

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

PÓ DE ROCHA FOSFATADA E RESPOSTA EM ATRIBUTOS QUÍMICOS EM SOLO ARENOSO E ARGILOSO

Data de aceite: 24/10/2025

Gilberto Coutinho Machado Filho

Universidade Federal do Tocantins – UFT

Osvaldo José Ferreira Junior

Universidade Federal do Tocantins – UFT

Marcus Vinícius Cunha Flor

Universidade Federal do Tocantins-UFT

Olavo da Costa Leite

Secretaria da Estado do Tocantins, Colégio
Agropecuário de Natividade

Gekson Ribeiro Aguiar

Universidade Federal do Tocantins

Mateus Mendes Teixeira

Universidade Federal do Tocantins – UFT

Jonas Ferreira Nunes

Universidade Federal do Tocantins-UFT

Weder Ferreira dos Santos

Universidade Federal do Tocantins-UFT

Saulo de Oliveira Lima

Universidade Federal do Tocantins-UFT

Édson Santos Castro

Universidade Federal do Tocantins – UFT

Todo o conteúdo desta revista está
licenciado sob a Licença Creative
Commons Atribuição 4.0 Interna-
cional (CC BY 4.0).



Danilo Alves Porto da Silva Lopes

Universidade Federal do Tocantins-UF

Manoel Mota dos Santos

Universidade Federal do Tocantins - UFT –
Gurupi

Resumo: O fósforo (P) é um macronutriente essencial, porém pouco disponível em solos tropicais devido à fixação com íons de Ca^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+} , além da adsorção aos coloides do solo. Tradicionalmente utiliza-se fertilizantes fosfatados de alta solubilidade e custo elevado. Pesquisas avaliam fosfatos naturais menos solúveis e mais econômicos. Este estudo objetivou avaliar o efeito de doses crescentes de rocha fosfática em solos de textura contrastantes. O delineamento foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×5 , sendo o primeiro fator composto por dois solos (arenoso e argiloso), e o segundo fator composto por 5 doses incubadas de um fosfato natural em sacos plásticos, sendo: 0, 75, 150, 225 e 300 kg de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ e um tratamento adicional com MAP. As análises químicas mostraram que o aumento das doses elevou os teores de P, Ca, Mg e a soma de bases (SB), além de reduzir a acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) e elevar o pH. O fosfato influenciou positivamente aumentando os teores de P no solo arenoso e argiloso obtendo-se valores de 38,53 e 12,16 mg dm⁻³, respectivamente. A rocha fosfática sedimentar demonstrou potencial como fonte alternativa de fósforo e corretivo de acidez, com efeito residual prolongado e viabilidade econômica para solos tropicais. Conclui-se que o uso de fosfatos naturais pode substituir parcialmente fertilizantes solúveis, promovendo sustentabilidade e menor dependência externa.

Palavra-chave: Fosfato natural, fertilizante fosfatado, textura de solo.

INTRODUÇÃO

O Fósforo (P) é o macronutriente menos requerido pelas culturas, superando apenas o Enxofre (S), no entanto, suas quantidades recomendadas via adubação são elevadas muitas vezes maiores que as de N e K, fator relacionado à sua dinâmica no solo, notadamente em ambientes tropicais. Uma das formas de perda de Fósforo disponível na solução do

solo é causada por dois fenômenos dependentes do pH: a precipitação com Cálcio (Ca^{2+}) em ambientes alcalinos, ou com Ferro (Fe^{3+}) e Alumínio (Al^{3+}) em ambientes ácidos. Além disso, o Fósforo tem uma elevada tendência de ser adsorvido (ligado) às superfícies dos coloides do solo, tornando-o menos solúveis. (BATISTA et al., 2018)

As adubações fosfatadas mais utilizadas costumam ser proveniente de aplicação de fertilizantes fosfatados químicos, pelo fato de ter alta solubilidade (MASSENSSINI et al., 2015), o que disponibiliza de forma imediata o fósforo, sendo o gargalo do seu uso está seu custo elevado do produto (DIAS et al., 2014).

Outra estratégia que está sendo adotada pelas instituições de pesquisa no sentido de amenizar a dependência política e econômica para a obtenção de fertilizantes fosfatados vem sendo o desenvolvimento e validação agronômica de novos fertilizantes produzidos a partir de matérias primas alternativas de ocorrência nacional. Dentre estas fontes, há os fosfatos naturais sedimentares, normalmente com teor de P_2O_5 mais baixo, para serem utilizados na indústria convencional de fertilizantes (DIAS et al., 2020). No entanto, D'OLIVEIRA et al., (2023) salienta que a taxa de liberação de nutrientes dos pós de rocha, pode ser aumentada por meio de diversos processos, sendo que um destes se refere à granulometria do pó de rocha, que deve ser bastante fina, fator que aumenta a reatividade no solo pois partículas com dimensões comparáveis às frações silte e argila tendem a liberar os nutrientes mais prontamente do que as partículas de maior tamanho.

Fontes de fósforo são escassas e os fertilizantes de maior solubilidade são mais caros, é fundamental realizar testes de eficiência com alternativas de menor custo (LANGE, et al 2016). e a adoção de fosfatos naturais reativos, surge como uma importante alternativa pois têm a capacidade de minimizar a

fixação do fósforo em solos que passaram por intemperismo, além de serem uma opção para redução de custos (CABRAL., et al 2016).

Aproximadamente 80% das reservas de fosfato no Brasil são de origem ígnea, que é um tipo de jazida de exploração econômica é complexa. A eficiência das usinas de concentração é diretamente afetada pela composição e pela homogeneidade do minério, pois a viabilidade dos minerais de apatita impacta a flotabilidade, a seletividade e a recuperação do material durante o processamento (BARROS; FERREIRA; PERES, 2008). O fosfato de origem sedimentar e caracteriza-se por apresentar alto grau de substituição isomórfica do íon fosfato por carbonato, o que lhe confere maior velocidade de reação no solo, quando comparado a outros fosfatos naturais (NOVAIS et al., 2007).

Pensando nisso, a fixação de fósforo no solo é um processo que busca atingir um equilíbrio e a intensidade com que o fósforo é retido (adsorvido) está diretamente ligada à quantidade desse elemento que já está presente no solo ou que é adicionada, logo, quanto mais fosforo é adicionado, mais o solo tenta reter o mesmo, buscando um ponto de equilíbrio (VINHA et al, 2021). Em solos argilosos, a adsorção de P é geralmente mais intensa do que em solos arenosos característica de ocorrência principalmente em solos mais intemperizados, onde a relação entre a quantidade e a intensidade da adsorção de P é mais elevada (CORREA et al, 2011). Solos com alto grau de intemperismo, a tende a ter eficiência da adubação fosfatada ser baixa e isso acontece em decorrência da maior parte do fósforo adicionado ser rapidamente imobilizado no solo, consequência de um processo causado por reações de precipitação, adsorção e fixação em coloides minerais (PELUCO et al, 2015).

A longo prazo fosfatos naturais reativos, provenientes de pó de rocha fosfática sedimentar, surgem como uma alternativa viável

e econômica para a adubação de pastagens, pois, por apresentarem baixa solubilidade, reagem de forma lenta no solo, liberando o fósforo gradualmente, e essa liberação progressiva garante um efeito residual prolongado, fator que pode fazer com que a eficiência total desses fosfatos se equipare à de fertilizantes mais solúveis. (REZENDE et al, 2016).

Não somente, o método de incubação de solo, técnica rápida e de baixo custo, é crucial para a pesquisa em fertilidade, pois simula condições ambientais controladas, por um curto período de tempo, o que permite observar as mudanças em atributos químicos e avaliar a eficiência de fertilizantes e corretivos na liberação de nutrientes ao longo do tempo, antes da aplicação em campo como evidenciados por alguns autores (MACHADO FILHO et al, 2024; LIMA et al, 2024; CARVALHO et al, 2020). Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de doses crescentes de rocha fosfática, incubadas em solo de textura arenosa e argilosa, nas respostas a atributos químicos e nutricionais desses solos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi, localizado na região sul do Estado do Tocantins, nas coordenadas geográficas, Latitude: 11°43' Sul e Longitude: 49°04' oeste, a 280 metros de altitude. Foram coletadas amostras de dois solos da região sul do estado do Tocantins no município de Peixe – TO e Gurupi-TO conforme descrito na Tabela.

Os solos foram coletados na camada de 0–20 cm, as amostras foram destorroadas e secas ao ar. As unidades experimentais foram constituídas por sacos plásticos resistentes, contendo 0,5 dm⁻³ de solo. A umidade do solo das unidades experimentais foi mantida próximo a 70% da capacidade de campo, utilizan-

do água destilada e seguida de homogeneização após o umedecimento. Os sacos plásticos foram fechados utilizando-se liga elástica, deixando uma fresta para realização das trocas gasosas.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado num esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto por dois tipos de solos com texturas contrastantes, sendo um Neossolo Quartzaneric (114 g kg⁻¹ de argila) e um Latossolo Vermelho (368 g kg⁻¹ de argila). O segundo fator refere-se às doses de 0, 75, 150, 225 e 300 kg de P₂O₅ ha⁻¹ de uma fonte de fosfato natural extraída e moída em Taipas do Tocantins-TO, apresentando as seguintes características: granulometria de 100% passante em 2 mm, 77% passante em 0,3 mm e 45% passante em 0,075 mm, com as características químicas descritas na tabela 2.

Foi alocado um tratamento adicional para cada tipo de solo com 150 kg de P₂O₅ ha⁻¹ via MAP. A aplicação de calcário foi de 4,1 toneladas ha⁻¹ conforme recomendação baseada em prévia análise química e física dos solos estudados (RIBEIRO et al., 1999). Em seguida realizou-se a aplicação dos tratamentos e os mesmos permaneceram incubados pelo período de 90 dias. Após esse período, as amostras foram inicialmente secas ao ar, destorroadas e passadas na peneira de 2 mm, obtendo assim a terra fina seca ao ar (TFSA), realizando-se as análises.

Para a extração de P foi utilizados os extrator Resina trocadora de ânions em lâmina (RAIJ, 1987) e para o potássio K foi utilizado o extrator Mehlich⁻¹ (0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e 0,05 mol L⁻¹ de HCl), sendo o P quantificado por fotocolorimetria e o K por fotômetro de chama. O Al, Ca, Mg trocáveis foram extraídos por KCl à 1 mol L⁻¹, o Al+H, extraídos por solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ em pH 7 e titulados com NaOH 0,0606 mol L⁻¹; o pH foi determinado em CaCl₂ (relação 1:2,5)

| Solo | Ca | Mg | Al | H+Al | K | CTC(T) | SB | CTC(t) | K | P-Resina | | |
|------|-----------------------------------|-------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------------|--------|------|----------|--|--|
| |cmolc dm ⁻³ | | | | | |mg dm ⁻³ | | | | | |
| RQ | 0,46 | 0,25 | 0,50 | 5,20 | 0,045 | 5,96 | 0,76 | 1,26 | 17,6 | 6,30 | | |
| LV | 3,51 | 0,87 | 0,00 | 2,80 | 0,29 | 7,48 | 4,68 | 4,68 | 23,4 | 5,30 | | |
| Solo | V | M | pH CaCl ² | M.O | P-rem | | Areia | Silte | | Argila | | |
| |% | | |mg dm ⁻³ |(g kg ⁻¹)..... | | | | | | | |
| RQ | 12,75 | 39,68 | 4,30 | 1,13 | 44,17 | | 857 | 29 | | 114 | | |
| LV | 62,57 | 0,00 | 5,30 | 2,93 | 24,98 | | 510 | 123 | | 368 | | |
| Solo | Latitude | | | | | Longitude | | | | | | |
| RQ | 12°06'28.022"S | | | | | 48°31'47.147"W | | | | | | |
| LV | 11°37'40.149"S | | | | | 48°51'12.224"W | | | | | | |

RQ: Neossolo Quartzarenico; LV: Latossolo Vermelho; P-rem: Fósforo remanescente; P-Resina: Fósforo resina

Tabela 1. Classes, localização geográfica e caracterização química e física dos solos originais utilizados na incubação com diferentes doses de fosfato natural. Gurupi-TO, 2019.

| SiO ₂ | CaO | P ₂ O ₅ | K ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | FeO ₂ | N ₂ O | TiO ₂ | MnO |
|------------------|-------|-------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| -----%----- | | | | | | | | | |
| 58,03 | 12,14 | 9,30 | 2,57 | 1,72 | 7,47 | 3,72 | 0,12 | 0,40 | 0,30 |

Tabela 2. Características químicas do fosfato natural extraído em Taipas do Tocantins - TO

Fonte: RIALMA, 2019.

| FV | GL | Quadrado médio | | | | | | | |
|----------|----|----------------|----------|---------|-----------------------|---------|----------------------|----------------------|---------|
| | | P | Ca | Mg | K | H+Al | SiO ₂ | pH | SB |
| Solos(S) | 1 | 1.982,09* | 29,0280* | 2,2140* | 114.188,19* | 4,1070* | 1.329,07* | 3,5845* | 22,707* |
| Doses(D) | 4 | 423,41* | 0,7128* | 0,0859* | 66,5217 ^{ns} | 0,8345* | 6,9339 ^{ns} | 0,2558* | 1,2322* |
| S x D | 4 | 124,86* | 0,3987* | 0,1071* | 91,4354 ^{ns} | 0,4811* | 0,9529 ^{ns} | 0,0165 ^{ns} | 0,8712* |
| Resíduo | 20 | 14,38 | 0,1068 | 0,0296 | 56,6348 | 0,0380 | 3,8696 | 0,0189 | 0,2299 |
| Total | 29 | 4462,88 | 35,611 | 3,578 | 115.952,71 | 10,129 | 1438,011 | 5,053 | 35,720 |
| MÉDIA | | 14,3090 | 3,5863 | 1,4703 | 81,0396 | 1,6366 | 23,6746 | 6,0333 | 5,2640 |
| CV % (a) | | 26,51 | 9,11 | 11,70 | 9,29 | 11,91 | 8,31 | 2,28 | 9,11 |

. ns = Não significativo; * = Significativo a 5 %. FV = Fonte de Variação; GL = Grau de Liberdade; CV = Coeficiente de Variação.

Tabela 3. Resumo da análise de variância dos valores de P (fósforo), Ca (cálcio), Mg (magnésio), K (potássio), H+Al (acidez potencial), Si (silício), pH (potencial hidrogeniônico) e SB (soma de bases) em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com diferentes doses de fosfato natural. Gurupi-TO, 2019.

(TEIXEIRA et al., 2017) e Si (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) de acordo com (KORNDÖRFER et al., 2004).

Os dados foram submetidos à análise de variância, a 5% de significância e em seguida, as médias das doses aplicadas nos dois solos foram submetidas à análise de regressão. Nos casos onde não houve ajuste para regressão, usou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. O ajuste das relações obtidas entre as variáveis e as doses foi realizado por meio de modelos de regressão, assim como os gráficos confeccionados, sendo utilizado o software SigmaPlot®12.0 (SYSTAT, 2011), as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância (Tabela 3), foi observado efeito significativo entre a interação solo x dose para os valores nutricionais do solo de P, Ca, Mg, H+Al, SB. Na fonte de variação solos, foi observado efeito significativo para P, Ca, Mg, K, H+Al, SiO₂, pH, SB. Para a fonte de variação doses, nota-se efeito significativo para P, Ca, Mg, H+Al, pH, SB, diferiram ao nível de 5% de probabilidade em relação ao teste “F”.

Pode-se observar que para a variável P (Figura 1) houve influência significativa na medida em que se aumentaram as doses de fosfato natural aplicado, sendo que os melhores resultados para o solo arenoso foram na dose de 300 kg ha⁻¹ de fosfato natural, obtendo 38,53 mg dm⁻³ de P. Para o solo argiloso os melhores resultados foram nas doses de 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ de fosfato, sendo o ponto de máxima quando aplicado 482,65 kg de P₂O₅ obtendo 12,16 mg dm⁻³ de P. Como já era de se esperado, devido à constituição da rocha fosfática ser rica neste elemento, sua adição ocasionou elevação nos teores de fosforo no solo, sendo diretamente proporcional ao au-

mento da dose.

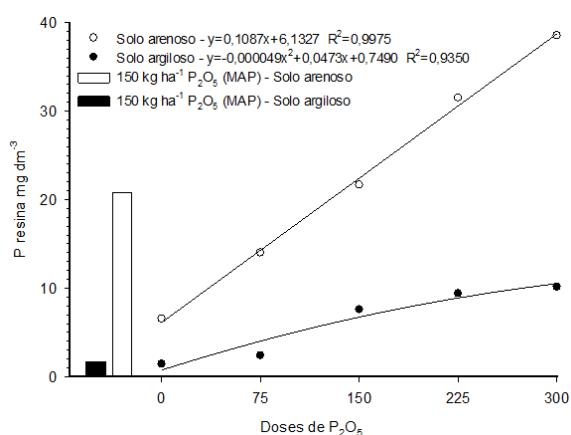


Figura 1. Teores de P em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com doses de fosfato natural. Gurupi – TO, 2019.

As condições típicas dos Latossolos, inicialmente pobres em fósforo, com predomínio de óxidos de ferro e de alumínio na fração argila, favorecem a intensa imobilização do P, demonstrando a necessidade da aplicação de grandes quantidades em toda a área através da fosfatagem corretiva (MELAMED et al., 2009), por essas condições o ponto máximo não aparece no gráfico, já que a dose maior testada foi de 300 kg ha⁻¹.

Pensando na melhor dose e no acréscimo do teor de P em relação à dose de 0 kg ha⁻¹, o aumento em porcentagem para solo arenoso e argiloso foi de 586,34% e 711,97%, respectivamente. Ao analisar a dose máxima de 300 kg de P₂O₅ ha⁻¹ do fertilizante fosfatado no experimento, a diferença na disponibilidade de fósforo entre os solos se mostra extrema: o solo argiloso apresentou um teor de apenas 9,3 mg dm⁻³ de P disponível, um resultado consideravelmente inferior ao observado no solo arenoso, que obteve 39,4 mg dm⁻³ na mesma dosagem, representando uma disponibilidade de 324% superior do nutriente e um incremento de aproximadamente 30,2 mg dm⁻³ no que tange ao conteúdo de argila.

Resultado semelhante, foi constatado por ALOVISI et al. (2017), após 120 dias de incu-

bação de um Latossolo Vermelho distroférri-co, argiloso, com aplicação de pó de basalto, foi observado um teor máximo de 9,33 mg dm⁻³ de P, com a dose de 14,32 mg ha⁻¹ do pó de basalto. A superestima desse elemento, também foi constatado por ESCOSTEGUY E KLAJT (1998), em solos que receberam pó de basalto.

O solo arenoso foi mais sensível a alteração da disponibilidade de P com o aumento da dose de fertilizante que o solo argiloso. Essa diferença de disponibilidade de P entre os solos estudados se deu, devido aos seus teores de argila serem contrastante. Nota-se que o solo arenoso teve seus teores elevados de uma forma mais rápida e linear, comparando com o solo argiloso, diferença observada também por SOUZA et al. (2017) relatando uma diferença de 42,3% na disponibilidade de P entre solos, arenoso e argiloso, mostrando que essa interação do íon de fosfato com o argilominerais presentes no solo aumenta a adsorção do nutriente, diminuindo a disponibilidade.

A adsorção do Fósforo P aos coloides do solo é um aspecto de grande relevância, pois varia em função do teor e da qualidade desses coloides. Para quantificar essa interação, desenvolveu-se o conceito de Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfato (CMAF) (RO-LIM NETO et al., 2004), que está fortemente correlacionada com a concentrações de Al₂O₃ e Fe₂O₃ presentes no perfil do solo (SCHAEFER et al., 2004). ALVAREZ et al. (1999) observaram que apesar da incorporação prévia de calcário, os solos LV, LVA, GX mantiveram os níveis de acidez potencial (H+Al) acima de 1,0 cmol_c dm⁻³, sendo esse resultado explicado pelo elevado teor de argila e pela maior capacidade tampão característica desses solos.

Para a variável Ca (Figura 2) ocorreu uma influência significativa na medida em que se aumentaram as doses do fosfato natural, com os melhores resultados para o solo argiloso foi na dose de 201 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em compa-

rarção com a testemunha, obtendo 4,91 cmol_c dm⁻³ de Ca, sendo o ponto de máxima eficiencia agronômica, com incremento de 25%. Já para o solo arenoso o melhor resultado foi na dose 300 kg ha⁻¹ de fosfato natural, obtendo 3,36 cmol_c dm⁻³ de Ca, com incremento de 40,59%.

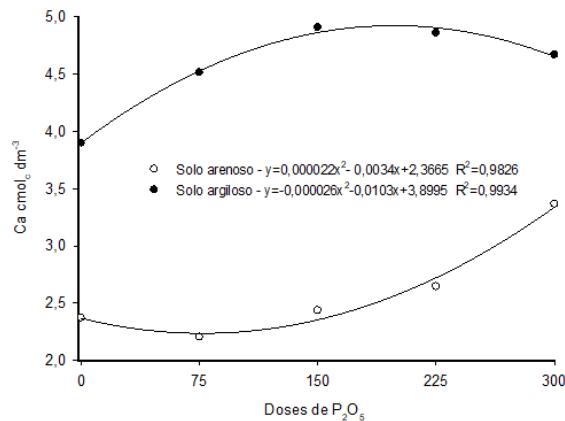


Figura 2. Teores de Ca em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com doses de fosfato natural. Gurupi – TO, 2019.

Resultados semelhantes foram observados por MAEDA et al. (2014), em que na aplicação de “farinha de rocha” em Latossolo Vermelho, onde os valores de Ca teve um aumento significativo, mesmo que pequeno, o produto avaliado mostrou potencial de liberação desse nutriente que pode ser disponibilizado às plantas.

Tendo em conta a variável Mg (Figura 3) houve uma interferência significativa na medida em que se elevaram as dose do fosfato natural aplicado, com os melhores resultados para o solo arenoso foram na dose de 300 kg ha⁻¹ de fosfato natural, obtendo 2,03 cmol_c dm⁻³ de Mg, representando um aumento de 13,41%. Para o solo argiloso o resultado mais satisfatório foi na dose 210 kg ha⁻¹ onde se encontrou 1,36 cmol_c dm⁻³ de Mg, sendo o ponto de máxima eficiencia agronômica de 47,83%.

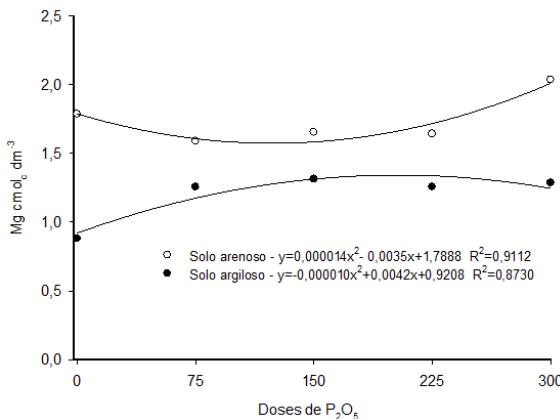


Figura 3. Teores de Mg em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com doses de fosfato natural. Gurupi – TO, 2019.

Os autores NICHELE (2006) e SILVA (2007) avaliaram o efeito da aplicação do pó de basalto em doses crescentes de até 10 t ha⁻¹ e não verificaram diferenças significativas dos teores de Mg entre os tratamentos, mas ambos observaram aumentos nos teores de magnésio com o incremento da dose do pó de basalto, comparando com o presente trabalho, o fosfato natural mostrou resultados positivos na análise de variância (Tabela 2), mesmo que os resultados não tenham sido consideravelmente elevados.

No entanto ALOVISI et al., (2017) observou um aumento linear nos teores de cálcio e magnésio do solo com o incremento das doses de pó de basalto, sendo esse efeito restrito ao período de 90 dias de incubação, com a utilização de 16 Mg ha⁻¹ do pó de basalto que foi responsável por ganhos de 1,11 e 0,57 cmol_c dm⁻³ nas concentrações de Ca e Mg, respectivamente.

A variável K (Figura 4), não demonstrou resultado significativo na análise de variância, comparando a dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (testemunha) com as demais estudadas. Devido ao fertilizante fosfatado não conter quantidades significativas de K (Tabela 1), o processo de incubação não mostrou diferença entre as doses, resultados que corroboram com outros

estudos, em que as doses de pó de basalto testadas não modificaram a interpretação desse nutriente no solo, no entanto mantendo-se nos teores adequados para as culturas anuais (SOUSA e LOBATO, 2004; ALOVISI et al., 2017). Apesar da baixa liberação constatada, pode haver impactos consideráveis sobre a nutrição de plantas principalmente de ciclo longo (VON WILBERT e LUKES 2003).

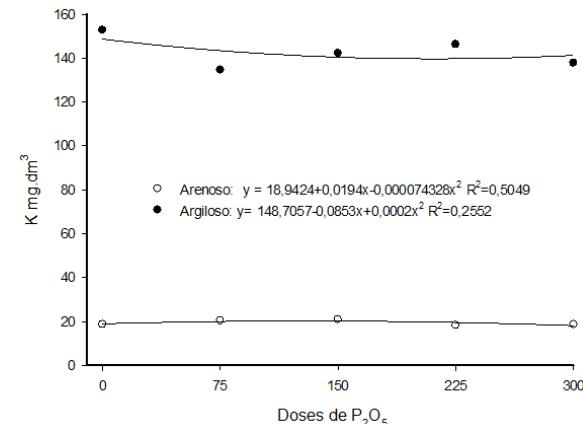


Figura 4. Teores de K em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com doses de fosfato natural. Gurupi – TO, 2019.

Em relação a acidez potencial H+Al (Figura 5) foi observado uma resposta decrescente de H+Al a medida em que se aumentou a dosagem de fosfato natural na incubação no solo argiloso tendo maior eficiência para a redução desse atributo passando de 3,16 para 1,63 cmol_c dm⁻³, enquanto que o tratamento solo arenoso decresceu de 1,35 para 1,26 cmol_c dm⁻³. Podemos analisar que todas doses para o solo argiloso obtiveram resposta positiva nesse quisito, com redução da acidez potencial. Na reação do calcário com o solo ácido ocorre a liberação de hidroxilos (OH⁻) que se ligam ao H e Al reduzindo a ação da acidez potencial (RHEINHEIMER et al., 2000).

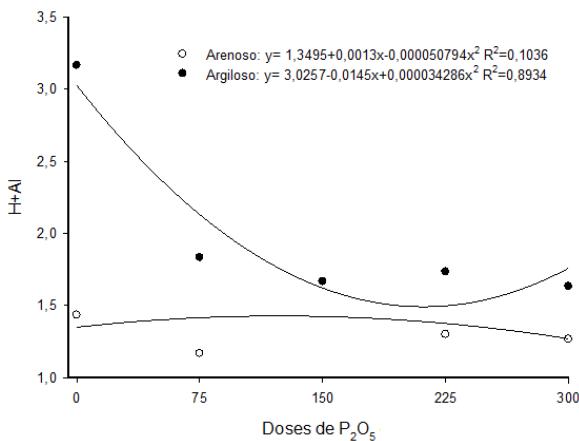


Figura 5. Teores de H+Al em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com doses de fosfato natural. Gurupi – TO, 2019.

Para a variável SiO₂ (Figura 6), houve diferenças a medida em que as doses foram aumentando, sendo a dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a que mais se destacou, tanto para o solo arenoso, quanto para o argiloso, tendo um incremento de 113,95% e 109,34% na respectiva ordem, com o ponto de máxima apresentando teores 31,20 e 18,26 mg dm⁻³, respectivamente.

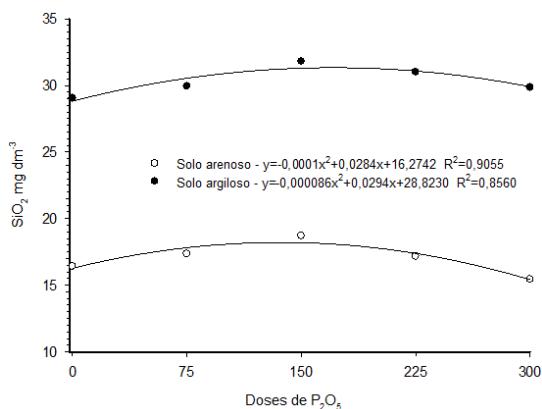


Figura 6. Teores de SiO₂ em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com doses de fosfato natural. Gurupi – TO, 2019.

Geralmente em comparação com solos arenosos, os solos com textura argilosa tendem a apresentar maiores níveis de silício em solução, devido a presença de filossilicatados, que são minerais de argila atuam como fontes contínuas de Si e Al através da sua liberação

gradual (MARAFON et al., 2011). Apesar de haver grande quantidade de silício no fosfato natural, este não está disponível para na solução do solo, o que explica a ausência de diferença estatística entre as doses (Figura 1).

A aplicação de silício na forma silicato de cálcio pode ser usado como técnica alternativa para reduzir a adsorção do fosfato a fase sólida do solo, através da liberação do ânion silicato, que passa a competir com o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção, saturando-os e, consequentemente, reduzindo a capacidade do solo de fixar o fósforo, o que aumenta a sua disponibilidade no solo (SANDIM et al., 2014).

Pode-se observar que para a variável pH (Figura 7) houve influência significativa na medida em que se aumentaram as doses do produto aplicado, sendo que os melhores resultados para o solo arenoso foram nas doses de 225 e 300 kg ha⁻¹ de rocha fosfática, obtendo 6,63 na dose de 300 kg ha⁻¹. Para o solo argiloso não houve diferença entre as doses 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ de fosfato natural, sendo o ponto de máxima quando aplicado 219,11 kg de P₂O₅ obtendo 5,85. Pensando na melhor dose e no acréscimo do pH em relação à dose de 0 kg ha⁻¹, o aumento em porcentagem para solo arenoso e argiloso foi de 9,04% e 10,37%, respectivamente.

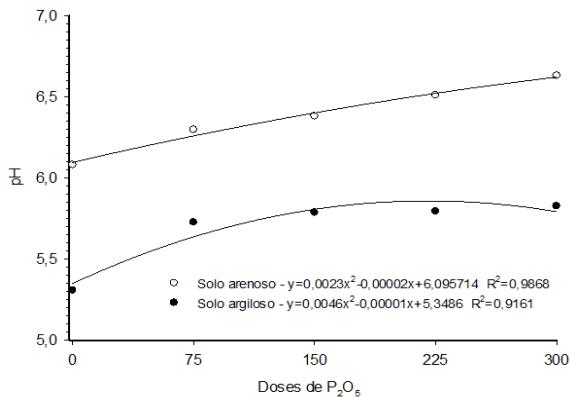


Figura 7. Teores de pH em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com doses de fosfato natural. Gurupi – TO, 2019.

O contrário foi observado por MAEDA et al. (2014) onde foi observado que a “farinha de rocha” não possui o poder de neutralização do pH, a matéria prima é oriunda de rocha metamórfica comparando os dois trabalhos notamos que a rocha fosfatada por ser de origem sedimentar, teve uma maior capacidade de neutralização do pH. O principal indicio é a capacidade de solubilidade da rocha fosfatada. PONTES et al. (2005) notou que empregando o pó de rocha MB-4 o pH do solo Neossolo Fluvico elevou, possivelmente devido aos elevados percentuais de MgO e de CaO contidos no MB-4.

Os Latossolos, por apresentarem avançando estágio de intemperismo, possuem maior quantidade de cargas variáveis, as quais dependem do pH, do que de cargas permanentes, as quais são originadas da substituição isomórfica no processo de formação mineral (BOLLAND et al., 1976; ANDA et al., 2008; MACHADO et al., 2011). O pó de rocha é apresentado como fonte de nutrientes de interesse agronomico, todavia outra funcionalidade já observada em estudos é a correção da acidez do solo elevando o pH inicialmente ácido (ALOVISI et al., 2017).

Solos arenosos tem menor granulometria, é composto predominantemente por maior quantidade da fração areia (SANCHES et al., 2024), em relação a argila e silte, fator que influencia a esse tipo de solo ter menor capacidade tampão (ALVAREZ et al., 1999), e menor resistência ao pH em relação a solos argilosos.

Na figura 8, observa-se que os valores de somas de bases (SB) apresentaram uma diferença significativa na medida em que se aumentaram as doses do produto aplicado, para o solo argiloso a dose superiores foram de 150 kg ha⁻¹ de rocha fosfática, o ponto de máxima se da quando aplicado 198,61 kg ha⁻¹ de P2O5 obtendo 6,62 cmol_c dm⁻³. Já o arenoso a melhor dose se deu a dose de 300 kg ha⁻¹ de

P2O5 onde obteve 5,44 cmol_c dm⁻³. Pensando na melhor dose e no acréscimo de SB em relação à dose de 0 kg ha⁻¹, o aumento em porcentagem para solo arenoso e argiloso foi de 129,52% e 127,27%, respectivamente.

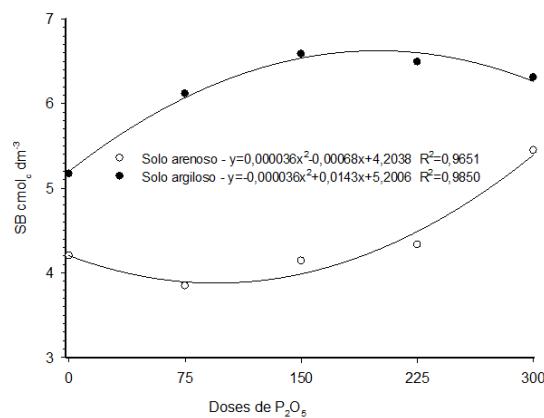


Figura 8. Teores de SB em solos com texturas arenosa e argilosa sob incubação com doses de fosfato natural. Gurupi – TO, 2019.

O comportamento para SB (Figura 8) se assemelhou ao de Ca (Figura 2). Alovisi et al (2017) obteve resultados semelhantes com incremento na soma de bases em doses crescentes de aplicação do pó de rocha, utilizando um Latossolo Vermelho, obtendo resultados entre 7 a 7,5 cmol_c dm⁻³. Sendo esses resultados devido ao aumento do cálcio e magnésio no solo.

CONCLUSÕES

As doses do fertilizantes fosfatado ocasionou aumento nos teores de P, Ca, Mg e SB.

O solo arenoso foi mais sensível ao incremento de P e Mg, comparado ao argiloso no qual foi possível observar teores mais elevados de Ca e K com as crescentes doses.

Houve alterações nos componentes da acidez do solo (pH e H+Al), nos quais, tanto o solo quanto as doses obtiveram efeitos positivos.

REFERÊNCIAS

- ALOVISI, A.M.T.; TAQUES, M. M.; ALOVISI, A. A.; TOKURA. L. K.; SILVA, R. S.; PIESANTI, G. H. L. M. Alterações nos atributos químicos do solo com aplicação de pó de basalto. *Acta Iguazu*, v.6, n.5, p.69-79, 2017.
- ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G. & Alvarez, V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5a Aproximação. Viçosa (MG), CFSEMG, p 359. 1999.
- ANDA, M., SHAMSHUDDIN, J., FAUZIAH, CI, & OMAR, SS. Mineralogia e fatores que controlam o desenvolvimento de carga de três Latossolos desenvolvidos a partir de diferentes materiais de origem. *Geoderma*, v. 143, n. 1-2, p. 153-167, 2008.
- BARROS, L. A. F.; FERREIRA, E. E.; PERES, A. E. C. Floatability of apatites and gangue minerals of an igneous phosphate ore. *Minerals Engineering*, v. 21, n. 12-14, p. 994-999, 2008.
- BATISTA, M.A., INOUE, T.T., ESPER NETO, M., and MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, , pp. 113-162. 2018
- BOLLAND, M. D. A.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Surface charge on kaolinite in aqueous suspension. *Australian Journal of Soil Research*, v. 14, n. 1, p. 197-216, 1976.
- CABRAL, C.E.A.; CABRAL, L.S.; SILVA, E.M.B; CARVALHO, K.S; KROTH, B.E.; CABRAL, C.H.A. Resposta da Brachiaria brizantha cv. Marandu a fertilizantes nitrogenados associados ao fosfato natural reativo. *Comunicata Scientiae*, v. 7, n. 1, p. 66-72, 2016.
- CARVALHO, J. S.; NUNES, B. H. D. N.; LUZ, J. H. S.; RIBEIRO, E. A.; OLIVEIRA, H. P.; FREITAS, G. A.; MARQUES, L. C.; ALEXANDRINO, G. C.; SILVA, R. R. Sobrecalagem na Construção da Fertilidade de Latossolo Vermelho Amarelo com Diferentes Fontes de Fósforo. *Jornal Internacional de Ciências de Plantas e Solo*, v. 32, n. 1, p. 99-106, 2020.
- CORREA, R. M., DO NASCIMENTO, C. W. A., & da ROCHA, A. T. Phosphorus adsorption in ten soils from Pernambuco State and its relations with physical and chemical parameters. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 1, p. 153-160, 2011.
- D'OLIVEIRA, P, S; ROCHA, W, S, D; MARTINS, C, E. **Uso de pó de rocha em plantas forrageiras**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2023. 16 p. (Comunicado Técnico, 96).
- DIAS, D. C. R.; CALDAS, J. V. S.; POLIDORO, J. C.; ZONTA, E.; MATTOS, B. B.; GONÇALVES, R. G. M.; TEIXEIRA, P. C. Desempenho de um fertilizante mineral misto produzido a partir de fosfato natural sedimentar. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 5, p. 21-31, 2020.
- DIAS, L. P. R., GATIBONI, L. C., ERNANI, P. R., MIQUELLUTI, D. J., CHAVES, D. M., & BRUNETTO, G. Substituição parcial de fosfato solúvel por natural na implantação de *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii* no planalto sul catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 516-523, 2014.
- ESCOSTEGUY, P.A.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v. 22, n. 1, p.11-20, 1998.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FIXEN, P. E.; LUDWICK, A. E. Residual Available Phosphorus in Near-Neutral and Alkaline Soils: I. Solubility and Capacity Relationships. *Soil Science Society of America Journal*, v. 46, p. 332, 1982.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34 p. (Boletim técnico, 2).

LANGE, A.; Diel, D.; CARVALHO, F.F.; MACHADO, R.A.F.; ZANUZO, M.R.; Silva, A.; BUCHELT, A.C. Fontes de fósforo na adubação corretiva em arroz de terras altas em cultivo de primeiro ano. *Revista de Ciências Agroambientais*, v. 14, n. 1, p. 67-75, 2016.

LIMA, A. L. da S.; TAVARES FILHO, G. S.; BATISTA, M. E. P. Atributos químicos do solo influenciados por aplicações de biofertilizante. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, [S. l.], v. 13, n. 27, p. 59–71, 2024.

MACHADO FILHO, G. C.; SANTOS, M. M.; SANTOS, M. G.; FIDELIS, R. R.; LIMA, S. O.; FREITAS, G. A. Influência de doses de fosfato de rocha na disponibilidade de nutrientes em diferentes classes de solos do Tocantins. *Revista Agri-Environmental Sciences*, Palmas, v. 10, 2024.

MACHADO, Alini Taichi da Silva; BERTAGNA, Filipe Augusto Bengosi; SANTOS, Patrícia dos; FIGUEIREDO, Rodolfo; SOUZA JUNIOR, Ivan Granemann de; COSTA, Antônio Carlos Saraiva da. *Cargas superficiais de um Latossolo após aplicação de adubos orgânicos, inorgânicos e resíduos industriais*. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 8., 2011, Maringá. *Anais eletrônicos...* Maringá: Editora Cesumar, 2011.

MAEDA, S.; DA SILVA, H.D.; BOGNOLA, Itamar Antonio. Efeito de rocha moída em características químicas do solo e no desenvolvimento de eucalipto. In: Embrapa Florestas- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3, Campinas. *Anais: resumos expandidos*. Curitiba: Malinovski, 2014., 2014.

MARAFON, A. C. Adubação silicatada em cana-de-açúcar é alvo de estudo da EMBRAPA 2011.

MASSENSSINI, A. M., TÓTOLA, M. R., BORGES, A. C., & COSTA, M. D. Solubilização potencial de fosfatos mediada pela microbiota rizosférica de eucalipto cultivado em topossequência típica da Zona da Mata Mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 3, p. 692-700, 2015.

MELAMED, R.; GASPAR, J.; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. Rio de Janeiro: CETEM, 24 p. (Série Estudos e Documentos. Versão Provisória, SED-72), 2007.

NICHELE, E. R. Utilização de pó de rochas no desenvolvimento e nutrição do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). 2006. 65 f. [Dissertação de Mestrado] – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages..

NOVAIS, R.E; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.E; FONTES, R.L.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017p. 2007.

PELUCO, R. G., MARQUES, J., SIQUEIRA, D. S., PEREIRA, G. T., BARBOSA, R. S., TEIXEIRA, D. D. B. Mapeamento do fósforo adsorvido por meio da cor e da suscetibilidade magnética do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 03, p. 259-266, 2015.

PONTES A.S.C.; ARAÚJO F.P.; ARAÚJO J.F.; MOUCO M.A.; BOAS R.L.V.; FERNANDES D.M.. Emprego do pó de rocha mb-4 sobre a produção do coentro. In: **Congresso brasileiro de agroecologia**. 2005.

RAIJ, B.V; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 170p. 1987.

REZENDE, C. G. B., BONFIM-SILVA, E. M., SILVA, T. J. A., CABRAL, C. E. A.; SCHLICHTING, A. F. Fosfato natural reativo na adubação do capim piatã em Latossolo Vermelho do Cerrado. *Agrarian*, v. 9, n. 31, p. 56, 2016.

RHEINHEIMER, D.S., GATIBONI, L.C., KAMINSKI, J., ROBAINA, A.D., BRUNETTO, G., SAGGIN, A. **Acidez do solo e consumo potencial de calcário no Estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, Departamento de Solos, 32p. (Boletim técnico, 1), 2000.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5 a aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 359

ROLIM NETO, F. C., SCHAEFER, C. E. G. R., COSTA, L. M., CORRÊA, M. M., FERNANDES FILHO, E. I., & IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 953-964, 2004.

SANCHES, G. K., SALVIANO, O. D. S., BRAGA, Í. G., ADJERAN, O. K. J., TAVARES, R. K., JUNIOR, A. F. N., & LIMA, H. N. Caracterização de solos arenosos em Campinaranas da região metropolitana de Manaus, Amazonas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, n. 1, p. 594-608, 2024.

SANDIM, A.S. BÜLL, L.T. FURIM, A.R. LIMA, G.S. GARCIA, J.L.N. Phosphorus availability in oxidic soils treated with lime and silicate applications. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1215-1222, 2014.

SANYAL, S.K.; DATTA, S.K. de. Chemistry of Phosphorus Transformations in Soil. *Adv Soil Sci*. Springer, New York, NY; p. 1-120, 1991.

SCHAEFER, C.E.G.R.; GILKES, R.J. & FERNANDES, R.B.A. EDS/SEM study on microaggregates of Brazilian Latosols, in relation to P adsorption and clay fraction attributes. *Geoderma*, 20:1-33, 2004.

SILVA. A. **Efeito do pó de basalto nas propriedades químicas do solo, nutrição e produtividade do feijoeiro e na nutrição de Eucalyptus benthamii**. 2007. 69 p. (Dissertação de mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 414 p. 2004.

SOUZA, R.D. de; PEGORARO, R.F.; REIS, S.T. dos. Disponibilidade de fósforo e produção de biomassa de pinhão manso em solos com distintas texturas e doses de fósforo. **REV AGROAMBIENTE ON-LINE**. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima; v. 11, p. 1-10. 2017.

SYSTAT SOFTWARE. **SigmaPlot® 12.0** [software]. San Jose, CA: Systat Software Inc., 2011. Disponível em: <<https://systatsoftware.com>>. Acesso em: 22 out. 2019.

TEIXEIRA, P. C; DONAGEMMA, G, K; FONTANA, A; TEIXEIRA, W, G. 3. (ed). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

VINHA, A. P. C., CARRARA, B. H., SOUZA, E. F. S., SANTOS, J. D., ARANTES, S. A. C. M. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. *Nativa*, v. 9, n. 1, p. 30-35, 2021.

VON WILBERT, K; LUKES, M. Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulphate in a sprucestand on an acidified glacial loam. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, v. 65, n. 2, p.115–127, 2003.