

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGROECOLOGIA
MESTRADO PROFISSIONAL**

ÉDSON THIAGO BONASSOLI

**GESSO RECICLADO COMO CONDICIONADOR DE SOLO E SEU EFEITO EM
DOIS LATOSSOLOS**

Maringá
2020

ÉDSON THIAGO BONASSOLI

**GESSO RECICLADO COMO CONDICIONADOR DE SOLO E SEU EFEITO EM
DOIS LATOSSOLOS**

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Mestrado Profissional, do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecologia, na área de concentração: Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr Antonio Carlos Saraiva da Costa

Coorientador: Dr. Ivan Granemann DeSouza Junior

Maringá

2020

FICHA CATALOGRAFICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à
minha filha, Lara Maria Pires Bonassoli.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá, pela oportunidade da realização de um sonho. Agradeço aos professores do Programa de Pós-graduação Profissional em Agroecologia por me proporcionar o conhecimento, a direção e administração, pela imensa oportunidade e qualidade dos ensinamentos direcionados aos discentes em todos os períodos de atividades.

À minha família, meu pai Edison Bonassoli, minha mãe Fátima Helena Celloti Bonassoli, minha irmã Vivian Tacyany Bonassoli Shima, que foi minha inspiração para a realização dessa atividade, e minha companheira Jéssica Francielle Pires de Oliveira.

A equipe do Laboratório de Química e Mineralogia de Solos (LQMS/UEM), em especial ao professor Antonio Carlos Saraiva da Costa, que me guiou e me ensinou muito durante esses dois anos que passamos junto, e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A construção civil constitui uma atividade de fundamental importância para o desenvolvimento de nossa sociedade. Esse setor é responsável pela geração de um volume significativo de resíduos, sendo que grande parte são indevidamente descartados, podendo causar grandes impactos ambientais. O gesso residuário da construção civil, quando descartado de forma irregular pode promover danos ambientais, como a contaminação do lençol freático. Em função da constituição química, esse resíduo apresenta características de interesse agrônomo, o que torna possível sua utilização na agricultura como fonte de cálcio e enxofre, promovendo resultados similares ao gesso agrícola, para melhoria do ambiente radicular atuando como condicionador de solo. Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o potencial de utilização gesso residuário da construção civil do município de Maringá como uma opção de condicionador de solo. O experimento foi montado em vasos, em casa de vegetação anexa ao Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos (LCRR) e Laboratório de Química e Mineralogia de Solo (LQMS), da Universidade Estadual de Maringá (UEM), para avaliação do comportamento do gesso sobre as características químicas de dois latossolos com texturas diferentes. Antes da aplicação dos tratamentos, os solos foram corrigidos com calcário para elevar a saturação completa do complexo de trocas dos cátions básicos. As doses de gesso foram aplicadas nos vasos preenchidos com 12 litros de solo, em quantidades equivalentes a 0, 1, 2, 4, 6, 8 e 10 t ha⁻¹, com 5 repetições, totalizando 70 unidades experimentais, onde foram semeadas 10 sementes de *Urochloa ruziziensis*, como catalizador biológico. Após 180 dias da emergência da *U. ruziziensis*, as plantas foram retiradas e amostras do solo foram coletadas para avaliação de seus atributos químicos. O gesso originário da construção civil, em todas as doses testadas, apresentou comportamento semelhante ao gesso agrícola, pois serviu como fonte de cálcio e enxofre, além de promover alterações significativas e favoráveis nas manifestações das cargas elétricas negativas dos dois solos. Neste sentido, o material testado comprovou sua atuação eficiente como condicionador de solo, se apresentando como uma alternativa mais sustentável que as opções tradicionais.

Palavras-chave: reciclagem de resíduo; construção civil; cálcio; enxofre; cargas elétricas do solo.

ABSTRACT

The civil construction is an activity of fundamental importance for the development of our society. This sector is responsible for the generation of a significant volume of wastes, a large part of which is improperly discarded, which can cause great environmental impacts. The waste gypsum from the civil construction, when irregularly disposed, can cause environmental damage, such as contamination of the water table. Due to its chemical constitution, this residue has characteristics of agronomic interest, which makes it possible to use it in agriculture as a source of calcium and sulfur, promoting results similar to agricultural gypsum, to improve the root environment, acting as a soil conditioner. Therefore, the aim of this study was to evaluate the potential of using gypsum waste from the civil construction of the city of Maringá as a soil conditioner option. The experiment was performed in pots, in a greenhouse attached to the Waste Characterization and Recycling Laboratory (LCRR) and Soil Chemistry and Mineralogy Laboratory (LQMS) of the State University of Maringá (UEM), to evaluate the effects of gypsum on the chemical characteristics of two Oxisols with different textures. Before applying the treatments, the soils were limed with limestone to increase the complete saturation of the basic cation exchange complex. Doses of gypsum equivalent to 0, 1, 2, 4, 6, 8 and 10 t ha⁻¹, with 5 replicates were applied in pots filled with 12 liters of soil, totaling 70 experimental units, where 10 seeds of *Urochloa ruziziensis* were sown, as a biological catalyst. After 180 days of *Urochloa ruziziensis* germination, the plants were removed, and soil samples were collected to evaluate their chemical attributes. The gypsum originating from civil construction, in all tested doses, has a similar effect to agricultural gypsum, as it worked as a source of calcium and sulfur, in addition to promoting relevant and favorable changes in the manifestations of negative electrical charges for both soils. Therefore, the material tested proved its efficient performance as a soil conditioner, being a more sustainable alternative than traditional options.

Keywords: waste recycling; civil construction; calcium sulfur, soil electrical charges.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 Diferentes formas de gipsita como (a) Espato acetinado, (b) Alabrasto e, (c) Selenita	6
Figura 2 Gesso reciclado Em placas (A), aplicado na construção de forro (B).	8
Figura 3 Efeito do gesso sobre as raízes.	10
Figura 4 Disponibilidade de nutrientes em função do pH	16
Figura 5 Triângulo de grupamento textural.....	19
Figura 6 Montagem do experimento	21
Figura 7 Valores de pH_{H_2O} , pH_{KCl} e pH_{CaCl_2} para o Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.....	25
Figura 8 Valores de pH no ponto de carga zero (pH_{PCZ}) e delta pH (ΔpH) para o Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.....	26
Figura 9 Valores de acidez potencial do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado	27
Figura 10 Valores de soma de bases (SB) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado	28
Figura 11 Valores de capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.....	30
Figura 12 Valores de capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e efetiva (CTCe) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa	31
Figura 13 Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e teor de carbono (C) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.....	32

Figura 14 Valores de saturação por bases (V%) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado	33
Figura 15 Teores de sulfato (S-SO ₄ ²⁻) disponível do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado	34
Figura 16 Teores de sulfato (SO ₄ ²⁻) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado	35
Figura 17 Teores de micronutrientes do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado. (1)Modelo linear de regressão não foram significativos a 5%. N.s= não significatiso, GE= dose de gesso.	38
Figura 18 Somatório dos teores disponíveis de ferro, cobre, zinco e manganês do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentesde gesso reciclado	39

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 Limite máximo de contaminantes permitidos para condicionadores de solo	5
Tabela 2 Composição química teórica do mineral gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	6
Tabela 3 Teor de areia, silte e argila e classe textural do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e do Latossolo Vermelho distrófico (LVd)	19
Tabela 4 Análise química Latossolo Vermelho (LVd) e do Latossolo Vermelho (LVd)	19
Tabela 5 Representação do preparo dos vasos, com as doses de gesso analisadas.	21
Tabela 6 Parâmetros das equações representadas pelos valores do coeficiente de determinação e nível de significância entre os valores de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, pH_{KCl} e $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ para o Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado, apresentados na Figura 5	24
Tabela 7 Parâmetros das equações representadas pelos valores do coeficiente de determinação e nível de significância entre os valores de micronutrientes para o Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso (Ge) reciclado	36
Tabela 8 Coeficientes de correlação de Pearson e significância entre atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado	46
Tabela 9 Modelos lineares e quadráticos de regressão das variáveis dependentes associadas aos atributos químicos dos e as doses de gesso (Ge) aplicadas no Latossolo Vermelho distrófico e no Latossolo Vermelho distroférico	47
Tabela 10 Modelos lineares e quadráticos de regressão das variáveis dependentes associadas aos atributos químicos dos e as doses de gesso (Ge) aplicadas no Latossolo Vermelho distrófico e no Latossolo Vermelho distroférico	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1. Condicionadores de solo	4
2.2. Mineral gipsita	5
2.3. Gesso	7
2.3.1 Gesso reciclado	8
2.4. Uso de gesso na agricultura	9
2.5. Alterações químicas do solo após a aplicação do gesso agrícola	10
2.5.1. Acidez ativa do solo (pH)	11
2.5.2. Acidez trocável (Al^{3+})	12
2.5.3. Acidez potencial ($Al^{3+} + H^+$)	13
2.5.4. Bases do solo	13
2.5.5. Capacidade de troca catiônica – CTC	13
2.5.6. Valor V%	14
2.5.7. Enxofre	14
2.5.8. Disponibilidade de microelementos	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Acidez ativa	22
4.2. Acidez trocável e potencial	26
4.3. Soma de bases	27
4.4. Capacidade de troca catiônica	28
4.5. Saturações por bases	32
4.6. Enxofre e fósforo	33
4.7. Micronutrientes	35
5. CONCLUSÕES	40

6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
EXOS46		

1. INTRODUÇÃO

O município de Maringá está localizado no terceiro planalto paranaense, Norte do Estado do Paraná, entre as coordenadas geográficas de 23°15'14" e 23°33'40" de latitude sul e 51°50'0" e 52°05'40" de longitude oeste. O município está muito bem estruturado e desenvolvido e constitui um polo de produção agrícola e tecnológica, fatores que contribuem para a intensa atividade do setor da construção civil.

A forte atuação da construção civil estimula o desenvolvimento e impacta diretamente devido a elevada produção de resíduos gerados pela atividade. Esses resíduos quando não recebem destinação adequada tornam-se um problema em potencial, pois seu descarte irregular representa sérios riscos de dano ao meio ambiente, à saúde pública e à sociedade.

De modo geral, existe um sério problema quanto à destinação do resíduo da construção civil, pois não é incomum encontrar esse tipo de material depositados em terrenos baldios e/ou amontoados pelas empresas de descarte sem a atenção necessária ao problema. Atualmente, no município, não existe um aterro sanitário exclusivo de descarte de resíduos da construção civil. Quanto às tecnologias de reciclagem desses materiais ou são inexistentes ou pouco difundidas, o que acaba por agravar o problema.

Blumenschein (2004) concluiu que a disposição de resíduos é uma consequência da atividade da cadeia produtiva da indústria de construção, promotora dos impactos ambientais negativos de alta intensidade no solo, no lençol freático, bem como no ar, na flora, na fauna e na paisagem.

Se observarmos com mais atenção para esses materiais descartados, acreditamos que uma parte significativa desses resíduos pode ser reutilizada na agricultura com o propósito de melhorias na qualidade dos solos agrícolas, pois grande parte dos materiais utilizados na construção civil é de origem natural extraídos de diferentes fontes, algumas delas utilizadas na agricultura como corretivo de acidez, condicionadores de solo e como fonte de nutrientes.

Na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305) sancionada em 05 de agosto de 2010 o conceito de resíduos da construção civil (RCC) é definido como aqueles que são gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras

de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

Neste sentido a viabilização da reciclagem de resíduos na agricultura poderia transformar esses resíduos em insumos agrícolas, o que poderia promover benefícios para sociedade em relação à gestão desses materiais com a diminuição dos impactos causados a natureza, além da redução do custo de produção agrícola.

A resolução nº 431, de 24 de maio de 2011, estabelece nova classificação para o gesso, passando a ser considerado material totalmente reciclável, podendo ser utilizado na agricultura como condicionador de solo, pois quando aplicado promove melhoria dos atributos físicos, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados.

O gesso agrícola ou fosfogesso é considerado um condicionador de solo e deve conter teores mínimos de 16% de cálcio (Ca), 22% de óxido de cálcio (CaO) e 13% de enxofre (S). As suas partículas devem passar 100% em peneira de 2 milímetros, no mínimo 70% em peneira de 0,84 milímetros e no mínimo 50 em peneira de 0,3 milímetros.

O gesso utilizado na construção é composto pelo mineral gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e ou pelo mineral anidrita (CaSO_4) que passa pelo processo de moagem antes da utilização. Essas características tornam o material passível de reuso na agricultura em substituição a outras fontes de gesso agrícola.

Neste sentido, vários autores têm estudado e encontrado resultados satisfatórios com o uso do gesso de origem industrial, denominado fosfogesso (CAÍRES et al., 2006; SORATTO ; CRUSCIOL, 2008) ou de origem mineral (SALDANHA et al., 2007; ROCHA et al., 2008; ROCHA et al., 2018) como condicionador de solo para melhoria nos atributos químicos do solo nas camadas subsuperficiais.

A prática mais eficiente na correção da acidez é a calagem, porém devido à baixa solubilidade e à mobilidade do calcário, não é possível alcançar resultados satisfatórios em subsuperfície, visto que sua atuação fica restrita ao local de aplicação (ERNANI et al., 2001).

O gesso, devido às suas características químicas, promove a melhoria do ambiente radicular em camadas subsuperficiais (20 à 40 cm), pois reage com os cátions presentes no solo formando par iônico neutro $\text{Ca}(\text{SO}_4)^0$, $\text{Mg}(\text{SO}_4)^0$ se movimentam em profundidade no perfil, aumentando os níveis de cálcio e enxofre

em subsuperfície, além de diminuir a atividade do alumínio tóxico pela formação do complexo catiônico $Al(SO_4)^+$, fato que promove melhoria no ambiente radicular para as plantas.

A hipótese deste estudo é que a utilização do gesso reciclado, gerado como resíduo na construção civil apresente resultados satisfatórios, compatíveis com aqueles encontrados com o uso de gesso agrícola, sendo possível sua utilização em sistemas agrícolas, por fornecer melhores condições para o crescimento e desenvolvimento das plantas, refletindo no aumento da produtividade.

A justificativa deste estudo parte do pressuposto de que o gesso originário da construção civil seja tão eficiente quanto o gesso agrícola. Esse material resíduo constitui um passivo ambiental muito grande para sociedade. Por outro lado, para os produtores agrícolas da região de Maringá-PR, sua utilização pode apresentar além dos benefícios para o solo-planta, a vantagem econômica de aquisição e de logística, pois o gesso agrícola apresenta um valor significativo para aquisição. Outro aspecto positivo que viabiliza a prática da reciclagem agrícola, é o elevado custo para destinação desse resíduo, pois devido ao seu elevado potencial de poluição pelo enxofre, o mesmo apresenta algumas restrições, não podendo ser descartado junto com os outros resíduos da construção civil.

Portanto, a destinação deste resíduo deve ser feita de forma cautelosa, de maneira adequada por empresas de reciclagem, cujo valor cobrado por quilo de material recolhido para reciclagem por essas empresas é superior ao do gesso oriundo das jazidas e do fosfogesso comercializado na região.

É importante destacar que o gesso utilizado na realização deste trabalho não passou por processos de transformação que utilizam agentes químicos, como pinturas ou utilização de abrasivos, por exemplo. Este material é um resíduo das sobras das placas e molduras, moído, armazenado e utilizado em no experimento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

1.1. Condicionadores de solo

A lei nº 12.305/10 diz respeito à Política Nacional de Resíduos Sólidos que trata da gestão do lixo no Brasil. Foram calculados pelo IPEA (2012) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, uma produção de aproximadamente 183,5 toneladas/dia de resíduo. Desta quantidade 31,9% são de materiais recicláveis, 51,4% de materiais orgânicos, e 16,7% de outros materiais. Nessa lei, é apresentado um primeiro passo para a destinação correta dos resíduos de construção civil.

Somente com a Instrução Normativa - IN 7, de 12 de abril de 2016 é definido que condicionador de solo são produtos que promovem a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas, ou da atividade biológica do solo. Há várias opções de materiais que dentro de padrões pré-estabelecidos apresentados na Tabela 1 se enquadram como condicionador de solo com potencialidade de um fim de destinação melhor que os aterros sanitários. O resíduo de gesso utilizado na construção civil é um exemplo de material que apresenta potencial para ser utilizado como condicionador de solo. Esse material antes classificado pela resolução nº307 do CONAMA (2002) como resíduo classe C, sem tecnologia para reciclagem ou reutilização pela indústria, teve sua classificação alterada pela Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011 para resíduo da classe B (CONAMA, 2012), passando a ser considerado material totalmente reciclável, podendo ser utilizado na agricultura como condicionador de solo.

É de conhecimento técnico e científico a utilização e os benefícios do uso do gesso na agricultura. Esse insumo atua em camadas subsuperficiais, além de melhorar o ambiente para o desenvolvimento das raízes das plantas, sendo fonte de cálcio e enxofre. Neste sentido a utilização do fosfogesso e da gipsita moída é bastante estimulada.

No Brasil, a produção e comercialização de substratos agrícolas e condicionadores de solo é aportada por produtos fabricados a partir de materiais de origem natural (ABISOLO, 2009). O resíduo do processo de fabricação de fertilizantes fosfatados solúveis em água, conhecido como gesso agrícola ou

fosfogesso, também se enquadra na categoria de condicionador do solo, pois promove alterações químicas e físicas no solo.

Como apresentado, no Brasil há um volume muito grande de resíduo da construção civil, havendo potencialidade para utilização desses resíduos na agricultura como condicionador de solo, reduzindo seu impacto ambiental de produção de resíduos e, por outro lado, apresentando-se como uma alternativa de material para recuperação de áreas degradadas. É importante encontrarmos alternativas viáveis para a destinação correta desses resíduos.

Na resolução nº 452 do CONAMA (2002), em seu anexo IV, o gesso consta em uma lista de resíduos perigosos, o que não significa que sua utilização esteja inviabilizada, porém deve ser utilizado de maneira criteriosa. A utilização deste resíduo consta no anexo III desta resolução, onde é apresentada uma lista de características perigosas na qual o gesso não está presente.

O material utilizado no trabalho foi testado e se encontra dentro dos padrões de utilização, livres de metais pesados e contaminantes biológicos tornando possível este estudo.

Tabela 1 Limite máximo de contaminantes permitidos para condicionadores de solo

CONTAMINANTE	VALOR MÁXIMO ADMITIDO
Arsênio (mg kg ⁻¹)	20
Cádmio (mg kg ⁻¹)	3
Chumbo (mg kg ⁻¹)	150
Cromo hexavalente (mg kg ⁻¹)	2
Mercúrio (mg kg ⁻¹)	1
Níquel (mg kg ⁻¹)	70
Selênio (mg kg ⁻¹)	80
Coliformes termotolerantes – nº mais provável	1
Ovos viáveis de helmintos - nº por 4g de	1000
Salmonella sp	Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Instrução Normativa nº 7, republicada em 02/05/2016.

2.2 Mineral gipsita

A gipsita é um mineral do grupo dos sulfatos hidratados, sendo sulfato de cálcio di-hidratado (CaSO₄.2H₂O). Este mineral é o mais importante e mais abundante na natureza (KLEIN; DUTROW, 2012) de grande interesse da indústria por sua desidratação e reidratação. Durante o processo de calcinação é possível dar formas ao material (BALTAR et al., 2005). A gipsita é encontrada em diversas

regiões do mundo nos depósitos de origem evaporítica. É comum encontrar nos depósitos de gipsita outros minerais como anidrita (CaSO_4) (BARBOSA et al., 2014).

A gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é encontrada sobre diversas formas como por exemplo, o espato acetinado que constitui um grupo de gipsita fibrosa com brilho sedoso. O alabastro é um outro grupo finamente granulado, de aspecto maciço e a selenita que é incolor e transparente com foliação decorrente da clivagem (VELHO et al., 1998). Apresenta granulometria de fina à média, podendo ser encontrado com cores branco, incolor, cinza (Figura 1), entre outras, de acordo com os elementos que o acompanham (MUÑOZ et al., 2014).

Figura 1 Diferentes formas de gipsita como (a) Espato acetinado, (b) Alabastro e, (c) Selenita.



A composição química teórica da gipsita é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 Composição química teórica do mineral gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Composto	Composição (%)
CaO	32,5
SO ₃	46,6
H ₂ O	20,9

Fonte: Klein; Dutrow (2012).

Devido às suas características, a utilização da gipsita pela indústria é bastante diversificada e envolve uma série de processos industriais. A utilização da gipsita é bastante conhecida na agricultura, pois atua como condicionador de solo,

aumentando a permeabilidade, a aeração, a drenagem, a penetração das raízes e a retenção de água (ZAMBROSI et al., 2007).

Em nível mundial, os maiores produtores de gipsita são os Estados Unidos da América (17%), Irã (10%), Canadá (8%), México (7%) e a Espanha (7%). Embora o Brasil possua a maior reserva mundial, representa apenas 1,4% da produção mundial.

O principal polo de produção de gesso no Brasil está localizado no estado de Pernambuco, no chamado Polo Gesseiro de Araripe (LYRA SOBRINHO et al., 2004). No Brasil, o gesso oriundo dos depósitos de gipsita do Polo Gesseiro do Araripe é responsável pela produção de 97% do gesso utilizado no país (IPA, 2014).

2.3. Gesso

A gipsita, após extração, passa por um processo de transformação, da forma di-hidratada para a forma hemi-hidratada, pelo processo de calcinação em temperaturas entre 140°C e 160°C (SANTOS, 2003). Após o processo de transformação, o material adquire características industrialmente interessantes como a plasticidade da massa fresca, que permite a moldagem do material, a lisura da superfície endurecida e a secagem rápida da pasta. A característica da plasticidade do material permite uma diversidade de utilização e moldagem, utilizada na formação das placas de gesso para construções. O gesso, assim como a cal e o barro, é um material bastante popular para construções e tem sido utilizado desde as civilizações antigas.

Há indícios de que o gesso é utilizado há oito mil anos na região do oriente médio como rebocos, preparo do solo e recipientes. A Pirâmide de Quéops, de aproximadamente 2800 a.c., preserva um dos mais antigos vestígios do emprego de gesso em construção (CARVALHO, 2002).

Este ponto apresenta uma importância histórica da utilização do gesso para a formação da sociedade. Atualmente, o uso do gesso não se limita apenas a construção civil, sendo bastante diversificada: indústria farmacêutica, materiais escolares, ortopédicos, indústria automobilística, fabricação de cerveja, agricultura, entre outros.

2.3.1 Gesso reciclado

O gesso utilizado na construção civil é formado por uma placa de camadas de gesso e camadas de papel, sendo utilizado em projetos de arquitetura (Figura 2). A utilização na forma de placas proporciona uma praticidade e facilidade de instalação, apresenta isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, além de ser um produto economicamente viável. Por outro lado ele apresenta como desvantagem o limite de peso colocado sobre ele e a não tolerância a umidade (BRITO et al., 2014).

O impacto ambiental causado pelo processo de calcinação é muito alto, devido suas reações ocorrerem em altas temperaturas, exigindo alto consumo energético. Deve-se observar que a maioria das empresas não se propõe a criar um plano de controle, gerando um impacto negativo para toda a sociedade e ao meio ambiente.

Durante esse processo é liberado grande quantidade de água, gases e resíduos da combustão. Ocorre que esses subprodutos por muitas vezes não são utilizados, gerando um problema ocasionado pela deposição inadequada do material. Na fase de calcinação são liberados para a atmosfera óxidos de enxofre (SO_x) que reagem com a água, formando gás sulfídrico (HSO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) sendo esses agentes causadores da chuva ácida. (MUÑOZ et al., 2014).

Figura 2 Gesso reciclado Em placas (A), aplicado na construção de forro (B).



(Fonte: PLAQUES, 2019)

2.4. Uso de gesso na agricultura

A busca por alternativas sustentáveis de nutrientes para as plantas tem papel fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura de qualidade. Nesse sentido a utilização do gesso na agricultura se mostrou um parceiro para os produtores rurais e para o meio ambiente (LOPES, 1998).

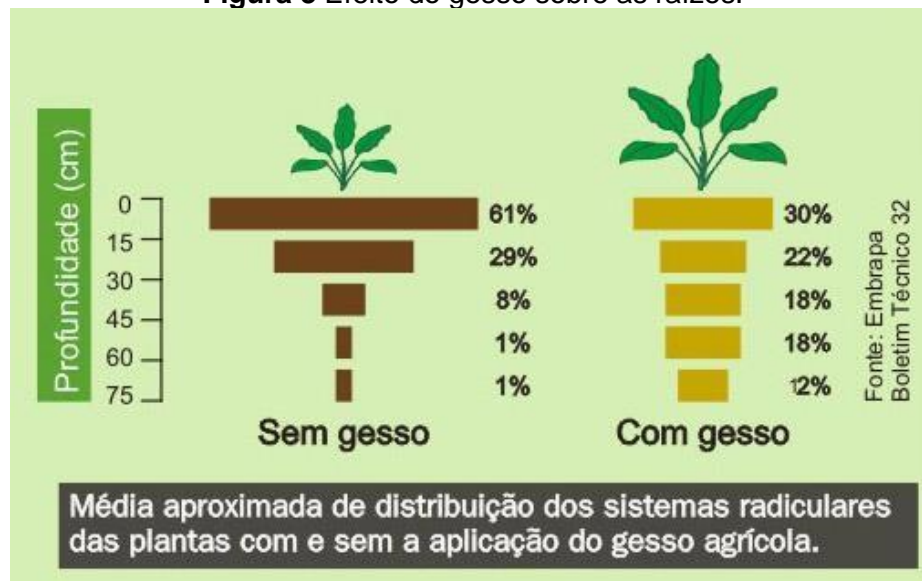
A prática mais eficiente na correção da acidez do solo é a calagem, porém, o calcário (CaCO_3) utilizado nas propriedades rurais apresenta baixa solubilidade e mobilidade dos calcários. Desse modo, não é possível alcançar resultados satisfatórios em subsuperfície em períodos curtos de tempo, visto que suas reações ocorrem somente no local de aplicação (ERNANI et al., 2001). Porém, é observado em alguns trabalhos na literatura que ao longo do tempo o calcário aplicado em superfície pode apresentar efeitos corretivos em subsuperfície pela migração mecânica das partículas mais finas do calcário (AMARAL et al., 2004) ou da movimentação de íons (HCO_3^-), e outros produtos da sua dissolução, como o $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (RHEINHEIMER et al., 2000; CAIRES et al., 2003; CAIRES et al. 2005; SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Embora o gesso não seja corretivo da acidez, pois não promove elevação do pH, o gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é considerado um condicionador químico do solo. Seu uso pode substituir parcial ou totalmente o calcário (CaCO_3) para o fornecimento de Ca^{+2} e neutralização do efeito tóxico do Al^{+3} nas camadas superficiais (até 20 cm), devido a maior mobilidade do gesso, principalmente SO_4^{2-} na forma de par iônico ao longo do perfil do solo.

A utilização do gesso como agente promotor de correção da acidez trocável no solo em camadas subsuperficiais, tem apresentado melhoria do ambiente radicular, interferindo de forma positiva na produtividade de plantas forrageiras. Segundo Santos et al. (2013), o uso do gesso contribuiu para a elevação dos teores de cálcio trocável e redução dos teores de alumínio trocável em subsuperfície, além do aumento da produção de biomassa de variedades de capim elefante (Figura 3).

Os principais critérios de recomendação de aplicação de gesso com a finalidade de melhoria do solo são os baseados no teor de argila ou na saturação por bases (V%) e CTC das camadas subsuperficiais do solo (VITTI; PRIORI, 2009).

Figura 3 Efeito do gesso sobre as raízes.



Fonte: Embrapa (1995)

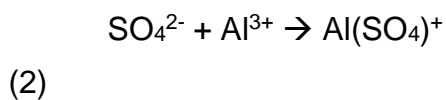
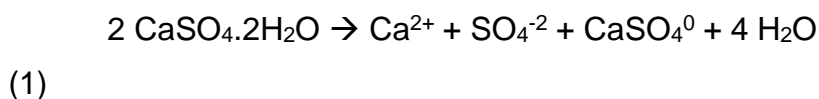
2.5 Alterações químicas do solo após a aplicação do gesso agrícola

Nas regiões tropicais e subtropicais o problema da acidez nos solos é bastante acentuado e ocorre de forma natural. Devido à ação do ambiente, ocorrem maiores processos químicos no solo promovendo a remoção de bases do solo, induzindo-os a apresentarem deficiência de Ca^{2+} e Mg^{2+} e ao acúmulo de Al^{3+} tóxico, que pode ocorrer tanto na camada superficial (0 – 20 cm) como em subsuperfície (abaixo de 20 cm). Esse acontecimento prejudica o crescimento e desenvolvimento radicular, pois diminui a disponibilidade dos nutrientes, aumenta a disponibilidade de outros elementos potencialmente tóxicos além do Al^{3+} e também reduz a atividade biológica. Todos esses fatores contribuem para diminuição da fertilidade dos solos e diminuição da produtividade nas lavouras, os quais devem ser corrigidos para o restabelecimento do seu máximo potencial produtivo.

No caso da necessidade da correção do solo em superfície, a principal prática adotada é a calagem que apresenta eficiência maior nas camadas superficiais, promove aumento do pH e reduz a atuação do alumínio tóxico. Além disso, a baixa solubilidade e mobilidade dos calcários e dos produtos de sua dissolução impedem a melhoria das camadas subsuperficiais. (RODRIGHERO et al., 2015)

A correção de camadas mais profundas requer a incorporação mecânica dos corretivos, prática que é evitada em sistemas de plantio direto devido à necessidade de revolvimento e movimentação do solo. Nesse caso, a gessagem é mais eficiente para promover melhorias no ambiente radicular mesmo quando há aplicação superficial desse insumo, devido a sua maior solubilidade. A movimentação de Ca^{2+} para camadas mais profundas do solo beneficia o crescimento radicular, aumentando o volume de exploração pelas raízes, permite o melhor aproveitamento da água e fornece resistência para as plantas em períodos de seca prolongada.

No processo de dissolução do gesso aplicado no solo ocorre a liberação de Ca^{2+} , SO_4^{2-} , bem como o par iônico neutro CaSO_4^0 , capaz de migrar no solo em profundidade (SOUZA et al., 2012). Esses íons reagirão como o Al^{3+} no solo para formação do complexo iônico $\text{Al}(\text{SO}_4)^+$ sendo este não tóxico às plantas, conforme reação da neutralização do alumínio tóxico apresentada abaixo:



2.5.1. Acidez ativa do solo (pH)

Os solos que presentes nas regiões tropicais e subtropicais naturalmente tornam-se ácidos. Esse fato é mais intensificado nos solos formados a partir dos materiais de origem que favorecem a perda dos cátions básicos, como o Ca, Mg, K e Na com acúmulo gradativo de H^+ e Al^{3+} na superfície dos colóides ao longo do tempo, que gera aumento da acidez (SOUZA et al., 2012). Outros fatores que podem contribuir para aumento da acidez estão relacionados ao próprio uso do solo, como a aplicação de fertilizantes nitrogenados, remoção dos cátions básicos pelas culturas e acidificação da rizosfera.

A acidez ativa do solo pode ser facilmente determinada pela medida do pH do solo, que representa a atividade do íon H^+ em equilíbrio na solução aquosa ou em soluções salinas como CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ou KCl 1 mol L^{-1} (IAPAR, 1994), podendo ser representado pela equação abaixo:

$$\text{pH} = \log [1/(\text{H}^+)] = -\log (\text{H}^+)$$

(3)

onde (H+) representa a atividade de H⁺ em mol L⁻¹.

O coeficiente de atividade do íon H⁺ é influenciado pela concentração salina utilizada na determinação do pH do solo, de forma que no solos eletronegativos, verifica-se a diminuição do pH como o aumento da concentração salina e o contrário pode ocorrer para solos eletropositivos. Dessa forma, com a determinação do pH do solo em água e numa solução salina de KCl 1 mol L⁻¹ é possível a determinação da sua carga líquida pelo valor do ΔpH, representado pela equação 4.

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$$

(4)

A diferença nos valores de pH determinados nessas soluções com diferentes concentrações salinas permitem também estimar o valor do pH onde o somatório de cargas positivas se equipara ao de cargas negativas no solo, denominado pH no ponto de carga (pH_{PCZ}), conforme apresentado na equação 5 proposta por Uehara; Gilman (1980).

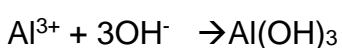
$$\text{pH}_{\text{PCZ}} = 2 \times \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$$

(5)

2.5.2 Acidez trocável (Al³⁺)

Outro componente da acidez dos solos refere-se à acidez trocável, representada pela concentração de Al³⁺, que corresponde à principal fonte de acidez dos solos devido a sua hidrólise. Esse componente é determinado após sua extração com uma solução não tamponada de KCl 1 mol L⁻¹, pH ~ 5,5.

Nessa extração, a elevada concentração de K⁺ presente na solução força a troca do Al³⁺ e do H⁺ retido na superfície das partículas pelo excesso de K⁺ na solução, sendo o Al³⁺ posteriormente determinado por titulometria com solução de NaOH, de acordo com a seguinte reação:



(6)

2.5.3 Acidez potencial ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$)

A acidez potencial, também denominada acidez total ou acidez de reserva, corresponde ao somatório da acidez trocável (Al^{3+}) somado à acidez residual (H^+), representada pelo H^+ não dissociado na acidez trocável (SOUZA et al., 2012). A extração da acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) é feita com uma solução de acetato de cálcio tamponada a pH 7, seguido da determinação titulométrica com NaOH.

2.5.4 Bases do solo

Os cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) presentes no solo são denominados bases do solo, sendo que o somatório desses elementos representa a soma de bases (SB). Por serem retidos no solo de forma trocável, a remoção desses elementos pelas culturas, pela lixiviação ou pela substituição no complexo de troca pelos cátions de reação ácida ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) resulta no aumento da acidez dos solos. Para diferentes solos do Estado do Paraná, (Silva et al., 2010) verificaram relação positiva entre o pH do solo em função do aumento das bases trocáveis.

2.5.5 Capacidade de troca catiônica – CTC

A capacidade de troca catiônica (CTC) constitui um dos principais atributos químicos do solo. Refere-se ao somatório dos cátions que podem ser retidos de forma trocável pelas cargas elétricas negativas dos colóides orgânicos e inorgânicos nele presentes. Sua determinação pode ser feita a pH 7 (CTC ou valor T), ou no pH em atual do solo, denominada CTC efetiva (CTCe). A CTC constitui um processo reversível e estequiometricamente equilibrado, no qual a perda cátions básicos, removidos pelas culturas ou pelos processos naturais resulta na substituição em quantidade equivalente pelos cátions de reação ácida ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$).

Dessa forma, a determinação da CTCe é feita pelo somatório da $\text{SB} + \text{Al}^{3+}$ e da CTC a pH pelo somatório da $\text{SB} + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, pois considera todo H^+ dissociado até o pH 7.

Os valores de CTC dos solos são expressos em cmol de carga por kg ou dm³ de solo (cmol_c kg⁻¹ ou cmol_c dm⁻³), sendo utilizado nos cálculos de adubação e calagem dos solos. A CTC é calculada pela fórmula:

$$\text{CTCe (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{SB} + \text{Al}^{3+}$$

(7)

$$\text{CTC (cmol}_c \text{ dm}^{-3}) = \text{SB} + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$$

(8)

2.5.6 Valor V%

A saturação por bases (Valor V%) refere-se ao percentual de cátions básicos trocáveis presentes no solo, sendo determinado pela soma de bases (SB) em relação à capacidade de troca catiônica (CTC), com a seguinte fórmula:

$$V (\%) = 100 (\text{SB}/\text{CTC}) \quad (9)$$

O valor V% é utilizado no cálculo das adubações e calagem visando à aplicação para reposição no solo dos nutrientes requeridos pelas culturas. Diferentes culturas necessitam de maior ou menor quantidade de cátions básicos (como o Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) presentes no complexo de troca para expressão do seu potencial produtivo. Caires et al. (2004) encontraram relação positiva entre o percentual de ocupação de Ca e Mg na CTC do solo com a produtividade do milho, sendo que a maior produtividade da cultura foi atingida quando a saturação por Ca²⁺ ocupava 56% da CTC na camada de 0-5. O aumento na produtividade da cultura foi também observado com o aumento da concentração até atingir 16% da CTC na camada de 5-10cm.

2.5.7 Enxofre

O enxofre está presente no solo nas formas orgânica e inorgânica, predominantemente na forma iônica de SO₄²⁻, que apresenta elevada mobilidade, principalmente nas camadas superficiais devido a presença de cargas negativas. Sua dinâmica no solo é influenciada pelos constituintes da fração inorgânica,

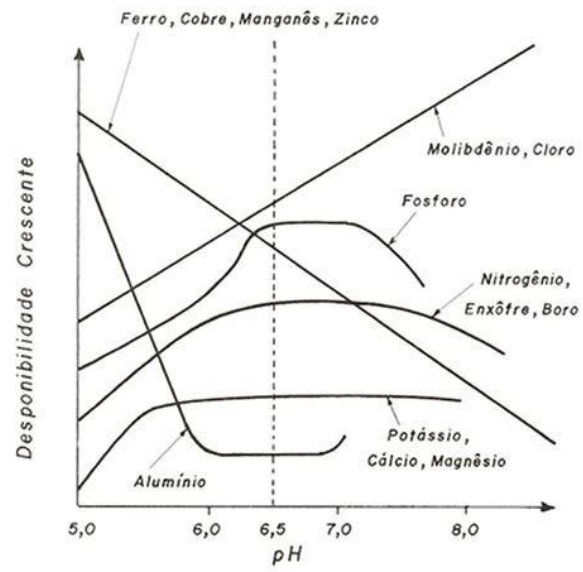
principalmente pela presença de óxidos de ferro, que apresentam elevada capacidade de retenção do elemento e pelas condições que aceleram a atividade biológica que promovem a degradação da matéria orgânica.

As práticas agrícolas adotadas que favorecem o aumento de cargas elétricas negativas no solo contribuem para a diminuição dos teores disponíveis do elemento (RHEINHEIMER et al., 2005), de forma que grande parte dos solos agrícolas apresentam deficiência desse elemento.

A prática da gessagem constitui uma importante fonte de SO_4^{2-} no solo, favorecendo o aumento na sua concentração, tanto nas camadas superficiais, como nas camadas subsuperficiais pela movimentação na forma livre de SO_4^{2-} ou dos pares iônicos com Ca e Mg (CaSO_4^0 e MgSO_4^0), que contribui para o aumento da concentração desses elementos em subsuperfície (CAIRES et al., 2004; ; REINHEIMER et al., 2005; SORATTO; CRUSCIOL, 2008) que podem ocorrer também com o Al^{3+} tóxico (AlSO_4^-), diminuindo sua atividade e o potencial de toxicidade às plantas (ZAMBROSI et al., 2007).

2.5.8 Disponibilidade de microelementos

A figura 4, representada abaixo, mostra o comportamento e a disponibilidade de nutrientes em função do pH do solo. Oliveira; Pavan (1994) e Veloso et al., (1992) concluíram que o gesso não aumenta o pH do solo. Souza et al. (2012) aferiu o pH nas 3 soluções (Água, KCl e CaCl_2) e não encontraram efeito significativo para os valores de pH. Porém, Ramos (2013) observou efeitos significativos positivos nos valores de pH.

Figura 4 Disponibilidade de nutrientes em função do pH

Fonte: (MALAVOLTA,1989)

3. OBJETIVO

3.1. Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo principal a avaliação da viabilidade técnica do uso do gesso reciclado, obtido como resíduo da construção civil em dois Latossolos de classes texturais diferentes e sua influência nos atributos químicos de dois Latossolos.

3.2. Objetivo específico

Avaliar o efeito da aplicação do gesso reciclado nos atributos químicos de dois Latossolos com diferentes teores de argila.

4. MATERIAL E MÉTODOS

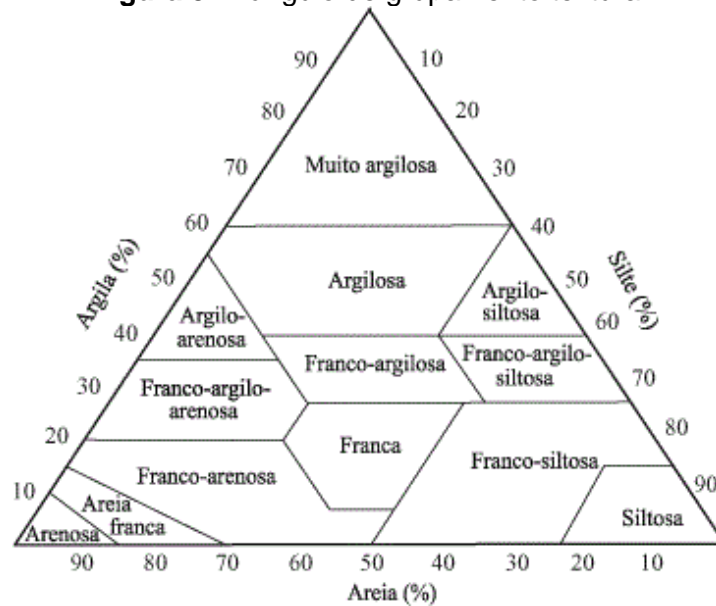
O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Estadual de Maringá utilizando dois solos, classificados como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), de textura superficial arenosa e o Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura argilosa (EMBRAPA, 2018). Ambos os solos formam uma topolitossequência sendo que o LVdf encontra-se no topo do relevo, enquanto o LVf ocupa o terço inferior da paisagem. O LVdf é um solo formado a partir do retrabalho de rochas eruptivas básicas (basalto) em contato com as rochas arenosas do Arenito Caiuá. Ambos os solos foram coletados na camada de 0-20 cm, numa propriedade agrícola no município de Amambaí-MS. A área onde os solos foram coletados era cultivada com diferentes espécies de *Urochloa*, com indícios do processo de degradação devido ao baixo rendimento por hectare. De cada solo, coletou-se aproximadamente 1000 kg, que foram transportados até o Laboratório de Química e Mineralogia do Solo-LQMS e o Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos-LCRR da Universidade Estadual de Maringá – UEM, secos ao ar, peneirados em peneira de malha de 2 mm e armazenados para posterior montagem do experimento. De cada solo foram retiradas duas amostras de aproximadamente 0,5 kg para determinação da composição granulométrica e de seus atributos químicos (EMBRAPA, 2011)

Os resultado da análise granulométrica mostrou que o LVd é constituído por 89% de areia, 2% de silte e 9% de argila, sendo classificado como de textura superficial arenosa (Figura 5). A análise granulométrica indicou que o LVdf é constituído por 49% de areia, 6% de silte e 45% de argila, sendo classificado como argilo-arenoso (Tabela 3). A presença de horizontes superficiais em Latossolos derivados de arenito com teor de argila inferior a 15% não são suficientes para a definição da classe dos Argissolos, visto que, em profundidade, o teor de argila (dados não apresentados) do Horizonte Bw é inferior a 20%. Ambos os solos também apresentaram saturação por bases do Horizonte B inferior a 50%, por isso o seu caráter distrófico.

Tabela 3 Teor de areia, silte e argila e classe textural do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e do Latossolo Vermelho distrófico (LVd)

	LVd	LVdf
Areia,%	89	49
Silte,%	2	6
Argila,%	9	45
Classe	Areia franca	Argilo-arenosa

Figura 5 Triângulo de grupamento textural



(SANTOS; LEMOS,1996).

Após análise granulométrica, foram realizadas as análises químicas de ambos os solos, em que foi medido a acidez ativa (pH) e os cátions não ácidos (Ca, Mg, e K). Os resultados das análises químicas do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) estão na Tabela 4.

Tabela 4 Análise química Latossolo Vermelho (LVd) e do Latossolo Vermelho (LVdf)

	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	C
				-----	cmolc/dm ³	-----		mg/dm ³	g/dm ³
LVd	5,53	4,74	0	2,2	1,63	2,91	0,18	10,7	4,61
LVdf	6,53	5,79	0	3,44	11,53	1,27	0,98	57,9	22,67

Na sequência, foi realizado o preparo dos vasos e da implantação da cultura da *Urochloa ruziziensis* para promover o aumento da atividade biológica do solo (Figura 6). Após o preenchimento dos vasos com 12 litros de solo, efetuou-se a

correção do solo para saturação de bases a 100%, utilizando-se calcário dolomítico (PRNT = 86%) sendo necessário a aplicação das doses 4,25 t ha⁻¹ para o solo LVd e 3,71 t ha⁻¹ para o solo LVdf.

Após a aplicação e incorporação dos corretivos, os solos foram umedecidos e mantidos úmidos na capacidade de campo durante 30 dias antes da semeadura. A semeadura foi feita adicionando-se 8 sementes por vasos que foram desbastadas 15 dias após a emergência das plantas, mantendo-se apenas 4 plantas por vaso. Para adubação, utilizou-se a uréia (CO(NH₂)₂) como fonte de nitrogênio, o superfosfato simples (18% P₂O₅) como fonte de fósforo, e cloreto de potássio (KCl) como fonte de potássio. Também foram adicionados os tratamentos com gesso reciclado nas seguintes doses: 0 (testemunha), 1, 2, 4, 6, 8 e 10 t ha⁻¹, totalizando 70 unidades experimentais como mostrado na tabela 5.

O gesso utilizado no experimento foi obtido de empreiteiras de serviços com gesso nas quais os resíduos das montagens dos materiais seriam descartados em caçambas coletoras. Este material foi recolhido e, com o apoio da pedreira municipal, foi realizada a quebra, trituração e moagem do material. Ressalta-se que o material utilizado não foi afetado pela realização de processos químicos, como pintura, quelatização e hipermeabilização.

As plantas de todos os vasos foram irrigadas de forma manual com uso de regadores todos os dias, de modo que a água não fosse um fator limitante para seu desenvolvimento. Em constante contato com o experimento, o controle de plantas invasoras era realizado diariamente sendo arrancadas após sua identificação. O monitoramento de pragas também era diário. Após a identificação dos insetos invasores, foi realizada a tomada de decisão de controle químico de pragas. Por duas vezes foi necessária a aplicação de Cipermetrina® para controle de cigarrinha das pastagens (*Deois flavopicta*).

Neste trabalho, era importante que a diferença entre os vasos fosse ocasionada somente pelas doses do gesso, sem interferência de agentes externos, visando garantir uma igualdade entre todos os tratamentos durante todo o experimento. Os vasos com a testemunha foram também corrigidos e adubados de acordo com os demais vasos, sendo observada somente a ausência do gesso reciclado, presente apenas nos vasos com os tratamentos, para as diferentes doses de gesso.

Tabela 5 Representação do preparo dos vasos, com as doses de gesso analisadas.

LVd							
Doses (t ha ⁻¹)	0	1	2	4	6	8	10
	5 vasos	5 vasos	5 vasos	5 vasos	5 vasos	5 vasos	5 vasos
LVdf							
Doses (t ha ⁻¹)	0	1	2	4	6	8	10
	5 vasos	5 vasos	5 vasos	5 vasos	5 vasos	5 vasos	5 vasos

Após 180 dias da emergência, as plantas foram cortadas e as amostras dos solos foram coletadas para caracterização dos atributos químicos (pH_{H2O}; pH_{KCl}; pH_{CaCl2}; ΔpH, pH_{PCZ}, Al; (H + Al); Ca; Mg; K; Na; SB; CTC a pH 7,0; CTCe; P; C; V %; SO₄²⁻; Cu; Zn; Fe, Mn) conforme as metodologias descritas pela Embrapa (2011).

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Química e Mineralogia do Solo-LQMS da Universidade Estadual de Maringá.

Figura 6 Montagem do experimento.

A análise estatística dos tratamentos foi efetuada utilizando o programa SAS (SAS, 1999) e as rotinas de regressão simples e múltipla Proc Corr e Proc Reg.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Acidez ativa

Os principais componentes da acidez do solo são o Al^{3+} e o H^+ . Vários atributos químicos podem ser determinados e relacionados à acidez do solo a partir destes dois elementos. Enquanto o H^+ tem um efeito indireto sobre o desenvolvimento das plantas, visto ser um nutriente essencial, o Al^{3+} é reconhecido pela sua toxidez às raízes das plantas. Métodos de recomendação de calagem consideram em grande parte a presença do Al^{3+} em comparação ao H^+ em solução (FREITAS, 1984).

A determinação da acidez ativa é feita por meio da determinação do pH (Potencial Hidrogeniônico). O pH é o primeiro atributo do solo que influi no comportamento químico do solo, principalmente quanto à disponibilidade dos nutrientes. O pH é uma medida da acidez ou alcalinidade dos solos. O principal problema para áreas agrícolas com solos ácidos é o surgimento do alumínio na forma trocável (Al^{+3}) causando toxidez para as plantas e afetando a absorção dos elementos essenciais às plantas por suas raízes.

Medidas do pH podem ser feitas em diferentes soluções com resultados que podem refletir não só a disponibilidade de nutrientes, mas também, a distribuição das cargas nas partículas do solo.

O pH em água é utilizado como um dos métodos para medidas de acidez dos solos, sendo portanto, um indicador de acidez ativa. Porém, os ácidos fracos não foram identificados no pH em água e as amostras chegaram úmidas para análise, ou seja, com a perda de água dos solos, os teores de sais aumentavam. Outra opção para solucionar o problema é a análise do pH do solo em cloreto de cálcio (CaCl_2). O sal corrige a força iônica da solução e favorece a flocculação das argilas, facilitando a leitura do pH sem contaminar o eletrodo (MAEDA et al., 1997). Os valores de pH em CaCl_2 e em pH KCl são, na maioria dos casos, menores quando comparados ao pH em água.

Na figura 7 está a distribuição dos diferentes valores de pH determinados em água, e em soluções de KCl 1M e CaCl_2 0,01 M. A partir destes valores é possível calcular o valor delta pH ($\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) e o pH no ponto de carga zero ($\text{pH}_{\text{PCZ}} = 2 \times \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$). O método do pH em cloreto de potássio (KCl) tem como

objetivo determinar a acidez do solo por meio de um sal neutro (KCl). Em altas concentrações, o potássio (K^+) desloca o alumínio (Al^{3+}) para a solução, ocorrendo a liberação de íons H^+ modificando o pH da solução. A aplicação do gesso promoveu alterações significativas ($p < 0,05$) em todos os valores de pH analisados para LVd e somente para o pH_{H_2O} e pH_{KCl} do LVdf. Essas diferenças de comportamento se devem ao maior poder tamponante do LVdf em relação ao LVd devido seu maior teor de argila e matéria orgânica. Isto pode ser confirmado observando-se (Figura 7) que os coeficientes de determinação (R^2) do LVdf são menores do que os do LVd.

Em geral, a adição do gesso reciclado reduziu os valores de pH avaliados, visto que o coeficiente angular das retas de regressão é significativo e negativo. A redução dos valores de pH se deve a diferentes mecanismos de reação que devem incluir: o aumento da atividade radicular das plantas, com liberação de prótons; a aceleração da decomposição biológica da matéria orgânica dos solos e; a liberação de Al^{3+} adsorvido pela adição de Ca^{2+} do gesso. O Al^{3+} em solução sofre hidrólise e na reação são liberados prótons.

Os valores de ΔpH para ambos os solos foram sempre negativos (Tabela 6; Figura 7), independentemente da dose de gesso reciclado aplicada. No entanto, para o LVd a correlação somente foi significativa com a utilização de uma polinomial de segunda ordem, evidenciando o baixo poder tampão do solo e a possibilidade de uma dose ótima que determine o menor valor de ΔpH .

Os valores de pH_{PCZ} também apresentaram comportamento diferente entre os solos. Para o LVd, a tendência observada foi de decréscimo no valor de pH_{PCZ} aumentando significativamente as cargas negativas. Para o LVdf, o pH_{PCZ} apresentou uma correlação positiva, sendo evidenciada pelo coeficiente angular positivo da reta de regressão (Figura 8). Isto é, para os solos mais argilosos a adição de doses crescentes de gesso agrícola favoreceu mais a adsorção do Ca^{2+} formando complexos de esfera externa-CEE quando comparado com a adsorção do SO_4^{2-} formando complexos de esfera interna-CEI no LVd, criando cargas negativas.

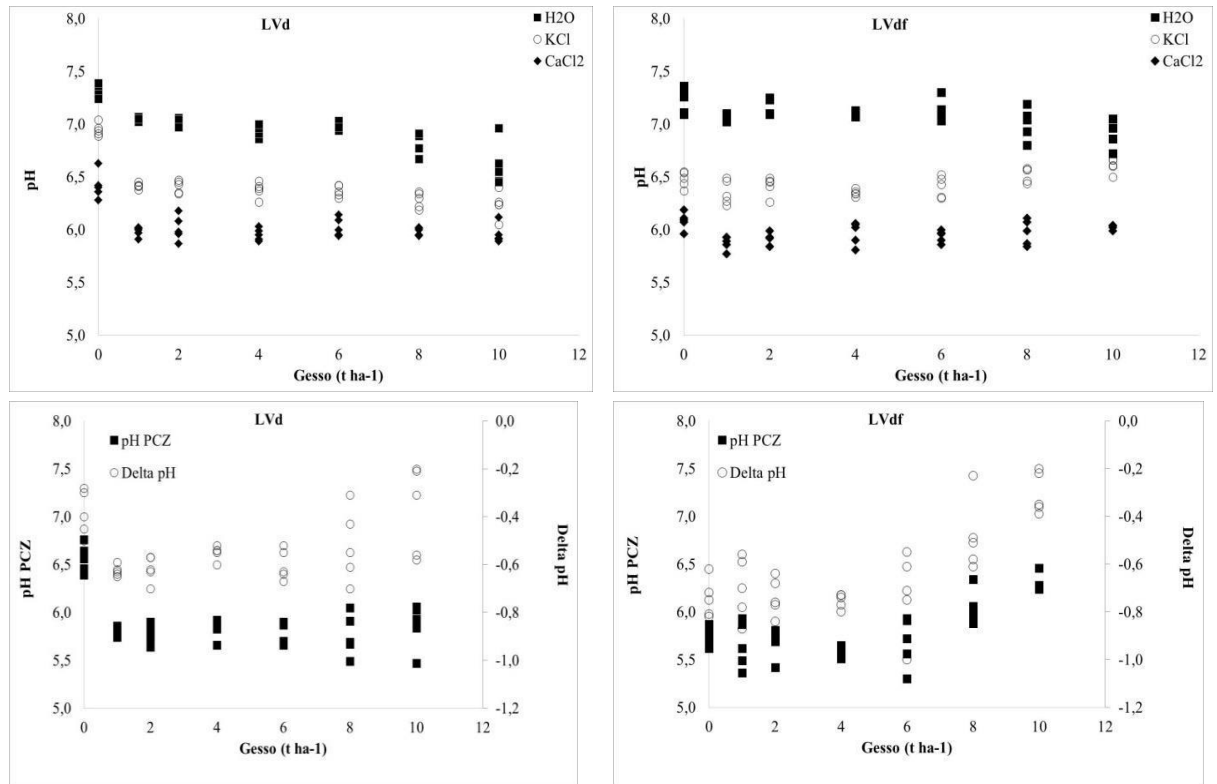
A aplicação de gesso em Latossolos de diferentes texturas, portanto, pode apresentar resultados muito diferentes em termos de distribuição das cargas superficiais. Os resultados deste trabalho mostram que houve efeito positivo para o LVd, solo de textura superficial arenosas e com baixo teor de matéria orgânica. Já para o LVdf, a aplicação das doses crescentes de gesso reciclado até 10 t ha^{-1} não resultaram no acréscimo de cargas negativas (CTC) e sim positivas (CTA). Este

efeito embora não seja positivo, não deve ser considerado um problema visto que (Figura 8) em doses menores (até 4 t ha⁻¹) a aplicação de gesso reduziu o pH_{PCZ} e o ΔpH.

Tabela 6 Parâmetros das equações representadas pelos valores do coeficiente de determinação e nível de significância entre os valores de pH_{H2O}, pH_{KCl} e pH_{CaCl2} para o Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado, apresentados na Figura 5.

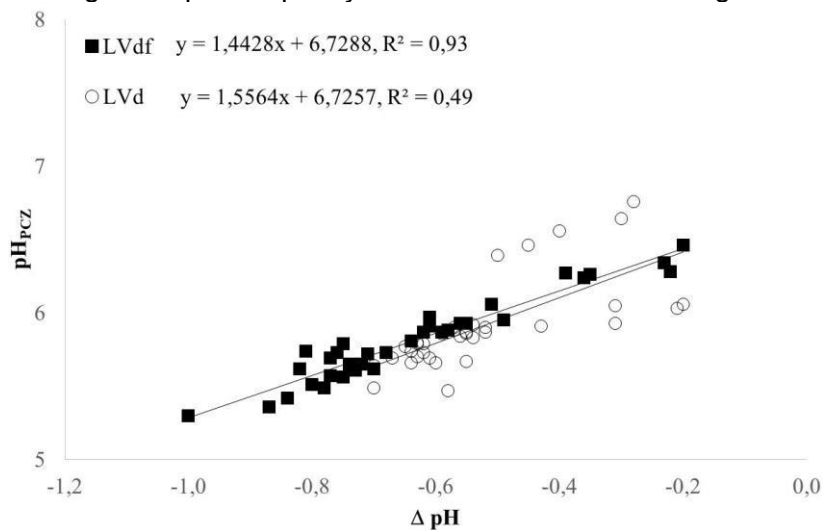
Latossolo Vermelho distrófico		
Modelo de equação de regressão	Coef. Determinação	Significância
pH _{H2O} =7,20116-0,05478xGe	R ² =0,71	p<0,0001
pH _{CaCl2} =6,15654-0,02457xGe	R ² =0,25	p<0,003
pH _{KCl} =6,63840-0,04622xGe	R ² =0,49	p<0,0001
ΔπH ⁽¹⁾	média=-0,52	n.s.
ΔπH=-0,46698-0,07032ξΓε+0,00803ξΓε ²	R ² =0,35	p<0,0009
pH _{PCZ} =6,07563-0,03766xGe	R ² =0,19	p<0,01
Latossolo Vermelho distroférico		
Modelo de equação de regressão	Coef. Determinação	Significância
pH _{H2O} =7,18054-0,02206xGe	R ² =0,34	p<0,0002
pH _{CaCl2} ⁽¹⁾⁽²⁾	média=5,97	n.s.
pH _{KCl} =6,37317+0,01677xGe	R ² =0,26	p<0,0018
ΔπH=-0,80737+0,03883ξΓε	R ² =0,50	p<0,0001
pH _{PCZ} =5,56580+0,05559xGe	R ² =0,46	p<0,0001

Figura 7 Valores de pH_{H_2O} , pH_{KCl} e pH_{CaCl_2} para o Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



Na Figura 8 podemos observar a correlação linear positiva entre os valores de pH_{PCZ} e os valores de ΔpH . A correlação apresenta coeficientes de determinação e significância mais expressivos para o LVdf quando comparado ao LVd. Estes dois atributos associados à distribuição das cargas elétricas na superfície dos colóides orgânicos e inorgânicos do solo são calculados a partir dos mesmos valores de pH (pH_{KCl} e pH_{H_2O}), portanto, a correlação é esperada.

Figura 8 Valores de pH no ponto de carga zero (pH_{PCZ}) e delta pH (Δ pH) para o Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distrófico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



Os coeficientes angulares de ambas as equações são muito parecidos e talvez um único modelo matemático pudesse ser aplicado aos dois Latossolos, mesmo com grande diferenciação nos atributos químicos físicos e mineralógicos.

Isto pode ser confirmado observando-se que quando o Δ pH for zero, isto é, CTC~CTA, o pH_{PCZ} é o mesmo para ambos os solos, ou seja, pH_{PCZ} = 6,73. Neste nível de pH seria atingida a máxima floculação das argilas. Para atingir valor de pH, seriam necessárias 20,8 e 17 t ha⁻¹ de gesso para o LVdf, LVd, respectivamente.

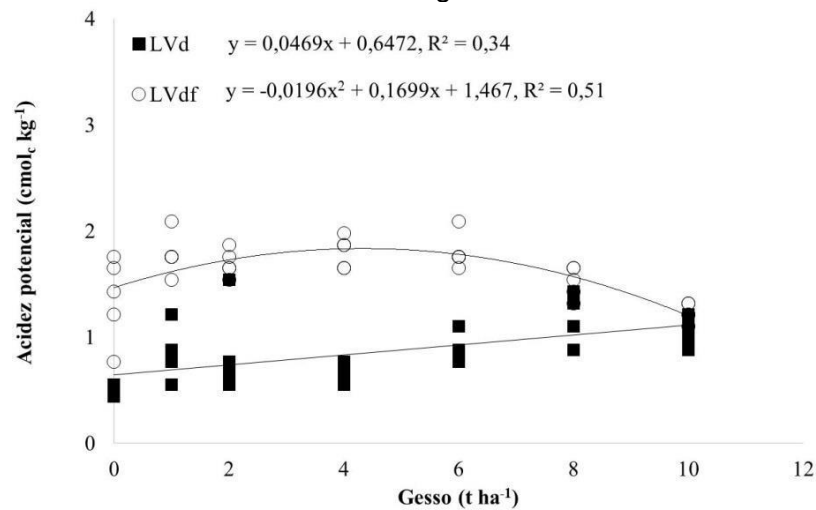
5.2. Acidez trocável e potencial

A acidez trocável faz referência aos teores de alumínio (Al⁺³) e hidrogênio (H⁺) adsorvidos pela CTC, sendo o hidrogênio o componente de menor importância em relação ao pH encontrado no solo.

Na Figura 9 pode-se observar um aumento linear significativo ($p < 0,0002$) da acidez potencial do LVd em função das doses de gesso reciclado. Já a resposta do LVdf foi diferente. Não houve correlação linear significativa, porém o ajuste de uma equação polinomial de segunda ordem apresentou significância a $p < 0,0001$.

Interações entre o comportamento da acidez ativa e as reações entre o Ca²⁺ e o SO₄²⁻ liberados com a hidrólise do gesso reciclado, associado às diferenças de conteúdo de argila e matéria orgânica entre os solos, explicam as diferenças encontradas.

Figura 9 Valores de acidez potencial do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



No LVd, solo com menor poder de tamponamento, as variações de pH com as doses crescentes de gesso promoveram aumento da acidez potencial devido ao decréscimo nos valores de pH, liberação do Al³⁺ trocável em solução e aumento da acidez potencial.

O maior teor de argila do LVdf e de matéria orgânica resultaram em um maior poder tampão e menores variações na acidez potencial do solo. Mendes (2003) não encontrou efeito do gesso sobre a acidez trocável.

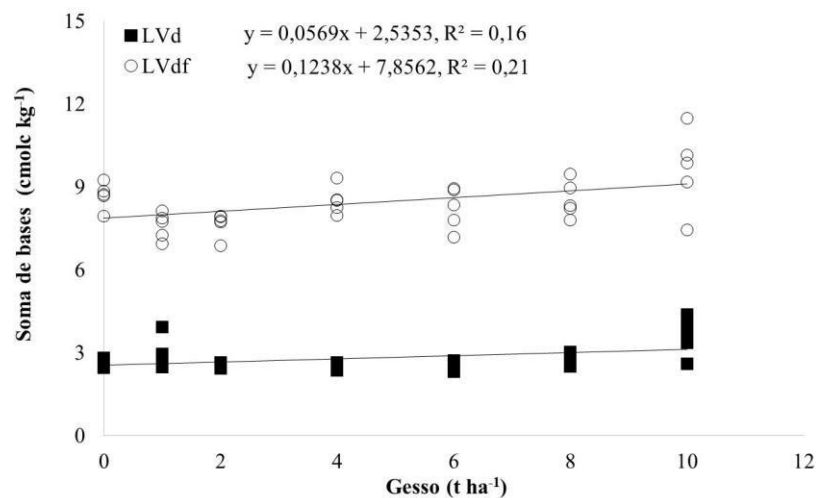
Soratto; Crusciol (2008) observaram que o calcário combinado ao gesso não produz efeitos sob a acidez potencial, mas Souza et al. (2012) observou a redução nos valores de H⁺+Al³⁺ em solos com a prática de plantio direto.

5.3. Soma de bases

A soma de bases representa a soma de bases trocáveis. Com exceção do H⁺ e Al³⁺, estes valores são utilizados para o cálculo da CTC efetiva (CTCe) e CTC apH 7 (CTC). Ao se realizar a correção de solos tropicais, satura-se o complexo de troca aumentando seus valores (RONQUIM, 2010). Em ambos os solos (Figura 10) foi observado efeito significativo ($p < 0,005$) das doses do gesso reciclado sobre a soma de bases.

Estes resultados diferem de Souza et al. (2012) onde não foi observado efeito do gesso em dois sistemas de manejo. Pode-se observar que o efeito é positivo, mas os coeficientes de determinação são relativamente baixos e variaram de 0,16 (LVd) a 0,21 (LVdf), mas significativos ($p < 0,05$).

Figura 10 Valores de soma de bases (SB) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



O aumento da soma de bases se deve à adição de Ca^{2+} como cátion trocável após o processo de hidrólise do gesso reciclado.

Diferenças nos coeficientes angulares das equações da reta para os solos superiores a 100% (LVdf - 0,1238 e LVd- 0,0569) são, novamente, devido às diferenças no poder tampão dos solos, associadas ao maior teor desse elemento no LVdf devido a maior contribuição do basalto como material de origem.

5.4. Capacidade de troca catiônica

A sorção, juntamente com o pH, são os dois principais atributos químicos dos solos. A sorção representa o conjunto de cargas positivas e negativas presentes nos grupos funcionais superficiais da matéria orgânica e inorgânica capazes de reter ânions ou cátions pelos diferentes mecanismos de reação (complexos de esfera externa, complexos de esfera interna e íons na nuvem difusa). A sorção não necessariamente envolve reações entre cargas superficiais e íons em solução,

podendo também envolver reações de dissolução e precipitação que também alteram a concentração dos íons na solução do solo (SPOSITO, 2008).

Estas reações acontecem entre a parte sólida do solo (sorbente) e os íons na solução do solo (sortivo). Se o mecanismo de reação forma complexos bidimensionais na superfície das partículas (sorbato) o processo é denominado de adsorção. Se o acúmulo de matéria na superfície das partículas é tridimensional, o processo é então denominado precipitação.

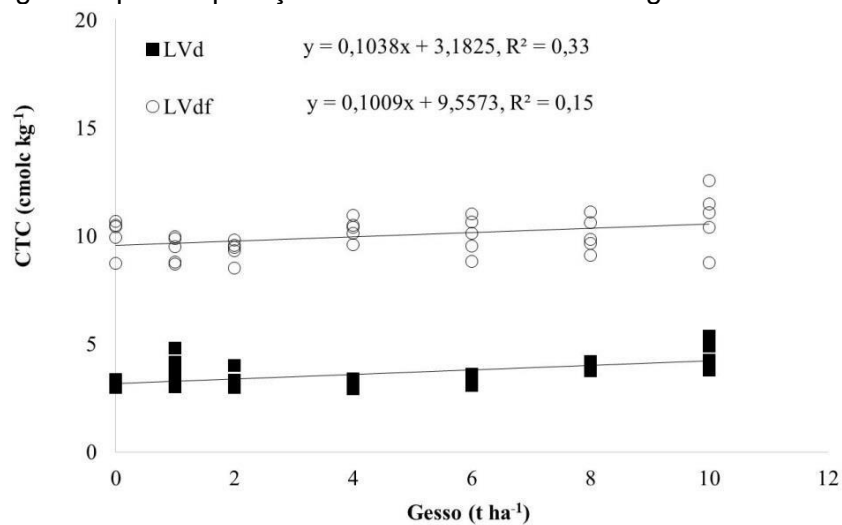
Processos opostos a estes incluem a liberação desses íons pelos minerais para a solução do solo (dessorção) e a dissolução de fases sólidas (CAMARGO, 1991).

A CTC (capacidade de troca catiônica) corresponde ao somatório das cargas negativas das partículas do solo que retêm cátions, como sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e eventualmente o íon amônio (NH_4^+) e os componentes da acidez do solo (Al^{3+} e H^+), pelo mecanismo de formação de complexos de esfera externa-CEE. Além da retenção de íons com carga positiva, a CTC também é importante para a retenção de água (H_3O^+), um íon monohidratado que afeta diretamente a estruturação e a consistência do solo (EMBRAPA, 2011).

Em relação a este atributo químico do solo, os dois Latossolos apresentaram comportamento semelhante. Isto é, a CTC apresentou correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) com as doses de gesso aplicadas. Os coeficientes angulares das equações de regressão são, inclusive, muito próximos (0,1038 para o LVd e 0,1009 para o LVdf). No entanto, o acréscimo na CTC por tonelada de gesso é diferente sendo que este aumento é três vezes maior para o LVd do que para o LVdf (Figura 11).

Os resultados observados neste trabalho são semelhantes aos obtidos por Feitosa (2018) que também observou efeito positivo da utilização do gesso industrial sobre a CTC. Costa (2007) e Mendes (2003) não encontraram efeito significativo sobre a CTC, e Souza et al. (2012) afirmaram que o efeito do gesso na CTC em plantio direto é negativo.

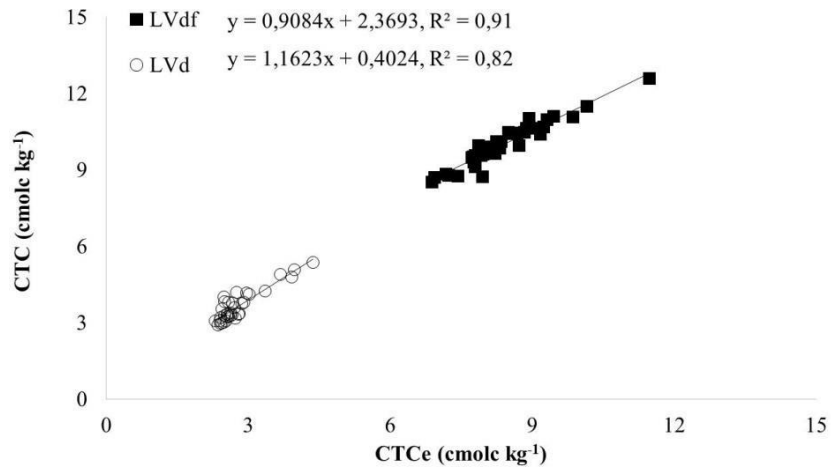
Figura 11 Valores de capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



A CTC efetiva é a soma dos cátions básicos e do alumínio (Al^{3+}) trocável do solo, exceto o hidrogênio (H^+) que compartilha elétrons com as cargas do solo. É uma medida da CTC atual do solo e no pH em que se encontra quando amostrado. Na Figura 12 é possível observar que existe uma correlação linear positiva e significativa ($p < 0,0001$) entre os valores de CTC e CTCe para ambos os Latossolos. O incremento de CTC é proporcional para ambos os solos. Este comportamento demonstra a similaridade de ambos os solos em relação às mudanças dos íons trocáveis com a adição do gesso associados à semelhança na mineralogia destes solos (cauliníticos e com óxidos de ferro).

As diferenças nos valores absolutos se devem às discrepâncias em termos da quantidade de cargas negativas presentes associadas à textura do solo e ao teor de matéria orgânica. A não identificação de minerais de argila 2:1 (esmectitas e vermiculitas) nos difratogramas de raios-X deve-se à sua baixa concentração na TFSA e mesmo na fração argila que poderia mudar o comportamento das relações CTC versus CTCe devido a presença de hidróxi-Al nas entrecamadas destes minerais, funcionando como um tampão para este íon e afetando os valores de CTC.

Figura 12 Valores de capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e efetiva (CTCe) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa.



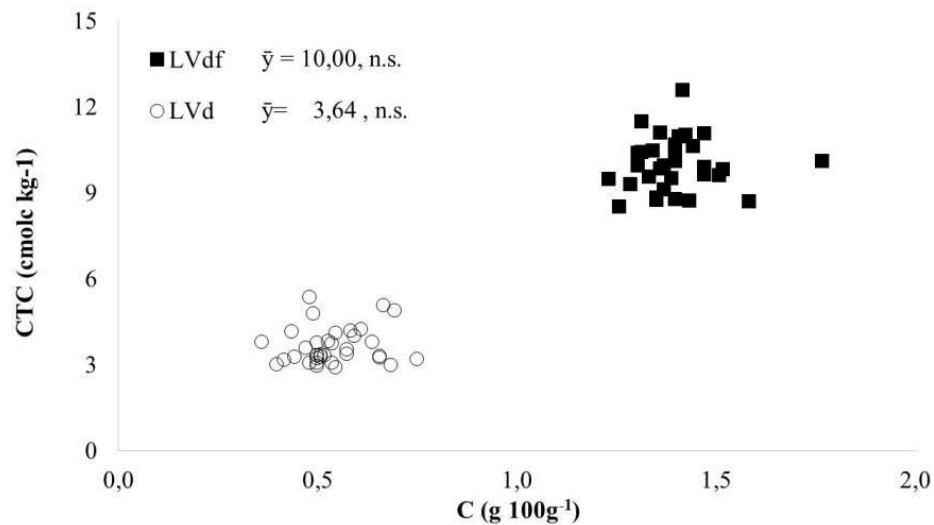
Um dos aspectos químicos fundamentais de Latossolos é a dependência da CTC destes solos do conteúdo de matéria orgânica.

A presença de uma mineralogia homogênea nesta classe de solos, composta basicamente por minerais com baixa densidade de cargas superficiais negativas, como a caulinita e a presença de óxidos de ferro e alumínio que apresentam CTC ao invés de CTC nos valores de pH destes solos, reforça a dependência da CTC em relação ao teor de matéria orgânica.

No entanto, neste experimento, as variações no teor de matéria orgânica foram muito pequenas (Figura 13) e não apresentaram correlação significativa com a CTC destes solos.

Como a adição de gesso reciclado também não deve ter produzido variações muito expressivas na composição mineralógica destes solos, o aumento da CTC em função das doses de gesso reciclado aplicado, pode ser resultado de reações das cargas superficiais da matéria orgânica e dos colóides inorgânicos e não da sua mineralogia ou conteúdo de matéria orgânica.

Figura 13 Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) e teor de carbono (C) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



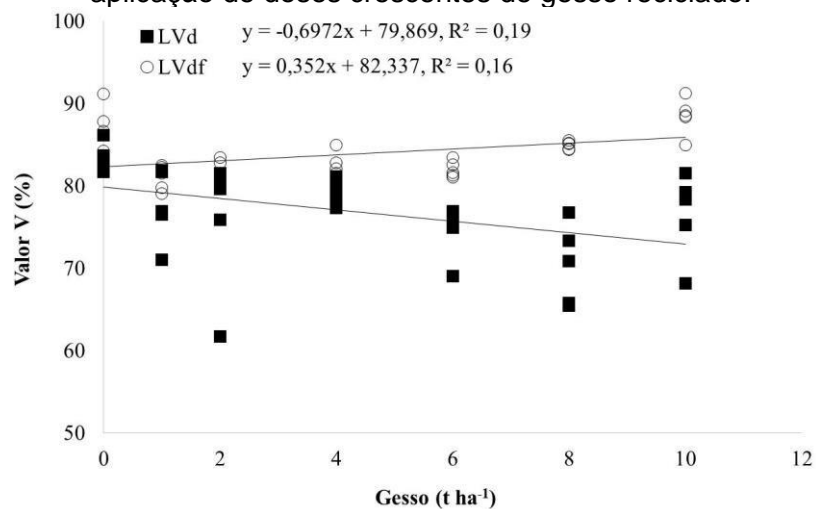
5.5. Saturações por bases

A saturação por bases do solo (valor V%) refere-se à proporção de cátions básicos trocáveis em relação à CTC a pH 7. A saturação por bases é utilizada para classificação de solos, sendo caracterizados como solos eutróficos quando apresentam valores V% iguais ou acima de 50%, e solos distróficos quando apresentam valor V% abaixo de 50%. (EMBRAPA, 2018). Ambos os Latossolos estudados apresentaram valores de saturação de bases acima de 50% na sua camada superficial, resultado da calcário em todos os tratamentos (Figura 14).

No entanto, em relação ao efeito das doses crescentes de gesso reciclado sobre a saturação de bases, foi observado que os solos apresentaram correlações significativas ($p < 0,05$), mas comportamentos discrepantes. O LVd, de baixo poder tampão, apresentou correlação negativa com o valor V% enquanto o LVdf apresentou correlação positiva (Figura 14). Os maiores valores de saturação de bases em função da aplicação do gesso se devem ao aumento nos teores de cálcio. O gesso como fonte de cálcio promove maior mobilização desse elemento no solo, principalmente pelo ânion acompanhante (DAL BÓ et al., 1986). Como as quantidades de gesso aplicadas foram semelhantes para ambos os Latossolos, a correlação negativa para o LVd implica que o aumento da dose acrescentou Ca^{2+} que deslocou mais H^+ e Al^{3+} trocável com a consequente redução do pH. Já para o

LVdf este processo foi menos intenso, já que as reduções no pH foram menores (nem sempre significativas), associadas às diferenças no comportamento da acidez potencial, soma de bases, e na própria CTC, favoreceram o aumento do teor de Ca^{2+} em maiores proporções do que o LVd que resultaram em incrementos no valor V% com o aumento das doses de gesso reciclado.

Figura 14 Valores de saturação por bases (V%) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



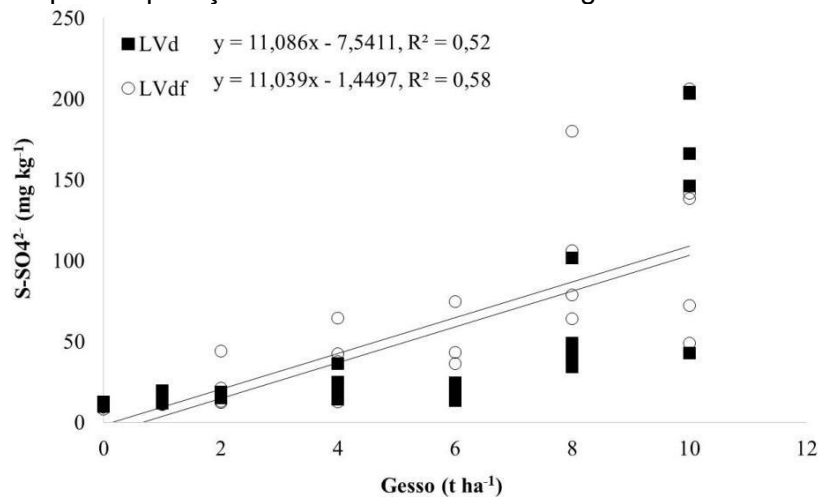
5.5. Enxofre e fósforo

Atualmente o Brasil utiliza 1,6 milhões de toneladas anuais de enxofre elementar, e importa 90% desse volume. O enxofre é um dos principais ânions utilizado pelas plantas e é absorvido pelas raízes por meio do íon sulfato (SO_4^{2-}) (RHENHEIMER et al., 2005). Este ânion atua na formação de aminoácidos, presentes em todas as proteínas vegetais, atuando também em processos metabólicos da fotossíntese.

O enxofre é encontrado comercialmente em diferentes formas como enxofre elementar, sulfato de potássio, sulfato de cobre, etc. O efeito das doses crescentes de gesso reciclado sobre ambos os solos (Figura 15) apresentou resultados positivos com correlações significativas entre o teor de sulfato e as doses aplicadas. Em solos muito ácidos, o íon sulfato liberado na hidrólise do gesso atua junto ao alumínio complexando-o e diminuindo sua toxidez para as plantas. Souza et al.

(2012) e Feitosa (2018) encontraram valores semelhantes. Souza et al. (2012) explicam que essa diferença é observada devido aos teores de enxofre do gesso.

Figura 15 Teores de sulfato ($S-SO_4^{2-}$) disponível do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distrófico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.

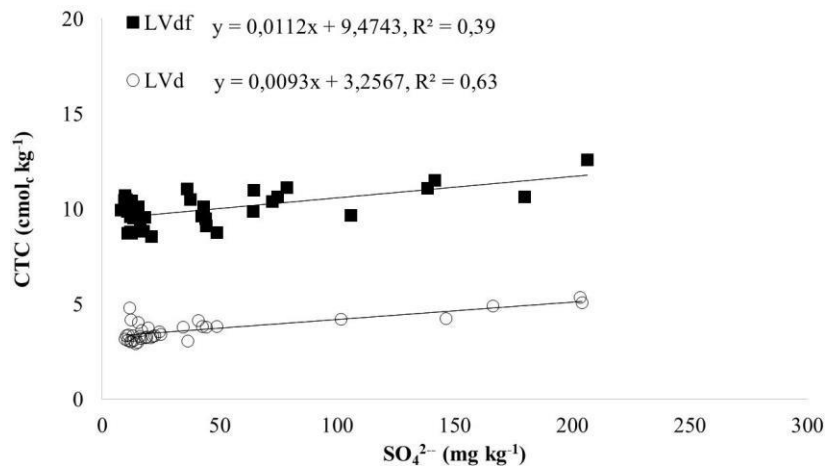


As doses de gesso aplicadas resultaram em regressões lineares altamente significativas ($p < 0,0001$) e com coeficientes angulares das retas praticamente os mesmos (Figura 16), apesar da dispersão dos dados.

O aumento da quantidade de sulfato em solução apresentou correlação positiva e significativa com a CTC dos solos. O fósforo não apresentou correlação significativa com a CTC. O sulfato assim como o fósforo formam complexos de esfera interna (SPOSITO, 2008) com os grupos funcionais superficiais ferrol ($[FeOOH]$) e aluminol ($[AlOH]$), presentes nas arestas quebradas dos óxidos de ferro e alumínio, neutralizando parte da CTC e acrescentando CTC aos solos. Esta é a explicação para o aumento da CTC destes solos e sua não correlação com o teor de matéria orgânica. A formação dos CEI aumentou com as doses de gesso e adubação fosfatada, criando cargas negativas a partir das cargas positivas destes minerais. A influência da adição de gesso, portanto, não só melhora o ambiente químico de solos ácidos por complexar o alumínio trocável, mas também afeta a distribuição das cargas superficiais dos minerais acrescentando cargas negativas, onde originalmente haviam cargas positivas. O pequeno acréscimo na CTC identificado pelos valores de coeficiente angular das retas na Figura 16 é mais significativa no LVd de textura superficial arenosa do que no LVdf de textura argilosa, sendo que além da recomendação de calagem nestes solos a gessagem

constitui uma prática favorável por minorar o impacto do Al^{3+} tóxico e aumentar a CTC dos solos.

Figura 16 Teores de sulfato (SO_4^{2-}) do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



5.6. Micronutrientes

Os micronutrientes são elementos essenciais utilizados pelas plantas em pequenas quantidades. A ausência ou deficiência desses elementos, no entanto pode causar sérios problemas fisiológicos para as plantas (FAQUIM, 1994).

O cobre (Cu), o zinco (Zn), o molibdênio (Mo), o manganês (Mn), o ferro (Fe), o boro (B), e o cloro (Cl) são os micronutrientes essenciais. Elementos como sódio (Na), silício (Si), cobalto (Co) e níquel (Ni) são considerados microelementos benéficos às plantas (FERNANDES, 2006).

O cobre (Cu) é um microelemento catiônico encontrado no solo principalmente na forma de sulfatos, atua como componente de enzimas, participada fixação do nitrogênio nas leguminosas e auxilia as plantas contra doenças. O comportamento do cobre no solo é bastante complexo, sendo afetado pelas características físico-químicas e mineralógicas do solo, pelo pH e pela matéria orgânica (CAMARGO, 1991).

Neste trabalho foi observado que a aplicação das doses crescentes de gesso reduziu os teores de Cu disponível significativamente (Tabela 7, Figura 17) no LVdf e aumentaram significativamente no LVd, devido às diferenças no teor de argila

e conseqüentemente de óxidos de ferro e alumínio que formam complexos de esfera interna com este cátion metálico.

Tabela 7 Parâmetros das equações representadas pelos valores do coeficiente de determinação e nível de significância entre os valores de micronutrientes para o Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso (Ge) reciclado

Latossolo Vermelho distrófico – LVd		
Modelo de equação de regressão	R ²	Significância
Cu=1,85217+0,05925xGe	R ² =0,17	p<0,01
Zn	média=1,60	n.s. ⁽¹⁾
Zn=1,60008+0,03718xGe-0,00522xGe	R ² =0,17	p<0,05
Fe	média=142,12	n.s.
Mn=9,70804+0,42767xGe	R ² =0,18	p<0,01
Latossolo Vermelho distroférico - LVdf		
Modelo de equação de regressão	R ²	Significância
Cu=21,35724-0,20092xGe	R ² =0,25	p<0,001
Zn	média=8,54	n.s.
Fe=52,52083+0,045975xGe	R ² =0,12	p<0,04
Mn=274,34642+1,98139xGe	R ² =0,16	p<0,02

⁽¹⁾. N.s. = não significativo (p > 0,05)

O zinco (Zn) é encontrado nos solos sempre acompanhado de algum ânion. Em rochas ácidas ou básicas, porém sua deficiência é encontrada em todo o país. O zinco foi um dos primeiros elementos classificados como essenciais para as plantas. Ele atua participando de processos enzimáticos, como regulador de crescimento (MENDES, 2007). Os resultados de Zn disponível mostraram que a gessagem não interferiu significativamente (p>0,05) na sua disponibilidade tanto no LVd quanto no LVdf. Os teores muito baixos dos elementos em ambos os solos e alta afinidade dos colóides orgânicos e inorgânicos dificultaram as reações com Zn após a aplicação do gesso reciclado (Figura 17). Resultados encontrados por Santana (2014) apontaram para ocorrência de lixiviação do zinco em solos com adição de gesso.

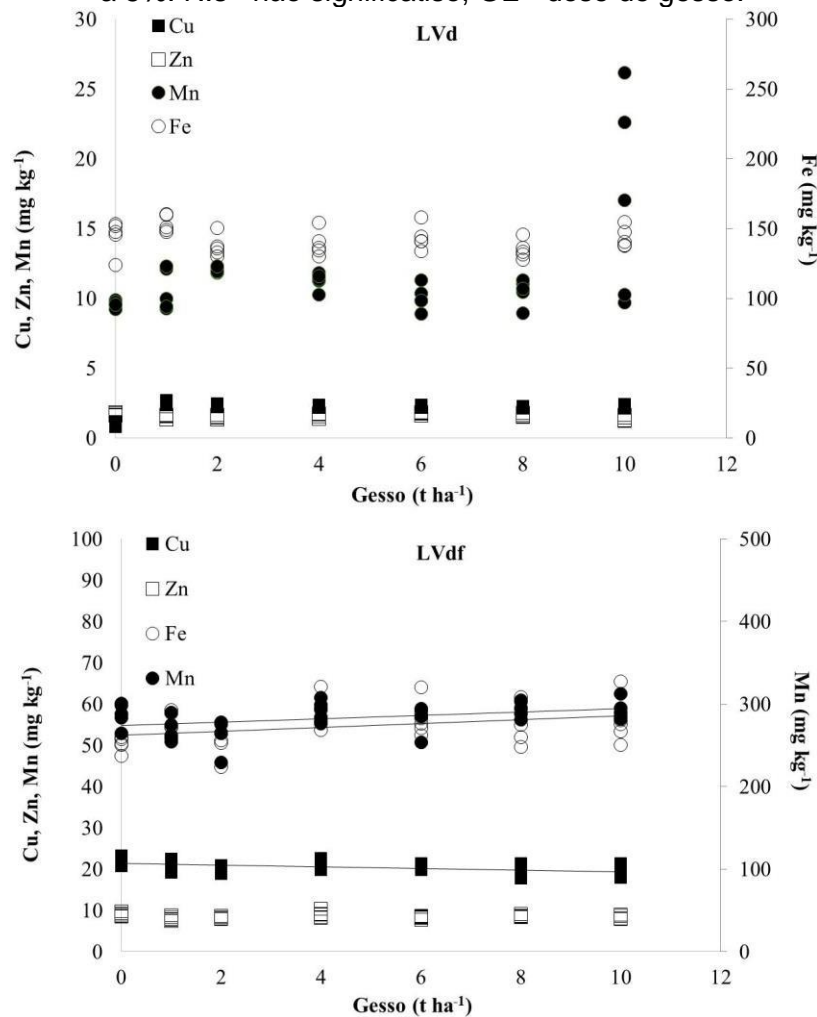
O ferro (Fe) é encontrado no solo na forma de óxidos como a hematita (Fe₂O₃), maghemita (Fe₂O₃) e magnetita (Fe₃O₄) sendo responsável pela coloração dos solos (CORREA, 2008). Após a aplicação de gesso reciclado os teores de Fe não foram estatisticamente significativos (p>0,05) em relação às doses de gesso para o LVd e correlacionados positiva e significativamente para o LVdf

($p < 0,04$). Novamente, diferenças no teor de argila, matéria orgânica e disponibilidade de ferro nos solos resultaram nestas diferenças de comportamento (Figura 17).

O manganês (Mn) é um elemento essencial para as plantas, sendo encontrado no solo na forma de óxidos e sulfetos e absorvido pelas plantas na sua forma iônica (Mn^{+2}) (SANTOS, 2005). O manganês tem papel importante para a fotossíntese, embora possa ser encontrado em solos com teores relativamente altos, muitas vezes uma pequena porção está prontamente disponível para as plantas, isso se deve ao fato de a disponibilidade do manganês ser influenciada pelo pH do solo (Figura 17), teor de matéria orgânica e da relação com outros nutrientes como o ferro e o cálcio (HERNANDES et al., 2010).

Os teores de micronutrientes são maiores no LVdf do que no LVd. Exceção foi o teor disponível de ferro (Figura 17) que foi maior no LVd do que no LVdf. Isto sugere que no LVd as reações do ferro em solução foram muito mais intensas com a aplicação do gesso reciclado, aumentando sua disponibilidade em solução. Outra informação relevante foi o aumento expressivo de Mn no LVdf com a aplicação do gesso reciclado, com teores variando de 200 a 300 $mg\ kg^{-1}$. Processos de aquecimento de solos de textura mais arenosa no seu processamento antes da extração podem levar ao aumento da disponibilidade de manganês.

Figura 17 Teores de micronutrientes do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distrófico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado. (1)Modelo linear de regressão não foram significativos a 5%. N.s.= não significatiso, GE= dose de gesso.



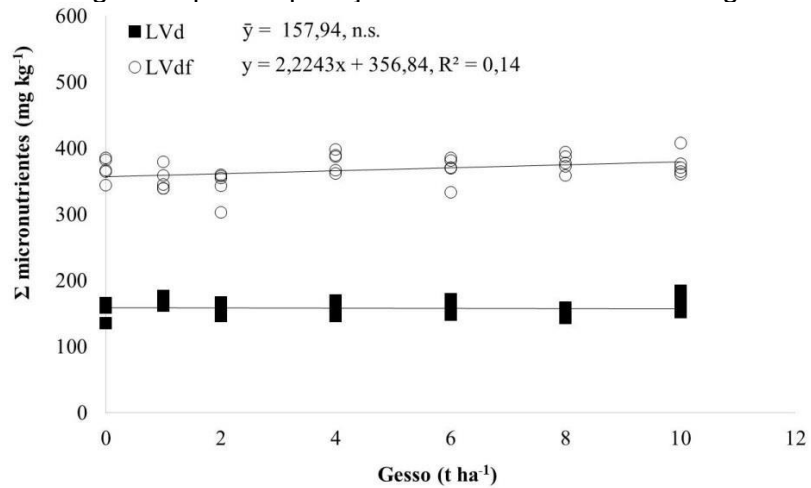
Os resultados aqui observados se opõem aos encontrados por Lana et al. (2014) que não encontraram aumento nos teores de manganês com a aplicação de gesso.

Analisando os teores obtidos pela soma dos micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn), observou-se que a gessagem não produziu efeito significativo sobre o LVd quando comparado ao LVdf (Figura 18). No caso do LVdf, o aumento das doses de gesso favoreceram a disponibilidade do somatório dos micronutrientes apresentando correlações positivas e significativas ($p < 0,03$).

Um importante resultado obtido neste trabalho mostra que a respostas dos diferentes Latossolos quanto à disponibilidade de micronutrientes não é a mesma e novos estudos são necessários para identificar quais dos componentes do solo

afetam mais a disponibilidade dos micronutrientes e quais os mecanismos de reação envolvidos entre estas fases e os cátions metálicos em solução.

Figura 18 Somatório dos teores disponíveis de ferro, cobre, zinco e manganês do Latossolo Vermelho distrófico textura superficial arenosa-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf textura argilosa após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado.



6. CONCLUSÕES

A aplicação de gesso reciclado nos dois Latossolos apresentou diferenças significativas nas respostas dos solos aos diferentes atributos químicos analisados.

O poder tampão destes solos, identificado por suas diferenças em termos do teor de argila e variações no teor de matéria orgânica, é a principal influência sobre o comportamento diferenciado dos solos para a maioria dos atributos analisados. O LVdf por possuir maior teor de argila e de matéria orgânica apresentou maior poder tampão e influenciou diretamente os atributos químicos do solo após a aplicação do gesso.

Os dois solos apresentaram comportamento semelhante em se tratando dos atributos químicos: acidez ativa (pH); relação pH_{PCZ} e ΔpH , acidez potencial ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), soma de bases, CTC, CTC versus CTCe, e teor de S-SO_4^{2-} . Comportamento oposto ou distinto entre os solos foi observado para os atributos químicos: pH_{KCl} , pH_{PCZ} , valor V% e teor de Cu.

O aumento da CTC promovido pela adição de doses crescentes de gesso reciclado não está associado ao teor de carbono do solo e sim ao aumento no teor de sulfato, que forma complexos de esfera interna com os grupos funcionais superficiais ferrol e aluminol presentes nas arestas quebradas dos óxidos de ferro e de alumínio, neutralizando suas cargas positivas e criando cargas positivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABISOLO – Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia de Produção Vegetal. Especial ABISOLO. 2009.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HENRICHIS, R. ; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 28:359-367, 2004.

BALTAR, C.A.M.; Bastos, F.F.; Luz, A.B., da. Rochas e minerais industriais p.449. Cetem/2005

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A.. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pólo do Araripe. Cerâmica (São Paulo. Impresso), v. 60, p. 501-508, 2014.

BLUMENSCHNEIN, R. N. A sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção. Brasília, 2004, 249 p. Tese (Doutorado). Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília.

BRITO. E.C; SILVA. T.A da; BOMBONATO, F. Apresentando o Drywall emparedes forros e revestimentos, 12º encontro científico cultural interinstitucional. EEC. 2014.

CAIRES E.F, ALLEONI L.R. F, CAMBRI M. A, BARTH G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. Agron J. 2005;97:791-8

CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Soybean yield and quality as function of lime and gypsum applications. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. ;KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 27:275-286, 2003.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.F.; BARTH, G.; CARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. R. Bras. Ci. Solo, 28:125-136, 2004.

CAMARGO, O. A. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 243-272.

CARVALHO, G.A.M., Introdução ao estudo dos minerais, Âncora Editora, Lisboa, 2002.

CONAMA. Gestão de resíduos e produtos perigosos. Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002. DOU no 136, de 17 de julho de 2002.

CONAMA. Procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito. Resolução Conama nº 452, de 02 de julho de 2012.

CORREA, CARACTERIZAÇÃO DE ÓXIDOS DE FERRO DE SOLOS DO AMBIENTE TABULEIROS COSTEIROS. REV. BRAS. CI. SOLO, 32. JUN. 2008.

COSTA, M. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 29, n. 29, p. 701-708, 2007.

DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIÉBAUT, J.T.L. ; NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana de açúcar. I. Movimentação de bases no solo. R. Bras. Ci. Solo, 10:195-198, 1986.

EMBRAPA CERRADO - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Boletim técnico32. Uso do gesso agrícola nos solos dos cerrados.1995.

EMBRAPA SOLOS – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solos.2ª edição. 2011.

EMBRAPA SOLOS - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª edição. 2018.

ERNANI, P. R.; Ribeiro, M. S.; Bayer, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. Scientia Agricola, v.58, p.825-831, 2001.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras : ESAL/FAEPE, 1994. 227p.

FEITOSA, H. P.; Avaliação da viabilidade técnica do uso de gesso reciclado da construção civil como insumo para a agricultura familiar periurbana no Distrito Federal. 2018. 78 f., il. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, 432 p.

FREITAS, F.C. Acidez e alcalinidade dos solos -carta na escala 1:1.000.000. Atlas do Ambiente, Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa.1984.

HERNANDES, A.; NATALE, W.; CAZETTA, J. O.; ROZANE, D. E.; SOUZA, H. A. de.; ROMUALDO, L. M. Influência do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de caramboleira. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1220-1230, 2010.

IPA-INSTITUTO AGRONOMOICO DE PERNAMBUCO (IPA). Simpósio polo gesseiro do Araripe: Potencialidades, problemas e soluções. 12 à 14 de agosto de 2014.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÓMICO DO PARANÁ (IAPAR). Manual de análise química do solo e controle da qualidade. Londrina-PR. 1992.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores, n.145, 2012.

KLEIN, C. ; DUTROW, B. Manual de Ciência dos Minerais, 23a ed. Bookman, 2012.

LANA, R.M.Q.; REZENDE, R.V.; SILVA, A.A.; VITORINO, L.B.; GOMIDES, J.N (2014). Ferro e Manganês no perfil do solo em *Saccharum officinalis* fertilizada com resíduos orgânicos. Biosci. J. Uberlândia 30(1):131-139.

LOPES, A.S. Manual internacional de fertilidade do solo. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1998. 177p.

LYRA SOBRINHO, A.C.P.; AMARAL, A.J.R.; DANTAS, J.O.C.(2004). Gipsita. Sumário Mineral, p. 80-81

MAEDA, S.; KURIHARA, C. H.; HERNANI, L. C. Estimativa da acidez potencial de solos do Mato Grosso do Sul pelo método pH SMP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997

MALAVOLTA, E. ABC da adubação. 5 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989.

MAPA – Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento. IN 7, de 12 de abril de 2016, secretária de defesa agropecuária, DOU de 02/05/2016, nº 82, Seção 1, pág. 9

MENDES, A. M. S. Introdução a fertilidade do solo. Barreiras: 2007.

MENDES, A.M. S. Alterações de características químicas do solo pela calagem e gessagem superficiais sob cultivo de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003.

MUÑOZ, G. B.; GALVÃO, L.F.S.; SPINDOLA, S.A.S.; ZONTA, V. H.; MARECO, W. E. C. Melhoramento Logístico no processo de reciclagem do gesso na empresa INOVAMAT, UfsCar/São Carlos. 2014.

OLIVEIRA, E.L. ; PAVAN, M.A. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. Anais. Petrolina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ EMBRAPA-CPATSA, 1994. p.178.

OLIVEIRA, K. C. C. ; CARVALHO, M.C. Reutilização de resíduos liberados nas construções civil. AEDB/RJ. 2012.

PLAQUES. Quando optar por forro de gesso acartonado ou convencional? Disponível em: <http://www.gessoeassociados.com.br/quando-optar-por-forro-de->

gesso-acartonado-ou-convencional/, acesso em acesso em 15 de outubro, de 2019.

RAMOS, B.Z.; VAZ FLORIANO, J.P.;LIMA, J.M.; SERAFIM, M.E.; BASTOS, A.N.R.; GONTIJO, P.T.; GUIMARÃES, A.; COSCIONE, R. DOSES DE GESSO EM CAFEIEIRO: INFLUÊNCIA NOS TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO E PH NA SOLUÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO. R. BRAS. CI. SOLO. 37. 2013

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S. ; BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. Ci. Rural, 35:562-569, 2005.

ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, A. T.; RODRIGUES, A. N.; LIRA JÚNIOR, M. A.; FREIRE, F. J. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.3, p.307-312, 2008.

ROCHA, P.M.R.; CONTO, A. G.; GIESE, T.G.; BRANDALISE, L.T.; FAVERO, E.; BERTOLINI, G. R. F. Reciclagem dos gesso para uso na agricultura sob aspecto econômico e ambiental. Revista Eletrônica Ciências da Administração e Turismo. v.6, n.1, p. 33 – 50, Jan/Jul, 2018.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 39, 2015.

RONQUIM, C.S. 2010. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. EMBRAPA, Campinas.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. Revista Caatinga, v.20, p.36-42, 2007.

SANTANA, J. V. Lixiviação de cobre e zinco em solo corrigido com resíduo de gesso da construção civil e sob aplicação de água residuária da suinocultura. 2014. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

SANTOS, G. C. G. D. Comportamento de B, Zn, Mn, e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico. Tese de Doutorado. Curso de Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, 2005

SANTOS, R.D. dos; LEMOS, R. C. D. de. Manual de descrição e coleta no campo 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1996 83 p

SANTOS, R.L.; FREIRE, F.J.; AZEVEDO, V.M. ROCHA, A.T.; TAVARES, J.A. Produção de capim elefante e movimentação de cátions em função de gesso

mineral. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17, n.10, p.1030–1037, 2013. Campina Grande/PB.

SANTOS, V. A. Propriedades e características do gesso. Recife, Apostilha de Tecnologia do Gesso UNICAP, 2003.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT Procedure guide for personal computers. 5. ed. Cary, NC: SAS Inst, 1999.

SILVA, E. C. da. Mobilidade de íons em um Cambissolo Háplico alumínico submetido a aplicação de calcário e gesso agrícola. 2010. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2010.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.675-688, 2008.

SOUZA, F.R.; ROSA JUNIOR, E.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; ROSA, Y.B.C.J. ; ZEVIANI, W.M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. Semina Ci. Agron., 33:1717-1732, 2012.

SPOSITO, G. The Chemistry of soils.2 ed. New York, Oxford University Press, 344p, 1989.

UEHARA, G; GILLMAN, G.P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I Theory. Soil Science Society American Journal, 44:250-252, 1980.

VELHO, J.; GOMES, C.; ROMARIZ, C. Minerais Industriais. Universidade de Aveiro, 591p. 1998

VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S. ; VIEGAS, I.J.M. Efeitos de diferentes materiais no pH do solo. Sci. Agric., 49:123-128, 1992.

VITTI. G. C.; J. C.; PRIORI. Calcário e gesso: Os corretivos essenciais ao plantio direto. P. 32, 2009.Revista visão agronômica, dez/2009

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. Ciência Rural, Santa Maria, v.37, n.1, p.110-117, 2007.

ANEXOS. INFORMAÇÕES SUPLEMENTARES

Tabela 8 Coeficientes de correlação de Pearson e significância entre atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico-LVd e o Latossolo Vermelho distroférico-LVdf após a aplicação de doses crescentes de gesso reciclado

Latossolo Vermelho distrófico

	CTC	pH _{PCZ}	ΔpH	ΣMicronutrientes
PO ₄ ³⁻	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
SO ₄ ²⁻	<,0001	n.s.	<,0001	n.s.
Fe	n.s.	n.s.	n.s.	0,93
Cu	n.s.	n.s.	n.s.	0,0004
Zn	0,05	n.s.	0,05	n.s.
Mn	0,01	n.s.	0,0002	0,02
total	0,04	n.s.	n.s.	1

Latossolo Vermelho distroférico

	CTC	pH _{PCZ}	ΔpH	ΣMicronutrientes
PO ₄ ³⁻	0,03	n.s.	n.s.	n.s.
C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
SO ₄ ²⁻	<,0001	<,0001	<,0001	n.s.
Fe	n.s.	n.s.	n.s.	<,0001
Cu	n.s.	0,002	0,002	0,01
Zn	n.s.	n.s.	n.s.	<,0001
Mn	0,01	n.s.	n.s.	<,0001
total	0,02	n.s.	n.s.	1

Tabela 9 Modelos lineares e quadráticos de regressão das variáveis dependentes associadas aos atributos químicos dos e as doses de gesso (Ge) aplicadas no Latossolo Vermelho distrófico e no Latossolo Vermelho distroférrico.

Latossolo Vermelho distrófico		
Modelo de equação de regressão	Coef. Determinação	Significância
$pH_{H_2O}=7,20116-0,05478xGe$	$R^2=0,71$	$p<0,0001$
$pH_{CaCl_2}=6,15654-0,02457xGe$	$R^2=0,25$	$p<0,003$
$pH_{KCl}=6,63840-0,04622xGe$	$R^2=0,49$	$p<0,0001$
$\Delta\pi H^{(1)}$	média=-0,52	n.s.
$\Delta\pi H=-0,46698-0,07032\xi\Gamma\epsilon+0,00803\xi\Gamma\epsilon^2$	$R^2=0,35$	$p<0,0009$
$pH_{PCZ}=6,07563-0,03766xGe$	$R^2=0,19$	$p<0,01$
$H^++Al^{3+}=0,64720+0,04689xGe$	$R^2=0,34$	$p<0,0002$
$SB=2,53532+0,05693xGe$	$R^2=0,16$	$p<0,0157$
$CTC=3,18252+0,10382xGe$	$R^2=0,33$	$p<0,0003$
$CTCe=2,53532+0,05693xGe$	$R^2=0,16$	$p<0,0157$
$PO_4^{3-}=35,93569-0,35690xGE$	$R^2=0,13$	$p<0,0372$
$C^{(1)(2)}$	média=0,54	n.s.
$V=79,86813-0,69693xGE$	$R^2=0,19$	$p<0,0097$
$m^{(1)}$	média=0	n.s.
$SO_4^{2-}=-7,54131+11,08610xGe$	$R^2=0,52$	$p<0,0001$
$Cu=1,85217+0,05925xGe$	$R^2=0,17$	$p<0,0139$
$Zn^{(1)}$	média=1,60	n.s.
$Zn=1,60008+0,03718xGe-0,00522xGe^2$	$R^2=0,17$	$p<0,05$
$Fe^{(1)}$	média=142,12	n.s.
$Mn=9,70804+0,42767xGe$	$R^2=0,18$	$p<0,0116$
$\Sigma\text{micronutrientes}$	média=157,74	n.s.
$PO_4^{3-}+SO_4^{2-}=28,39369+10,72910xGe$	$R^2=0,49$	$p<0,0001$

Tabela 10 Modelos lineares e quadráticos de regressão das variáveis dependentes associadas aos atributos químicos dos e as doses de gesso (Ge) aplicadas no Latossolo Vermelho distrófico e no Latossolo Vermelho distroférico.

Solo : Latossolo Vermelho distroférico		
Modelo de equação de regressão	Coef. Determinação	Significância
$pH_{H_2O}=7,18054-0,02206xGe$	$R^2=0,34$	$p<0,0002$
$pH_{CaCl_2}^{(1)(2)}$	média=5,97	n.s.
$pH_{KCl}=6,37317+0,01677xGe$	$R^2=0,26$	$p<0,0018$
$\Delta pH=-0,80737+0,03883\xi\Gamma\varepsilon$	$R^2=0,50$	$p<0,0001$
$pH_{PCZ}=5,56580+0,05559xGe$	$R^2=0,46$	$p<0,0001$
$H^++Al^{3+ (1)}$	Média=1,60	n.s.
$H^++Al^{3+}=1,46702+0,16988xGe-0,01963xGe^2$	$R^2=0,51$	$p<0,0001$
$SB=7,85617+0,12377xGe$	$R^2=0,21$	$p<0,0058$
$CTC=9,55730+0,10087xGe$	$R^2=0,15$	$p<0,0202$
$CTCe=7,85617+0,012377xGe$	$R^2=0,21$	$p<0,0058$
$PO_4^{3- (1)}$	média=14,90	n.s.
$C^{(1)}$	média=1,39	n.s.
$V=82,33820+0,35189xGe$	$R^2=0,16$	$p<0,0175$
$m^{(1)}$	média=0	n.s.
$SO_4^{2-}=-1,44990+11,03946xGe$	$R^2=0,58$	$p<0,0001$
$Cu=21,35724-0,20092xGe$	$R^2=0,25$	$p<0,0020$
$Zn^{(1)}$	média=8,54	n,s
$Fe=52,52083+045975xGe$	$R^2=0,12$	$p<0,0396$
$Mn=274,34642+1,98139xGe$	$R^2=0,16$	$p<0,0179$
$\Sigma micronutrientes=356,83696+2,22430xGe$	$R^2=1,14$	$p<0,0287$
$PO_4^{3-}+SO_4^{2-}=13,21620+11,09189xGe$	$R^2=0,56$	$p<0,0001$

(1)

(2) Modelo linear e (2) modelo quadrático de regressão não foram significativos a 5%. N.s. não significativo, Ge=doses de gesso