



## Curvas de neutralização da acidez de solos na transição Cerrado-Amazônia

Anderson LANGE <sup>\*1</sup>, Maria Eduarda CONTESINI <sup>1</sup>, Windilson Cesar Pereira MORAES <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

\*E-mail: anderson.lange@ufmt.br

Submetido em: 01/02/2025; Aceito em: 15/05/2025; Publicado em: 23/05/2025.

**RESUMO:** Este estudo buscou averiguar as alterações químicas no solo provocadas pela aplicação de doses crescentes de calcário, por meio de curvas de neutralização da acidez. Para isso, foram estudados 33 solos com diferentes texturas, sob mata nativa e uso agrícola, distribuídos em 10 localidades da região Centro-norte de Mato Grosso. Foram aplicadas doses de 0, 3, 6, 9 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário em vasos contendo 300 g de solo, com umidade mantida a 70% da capacidade de campo. Após 90 dias o solo foi analisado. Para o conjunto de solos estudados, o pH máximo foi próximo a 6,5; o alumínio tende a zero a partir da dose de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup>; e os teores de cálcio + magnésio máximos ficam próximos a 5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na maior dose aplicada. O efeito da calagem está diretamente condicionado a textura, ao poder tampão e a acidez inicial. A saturação por bases máxima foi de 78% nos solos de textura média e o pH máximo registrado foi de 7,1 em solos arenosos. Para atingir uma saturação de bases entre 60% e 80%, é necessário aumentar e até dobrar a quantidade de calcário estimada pelo método de saturação por bases. Neste sentido, o método deve ser ajustado para garantir os valores adequados no solo.

**Palavras-chave:** incubação; calcário; saturação por bases; fertilidade do solo.

## Acidity neutralization curves of soils in the Cerrado-Amazon transition

**ABSTRACT:** This study sought to investigate the chemical changes in the soil caused by the application of increasing doses of limestone, through acidity neutralization curves. For this, 33 soils with different textures were studied, under native forest and agricultural use, distributed in 10 locations in the Central-North region of Mato Grosso. Doses of 0, 3, 6, 9 and 12 Mg ha<sup>-1</sup> of lime were applied in pots containing 300 g of soil, with humidity maintained at 70% of field capacity. After 90 days, the soil was analyzed. For the set of soils studied, the maximum pH was close to 6.5; aluminum tends to zero from a dose of 3.0 Mg ha<sup>-1</sup>; and the maximum calcium + magnesium levels are close to 5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> at the highest dose applied. Liming is effective directly depends on texture, buffering power and initial acidity. The maximum base saturation was 78% in medium textured soils, and the maximum pH recorded was 7.1 in sandy soils. To achieve a base saturation between 60% and 80%, increasing and doubling the amount of limestone estimated by the base saturation method is necessary. In this sense, the method must be adjusted to guarantee adequate values in the soil.

**Keywords:** incubation; limestone; base saturation; soil fertility.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é destaque na produção mundial de grãos e o estado de Mato Grosso (MT) contribui com a produção de 27% da soja e 42% do milho no país, sendo que quando se analisa apenas o milho 2ª safra (safrinha), o estado produz mais de 50% do total (CONAB, 2024). Esse posicionamento no cenário nacional se deve ao uso de tecnologias que permitiram a incorporação de solos altamente intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes, ao processo produtivo agrícola. Durante o cultivo dos grãos, mesmo após correção inicial do solo com calcário, algumas práticas, como a adubação nitrogenada e exportação de nutrientes podem intensificar a acidificação do solo (QUAGGIO; RAIJ, 2022). Isso torna necessária a aplicação periódica de calcário, uma vez que a oxidação do NH<sup>4+</sup> dos fertilizantes nitrogenados para NO<sup>3-</sup> libera H<sup>+</sup>, acidificando o solo.

A calagem é a técnica mais econômica e eficaz para a correção da acidez do solo, utilizando rocha calcária moída. Quando aplicada na dose correta, proporciona aumento dos teores Ca e Mg, na saturação por bases e no pH, além de reduzir os teores de Al, resultando efeitos positivos na

produtividade das plantas e no aproveitamento dos nutrientes (MORAES et al., 2023; SANTOS et al., 2024).

Os métodos mais utilizados na região do Cerrado e adjacências para determinar a dose de calcário são o método da *Neutralização do Alumínio Trocável e Elevação dos Teores de Cálcio e Magnésio* (ALVAREZ V.; RIBEIRO, 1999), e o método da *Saturação por Bases (V%)* da CTC a pH 7,0 para valores desejados (QUAGGIO; RAIJ, 2022). Porém, tanto os valores de Ca+Mg (2,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) almejados no primeiro método quanto o V% desejado de aproximadamente 50% para o Cerrado e adjacências (ALVAREZ V.; RIBEIRO, 1999; SOUSA; LOBATO, 2004) parecem estar obsoletos em relação a agricultura moderna, devido as altas exigências nutricionais das culturas, como soja, milho e algodão (MORAES et al., 2023; SANTOS et al., 2024). O método da saturação de bases, embora apresente melhor embasamento científico quanto ao poder tampão do solo, às exigências das culturas e às características do corretivo, têm aparentemente subestimado a quantidade adequada de calcário exigida para atingir a saturação por bases desejada à maioria das culturas (OLIVEIRA et al., 2007). Duda; Salviano (2007) observaram

que as doses estimadas por dois métodos de recomendação de calcário foram menores que a real necessidade mostrada pela curva para elevar o pH do solo em um latossolo no Rio Grande do Norte.

Estudos realizados no MT têm verificado que as doses recomendadas não têm conseguido atingir a saturação desejada e por isso pesquisas com doses maiores que as recomendadas pelo método da saturação por bases têm sido estudadas, as quais elevaram a saturação para 60-70% ou mais e resultaram em altas produtividades na soja e no milho (CHAPLA, 2017; AGUIAR, 2021; PINTO, 2021; LANGE et al., 2022; SILVA, 2023). Comportamento similar foi observado nos solos de Minas Gerais ao se cultivar soja, milho e feijão (MORAES et al., 2023). Assim, os agricultores intensificaram o uso de calcário nas áreas de soja/milho e soja/algodão nos últimos anos, passando da média de 0,5 Mg ha<sup>-1</sup> em 2016 para 1,2 Mg ha<sup>-1</sup> em 2022 (LANGE et al., 2023).

Outra forma de dimensionar a dose de corretivo é a confecção de curvas de incubação, embora exija trabalho e gaste tempo na sua execução, é o método padrão determinação da necessidade de calagem (MALAVOLTA, 1981). Alguns índices como pH, Al, m%, V% extraídos das curvas de neutralização ajudam no entendimento do comportamento do corretivo no solo.

No entanto, o MT tem uma história da agricultura recente e, devido à grande variação de solos e até biomas, há a

necessidade de estudos regionais que possam contribuir para o entendimento do comportamento dos solos frente a correção com calcário. A aplicação de doses de calcário recomendadas pelos métodos tradicionais aparentemente não tem atingido as alterações necessárias, com aumento ao nível desejado da saturação por bases no solo o que pode estar limitando a produtividade das culturas e assim há a necessidade de melhor se entender o comportamento dos diferentes solos frente a correção com doses crescentes de calcário. Este estudo buscou averiguar as alterações químicas que doses crescentes de calcário incubadas no solo com até 12 Mg ha<sup>-1</sup> provocam e, para isso, 33 solos da região foram submetidos a curvas de neutralização da acidez.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Mato Grosso, campus Sinop, entre setembro e dezembro de 2019, empregando-se o método de incubação do solo por 90 dias, em copos plásticos. Os solos foram coletados na camada de 0 a 20 cm em 10 propriedades rurais, abrangendo diferentes municípios da região Norte e Médio Norte do estado de Mato Grosso. Cada propriedade teve amostras retiradas de áreas com agricultura (soja/milho 2<sup>a</sup> safra) e de mata nativa, totalizando 33 solos amostrados, com distintas classes texturais e atributos químicos (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos dos solos prévios à incubação com as respectivas coordenadas das propriedades rurais.  
Table 1. Prior to incubation, chemical and physical attributes of soils with the respective coordinates of rural properties.

Nome	pH	H+Al	Ca+Mg	CTC	SB	V	Classe textural	Arcia	Silte	Argila	Uso do solo	Coordenadas
	H <sub>2</sub> O	CaCl	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	%	.....%	.....%		.....%	.....%	.....%		
1A	5,89	5,12	2,64	2,65	5,34	2,70	50,51	Média	83	1	16	Agricultura
1B	4,25	3,83	4,70	0,90	5,63	0,93	16,27	Arenoso	85	1	14	Mata
1C	5,65	5,22	4,58	3,38	8,16	3,58	43,85	Argiloso	34	25	41	Agricultura
1D	4,13	3,94	5,78	0,88	6,71	0,94	13,98	Média	57	10	33	Mata
2A	5,27	4,42	7,01	1,48	8,63	1,62	18,77	Argiloso	15	29	56	Mata
2B	6,27	5,44	3,26	3,43	6,78	3,52	51,97	Argiloso	21	36	43	Agricultura
2C	5,55	4,14	5,32	1,20	6,58	1,26	19,21	Média	67	6	27	Mata
2D	5,78	5,12	2,27	4,68	7,02	4,75	67,27	Arenoso	85	1	13	Agricultura
3A	5,40	4,96	3,71	4,12	7,87	4,16	53,27	Arenoso	83	5	13	Agricultura
3B	5,54	5,92	3,96	4,30	8,36	4,40	52,51	Média	32	36	32	Agricultura
3C	4,00	3,85	9,74	1,03	10,79	1,06	9,76	Argiloso	15	42	42	Mata
4A	6,39	5,88	4,00	3,08	7,15	3,15	44,23	Arenoso	89	2	9	Agricultura
4B	6,76	6,30	4,00	5,63	9,71	5,71	58,93	Argiloso	22	33	45	Agricultura
4C	5,82	4,53	5,28	0,90	6,20	0,92	14,63	Média	80	1	19	Mata
5A	6,26	6,29	2,23	1,97	4,23	2,01	46,72	Arenoso	84	2	14	Agricultura
5B	4,51	4,22	5,69	1,95	7,68	1,98	25,80	Média	72	5	23	Mata
5C	5,70	5,14	4,70	1,60	6,39	1,69	26,31	M. argiloso	25	11	64	Agricultura
5D	4,82	4,32	6,64	2,18	8,85	2,20	24,80	M. argiloso	25	11	64	Mata
6A	5,23	5,30	4,17	4,60	8,85	4,69	54,89	Argiloso	44	17	39	Agricultura
6B	6,31	6,27	3,26	3,65	6,96	3,70	52,96	Média	77	1	22	Agricultura
6C	4,64	4,47	8,37	2,43	10,85	2,48	25,61	Argiloso	43	5	52	Mata
7A	3,78	3,88	8,25	3,25	11,53	3,28	28,13	Média	82	1	17	Mata
7B	3,86	3,82	8,13	3,48	11,75	3,63	30,14	M. argiloso	35	5	60	Mata
7C	5,42	4,70	5,45	4,70	10,40	4,95	47,56	Argiloso	41	22	37	Agricultura
8A	5,46	5,15	4,95	4,55	9,59	4,64	48,51	Argiloso	28	17	56	Agricultura
8B	5,78	5,60	5,12	3,53	8,72	3,60	41,28	Média	61	5	33	Agricultura
8C	3,81	3,64	10,11	2,58	12,80	2,69	20,95	M. argiloso	61	5	33	Mata
9A	5,84	5,07	3,92	3,88	7,88	3,96	50,25	Média	57	17	25	Agricultura
9B	6,13	5,80	1,57	5,33	7,03	5,46	77,73	Média	76	5	20	Agricultura
9C	3,77	3,65	4,21	2,15	6,41	2,20	34,32	Média	64	5	31	Mata
10A	5,91	5,69	6,48	4,50	11,18	4,70	42,02	Argiloso	30	27	42	Agricultura
10B	6,07	4,94	2,43	4,75	7,28	4,85	66,71	Média	82	1	17	Agricultura
10C	5,72	5,68	5,12	3,20	8,57	3,45	40,29	Argiloso	41	18	40	Agricultura

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com doses de calcário 0, 3, 6, 9 e 12 Mg ha<sup>-1</sup>, em quatro repetições. O calcário utilizado continha 29% de CaO, 19% de MgO e PRNT= 75,26% (Peneira ABNT10 = 100%, ABNT20 = 80% e ABNT50 = 60%). Os solos foram peneirados em malha de 2 mm e acondicionados em copos plásticos de 300 g, homogeneizados com o calcário, e mantida com umidade a 70% da capacidade de campo. Após 90 dias de incubação, foram realizadas análises de pH em água e CaCl<sub>2</sub>, e as determinações dos teores de P, K, Ca+Mg, H (EMBRAPA, 1997). Com estes dados foram calculados a soma de bases (SB), a saturação por bases (V%) e a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo.

Os resultados e a discussão seguiram a seguinte ordem: a primeira foi com os solos todos agrupados, depois os solos foram agrupados em áreas de agricultura e estes divididos por classe textural e outro grupo só com solo sem correção (mata nativa), e por fim, os 33 solos foram analisados isoladamente, conforme nomenclatura descrita (Tabela 1). Realizou-se ainda uma comparação entre o método de necessidade de

calagem [NC= (V2-V1)\*T/PRNT] versus os resultados analíticos da incubação nos solos que apresentaram saturação por bases (V1) menores que 25% para comparar o valor atingido e estimado pela equação em relação às doses de calcário.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste de regressão para cada uma das variáveis de resposta. As equações de regressão foram testadas para o valor de F. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar (FERREIRA, 2011).

### 3. RESULTADOS

A incubação do solo com as doses crescentes de calcário resultou em um aumento significativo dos teores de cálcio e magnésio (Ca+Mg), da capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef), da saturação por bases (V%) e do pH e reduziu a acidez potencial, o teor de alumínio (Al), minimamente afetou a capacidade de troca de cátions potencial (CTCpot) e o teor de potássio (K), sem efeito para o P, na análise conjunta dos 33 solos (Figura 1).

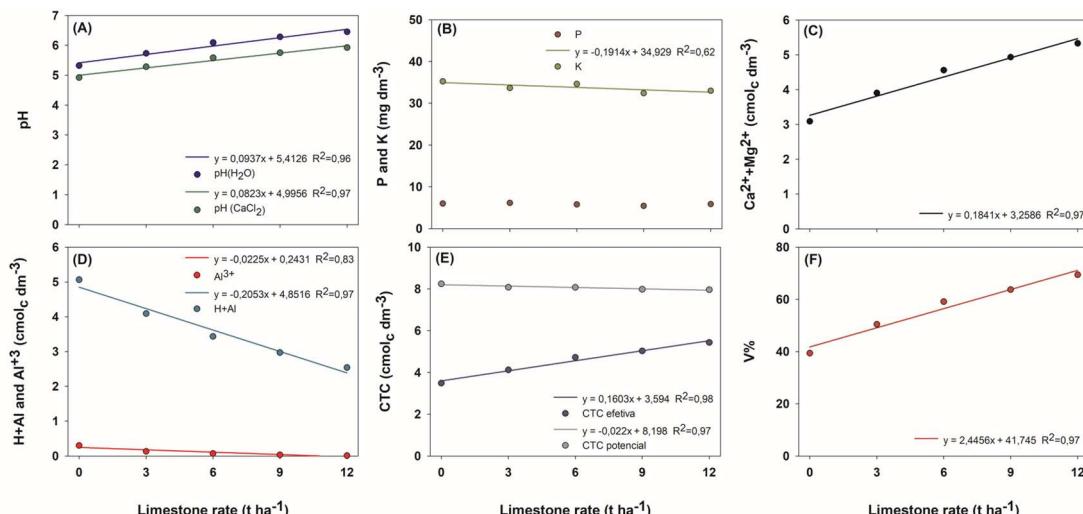


Figura 1. Valores médios dos atributos químicos do solo para o conjunto dos 33 solos após a aplicação de doses de calcário pelo método de incubação após 90 dias. A- pH em água e cloreto de cálcio, B- P e K (fósforo e potássio), C- Ca+Mg (Cálcio+Magnésio), H+Al (Acidez potencial); CTC (capacidade de troca de cátions efetiva e potencial) e V% (saturação por bases).

Figure 1. Average values of soil chemical attributes for the set of 33 soils after application of lime doses using the incubation method after 90 days. A- pH in water and calcium chloride, B- P and K (phosphorus and potassium), C- Ca+Mg (Calcium+Magnesium), H+Al (Potential acidity); CTC (effective and potential cation exchange capacity) and V% (base saturation).

O pH atingiu 6,09 com a dose de 6,0 Mg ha<sup>-1</sup>, e o valor máximo foi 6,45. O valor de Ca+Mg foi de 3,09 para 5,33 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, aumento de 2,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para a maior dose aplicada. A partir de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, o valor do Al praticamente está ausente da solução do solo e a acidez potencial (H+Al) reduziu de 5,06 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para 2,54 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> no tratamento que recebeu a maior calagem. A calagem eleva a CTCef dos solos de 3,48 para 5,43 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, resultado decorrente da adição de Ca+Mg e da redução de Al no complexo de troca. Comportamento contrário, mas de magnitude mínima aconteceu com o K e com a CTCpot, sendo que a última passou de 8,2 para 7,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Figura 1), o que agronomicamente pouco interfere no solo. Ao se analisar os solos por classes texturais em relação a CTC (Figura 2 E, K, Q, W, AC), a CTCpot na maioria dos casos não é afetada pela calagem e, se ocorre alteração, é de pouca magnitude. Com relação à saturação por bases no solo (V%), o valor inicial médio dos 33 solos era ~40, passando para ~70

na maior dose (Figura 1), valor este considerado como médio, interface alto e condizente com os valores de pH, que segundo a literatura deve estar em 5-6.

Nos solos arenosos, as doses de calcário apresentaram médias superiores para as variáveis pH e saturação por bases, em relação aos solos com demais texturas (Figura 2). À medida que aumenta o teor de argila, essas variáveis apresentavam uma redução nos efeitos das doses aplicadas, exceto para os solos com textura muito argilosa que possuíam menores valores para pH e saturação por bases iniciais, e maior valor para acidez potencial.

Com a aplicação da maior dose de calcário (12,0 Mg ha<sup>-1</sup>), o valor de pH<sub>H2O</sub> atingiu 7,12 nos solos arenosos (Figura 2 a), representando um aumento 1,17 unidades em relação a ausência de calagem nestes, que já haviam sido corrigidos, por estarem em uso agrícola. Este comportamento foi similar nos solos de textura muito argilosa, atingindo 7,09 (Figura 2 s). Nos demais solos o valor máximo ficou próximo a 6,5.

Com a adição de apenas 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, todos os solos em que já se praticava a agricultura tiveram seus valores de pH<sub>H2O</sub> próximos a 6,0 ou mais. Há acréscimo linear nos teores de Ca+Mg com a adição crescente de calcário, elevando o teor inicial de 3,46; 4,01; 4,25; 1,60 e 1,87 cmol dm<sup>-3</sup> para os solos arenosos, médios, argilosos, muito argilosos e mata nativa, para 4,96; 5,54; 6,10; 4,37 e 4,93 cmol dm<sup>-3</sup>, respectivamente, com a dose de 12,0 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 2 c, i, o, u, aa). Como consequência, há elevação da CTCef dos solos de texturas arenosa, média, argilosa, muito argilosa e mata nativa, que passaram de 3,52; 4,15; 4,47; 1,69 e 2,63 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para 5,02; 5,62; 6,25; 4,47 e 5,02 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Figura 2 e, k, q, w, ac), incrementos variando de 35% (solo textura média) até 164% (solo muito argiloso).

argiloso). A CTCpot, como comentado, não foi alterada ao se agrupar os solos por distintas classes texturais ou usos.

A acidez potencial (H+Al) inicial dos solos variou de 3,05 a 6,87 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para os solos arenosos e de mata, respectivamente (Figura 2 d, ab). Estes solos após a aplicação de 12,0 Mg ha<sup>-1</sup> tiveram os valores reduzidos para 1,87 e 3,26 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Nos solos em que se praticava a agricultura e que já recebiam calagens anteriores, os valores de Al eram 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> no início da incubação, assim os valores de H+Al nestes referem-se apenas a acidez ativa (H<sup>+</sup>). Nos solos de mata nativa, o Al deixa de estar presente apenas com doses acima de 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> (0,05 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para a aplicação de 9,0 Mg ha<sup>-1</sup>).

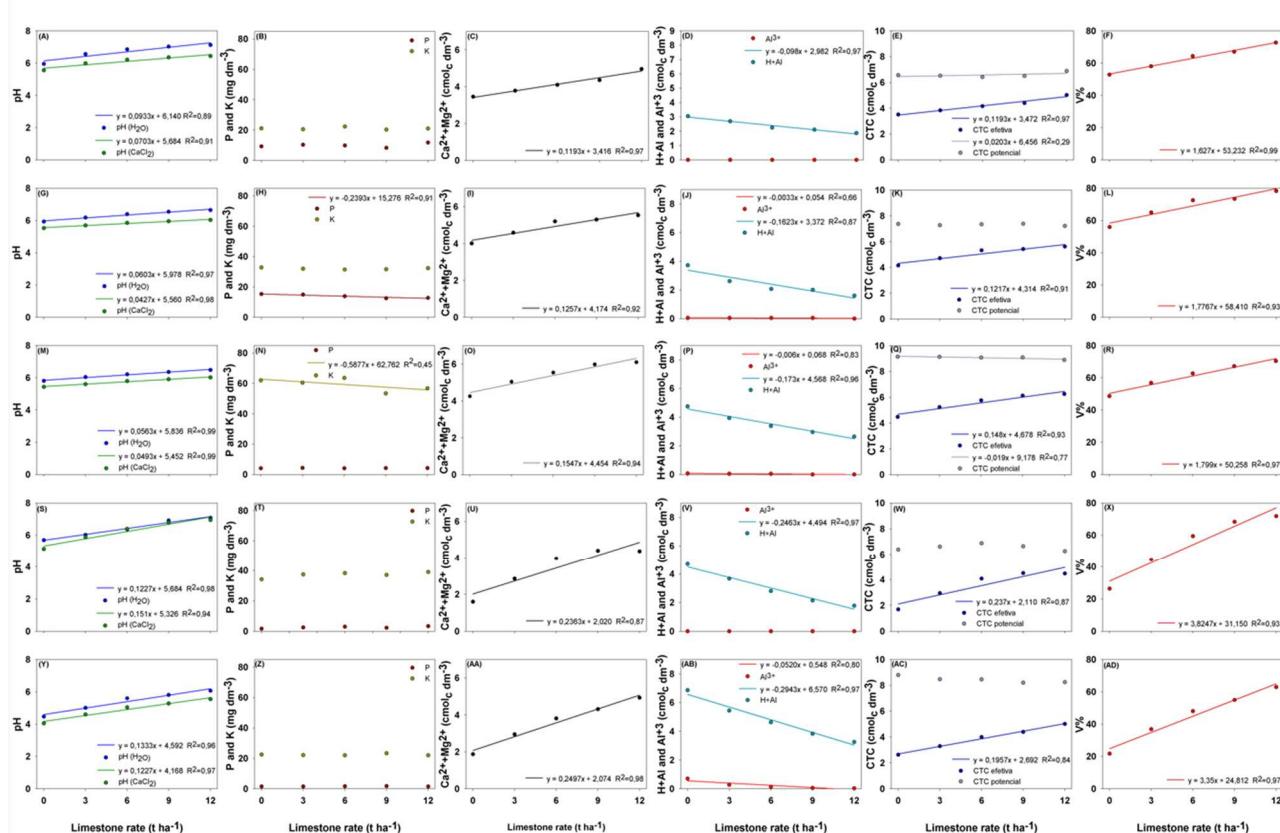


Figura 2. Valores médios dos atributos químicos agrupados por textura do solo após a aplicação de calcário. Textura arenosa (A até F), textura média (G até L), argilosa (M até R), muito argilosa (S até X), mata nativa (Y até AD).

Figure 2. Average values of chemical attributes grouped by soil texture after lime application. Sandy texture (A to F), medium texture (G to L), clayey (M to R), very clayey (S to X), native forest (Y to AD).

A saturação de bases (V%) aumenta linearmente em relação às doses e atinge 78% nos solos de textura média, que tinham saturação inicial de 56%, com um aumento significativo de ~22% em relação a ausência de calagem. Destaca-se que o V% dos solos antes da aplicação dos tratamentos com as doses de corretivo era de 53; 56; 48; 26 e 22%, passando para 73; 78; 70; 72 e 63% na maior dose, nos solos de texturas arenosa, média, argilosa, muito argilosa e mata nativa, respectivamente (Figura 2 f, l, r, x, ad). A dose de 12,0 Mg ha<sup>-1</sup> representa três ou quatro vezes mais que normalmente é aplicada pelos agricultores da região.

Os solos de textura arenosa das áreas de agricultura (Figura 3 a, b, c, d) não apresentaram Al nas amostras sem calagem, o que condiz com os valores de pH ≥ 5,5, em que o Al tende a 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. O solo 5A com saturação por bases (V%) inicial de 46,7% (Figura 7 d), atingiu 56,6, 64,7, 68,7 e 78,4% nas doses 3, 6, 9 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário,

respectivamente. E o solo 2D, que já apresentava V% inicial alto, de 67,2% (Figura 7 a), apresentou um acréscimo de apenas 10%, passando para 77% com a maior dose de calcário aplicada (12 Mg ha<sup>-1</sup>). Quanto aos teores de Ca+Mg nos solos arenosos (Figura 4 a, b, c, d), embora o solo 3A tenha atingido o maior valor com 5,80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> na aplicação de 12 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 4 b), o solo 5A, que apresentava menor valor de H+Al e CTC, obteve o maior aumento no teor de Ca+Mg, alterando de 1,97 para 4,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Figura 4 d).

Para os solos provenientes da área de agricultura com textura média, o Al já estava precipitado (0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e a saturação por bases inicial era >40%, atingido até 87% na maior dose de calcário (Figura 7 e, f, g, h, i, j, k). Os solos com V% na faixa de 50 a 53% (Figura 7 e, f, g, i) atingiram valores acima de 70% a partir da dose de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário.

## Curvas de neutralização da acidez de solos na transição Cerrado-Amazônia



Figura 3. Valores de pH de cada solo após a aplicação de calcário pelo método de incubação.  
Figure 3. pH values of each soil after lime application using the incubation method.

Os solos com textura argilosa em áreas agricultáveis também não apresentaram teores de Al iniciais, exceto os solos 1C e 2B (Figura 5 l, m), com teores considerados não tóxicos para a maioria das culturas (<0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). A saturação por bases inicial neste grupo estava acima de 40%, e os solos 2B, 4B e 6A que apresentavam V% entre 50 e 59% (Figura 7 m, n, o), atingiram valores ≥70% a partir de 9 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, exceto o solo 6A que apresentava o maior teor de areia (44%), e atingiu o V% acima de 70% a partir da dose de 3 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. Já os solos 1C, 7C, 8A, 10A e 10C, que inicialmente apresentavam V%<50% (Figura 7 l, p, q, r, s), atingiram saturação ≥60% a partir da dose de 9 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. O solo 5C da área agrícola com textura muito argilosa apresentava baixo valor para Ca+Mg e V%, 1,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 26,3% respectivamente (Figura 4 t, Figura 7 t). Com a calagem houve crescimento linear, atingindo 4,37 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca+Mg e V% de 72% na maior dose de calcário.

Os solos provenientes das matas nativas (não corrigidos) tinham Al inicial entre 0,06 e 2,85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V% abaixo de 35%. O solo 1B apresentava V% inicial de 16,2% e, após a calagem, atingiu saturação de 44, 62, 73 e 84% nas doses 3, 6, 9 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, respectivamente (Figura 7 u), tendo apresentado tamanha alteração devido a sua característica arenosa. Este solo apresentava Al igual 2,85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Figura 5 u) que corresponde a 60% da CTCpot inicial do solo, e foi neutralizado a partir da aplicação de 3 Mg ha<sup>-1</sup>. O teor de Ca+Mg era menor que 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e

alcançou a 3,77 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> com a aplicação de 12 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 4 u).

O solo 1D que apresentava V% igual 14% e Al de 1,73 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Figura 7 v, Figura 5 v), atingiu saturação por bases de 60% e a neutralização do alumínio a partir da dose de 9 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. Já os solos 5B, 7A e 9C (Figura 7 y, z, aa), com V% entre 20 e 35% apresentavam os teores de Al abaixo de 0,38 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e atingiram saturação por bases de 60% e a neutralização do alumínio a partir das doses de 6 e 3 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 5 y, z, aa), respectivamente.

Os solos 3C, 6C, 5D e 7B (texturas argilosas,) que apresentavam V% iniciais entre 9 e 25% atingiram valores de saturação por bases próximos a 60% somente na dose de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 7 ac, ad, ae, af), e a neutralização do alumínio a partir da dose de 3 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 5 ac, ad, ae, af). O solo 2A atingiu 60% na saturação por bases e neutralização do alumínio a partir da dose de 9 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário.

Ainda na condição de área nativa de mata, o solo 8C, com 70% de argila, apresentou o maior valor para a acidez potencial e CTCpot, com 10,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 12,79 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Figura 5 ag, Figura 6 ag), tendo alcançado apenas V% de 36,3% na maior dose de calcário (Figura 7 ag), mostrando o quanto a característica textural, a acidez inicial e o teor de matéria orgânica, que apesar de não determinado aqui, deve ser expressivo, por estar na mata, fatores estes determinantes no poder tampão destes solos.

A correlação de Pearson foi significativa para a maioria dos atributos do solo, sendo positiva entre o pH e os teores de P, Ca+Mg, V% e CTCefet, e correlação negativa para H+Al e CTCpot (Tabela 3). A acidez potencial (H+Al) teve correlação negativa com os teores de P, Ca+Mg, CTCpot, V% e CTCEfet. O aumento dos teores de Ca+Mg teve relação inversa com H+Al e positiva para CTCpot, V% e

CTCefet. Esta análise mostra que a calagem ao alterar o pH, reduziu principalmente a quantidade de H<sup>+</sup> do solo, já que em muitas situações para este estudo, o Al era praticamente nulo, tendo a calagem aumentado a CTC efetiva e aumentando a saturação por bases no complexo de troca, o que significa mais cálcio e magnésio disponíveis para as plantas.

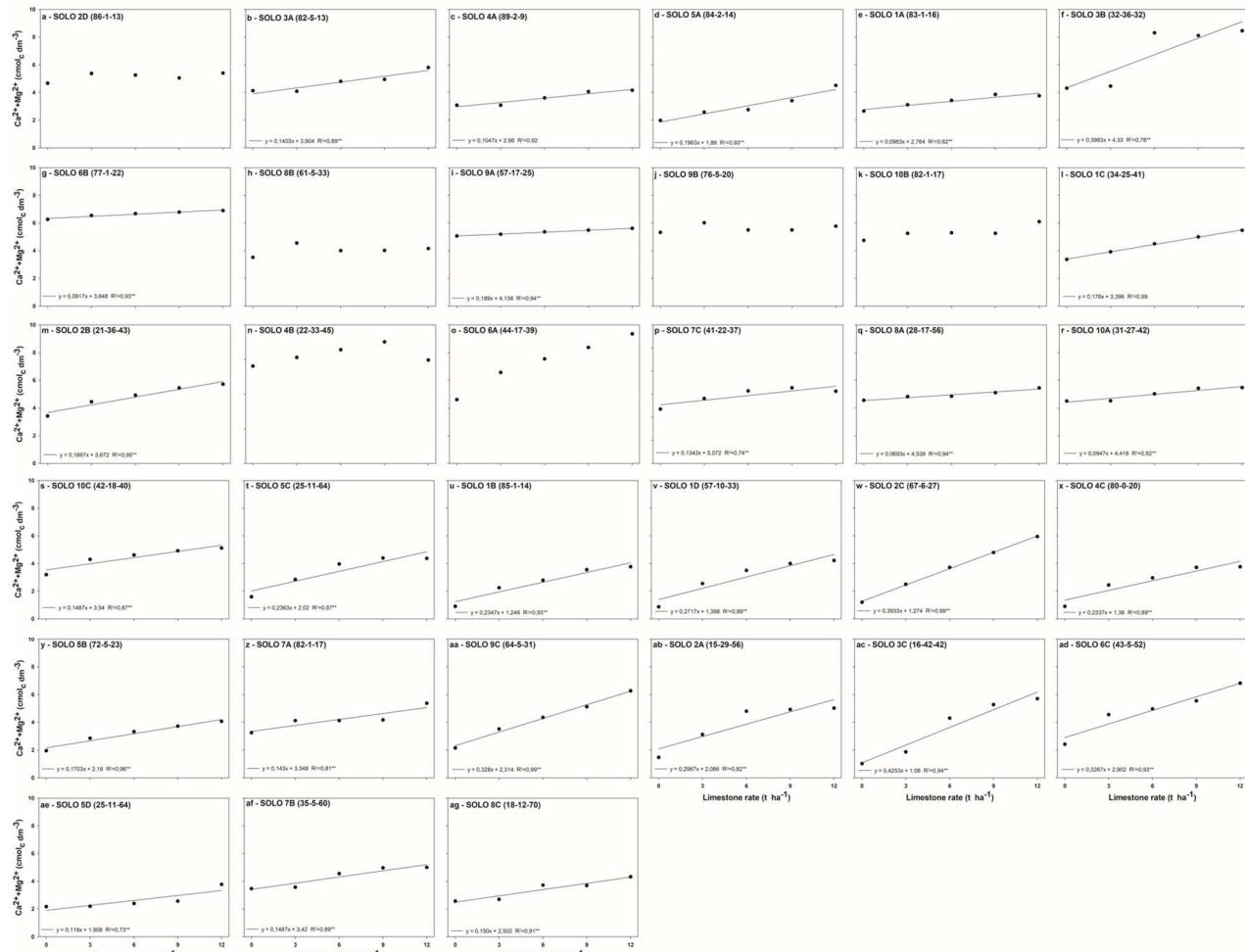


Figura 4. Valores de Ca+Mg de cada solo após a aplicação de calcário pelo método de incubação.

Figure 4. Ca+Mg values of each soil after lime application using the incubation method.

#### 4. DISCUSSÃO

As doses crescentes de calcário alteraram todas as variáveis estudadas, com maior ou menor magnitude a depender da textura, poder tampão e acidez inicial de cada solo. Vários são os fatores que controlam a reação do corretivo, como as percentagens de CaO e MgO, granulometria, dose, tipo de solo, do método de aplicação e textura do solo, entre outros (ESPER NETO et al., 2019). Assim, doses próximas a 3,0-4,0 Mg ha<sup>-1</sup> já neutralizam o Al<sup>3+</sup> na maioria das vezes, a depender da característica inicial do solo e, para atingir saturação por bases (V%) entre 60 e 80%, há necessidade de doses de calcário bem maiores que as estimadas pelo método de saturação de bases.

Solos arenosos apresentaram maiores valores de pH após a aplicação do corretivo devido ao menor poder tampão dos mesmos, o que está de acordo com Santos et al. (2024). Solos com maior acidez potencial, ou maior teor de argila ou argila de maior atividade ou mais ricos em matéria orgânica tem maior poder tampão e necessitam de mais calcário para correção. É preciso estar atento aos solos com baixo poder

tampão e ao uso de altas dosagens de corretivo, pois o pH pode ficar acima de 7,0, o que pode acarretar redução da disponibilidade de micronutrientes (MOREIRA et al. 2024). O solo 5A (14% de argila), apresentou pH de 7,47 na maior dose de calcário, porém, salienta-se que o pH inicial deste solo já era 6,2, então nessa situação a dose a ser empregada em campo seria mínima ou não recomendada. Aumentos nos valores de pH e demais atributos correlatos do solo foram obtidos por Moraes et al. (2023) e Santos et al. (2024) após a calagem, em campo.

Os valores ideais de pH para adequada disponibilidade da maioria dos nutrientes estão entre 5,5 e 6,5 (MALAVOLTA, 1992). Porém, Moraes et al. (2023) incorporaram até 15 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário em solos com 40 a 50% de argila, atingindo em alguns casos pH acima de 7,0 e saturação por bases acima de 80% e as produtividades de soja, feijão e milho tiveram incrementos lineares com as doses aplicadas, até certo ponto, ao longo de três anos de avaliação. No presente estudo, a adição de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário em solos arenosos elevou o pH a 7,12, enquanto os solos com textura média/argilosa

## Curvas de neutralização da acidez de solos na transição Cerrado-Amazônia

atingiram 6,5, o que demonstra a relação entre o poder tampão e a neutralização da acidez ativa no solo após a aplicação de calcário.

As literaturas nacionais apontam valor adequado no solo para o bom desenvolvimento das culturas de  $\text{Ca}+\text{Mg} \geq 3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (MALAVOLTA, 1992),  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para as condições de Cerrado (SOUSA; LOBATO, 2024), entre 1,0 e  $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para Minas Gerais (ALVAREZ V.; RIBEIRO, 1999) e  $\geq 0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para Mg no estado de SP (MATTOS JR. et al., 2022). Estudos recentes mostram maiores produtividades nas culturas de soja, milho e feijão ocorreram em campo com Ca entre 4,0 a  $6,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e Mg próximo a  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  com aplicação de alta dose de calcário (MORAES et al., 2023). A incubação de doses de calcário finamente moído elevou o teor de Ca até 6,0-7,0  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e Mg próximo a 2,0-3,0  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , o que resultou no melhor desenvolvimento das plantas de soja (LANGE et al., 2022). A relação Ca:Mg entre 4:1 e 5:1 com teor de Ca  $\geq 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e Mg próximo a 1,0-1,5  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  resultam em plantas de soja mais robustas, com maior massa do sistema radicular e parte aérea e incrementos no teor de Ca

foliar (LANGE et al., 2021). Neste estudo o valor de  $\text{Ca}+\text{Mg}$  próximo a  $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  foi observado sem a adição de calcário nos solos já cultivados de textura arenosa, média, argilosa. Para os solos muito argilosos e de mata nativa, foi necessário  $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário para atingir este valor.

Em relação aos 33 solos avaliados, todos os de mata nativa e os solos 1A, 5A e 5C apresentam  $\text{Ca}+\text{Mg} <$  que  $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na ocasião da coleta inicial, confirmando a carência destes nutrientes nos solos nativos e em alguns em cultivo. Apenas os solos 4B e 9B tinham inicialmente  $\text{Ca}+\text{Mg} >$  que  $5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Tabela 1), mostrando que há carência destes elementos, o que pode limitar a produtividade de grãos, se compararmos com os resultados de Moraes et al. (2023). O crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas são restritos quando há presença de Al tóxico e baixos teores de Ca e Mg, causando prejuízos às culturas (Bellinaso et al., 2021). Atualmente os sistemas mais intensificados, com duas ou até três safras anuais extraem muito mais nutrientes que os sistemas de produção antigos o que, obviamente gera maior demanda por nutrientes disponíveis no solo.

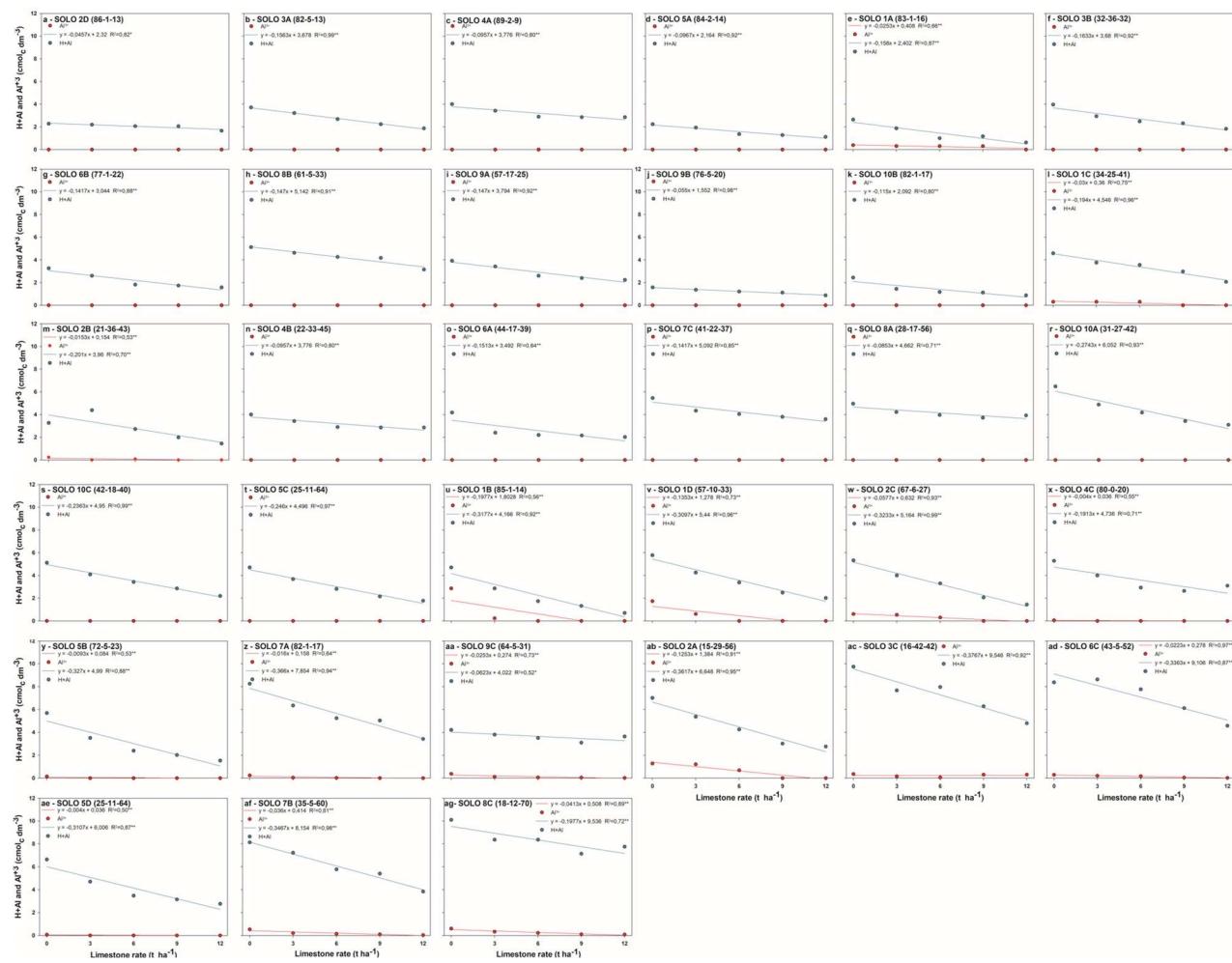


Figura 5. Valores de H+Al de cada solo após a aplicação de calcário pelo método de incubação.

Figure 5. H+Al values of each soil after lime application using the incubation method.

Os solos de mata nativa, com V% inicial médio de  $\sim 22$  (textura média de  $360 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), necessitam mais que  $8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário para atingir  $V\% \geq 50$  ( $y = 3,35 * \text{dose} + 24,812$ ), após 90 dias de incubação e chegam a 63% na maior dose (Figura 2 AD). Estimando a necessidade de calcário [NC=  $(V_2-V_1)*T/\text{PRNT}$ ] para atingir 50%, seria

necessário apenas  $4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  nestes solos, o que mostra a discrepância entre valores obtidos e estimados. Como exemplo, os solos arenosos de mata 1D, 2C e 4C (Figura 7 v, w, x), necessitaram em torno de  $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  para atingir  $V\% \geq 50$  após a incubação, sendo que a dose teórica seria de  $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Já solos de mata 3C, 5B, 6C, 7B e 8C, mais argilosos

(Figura 7 ac, y, ad, af, ag) necessitaram de 12,0 Mg ha<sup>-1</sup> para atingir V% ≥ 50 após a incubação, sendo que a dose teórica ficaria entre 3,0-6,0 Mg ha<sup>-1</sup>.

De acordo com Sousa; Lobato (2004), a produtividade de soja, milho, algodão, trigo e feijão no Cerrado aumenta até saturação por bases até 40%, estabiliza entre 40 e 60% e diminui acima de 60%, devido a deficiência induzida de micronutrientes. Este problema pode acontecer, por isso em áreas que se trabalha com altas saturações atualmente, o fornecimento de micronutrientes via solo e foliar é imprescindível. Resultados em solos matogrossenses de Aguiar (2021) e Pinto (2021) com altas doses de calcário (12 Mg ha<sup>-1</sup>) em plantio direto mostram que altas produtividades na soja e milho estão relacionadas a saturações mais altas que 60-70%, corroborando com Moraes et al. (2023). Ressalta-se

que estas áreas com altas saturações receberam micronutrientes via solo e foliar anualmente.

Existe a necessidade de se olhar para a literatura nacional que está defasada em relação aos boletins de recomendação de calagem e aos adequados valores recomendados de V% e teores e saturação de Ca e Mg, pois houve grande evolução dos materiais genéticos cultivados, os quais necessitam de um ambiente radicular com solo corrigido e mais rico em nutrientes para expressar o potencial produtivo e obviamente, exportando mais bases e acidificando mais o solo, que materiais genéticos antigos, corroborando com as observações de Moraes et al. (2023) e Santos et al. (2024). Ainda em relação a região Norte e Médio Norte de MT, há o cultivo de duas safras no mesmo ano agrícola (soja e milho e/ou algodão), com produtividades extraordinárias, o que requer correção e fertilização adequadas ao sistema.

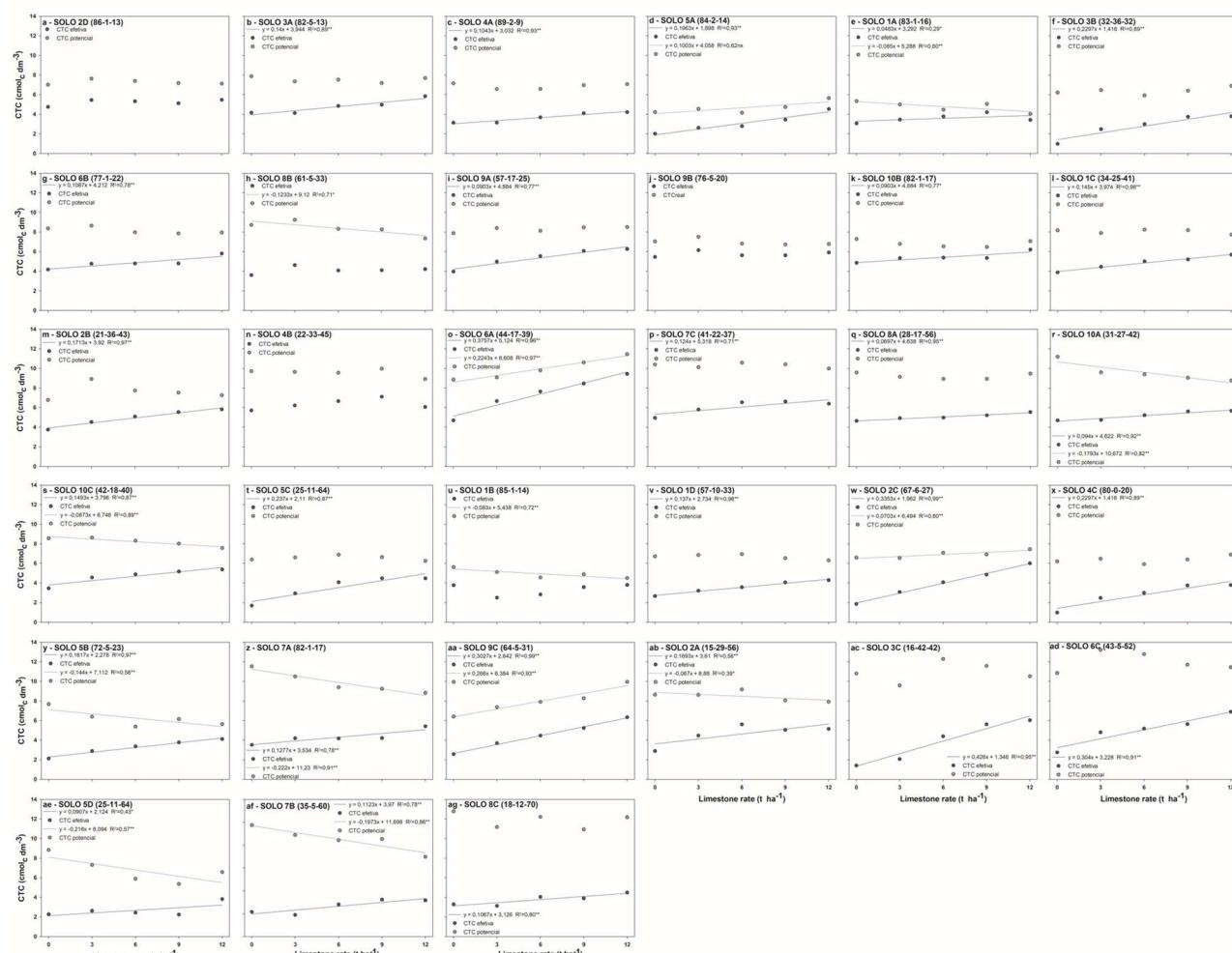


Figura 6. Valores de CTC efetiva e potencial de cada solo após a aplicação de calcário pelo método de incubação.  
Figure 6. Effective and potential CTC values of each soil after lime application using incubation.

Alguns dos solos estudados apresentavam saturação por bases <25%, valor considerado crítico (QUAGGIO; RAJ, 2022), e foram comparados entre o método de saturação de bases e pelas curvas de incubação para elevar a saturação por bases (V2) a 50, 60, 70 e 80% (Tabela 2). Em média, as doses de calcário necessárias, conforme  $[NC = (V2-V1)*T/PRNT]$ , para elevar o valor V2, a 50% no SOLO 1B (textura arenosa), SOLO 1D (média), SOLO 3C (argilosa) e SOLO 8C (muito argilosa) deveriam ter um acréscimo de 96, 109, 79 e 320%, respectivamente, pelo método de saturação de bases em relação as curvas de incubação.

Aplicando-se o mesmo raciocínio para valor V2 igual a 60%, pelo método saturação de bases teriam que acrescentar 103, 119, 81 e 325%, respectivamente, nas doses a serem aplicadas ao comparar com as curvas de incubação. Quando se considera a elevação do valor V2 a 70%, as doses de calcário recomendadas pelo método saturação de bases deveriam ter um acréscimo de 112, 124, 79 e 327%, respectivamente, em relação as curvas de incubação. E, por fim, ao elevar o valor de V2 a 80% pelo método de saturação de bases, as doses deveriam ter um acréscimo de 114, 129, 80 e 333%, respectivamente.

## Curvas de neutralização da acidez de solos na transição Cerrado-Amazônia

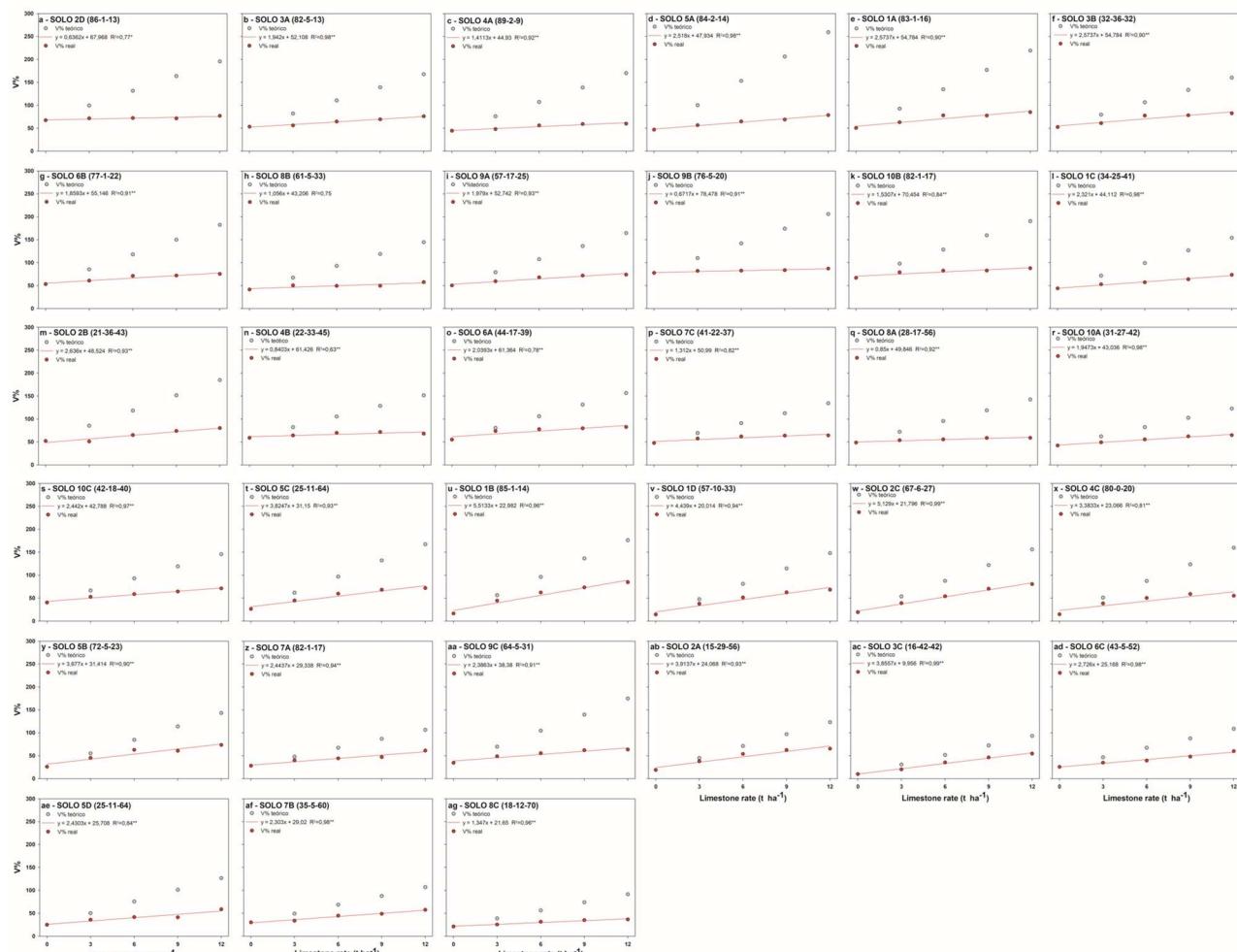


Figura 7. Valores de saturação por bases (V%) de cada solo após a aplicação de calcário pelo método de incubação.  
Figure 7. Base saturation values (V%) of each soil after lime application using incubation.

298

Tabela 2. Comparação da dose de calcário obtida na incubação versus as determinados pelo método de necessidade de calagem pelo método da saturação por bases [NC=  $(V_2 - V_1) * T / PRNT$ ] em relação a diferentes saturações desejadas V2(%) para cinco solos.  
Table 2. Comparison of the lime dose obtained during incubation versus those determined by the liming requirement method using the base saturation method [NC=  $(V_2 - V_1) * T / PRNT$ ] about different desired saturations V2(%) for five soils.

Solos	V2 (%)	Curva de Incubação	Saturação por bases
		Doses (Mg ha <sup>-1</sup> )	
1B (Arenoso)	50	4,9	2,5
	60	6,7	3,3
	70	8,5	4,0
	80	10,3	4,8
1D (Médio)	50	6,7	3,2
	60	9,0	4,1
	70	11,2	5,0
	80	13,5	5,9
3C (Argiloso)	50	10,4	5,8
	60	13,0	7,2
	70	15,6	8,7
	80	18,2	10,1
8C (M. Argiloso)	50	21,0	5,0
	60	28,5	6,7
	70	35,9	8,4
	80	43,3	10,0

Estes resultados demonstram que são necessárias doses muito maiores de calcário que as recomendadas usualmente pelo método da saturação de bases para se atingir os valores desejados de saturação por bases, conforme evidenciam os estudos recentes de Chapla (2017), Aguiar (2021), Pinto (2021), Lange et al. (2021), Lange et al. (2022), Silva (2023), em solos mato-grossenses e os de Moraes et al. (2023) e Santos et al. (2024) em Minas Gerais. Outro fato a se destacar é que para alcançar saturação por bases entre 60 e 80%, pelas curvas de incubação, há a necessidade de duas a quatro vezes da quantia estimada de calcário pelo método de saturação de bases, conforme a textura dos respectivos solos.

Quanto aos teores de Al, estes sofreram decréscimos em relação as doses de calcário aplicadas, sendo que 80% dos solos com textura arenosa, apresentaram os teores de Al iguais a zero, e os que apresentaram teores acima de 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, foram zerados com a dose de 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário. Nos solos com textura média, 46% dos solos analisados apresentaram teores de Al iguais a zero e 30% com teores na forma tóxica no solo, porém foram eliminados com aplicação das doses de calcário entre 6,0 e 12,0 Mg ha<sup>-1</sup>. Já nos solos com textura argilosa 18% apresentaram teores de Al tóxicos, e com aplicações entre 3,0 e 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário reduziram para Al não tóxico. Nos solos com textura muito argilosa, 50% apresentaram teores de Al tóxicos e foram reduzidos com apenas 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário.

Ao analisar o solo de mata 1B (Figura 5 u), com Al igual a 2,85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, o que representava m% de 75%, há redução para o m% a 9% quando da adição de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> e este comportamento foi observado para praticamente todos os solos de textura arenosa e média sob mata nativa, mostrando que a prática comum entre os agricultores da região, de se aplicar a dose entre 3,0 e 4,0 Mg ha<sup>-1</sup>, serve apenas para neutralizar o Al, quando se trata de solos com

texturas mais arenosas. Porém os solos com demais texturas, que apresentaram saturação por Al maior que 30%, só foram neutralizados quando aplicadas doses de calcário acima de 6,0-9,0 Mg ha<sup>-1</sup>.

Considera-se aqui então a necessidade de readequar/ajustar o método de recomendação de calagem para atingir as saturações desejadas e para que as culturas expressem o potencial produtivo.

Tabela 3. Correlação de Pearson entre os atributos químicos dos solos após a aplicação de doses de calcário pelo método de incubação após 90 dias.

Table 3. Pearson correlation between the chemical attributes of the soils after applying lime doses using the incubation method after 90 days.

	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>CaCl2</sub>	H+Al	P	K	Ca+Mg	Al	CTC-pot	V%	CTC-efet
pH <sub>H2O</sub>	—									
pH <sub>CaCl2</sub>	0,901*	—								
H+Al	-0,766*	-0,698*	—							
P	0,334*	0,210*	-0,365*	—						
K	0,033	0,053	0,054	0,072	—					
Ca+Mg	0,402*	0,409*	-0,341*	0,186*	0,227*	—				
Al	-0,204	-0,274*	-0,019	-0,064	0,048	-0,463*	—			
CTC-pot	-0,434*	-0,361*	0,703*	-0,223*	0,250*	0,413*	-0,284*	—		
V%	0,737*	0,685*	-0,848*	0,406*	0,078	0,714*	-0,344*	-0,276*	—	
CTC-efet	0,244*	0,242*	-0,231*	0,123	0,257*	0,918*	0,252*	0,469*	0,574*	—

\*significativo a p < 0,01.

## 5. CONCLUSÕES

As doses crescentes de calcário influenciaram significativamente as propriedades químicas dos solos estudados, promovendo a neutralização da acidez e o aumento da disponibilidade de nutrientes essenciais para as culturas.

A capacidade de resposta do solo em relação a calagem está diretamente condicionada a textura, ao poder tampão e a acidez inicial do solo.

A aplicação de 3,0 a 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> comumente utilizada pelos agricultores da região Centro-Norte de Mato Grosso apenas é suficiente para neutralizar o Al.

A saturação por bases máxima observada foi de 78% nos solos de textura média e o pH máximo de 7,1 em solos arenosos, áreas estas já com histórico de uso agrícola e calagem.

Para atingir saturação de bases entre 60 e 80%, as curvas de incubação necessitariam de duas a quatro vezes da quantia estimada de calcário pelo método de saturação de bases, conforme a textura dos respectivos solos.

Os resultados indicam a necessidade de revisão das recomendações tradicionais de calagem para atingir as saturações desejadas em ambientes de alta produtividade em que são cultivadas duas safras no ano agrícola.

A adoção de doses superiores às atualmente recomendadas pode ser benéfica para maximizar o potencial produtivo das lavouras, garantindo uma melhor correção do solo e disponibilidade de nutrientes a longo prazo.

## 6. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, B. L.; Calagem superficial até 12 t ha<sup>-1</sup> em plantio direto: produtividade da soja e efeitos no solo. 65f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2021.
- ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, Recomendação para o uso de

corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação, Viçosa: SBCS, 1999. p. 43-60.

ARAÚJO, S. R.; DEMATTÉ, J. A. M.; GARBUIO, F. J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1755-1764 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600024>

BELLINASO, R. J. S.; VARGAS, J. P. R.; RHEINHEIMER, D. S. Crop yields in no-tillage are severely limited by low availability of P and high acidity of the soil in depth, **Soil Research**, v. 60, p. 33-49, 2021, <https://doi.org/10.1071/SR21021>

CHAPLA, M. E. Calagem superficial em área de plantio direto. 85f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2017.

CONAB\_Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra 2022/2023 – Oitavo levantamento. Distrito Federal: CONAB, 2023. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.

DUDA, G. P.; SALVIANO, A. M. Alterações na fertilidade de um latossolo devido à prática da calagem recomendada pelo método de incubação. **Revista Científica Rural**, v. 12, n. 1, p. 28-35, 2007.

EMBRAPA\_Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

ESPER NETO, M. E.; CONEGLIAN, C. F.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Short-term effects of liming on chemical attributes of tropical sandy soil and soybean (*Glycine max* L.) yield. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, p. 889-894, 2019, <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.06.p 1614>

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

## Curvas de neutralização da acidez de solos na transição Cerrado-Amazônia

- LANGE, A.; CAVALLI, E.; PEREIRA, C. S.; CHAPLA, M.V.; FREDDI, O. S. Relações cálcio:magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. *Nativa*, v. 9, n. 3, p. 294-301, 2021. <https://doi.org/10.31413/nati-va,v9i3.11526>
- LANGE, A.; ZAMBIASI JÚNIOR, M. J.; CAVALLI, E.; PEREIRA, C. S.; FREDDI, O. S. Incubação de calcário finamente moído e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. *Nativa*, v. 10, n. 4, p. 585-594, 2022. <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i4.14146>
- LANGE, A.; ULRICH, T. A.; SANTOS, C. P. A.; MAGALHAES, C. A. S.; BEHLING, M.; FILHO, R. C. A. Evolução dos atributos químicos das análises de solo de mato grosso entre anos de 2016 a 2021. *Revista Plantio Direto Digital*, v. 2023, p. 82-91, 2023.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594p.
- MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1992. 124p.
- MATTOS, J. R. D.; BOARETTO, R. M.; QUAGGIO, J. A. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS, JR. D.; RAJ, B. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2022. p. 113-120.
- MORAES, F. A.; MOREIRA, S. G.; PEIXOTO, D. S.; SILVA, J. C. R.; MACEDO, J. R.; SILVA, M. M.; SILVA, B. M.; SANCHEZ, P. A.; NUNES, M. R. Lime incorporation up to 40 cm deep increases root growth and crop yield in highly weathered tropical soils. *European Journal of Agronomy*, v. 144, e126763, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126763>
- MOREIRA, S. G.; DE MORAES, F. A.; PEIXOTO, D. S.; SILVA, J. C. R.; GAUDENCIO, J. R. F.; SILVA, B. M.; SILVA, M. M.; MACEDO, J. R. Deep incorporation of high limestones rates affects the macro and micronutrients availability and the accumulated grain yield in three acidic sites in Brazil. *European Journal of Agronomy*, v. 154, e127074, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.127074>
- OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. Informe Agropecuário. v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.
- PINTO, A. C. **Recomendação de calagem para o sistema soja/milho na região de transição Cerrado/Amazônia**. 65f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2021.
- QUAGGIO, J. A.; RAJ, B. Manejo da acidez do solo. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS, JR. D.; BOARETTO, R. M.; RAJ, B. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2022. p. 61-83.
- SANTOS, F. C.; RESENDE, A. V.; SOARES, J. R.; VIANA, J. H. M.; SANTANA, M. L. T.; MOREIRA, S. G.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Limestone reaction in sandy soil: Rate effects, limestone type, moisture regime, and time, *Agrosystems Geosciences & Environment*, v. 7, e70008, 2024. <https://doi.org/10.1002/agg2.70008>
- SILVA L. A. **Calagem incorporada ao final do período chuvoso, em área de abertura, em Mato Grosso**. 40f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] – Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2023.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: REATTO, A.; CARVALHO, A. M.; SANZONOWICZ, C.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; GALRÃO, E. Z.; MENDES, I. C.; CORREIA, J. R.; SILVA, J. E., ANDRADE, L. R. M.; VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; HUNGRIA, M.; LOBO-BURLE, M.; VARGAS, M. A. T.; OLIVEIRA, S. A.; SPERA, S. T.; REIN, T. A.; SOARES, W. V. **Cerrado – Correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 81-96.

**Agradecimentos:** Ao Sindicato das Indústrias de Extração de Calcário de Mato Grosso – SINECAL e aos acadêmicos da disciplina Fertilidade e Adubação do Solo (2019-1), do programa de mestrado PPGA pelo apoio na realização da pesquisa.

**Contribuições dos autores:** A.L. - planejamento do estudo, orientação e redação; M.E.C. - confecção de figuras; W.C.P.M. - estatísticas e redação.

Todos os autores leram o artigo na sua versão final e aprovaram a sua publicação.

**Disponibilidade de dados:** Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente via e-mail.

**Conflito de interesses:** O autor declara não haver conflito de interesses.



**Copyright:** © 2024 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NonCommercial \(CC BY-NC\) license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).