



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
CURSO DE AGRONOMIA**

SUELLE SOUSA DE ARAUJO

**PODER TAMPÃO NA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM NO SUL DOS ESTADOS
DE TOCANTINS E GOIÁS**

**GURUPI - TO
2019**

SUELLE SOUSA DE ARAUJO

**PODER TAMPÃO NA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM NO SUL DOS ESTADOS
DE TOCANTINS E GOIÁS**

Monografia apresentada à UFT - Universidade Federal do Tocantins - Campus Universitário de Gurupi para obtenção do título de Agrônoma sob orientação do Prof. Dr. Rubens Ribeiro da Silva e coorientação da Ma. Ângela Franciely Machado.

GURUPI -TO

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A663p Araujo, Suelle Sousa de .
Poder tampão na recomendação de calagem no sul dos estados de Tocantins e Goiás. / Suelle Sousa de Araujo. – Gurupi, TO, 2019.
26 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Agronomia, 2019.
Orientador: Rubens Ribeiro da Silva
Coorientadora : Ângela Franciely Machado

1. Fósforo remanescente. 2. Textura . 3. Ajuste equacional . 4. Matéria orgânica. I. Título

CDD 630

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

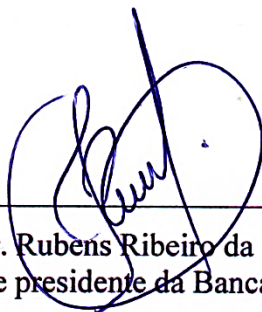
SUELLE SOUSA DE ARAUJO

**PODER TAMPÃO NA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM NO SUL DOS ESTADOS
DE TOCANTINS E GOIÁS**

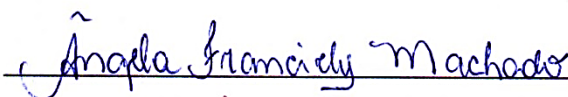
Monografia foi avaliada e apresentada à UFT -
Universidade Federal do Tocantins - Campus
Universitário de Gurupi, Curso de Agronomia, para
obtenção do título de Agrônoma e aprovada em sua
forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 14 / 12 / 2019

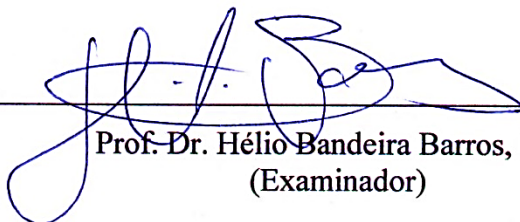
Banca Examinadora



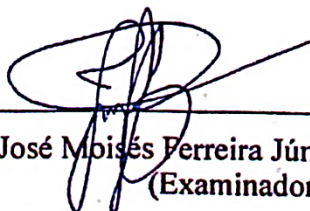
Prof. Dr. Rubens Ribeiro da Silva, UFT
(Orientador e presidente da Banca Examinadora)



Ma. Ângela Franciely Machado, UFT
(Coorientadora e examinadora)



Prof. Dr. Hélio Bandeira Barros, UFT
(Examinador)



Me. José Moisés Ferreira Júnior, JSF Florestal
(Examinador)

Dedico

A Deus, pelo dom da vida, pelo amor, proteção, por ser minha força e amparo.

A minha família, pelo amor incondicional, pelo apoio, cuidado e por ser meu porto seguro em todos os momentos da vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a Nossa Senhora, pelo amor, proteção, por direcionar e abençoar a minha vida, por ser minha força e amparo diante das dificuldades.

A minha família, em especial aos meus pais Doralice Antonio de Araujo e Jesumar da Conceição Pinto Sousa, e aos meus irmãos, Kasielle Sousa de Araujo, Judson Araujo Pinto e Wdson Araujo Pinto, pelas orações, pelo amor incondicional, por acreditarem nos meus sonhos e não medirem esforços para que eu pudesse realiza-los.

Aos meus padrinhos, primos, e cunhados, pelo carinho e apoio na realização deste sonho.

Aos meus queridos e amados afilhados, por suportarem a minha ausência durante essa fase da vida cheia de descobertas e aprendizados, e grata as comadres por não deixar a distância interferir no amor, respeito e cuidado que tenho para com eles.

Aos meus avós maternos (*in memoriam*), cuja a presença e ensinamentos foram essenciais e em muito contribuíram para a mulher que sou hoje.

Aos meus amigos, presentes que essa caminhada me proporcionou, os quais quero levar para toda vida, pela atenção, pelo amor, carinho, dedicação em ajudar, e pelo ombro amigo nos dias difíceis.

Ao meu orientador Rubens Ribeiro da Silva, por ter me acolhido e aceitado orientar, por todos os ensinamentos acadêmicos e para a vida, por ser meu exemplo.

A minha coorientadora Ângela Franciely Machado, por toda paciência, dedicação e ensinamentos.

Ao João Henrique Luz, pelo auxílio nas análises estatísticas e toda contribuição para realização deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Hélio Bandeira Barros e José Moisés Ferreira Júnior, pela prontidão e apoio.

As empresas, Agro Projetos & Consultorias e Sul Goiano Agro, por contribuírem com a realização e crescimento deste trabalho.

A Universidade e ao seu corpo docente, pelo comprometimento com o ensino de qualidade.

E a todas as demais pessoas que de forma direta ou indiretamente contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal.

RESUMO

A utilização da argila como estimador da resistência do solo a mudança do pH apresenta desvantagens, isso por não considerar todos os fatores que exercem influência sob a capacidade tampão do solo, diferente do uso do fósforo remanescente que determina o poder tampão do solo considerando o teor de argila, a sua mineralogia, a quantidade e a qualidade da matéria orgânica. Objetivou-se com este trabalho, avaliar o uso do fósforo remanescente comparativamente ao uso da argila como indicador do poder tampão do solo, e assim estabelecer um ajuste equacional que possibilite o uso deste estimador para recomendação de calagem. O trabalho foi realizado em parceria estabelecida entre a Universidade Federal do Tocantins e as empresas Agro Projetos & Consultorias e Sul Goiano Agro. As amostras de solos são provenientes de fazendas na região sul do estado do Tocantins e sul do estado de Goiás, os quais foram divididos de acordo com o teor de argila em um intervalo 5%, somando um total 130 amostras. O poder tampão determinado pelo indicador fósforo remanescente mostrou-se diferente do calculado por meio da textura. O ajuste equacional múltiplo comparado ao simples possibilitou maior precisão, e este mostrou-se confiável de uso quando comparado aos índices tampão e recomendação de calagem pelo uso do fósforo remanescente.

Palavras-Chave: Fósforo remanescente, textura, ajuste equacional, matéria orgânica.

ABSTRACT

The use of clay as estimator of soil resistance the change of pH presents disadvantages, this because it does not consider all factors that influence under the buffer capacity of the soil, different from the use of the remaining phosphor that determines buffer power considering the clay content, its mineralogy, quantity and quality of organic matter. The objective of this work was to evaluate the use of the remaining phosphorus compared to the use of clay as an indicator of soil buffer power, and thus establish an equation adjustment that allows the use of this estimator for liming recommendation. The work was carried out in a partnership established between the Federal University of Tocantins and the companies Agro Projetos & Consultorias and Sul Goiano Agro. The work was carried out in a partnership established between the Federal University of Tocantins and the companies Agro Projetos & Consultorias and Sul Goiano Agro. Soil samples come from farms in the southern region of the state of Tocantins and southern Goiás state, which were divided according to the clay content in an interval of 5%, adding a total of 130 samples. The buffer power determined by the remaining phosphorus indicator was different from that calculated by means of texture. Multiple equation adjustment compared to simple enabled greater accuracy, and this was reliable of use when compared to buffer indices and liming recommendation by the use of the remaining phosphorus.

Keywords: Remaining phosphorus, texture, equation adjustment, organic matter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Poder tampão dos solos do sul do estado do Tocantins (A), Goiás (B) e para o conjunto de dados (C), determinados a partir da argila, do fósforo remanescente de acordo com o teor de argila. Gurupi – TO, 2019..... 15
- Figura 2.** Regressão linear do poder tampão pela classe textural do solo e pelo fósforo remanescente, para os solos do sul do estado do Tocantins (A), Goiás (B), e para o conjunto de amostras analisadas (C). Gurupi – TO, 2019..... 16
- Figura 3.** Correlação do poder tampão pela classe textural do solo e pelo fósforo remanescente, para todos os solos. Gurupi-TO, 2019.....17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Denominação das propriedades agrícolas, município e estado de localização dos solos utilizados no experimento. Gurupi – TO, 2019.....	11
Tabela 2. Características físicas e químicas de uma amostra de solo da região sul do Tocantins, para uso na determinação do poder tampão. Gurupi – TO, 2019.....	13
Tabela 3. Valores médios de atributos do solo, para caracterização da fertilidade do solo por classe textural. Gurupi – TO, 2019.....	14
Tabela 4. Comparativo pelo teste de média Tukey de acordo com os métodos de determinação do poder tampão para as classes texturais e a necessidade de calagem para uma amostra do sul do estado do Tocantins. Gurupi – TO, 2019.....	20

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1	Etapa 1: Amostragem e coleta dos solos, caracterização química e física	11
2.1.1	Análises de atributos químicos e físicos do solo	12
2.2	Etapa 2: Separação dos solos em função do teor de argila, determinação do fósforo remanescente e do poder tampão do solo	12
2.3	Análise estatística	13
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.	CONCLUSÃO.....	21
	REFERÊNCIAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

A agricultura e a pecuária são grandes impulsionadores da economia brasileira, sendo reconhecidamente setores competitivos e eficientes no cenário mundial. Os grandes avanços vivenciados na agropecuária e a consolidação do Brasil no panorama mundial, deve-se dentre outros fatores as muitas pesquisas, e ao gradativo acolhimento do produtor as tecnologias geradas (DE BARROS et al., 2019).

O crescimento da agricultura, tem se dado, principalmente, em direção aos solos do Cerrado, os quais possuem boas condições quanto as propriedades físicas e topografia totalmente favorável a mecanização (FAGUNDES et al., 2019). Contudo, solos desse ecossistema são bastante intemperizados, com elevada acidez e de baixa fertilidade natural (CELESTRINO et al., 2019).

A conversão de terras antes tidas como inapropriadas ao cultivo, em ambientes propícios ao desenvolvimento de culturas, se deu pela disseminação das técnicas de correção da acidez e da aplicação de fertilizantes (DE RESENDE et al., 2016). Tendo em vista que a eficiência da utilização de fertilizantes é menor em solos ácidos, por alterar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a calagem torna-se uma técnica indispensável e a primeira a se realizar em busca de altas produtividades (PRIEBE et al., 2018).

A quantidade de corretivo necessária para neutralizar o teor de alumínio tóxico no solo, está relacionada não somente com a valor do pH, mas também com seu poder tampão. A necessidade de calagem é maior em solos que apresentam maior capacidade de tamponamento, e aqueles com menor capacidade necessitam de uma menor quantidade de corretivo para neutralizar a acidez do solo (AGEGNEHU; YIRGA; ERKOSSA, 2019).

Existem alguns métodos para a recomendação de calagem no Brasil, sendo esses, variáveis segundo os objetivos e princípios analíticos envolvidos. Desses, pode-se destacar principalmente para a região do Cerrado, o uso do método de saturação por bases e o método de neutralização do alumínio e da elevação dos teores de cálcio e magnésio (CFSEMG, 1999).

O método de saturação por bases, baseia-se na relação existente entre a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e os teores disponíveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , buscando aumentar a porcentagem desses nutrientes ocupando a CTC, de acordo com a cultura a ser implantada. No método de neutralização de Al^{3+} com elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , são considerados características do solo (poder tampão), a tolerância da cultura a acidez trocável e o suprimento de cálcio e magnésio (PAYE et al., 2019).

O poder tampão é definido como a capacidade que o solo tem de resistir as mudanças do pH (LIMA; SOUZA-JUNIOR; COSTA, 2017). Essa capacidade relaciona-se de modo direto com os teores e o tipo de argila, CTC e matéria orgânica (M.O.) no solo (RONQUIM, 2010). Sua determinação pode ser realizada com uso da textura do solo e pelo valor do fósforo remanescente (TEXEIRA et. al, 2017).

O poder tampão calculado com base na textura são estratificados de 0 a 4 de acordo com a classe textural. O fósforo remanescente é definido como a quantidade de fósforo que permanece na solução de equilíbrio em resposta a uma concentração de fósforo adicionada ao solo, este é dividido em seis intervalos para determinação do índice tampão, o qual varia assim como na argila, em valores de 0 a 4 (CFSEMG, 1999).

O uso do fósforo remanescente como estimador da resistência do solo a mudança do pH apresenta vantagens em relação ao método da textura por não depender somente do teor da argila, mas também da sua mineralogia e da quantidade e qualidade da M.O. (CFSEMG, 1999). Porém, sua determinação em análises de rotina não é muito usual e possui um custo elevado, o que tornaria uma recomendação com do fosforo remanescente mais onerosa. Objetivou-se com este trabalho, avaliar o uso do fósforo remanescente comparado ao uso da argila como indicador do poder tampão do solo, e assim estabelecer um ajuste equacional que possibilite o uso deste estimador para recomendação de calagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em parceria estabelecida entre a Universidade Federal do Tocantins (UFT) e as empresas Agro Projetos e Consultorias e Sul Goiano Agro. O projeto foi executado em duas etapas, onde a primeira foi realizada pelas empresas parceiras, e a segunda nas dependências da UFT. Na universidade, o trabalho foi conduzido no Laboratório de Solos – LABSOLO, Campus Universitário de Gurupi, localizado na região sul do Tocantins, coordenadas 11°43'45" de latitude sul e 49°04'07" de longitude oeste.

As amostras de solos estudadas foram coletadas em áreas cultivadas do sul dos estados do Tocantins e Goiás, safra 2019/20. A etapa 1 do trabalho correspondeu a amostragem e coleta dos solos, e sua caracterização química e física. Na etapa 2, foi realizada a triagem dos solos em função do teor de argila, determinado o fósforo remanescente (P-rem) e poder tampão. Posteriormente, os dados submetidos a análise estatística.

2.1 Etapa 1: Amostragem e coleta dos solos, caracterização química e física

Os solos do presente estudo foram coletados no sul dos estados do Tocantins e Goiás (Tabela 1), cultivados com a cultura da soja em sistema de plantio direto e com frequentes práticas de correção do solo.

Tabela 1. Denominação das propriedades agrícolas, município e estado de localização dos solos utilizados no experimento. Gurupi – TO, 2019.

Nome da propriedade	Município e Estado
Fazenda São Carlos	Formoso do Araguaia - TO
Fazenda São Caetano	Goiatuba - GO
Fazenda Lírio do Vale	Goiatuba - GO
Fazenda São Jorge	Goiatuba - GO
Fazenda Santo Antônio	Goiatuba - GO
Fazenda Paraíso dos Bois	Goiatuba - GO
Fazenda São Bento de Cima	Goiatuba - GO
Fazenda Paraíso	Goiatuba - GO
Fazenda Morro Alto	Morrinhos - GO

Fonte: Autor, 2019.

2.1.1 Análises de atributos químicos e físicos do solo

Para realização das análises, as amostras foram identificadas, destorroadas e peneiradas em peneira de 2 mm, obtendo assim a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

pH: A determinação do pH foi realizada utilizando o procedimento de Texeira et al. (2017), em solução CaCl_2 (0,01 M), por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido (CaCl_2), na proporção 1:2,5.

Fósforo (P) e Potássio (K^+): O fósforo e o potássio foram determinados a partir da metodologia descrita por Texeira et al. (2017), utilizando extrator Mehlich⁻¹; o fósforo foi lido em espectrofotômetro a 660 nm (transmitância), e o potássio em fotômetro de chama.

Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}): Esses atributos foram determinados utilizando o extrator KCl 1,0 mol. L⁻¹. Método complexiométrico empregando EDTA, (Ca e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio (Al^{3+}), a partir da metodologia descrita por Texeira et al. (2017),

Hidrogênio + Alumínio: Foram obtidos em solução de acetato de cálcio com leitura em phmetro, conforme método descrito por Camargo et al. (2009).

Matéria Orgânica (M.O.): O teor de matéria orgânica no solo foi determinado através de leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 650 nm de acordo com a metodologia estabelecida por Silva (2009).

Argila: O procedimento utilizado para determinação do teor de argila foi o da densidade, descrito por Texeira et al. (2017),

2.2 Etapa 2: Separação dos solos em função do teor de argila, determinação do fósforo remanescente e do poder tampão do solo

As análises de fósforo remanescente foram realizadas no Laboratório de Solos da UFT - LABSOLO, os quais foram divididos de acordo com o teor de argila em um intervalo 5%, somando um total 130 amostras.

Fósforo Remanescente (P-rem): O fósforo remanescente foi obtido utilizando o procedimento descrito por Defilipo e Ribeiro (1997), com leitura em absorbância no Espectrofotômetro de UV VIS no comprimento de onda de 725 nm.

A determinação do poder tampão do solo (Y) foi realizada de acordo com o teor de argila e com a teor de fósforo remanescente, respectivamente equações 1 e 2.

$$Y = 0,0302 + 0,06532\text{Arg} - 0,000257\text{Arg}^2 \quad R^2: 0,9996 \quad \text{Equação 1}$$

$$Y = 4,002 - 0,125901\text{P-rem} + 0,001205\text{P-rem}^2 - 0,00000362\text{P-rem}^3 \quad R^2: 0,9998 \quad \text{Equação 2}$$

O método utilizado para recomendação foi o de Neutralização de Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , divididos nas suas seguintes fórmulas: Necessidade de Calagem (NC), representada na equação 3, Correção da Acidez do Solo (CA) até certo valor de máxima saturação por Al^{3+} de acordo com a cultura e poder tampão do solo, demonstrada na equação 4, e Correção da deficiência de Ca^{2+} e Mg^{2+} (CD) de acordo com as exigências da cultura (X), equação 5.

$$NC = CA + CD \quad \text{Equação 3}$$

$$CA = Y[Al^{3+} - (m.t/100)] \quad \text{Equação 4}$$

$$CD: X - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad \text{Equação 5}$$

2.3 Análise estatística

Os dados foram analisados com auxílio do software R[®] versão 3.5 (TEAM, 2013), submetidos a análise de regressão para o poder tampão estimado pela textura e P-rem. A análise de componentes principais (ACP) foi realizada afim de determinar os atributos químicos do solo que mais se correlacionam com o poder tampão estimado pelo P-rem (Y P-rem) em função dos solos arenosos, textura média e argilosos.

Depois de selecionada as variáveis, realizou-se análise de regressão linear múltipla elaborando modelos que representassem o Y P-rem. Os gráficos foram plotados utilizando o programa estatístico Sigma Plot[®] versão 10.0 (SISTAT, 2014).

Utilizando os dados do poder tampão de acordo com a textura, fósforo remanescente e Y estimado, realizou-se análise de variância de acordo com cada classe textural, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Realizou-se para uma amostra (Tabela 2) a determinação da necessidade de calagem (NC), de acordo com a classe textural, fósforo remanescente e o poder tampão estimado a partir da equação.

Tabela 2. Características físicas e químicas uma amostra de solo da região sul do Tocantins, para uso na determinação da necessidade de calagem. Gurupi – TO, 2019.

Ca+Mg	Al	H+Al	SB	CTC	K	P-rem	M.O.	pH	Areia	Silte	Argila	V%
-----	cmol _c	dm ⁻³	-----	-----	mg	dm ⁻³	g	CaCl ₂	-----	(%)	-----	-----
1,9	0,50	2,50	2,43	4,43	12	5,71	1,40	4,4	75,5	5	20,0	43,6

Fonte: Autor, 2019.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação da fertilidade do solo é possível quando analisados os valores médios por classe textural dos nutrientes e outros atributos do solo (Tabela 3). De acordo com CFSEMG (1999), os solos de textura arenosa analisados no trabalho, enquadram-se entre baixa e média fertilidade. Os valores do K e da M.O. são enquadrados como baixos, e o P, Ca+Mg, Soma de Bases (SB), CTC, Capacidade de Troca Catiônica efetiva (CTC_i), e Saturação por Bases (V%) são considerados médio. Já os solos da classe textural média e argilosa caracterizam-se entre média e boa fertilidade, onde os teores de K, Ca+Mg, e a SB são considerados bons para ambas classes, os demais são classificados como médios, exceto a V% da textura média e o teor de P da argilosa que se sobressaem separadamente.

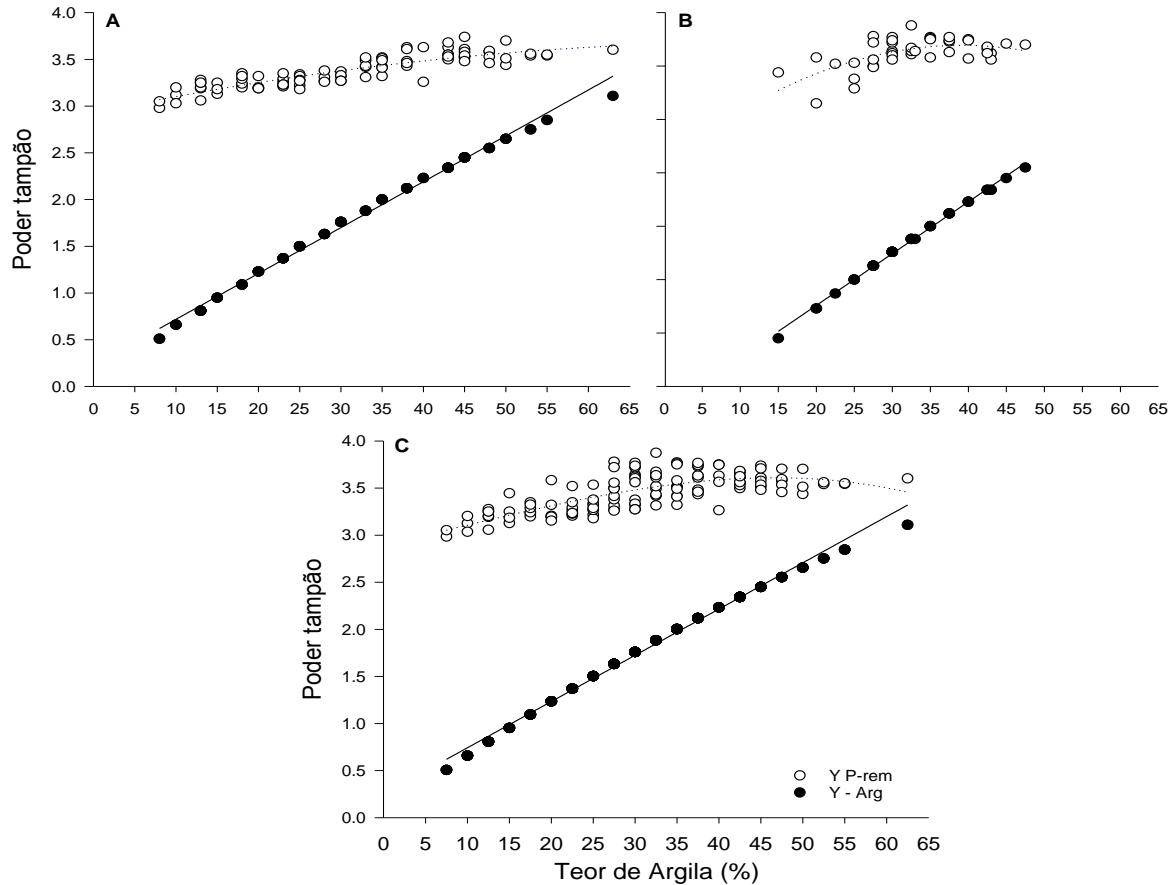
Tabela 3. Valores médios de atributos do solo, para caracterização da fertilidade por classe textural. Gurupi – TO, 2019.

Atributos químicos	Classes Textural		
	Arenosa	Média	Argilosa
pH	5,45	5,64	5,20
P (cmol _c dm ⁻³)	26,0	19,8	13,2
K (cmol _c dm ⁻³)	39,5	74,7	79,5
Ca + Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,35	3,75	3,49
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,01	0,01	0,07
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	1,49	2,02	2,93
MO (dag/kg)	1,25	2,20	2,78
S.B (cmol _c dm ⁻³)	2,45	3,95	3,69
CTC _i (cmol _c dm ⁻³)	2,46	3,95	3,76
CTC (cmol _c dm ⁻³)	3,93	5,96	6,63
V (%)	60,0	64,7	54,5

M.O. (Matéria Orgânica= 1,724*CO), **S.B** (Soma de bases = K + Ca²⁺ + Mg²⁺ + Na⁺), **CTCt** (Capacidade de trocas de cátions efetiva = SB+Al), **CTC** (Capacidade de trocas cátions a pH 7 = SB+(H+AL³⁺)). **V** (Saturação por bases = 100 SB/T). Fonte: Autor, 2019.

O poder tampão determinado a partir da argila, pelo fósforo remanescente e a sua variação em função do aumento do teor de argila no solo, para o sul dos estados do Tocantins e Goiás separadamente, e para todas as amostras dos dois estados analisadas em conjunto, estão dispostos nos gráficos da figura 1.

Figura 1. Poder tampão dos solos do sul do estado do Tocantins (A), Goiás (B) e para o conjunto de dados (C), determinados a partir da argila, do fósforo remanescente de acordo com o teor de argila. Gurupi – TO, 2019.



Fonte: Autor, 2019.

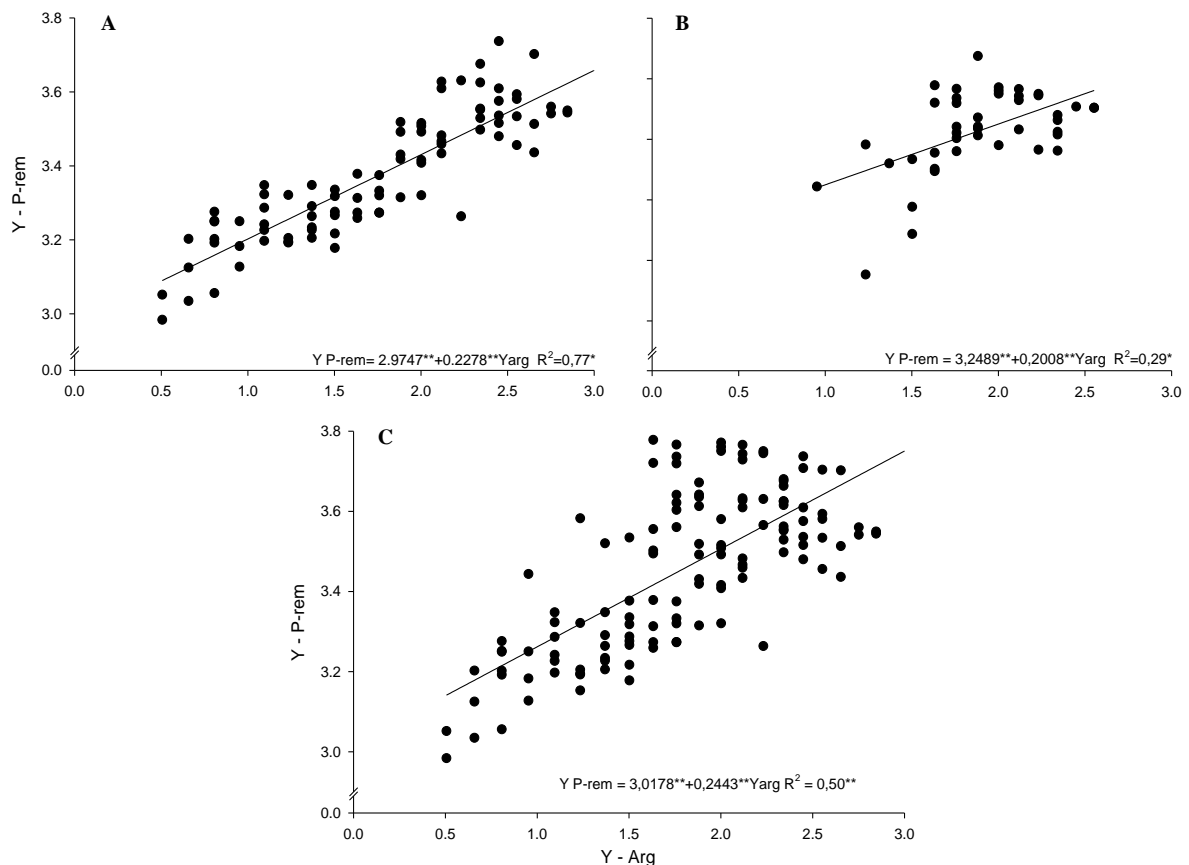
Independente da localidade, observa-se que a medida que o teor de argila é aumentado há também um acréscimo no valor do poder tampão pelo método da argila. O mesmo comportamento não é notado quando se analisa a partir do fósforo remanescente, mantendo-se o ultimo mais constante. Segundo Donagemma et al. (2008), a adsorção de fosfato é maior na fração argila, seguida do silte, areia fina e areia grossa. Isso se dá pela diferença da superfície específica das frações texturais.

Comparando-se as duas técnicas pode-se observar que a diferença do poder tampão é maior em solos com baixo teor de argila e diminuída em função do seu acréscimo. Quando se faz uso da textura para definir o poder tampão do solo, o índice de tamponamento 3 é atingido em solos com argila acima de 60%. Entretanto, esse mesmo índice é obtido em solos arenosos

com teor de argila de aproximadamente 10%, usando o P-rem. Isso demonstra que o poder tampão estimado pelo P-rem se relacionado a outros atributos do solo além do teor de argila.

Os ajustes das regressões lineares entre os métodos para estimar o poder tampão dos solos do sul do estado do Tocantins, Goiás e todas as amostras se encontram na figura 2.

Figura 2. Regressão linear do poder tampão pela classe textural do solo e pelo fósforo remanescente, para os solos do sul do estado do Tocantins (A), Goiás (B), e para o conjunto de amostras analisadas (C). Gurupi – TO, 2019.



Fonte: Autor, 2019.

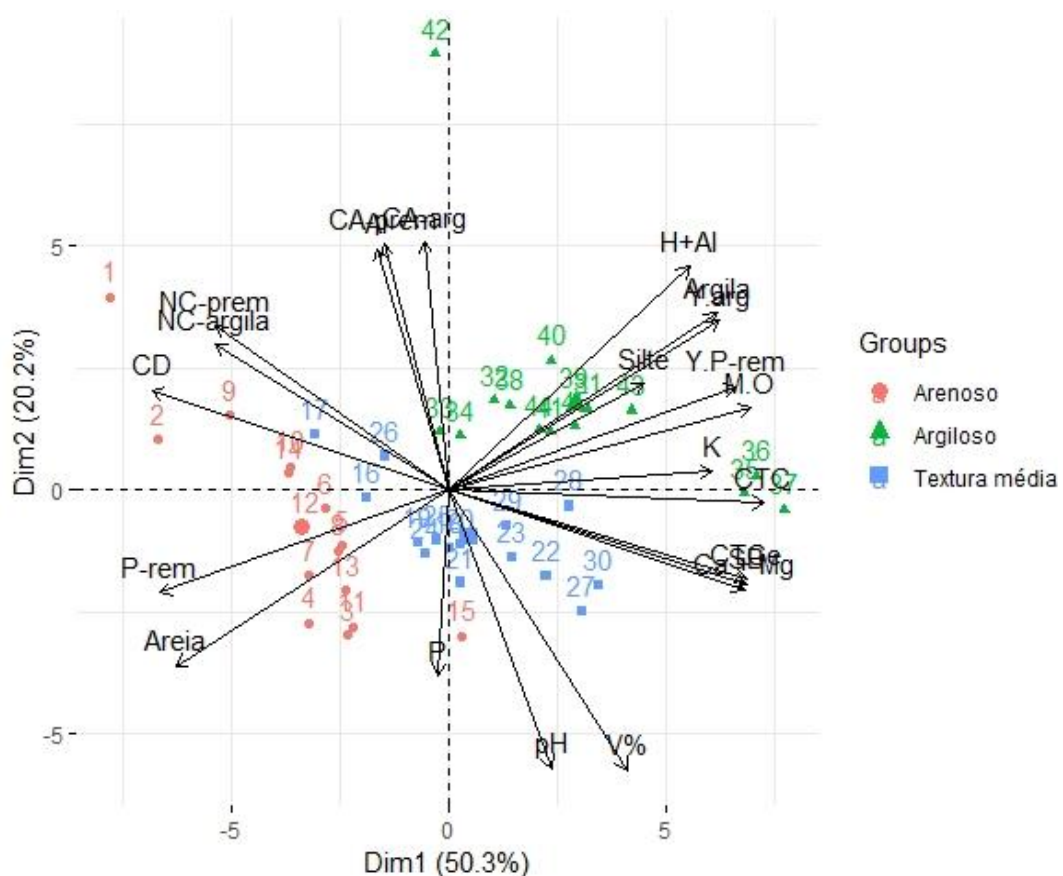
A relação existente entre as técnicas utilizadas para definir o poder tampão, permite estimar o valor do Y P-rem, diante do obtido a partir da classe textural. Para as amostras do Tocantins o coeficiente de determinação foi de 77% ($p > 0,05$) e a cada uma medida em teor de argila aumenta 0,23 o valor do poder tampão em fósforo remanescente; os dados do estado de Goiás apresentaram um coeficiente de determinação de 29% ($p > 0,05$) e a contribuição da argila foi de 0,20; para todas as amostras o coeficiente de determinação e a contribuição da argila foram de: 50% ($p > 0,01$) e 0,24, respectivamente.

A baixa precisão para o Goiás é em função principalmente da pouca representatividade de amostras em todas as classes texturais, sendo 58,1% e 39,5%, pertencentes as classes de

textura média e argilosa, respectivamente. O mesmo é válido para quando analisado todas as amostras, uma vez que a dispersão alta faz com que a precisão diminua. Com isso, para aumentar a confiabilidade na estimativa do Y P-rem a partir do Y argila é necessário um maior número de amostras ao longo das classes texturais.

Para estabelecer uma estimativa do Y P-rem a partir de outros atributos do solo realizou-se ACP (Figura 3), que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA-JUNIOR, 2016). A análise agrupa os atributos de acordo com sua variação, isto é, os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias (VIANA, 2016).

Figura 3. Correlação do poder tampão pela classe textural do solo e pelo fósforo remanescente, para todos os solos. Gurupi – TO, 2019.



CA (Correção da acidez do até certo valor de saturação por alumínio de acordo com a cultura e a capacidade tampão de acidez do solo), CD (Correção da deficiência de Ca e Mg, assegurando um teor mínimo desses nutrientes de acordo com a cultura), P-rem (Fósforo remanescente) Y-Arg (Poder tampão calculado pelo teor de argila), Y P-rem (Poder tampão calculado pelo teor de fósforo remanescente), NC (Necessidade de Calagem em t/ha a partir do poder tampão), CTC (Capacidade de trocas cátions a pH 7), CTCe (Capacidade de trocas cátions efetiva), V (Saturação por bases), M.O. (Matéria Orgânica), P (fósforo), K (potássio), Ca+Mg (soma do cálcio e magnésio), H+Al (soma do hidrogênio e alumínio). Fonte: Autor, 2019.

O poder tampão do solo calculado através do teor de argila (Y-arg) e a argila mostram-se intensamente relacionados, visto que o próprio é obtido através de valores estratificados ao longo das classes de textura (CFSEMG, 1999). Já para o Y P-rem, os atributos que mais correlacionaram positivamente foram M.O., argila, CTC, K, silte, acidez potencial e forma negativa com o P-rem e areia. Corrêa; do Nascimento; da Rocha, (2011) estudando a adsorção de fósforo em dez solos do estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos, corroboram com as relações encontradas neste trabalho entre o poder tampão pelo fósforo remanescente e o H+Al, CTC e argila.

A matéria orgânica mostrou-se um atributo extremamente importante para a determinação do poder tampão pelo fósforo remanescente. Segundo Cunha; Mendes e Giongo (2015), a matéria orgânica é conceituada como um dos indicadores mais úteis para a qualidade do solo, por interagir com diversos atributos, dentre os quais podemos citar a formação de agregados, manutenção da água no solo, pH, capacidade de trocas catiônicas e poder tampão.

A ação da matéria orgânica sob a CTC é descrita por Novais (2007) como de grande importância contribuindo em uma faixa de 20 – 90% da CTC nas camadas superficiais do solo, principalmente em solos tropicais altamente intemperizados. Para Cunha; Mendes; Giongo (2015) o efeito da matéria orgânica na capacidade de trocas catiônicas a M.O. aumenta o poder tampão do solo.

Segundo Novais et al. (2007), a diversidade química dos constituintes da M.O. está relacionada com a abundância dos seus agrupamentos funcionais, o que confere a ação tamponante numa ampla faixa de pH.

Diante da essencialidade da matéria orgânica, a adoção de sistemas que contribuam para o seu incremento torna-se de fundamental importância, principalmente para solos tropicais altamente intemperizados, de textura arenosa a média. A integração lavoura pecuária e floresta (ILPF), integração lavoura pecuária (ILP) e sistema de plantio direto (SPD) são meios de produção que possibilitam o incremento da MO no solo (GAZOLLA et al., 2015).

De acordo com Pereira et al. (2011), em áreas de cultivo sob o sistema de plantio direto, o aumento da matéria orgânica leve (MOL), que é uma fração ativa no solo constituída por resíduos orgânicos parcialmente humificados em vários estádios de decomposição, reduziu a adsorção de fósforo ao solo. Bezerra et al. (2015), revalida o citado anteriormente afirmando que o sistema de plantio direto e de integração que promove a adição de matéria orgânica ao solo e ainda contribuem para diminuição da adsorção e resultante aumento da disponibilidade de P para as plantas.

Nos estudos de Rogeri et al., (2013), sobre o uso P-rem em substituição à análise textural como índice do poder tampão de fósforo para solos do Rio Grande do Sul, concluiu como não adequado o enquadramento do solo em classes de argila para fins de estimar seu tamponamento, verificando que o fósforo remanescente é mais fidedigno.

A correlação entre o P-rem e a fração areia é alta, isso se deve ao fato de solos com alto teor de areia apresentarem maiores valores de P-rem. Eberhardt et al., (2008), em seus estudos sobre a influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no Cerrado, usando a mesma técnica corrobora com os resultados deste trabalho em relação a maior correlação do P-rem com a fração areia.

Na ACP pode-se verificar que a necessidade de calagem (NC) por ambas as técnicas de determinação do poder tampão estão altamente relacionadas, mesmo tendo ocorrido diferenças nos valores do índice tampão, isso se deve ao fato dos solos serem cultivados onde a grande maioria das amostras possuem teores de alumínio baixos de alumínio no solo, não refletindo diferença significativa entre as recomendações.

Ainda analisando a NC, esta se mostrou inversamente proporcional com o pH e V% isso porque quando o pH está alto a necessidade é baixa, e em condições de pH baixo a necessidade é alta. A CTC_t está fortemente relacionada Ca^{2+} e Mg^{2+} , e esse conjunto inversamente relacionado com a correção da deficiência de Ca^{2+} e Mg^{2+} , assegurando um teor mínimo desses nutrientes (CD).

Dentre os parâmetros correlacionados obtidos pela PCA, apenas argila, areia, silte, Y-arg e MO foram significativos para os ajustes do modelo de regressão linear múltipla (Equação 6) para estimar o Y P-rem. O valor do coeficiente de determinação foi de 72% com efeitos significativos ($p < 0,001$).

$$Y \text{ estimado} = 10,074 - 0,0917^{**} \text{Argila} - 0,0716^{**} \text{Areia} - 0,0718^{**} \text{Silte} + 0,5526^{**} Y_{\text{arg}} + 0,10132^{**} \text{MO} \quad R^2 = 0,72^{***}$$

Equação 6

A equação estabelece primeiramente uma constante de 10,074, onde a contribuição da argila, areia e silte é negativa, ou seja, cada unidade destes atributos diminui a constante. Já para o Y-arg e da M.O. a contribuição é positiva.

Diante da equação foi realizado o teste de comparação de média Tukey entre os métodos de determinação do poder tampão e necessidade de calagem para uma amostra do sul do estado do Tocantins (Tabela 2), no intuito de comparar as técnicas de determinação da resistência do

solo as mudanças de pH e ainda a necessidade de calagem pelo método de neutralização do alumínio e elevação dos teores de cálcio e magnésio (Tabela 4). Essa amostra foi escolhida devido a presença de alumínio (Al^{3+}) e por ser uma das amostras que mais se mostrou diferente entre a determinação do poder tampão pelos métodos estudados.

Tabela 4. Comparativo pelo teste de média Tukey de acordo com os métodos de determinação do poder tampão para as classes texturais e a necessidade de calagem para uma amostra do sul do estado do Tocantins. Gurupi – TO, 2019

Técnicas	Arenosa	Textura média	Argilosa	NC (t.ha ⁻¹)
Argila	0,77 b	1,57 b	2,29 b	1.31
P-rem	3.17 a	3,38 a	3,60 a	2.36
Y-estimado	3.22 a	3,44 a	3,66 a	2.36

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Fonte: Autor, 2019.

O poder tampão para a classe textural arenosa os métodos P-rem e Y-estimado não diferiram entre si com média 3,20, e estes são superiores 75% ao método da argila. Para a textura média não houve diferença significativa entre os métodos P-rem e Y-estimado com média de 3,40, e estes se mostraram superior 53% quanto a determinação a partir do teor de argila. Na classe textural argilosa P-rem e Y-estimado também não diferiram entre si com média de 3,63, sendo estes superiores 37% em relação ao método da argila.

Já na NC determinada de acordo com a amostra da tabela 2, pelo P-rem e Y P-rem estimado, ocorreu uma diferença de 1,05 t. ha⁻¹ (44,5%) quando comparado pelo método da argila.

A determinação a partir do Y P-estimado mostrou-se condizente ao determinado pelo P-rem. O emprego da equação possibilita fazer uso de um estimador que mais contribui e melhor representa o poder tampão do solo, isso sem a obtenção de gastos adicionais com análises de fósforo remanescente. Porém, mais estudos são necessários com elevado número de amostras, além de testes de incubação *in vitro* e *in loco*, para aumentar a confiabilidade da equação e representatividade para os solos dos estados do Tocantins e Goiás, contribuindo assim para o aumento de produtividade agrícola sem tornar a recomendação de calagem mais onerosa.

4. CONCLUSÃO

O uso do fósforo remanescente na determinação do poder tampão do solo, mostrou-se diferente quando comparado com a obtida a partir da classe textural, o que acarretou em acréscimos de até 44,5% na recomendação de calagem.

Foi possível estabelecer um ajuste equacional utilizando regressão linear múltipla.

$$Y \text{ estimado} = 10,074 - 0,0917^{**} \text{Argila} - 0,0716^{**} \text{Areia} - 0,0718^{**} \text{Silte} + 0,5526^{**} Y_{\text{arg}} + 0,10132^{**} \text{MO} \quad R^2 = 0,72^{**}$$

E esta mostrou-se semelhante significativamente ao determinado pelo fósforo remanescente.

REFERÊNCIAS

- AGEGNEHU, G.; YIRGA, C.; ERKOSSA, T. Getachew. **Soil Acidity Management. Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR)**. Addis Ababa: Ethiopia, 2019.
- BEZERRA, Régis Pinheiro Martins et al. Frações de fósforo e correlação com atributos edáficos sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1287-1306, 2015.
- CAMARGO, Otávio Antonio et al. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).
- CELESTRINO, Thiago de Souza et al. Manejo da adubação boratada na cultura do eucalipto cultivado na região do Cerrado de baixa altitude em Neossolo Quartzarênico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 14, n. 2, p. 5634, 2019.
- Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 359 p. Viçosa, MG. 1999.
- CORRÊA, R. M.; DO NASCIMENTO, C. W. A.; DA ROCHA, A. T. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 153-159, 2011.
- CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.
- DE BARROS, Alexandre Mendonça et al. A relevância da inovação tecnológica na agricultura brasileira. **AgroANALYSIS**, v. 38, n. 10, p. 27-29, 2019.
- DE RESENDE, A. V. et al. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.
- DEFILIPPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 1997.
- DONAGEMMA, Guilherme Kangussú et al. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1785-1791, 2008.
- EBERHARDT, Diogo Néia et al. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1009-1016, 2008.
- FAGUNDES, Marla Oliveira et al. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 281-297, 2019.
- GAZOLLA, Paulo Roberto et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA-JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

LIMA, R. S.; SOUZA-JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. **Avaliação da variação do ph dos solos derivados do basalto e do arenito caiuíá.** 2017.

NOVAIS, Roberto Ferreira et al. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1017 p. **Viçosa, MG**, 2007.

PAYE, Henrique de Sá et al. **Calagem e adubação.** In: PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C. **Café Conilon: conhecimento para superar desafios.** Alegre. ES: CAUFES, Cap. 5 p. 75-98, 2019.

PEREIRA, Marcos Gervasio et al. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2011.

PRIEBE, Henrique Alfonso et al. Modelagem para recomendação de calagem e adubação para as principais regiões produtoras de grãos do Brasil na linguagem SQL.

ROGERI, Douglas Antonio et al. **P-Remanescente em substituição à análise textural como índice do poder tampão de fósforo para solos do Rio Grande do Sul**, 2013.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2010.

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SYSTAT. **Sigmaplot User's Guide, version 10.0.** Systat Software Inc., Chicago, IL. 2014.

TEAM, R. C. R. **R: A language and environment for statistical computing** Vienna, Austria, 2013.

TEIXEIRA, Paulo Cezar et al. Manual de métodos de análise de solo. **Brasília: Embrapa Solos**, 2017.

VIANA, M. T. R. et al. Análise de componentes principais de genótipos de café resistentes à ferrugem com base em características fisiológicas. 2016.