. 6, p. 1–24, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n6-184.

COUTO, E. S.; COUTINHO, A. P. N.; de SOUZA, A. H. C.; TAVARES, C. J.; MENDONÇA, M. da. Y. C.; MARQUES, M. A.; MAIA, S. C. M.; OLIVEIRA, de. R. C. Uso de remineralizador como fonte alternativa de fósforo e potássio na produção de feijão comum. *REVISTA OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINOAMERICANA*, Curitiba, v.22, n.12, p. 01-19. 2024. DOI: 10.55905/oelv22n12-272.

CRUZ, D. R. C.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. da C.; NASCENTE, A. S.; OLIVEIRA, R. B.; SANTOS, S. G. F, dos; ROSA, C. O.; VIEIRA, I. C. de O.

Microorganismos multifuncionais na agricultura: uma revisão sistemática sobre bactérias solubilizadoras de fósforo. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 3, p. 5854, 2024.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; GARCIA, J. C.; DUARTE, J. de. O. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 6 ed, 2010. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27051/1/Cultivares.pdf>> Acesso em: 04 de Junho, 2026.

CUNHA, M. K.; NETO, J. G. **Efeito do emprego de fonte alternativa de potássio na produtividade de pastagem**. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2015. 24p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2358-6273).

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Manejo de solos de várzea para o cultivo do arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 250 p

FAGOTTI, L. A. **BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO (Zea mays) EM SOLOS COM BAIXO E ALTO TEOR DE FÓSFORO**. Trabalho de Conclusão de Curso, Dois Vizinhos, 2023.

FALCÃO, N. P. de. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Acta Amaz**, 2004. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000300001>> Acesso em: 12 Janeiro, 2026.

FERREIRA, C. C. B.; ROSANOVA, C.; BARBOSA, J. M.; LIMA, S. de. O. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA POR MEIO DO USO DE REMINERALIZADOR EM SOLOS DO TOCANTINS. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v.07, 2024.

FERREIRA, A. C. B.; CARVALHO, M. C. S. **Adubação do algodoeiro no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014.

FINK, J. R.; INDA JUNIOR, A. V.; BAYER, C.; TIECHER, T.; BORTOLON, L. Adsorção de fosfato e mineralogia da fração argila de Latossolos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 483–492, 2014.

FREITAS, S. S. **Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas**. 1994. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994

GATIBONI, L. R.; MULLANE, G.; PAVINATO, P. S.; JALALI, M. A.; HOWELL, M. S.; CONDRON, L. M. The phosphorus legacy: can we answer the present and future demand for P using existing soil phosphorus stocks? **Science of The Total Environment**, v. 748, p. 141355, 2020.

GIOVELLI, J. NÍVEIS DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO DE SEMENTES POR *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) E *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA.

Dissertação em Agrobiologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J.; BORTOLON, L.; GONÇALVES, D. R. N. Relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***, v. 35, n. 5, p. 1633-1639, 2011

HANISCH, A. L.; CANTÚ, R. R.; JUSTEN, J. G. K.; GONÇALVES, G. L. S. Potencial do pó de basalto como remineralizador de solo em sistemas de produção de hortaliças. ***Agropecuária Catarinense***, Florianópolis, v. 37, n. 1, 2024.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of nutrients from silicate minerals. ***Nutrient Cycling in Agroecosystems***, 2000.

HINSINGER, P. et al. The rhizosphere: biogeochemistry of phosphorus in the soil–plant system. ***Plant and Soil***, v. 237, p. 173–195, 2001

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. ***Geonomos***, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997.

LUCHESI, A. V.; MISSIO, R. F.; ALGERI, A.; GIARETTA, A. P. da, S.; LUDWIG, A. L.; POTRICH, G. Disponibilidade e absorção de nutrientes liberados por remineralizador em duas classes de solo. ***Revista em Agronegócio e Meio Ambiente***, v. 17, n. 4, 2024.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; da SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. F. de O. Disponibilidade e Recuperação de Nutrientes de Resíduos Culturais em Solo com Diferentes Texturas. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***.

MANCUSO, M. A.; SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Efeito de remineralizadores de solo na disponibilidade de nutrientes e produtividade de culturas. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***, Brasília, v. 49, n. 12, 2014.

MARTINS, E. de S.; MARTINS, E. S.; HARDOIM, P. R. Princípios geoquímicos, mineralógicos e biológicos do manejo de remineralizadores de solos. ***Informe Agropecuário***, v. 44, n. 321, p. 26–39, 2023

MATO GROSSO (Estado). Lei Complementar nº 829, de 11 de novembro de 2025. Altera a Lei Complementar nº 38, de 21 de novembro de 1995, que dispõe sobre o Código Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 11 nov. 2025.

MATO GROSSO (Estado). Lei nº 12.197, de 20 de julho de 2023. Acrescenta e altera dispositivos da Lei nº 9.096, de 16 de janeiro de 2009, que dispõe sobre a Política da Pesca no Estado de Mato Grosso e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 21 jul. 2023

MOREAU, A. M. S. S.; KER, J. C.; COSTA, L. M.; GOMES, J. B. V. Gênese de Plintossolos em áreas de depressão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 689–700, 2006.

MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T. N. N. **Mato Grosso: solos e paisagens.** Cuiabá: Entrelinhas, 2007. 272 p.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, 1999.

OLIVEIRA, J. A.; LOURENÇO, F. M. dos. S.; FEITOSA, D. G.; CERESINI, P. C.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Bioprospecting phosphate-solubilizing bacteria in soils with different fertility levels. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 45, n. 1, 2024.

OLIVEIRA, V. S. de.; PEREIRA, R. G. F. de. A.; GOMES, M. C. R. O uso de técnicas sustentáveis para remineralização de solos de regiões tropicais. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 41, n. 3, 2022.

PEDRAL, D. F. de. O. **Aplicação de Bacillus megaterium e disponibilidade de fósforo no desenvolvimento inicial de plantas de milho.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024.

PEREIRA, A. V. **SOLUBILIZADORES DE FOSFATOS ASSOCIADOS A FONTES DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO.** Dissertação: Mestrado em Bioenergia e Grãos, Rio Verde, 2022.

RAMOS, P. V.; SILVA, A. C.; FERREIRA, M. M. Plintossolos e sua relação com a dinâmica hídrica em ambientes tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 3, 2023.

RAMOS, M. R.; FIGUEIREDO, M.; LOUREIRO, R. M.; ALVES, G. B. Panorama das pesquisas sobre Plintossolos, Petroplintitas e Plintitas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 4, p. 2882-2898, 2025

RATKE, R. F.; ANDRADE, T. G.; ROCHA, S. G. da.; SOUZA, A. de.; DAI, P. V. S.; SILVA-FILHO, E. C. da.; BERTOLINO, L. C.; ZUFFO, A. M.; OLIVEIRA de.

A. M.; AGUILERA, J. G. Pós de rochas regionais como fonte de fósforo e potássio para plantas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020.

RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C. **Rochagem como estratégia de manejo da fertilidade do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006.

RICHARDI, M. M.; WEBER, O. L. dos. S.; SOUSA, H. M.; CAMPOS, D. T. da. S.; FURQUIN, J. Uso de rocha carbonática e microrganismos como suprimento alternativo de fósforo. **Nativa**, Sinop, v. 11, n. 1, p. 82–89, 2023.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, v. 17, p. 319–339, 1999.

ROY, E. D. et al. The phosphorus legacy: First-world problems in an emerging economy. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 37, p. 54-62, mar. 2016. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.01.007.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025.

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

SANTOS, M. G. P.; SILVA, J. A.; OLIVEIRA, L. B.; SOUZA, R. S. Inoculação de culturas anuais com bactérias solubilizadoras de fósforo. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, n. 3, p. 1–10, 2021.

SEIDEL, E. P.; CEQUINATTO, P.; RIBEIRO, L. L. O. Características agronômicas de tremoço branco e teores de fósforo após a aplicação de pó de rocha de basalto associado com plantas de cobertura e microrganismos. **Research, Society and Development**, v. 11, n.3, 2022.

SELHORST, B. S.; SCHLINDWEIN, J. A.; MARCOLAN, A. L.; PANSANATO, B. S.; VALOIS, C. A. S. Formas de P em Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem após dois e sete anos da adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 45, n. 1-2, 2022.

SEPLAN - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. (2001). *Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Mato Grosso (ZSEE-MT)*. Cuiabá: SEPLAN/MT

SILVA, M. A. S. da; SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; CARVALHO, M. da. C. S.; FERREIRA, C. M.; NASCENTE, A. A.; SANTOS, B. M. dos; ALCANTARA, F. A.; MACHADO, P. L. O. de A.; SILVA, O. F. **Fertilização do solo**. 2021.

SILVA, M. H. M.; SANTOS, C.C.; SANTANA, A.P.; ALVES, J.M. **Uso da rochagem como fonte alternativa de nutrientes na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) para a indústria de etanol**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34., Florianópolis SC. **Anais [...]**, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems: a global problem. ***Environmental Science and Pollution Research***, v. 16, p. 1-19, 2009.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUZA, F. N. da S.; OLIVEIRA, C. G. de; MARTINS, E. de S.; ALVES, J. M. Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. ***Agri-Environmental Sciences***, v. 3, n. 1, p. 1–14, 2017

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; SHARMA, A. K. Rochagem: uso de rochas como fonte alternativa de nutrientes na agricultura. ***Revista Brasileira de Geociências***, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 1–12, 2010.

TOSCANI, R. G. da. S.; CAMPOS, J. E. G. USO DE PÓ DE BASALTO E ROCHA FOSFATADA COMO REMINERALIZADORES EM SOLOS INTENSAMENTE INTEMPERIZADOS. São Paulo, UNESP, ***Geociências***, v. 36, n. 2, p. 259 – 274, 2017.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 111–118, 2003.

VAN STRAATEN, P. *Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities*. In: HUE, N. V.; SILVA, J. A. (eds.). ***Agricultural applications of rock powders and minerals***. Waterloo: University of Guelph, 2006.

VASSILEV, N.; VASSILEVA, M.; NIKOLAIEVA, I. Simultaneous P-solubilizing and biocontrol activity of microorganisms: potentials and future trends. ***Applied Microbiology and Biotechnology***, v. 71, n. 2, p. 137–144, 2006.

VENDRAMINI, J. M. B.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SILVEIRA, M. L. Ciclagem de nutrientes em pastagens tropicais. ***Revista Brasileira de Ciências Agrárias***, v. 9, n. 2, p. 308-315, 2014.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I. G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1059-1068, 2010

WITHERS, P. J. A.; SYERS, J. K.; DOODY, D. G. Stewardship to tackle global phosphorus inefficiency: the three P's to control terrestrial P losses to surface waters. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 43, n. 4, p. 1234–1246, 2014.

WITHERS, P. J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S. de; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. de M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. de S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S.. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 2537, 2018.

ZHANG, C.; KONG, F.; WANG, Y.; SHEN, G.; ZHANG, J.; FENG, Y. Organic acids production by *Bacillus megaterium* and its effect on phosphate solubilization. **Science of the Total Environment**, v. 630, p. 1203–1210, 2018.