

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE ZOOTECCIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECCIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Reforma de Pastagem em Relevo Forte Ondulado, com Calcário e  
Gesso Agrícola Sem Incorporação.**

**Ismael Nacarati da Silva**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ZOOTECNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**REFORMA DE PASTAGEM EM RELEVO FORTE ONDULADO, COM  
CALCÁRIO E GESSO AGRÍCOLA SEM INCORPORAÇÃO.**

**Ismael Nacarati da Silva**

*Sob a Orientação do Professor*  
**João Carlos de Carvalho Almeida**  
*e Co-orientação dos Professores*  
**Nivaldo Schultz**  
**João Batista Rodrigues de Abreu**

Dissertação submetida como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
**Mestre(a)**, no Curso de Pós-Graduação  
em Zootecnia, Área de Concentração  
Produção Animal

Seropédica, RJ

Maio de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo autor

S586r Silva, Ismael Nacarati da , 1989-  
Reforma de pastagem em relevo forte ondulado, com  
calcário e gesso agrícola sem incorporação / Ismael  
Nacarati da Silva. - Pinheiral, 2019.  
52 f.: il.

Orientador: João Carlos de Carvalho Almeida.  
Coorientador: Nivaldo Schultz.  
Coorientador: João Batista Rodrigues de Abreu.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em  
Zootecnia/Zootecnia, 2019.

1. Infiltração de água no solo.. 2. Urochoa  
brizantha cv. Marandu.. 3. Atributos químicos e  
físicos.. 4. Pastagem degradada.. I. Almeida, João  
Carlos de Carvalho , 1956-, orient. II. Schultz,  
Nivaldo , 1978-, coorient. III. Abreu, João Batista  
Rodrigues de, 1962-, coorient. IV Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós  
Graduação em Zootecnia/Zootecnia. V. Título.



TERMO Nº 957 / 2024 - PPGZ (12.28.01.00.00.00.00.61)

Nº do Protocolo: 23083.061014/2024-16

Seropédica-RJ, 07 de novembro de 2024.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE ZOOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**ISMAEL NACARATI DA SILVA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre(a)** no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de Concentração em Produção Animal.

**DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/05/2019**

Nivaldo Schultz.Dr.UFRRJ (Presidente)

Carlos Augusto Brandão de Carvalho.Dr.UFRRJ

Wilk Sampaio de Almeida.Dr.IFRO

**(Assinado digitalmente em 08/11/2024 06:27 ) (Assinado digitalmente em 07/11/2024 12:28 )**

CARLOS AUGUSTO BRANDAO DE CARVALHO

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptNAP (12.28.01.00.00.00.00.62)  
Matricula: 1322816

NIVALDO SCHULTZ

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptS (12.28.01.00.00.00.00.33)  
Matricula: 2136627

**(Assinado digitalmente em 08/11/2024 04:12 )**

WILK SAMPAIO DE ALMEIDA

ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 960.475.692-34

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **957**, ano: **2024**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **07/11/2024** e o código de verificação: **86eac0c953**

## **DEDICATÓRIA**

Primeiramente a Deus, pois sem ele não chegaria até aqui. Aos meus pais, Hélio José da Silva e Maria Suely Nacarati da Silva, por sempre estarem ao meu lado e por todo apoio. Aos meus cunhados Odirley e Iraci. Aos meus irmãos Israel Nacarati da Silva e Shirley Nacarati da Silva, e pôr fim ao meu sobrinho Vitor Augusto, pois todos são minha família e de alguma forma inspiração na vida.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, por me conduzir e proteger nessa jornada.

Aos meus pais, Hélio José da Silva e Maria Suely Nacarati da Silva pela confiança e por sempre me apoiarem nas minhas decisões.

Aos meus professores e orientadores, por toda amizade, ajuda, lições e confiança, em especial ao professor Nivaldo Schultz, ao professor João Carlos de Carvalho Almeida, e ao professor João Batista Rodrigues de Abreu.

Aos meus amigos, que me ajudaram, apoiaram, descontraíram e divertiram nos momentos que mais precisei, em especial ao Leonardo Viana que sempre esteve ao meu lado sendo fundamental em todas as etapas da Pós-Graduação e se tornando um verdadeiro irmão.

À equipe de estagiários do solo; Pedro, Luiz, Isabela, Raiza, e Carine por toda ajuda e dedicação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.**

## RESUMO

SILVA, Ismael Nacarati da. **Reforma de Pastagem em Relevo Forte Ondulado, com Calcário e Gesso Agrícola Sem Incorporação**. 2019. 52p Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

O Brasil possui uma grande extensão territorial favorável às práticas agrícolas, porém muitas dessas áreas são utilizadas inadequadamente. A diminuição natural da fertilidade do solo e a exploração pecuária desordenada estão entre as atividades que promovem a degradação do solo e da pastagem. Pastagens degradadas influenciam diretamente na quantidade e qualidade da água, pois nestas condições a taxa de infiltração da água das chuvas no solo é baixa, o que possibilita o carreamento de sedimentos para os mananciais por meio do escoamento superficial e isso favorece os processos erosivos. O aumento da proteção do solo por meio da recuperação da vegetação promove melhorias nas características físicas do solo, e favorece o aumento da infiltração da água das chuvas, promovendo maior recarga do lençol freático. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da calagem associada ou não a diferentes doses de gesso, na reforma de pastagens degradadas em terrenos declivosos e seu efeito na erosão e na infiltração de água no solo. O estudo foi desenvolvido no setor de Bovinocultura de Leite da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica - RJ. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com quatro tratamentos e quatro repetições. As parcelas possuíam área de 25 m<sup>2</sup> (5 x 5 m) e a área experimental totalizou 575m<sup>2</sup>. Foram coletadas previamente amostras de terra para determinação da necessidade de calagem e a sua recomendação seguiu o Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro. Os tratamentos foram: 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico aplicado em superfície; 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 0,7 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (25% da dose de calcário), aplicados em superfície; 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 1,4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (50% da dose de calcário), aplicados em superfície; e o controle experimental sem calcário e sem gesso. Foram avaliados atributos físicos e químicos do solo, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade; massa seca de forragem, e avaliação das perdas de solo e água, sob chuva simulada. A associação do calcário e gesso reduziu os teores de alumínio até a profundidade de 0-20 mostrando-se mais eficaz que a calagem solteira. A calagem alterou os atributos químicos do solo, independentemente da associação ou não do gesso para a maioria dos atributos avaliados na profundidade de 0-10cm. O aumento da dose de gesso reduziu a produção de forragem porem é necessário mais tempo de exploração da forrageira para mais resultados. Os tratamentos alteraram os atributos físicos do solo apenas na camada superficial, sendo necessário maior tempo de avaliação para constatação em maiores profundidades. A infiltração de água no solo escoamento superficial de sedimentos e agua, não se diferenciam quando comparados entre os tratamentos. E o modelo estatístico de Horton foi o que apresentou o melhor ajuste do simulador de chuvas.

Palavras-chave: Infiltração de água no solo. Urochoa brizantha cv. Marandu. Atributos químicos e físicos. Pastagem degradada.

## ABSTRACT

SILVA, Ismael Nacarati da. **Recovery and Pasture Renovation with Liming and Agricultural Gypsum and Effect on Soil Erosion and Soil Water Infiltration**. 2019. 52p Dissertation (Master in Animal Science) Institute of Animal Science, Animal Science Graduate Program, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Brazil has a great territorial extension suitable to agricultural practices, but the majority of these areas are used improperly. The natural decrease of soil fertility and the extensive livestock exploration are the main activities that promotes the soil and pasture degradation. Degraded pastures have a direct influence on the quantity and quality of water, since the infiltration rate of rainwater is very low in the soil without vegetation cover, which also allows sediments to be carried to the springs, increasing erosive processes. Increased soil protection through vegetation recovery promotes improvements in the physical characteristics of the soil, increasing infiltration rate of rainwater and promoting greater recharge of the groundwater. The aim of this study was to evaluate the effects of liming associated or not, to different doses of agricultural plaster on the surface, for the reform of degraded pastures in sloping grounds. The study was conducted in the dairy cattle sector of the Federal Rural University of Rio de Janeiro - UFRRJ, in Seropédica. The experimental design was a randomized complete block, with five treatments and four replications. The plots had an area of 25 m<sup>2</sup> (5 x 5 m), with 1.0 m of spacing, totaling 575 m<sup>2</sup> of experimental area. Previous soil samples were collected to determine the need for liming and its recommendation was followed by the Liming and Fertilization Manual of the State of Rio de Janeiro. The treatments used were: surface liming with 50% of the total dose; liming with 50% total dose + 25% of surface agricultural gypsum; liming with 50% of the dose of limestone + 50% of the dose with agricultural gypsum on the surface and control treatment, without limestone and plaster. physical attributes of the soil were evaluated: soil density, particle density, total porosity, and chemical, in the layers of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm of depth; dry mass of forage, and evaluation of soil and water losses at the end of the rainy season, with the aid of a rainfall simulator. The association between limestone and agricultural plaster reduced the aluminum content to a depth of 0-20, proving to be more effective than liming alone. The liming associated or not to the agricultural plaster promoted chemical changes in the soil for most of the attributes evaluated in depth of 0-10 cm. Increasing the dose of agricultural plaster has reduced forage production but more time for forage exploration is necessary for more results. The treatments altered the soil physical attributes only on the superficial layer, more evaluation time is recommended for hypothesis confirmation with considerable depth. Water infiltration in the soil and superficial sediment flow do not differentiate when compared between treatments. Horton statistical model presented the better rain simulation adjustment.

**Keywords:.** Soil Water Infiltration, *Urochloa brizantha* cv. Marandu, Physical and Chemical Attributes, Soil degradation on pasture



## LISTA DE TABELAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabela 1.</b> Textura do Cambissolo Háplico Distrófico da área experimental.....  | <b>9</b>  |
| <b>Tabela 2.</b> Atributos químicos do Cambissolo Háplico Distrófico da área experimental antes da implantação do experimento, em abril de 2015.....   | <b>10</b> |
| <b>Tabela 3.</b> Atributos químicos do solo da área experimental trinta e dois meses após a calagem + gessagem em superfície em janeiro de 2018.....   | <b>12</b> |
| <b>Tabela 4.</b> Atributos químicos do solo três anos e nove meses após a aplicação em superfície de calcário isolado e associado com gesso agrícola em diferentes proporções.....   | <b>21</b> |
| <b>Tabela 5.</b> Densidade do solo sob pastagem reformada nos diferentes tratamentos, 3 anos e 9 meses após a implantação.....   | <b>22</b> |
| <b>Tabela 6.</b> Porosidade total do solo sob pastagem reformada nos diferentes tratamentos em cambissolo háplico distrófico corrigido com calagem superficial com e sem associação ao gesso agrícola em diferentes proporções e controle experimental, 33 meses após a implantação..... | <b>23</b> |
| <b>Tabela 7.</b> Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo sob pastagem renovada com calagem isolada e associada com gesso agrícola em diferentes proporções aplicada na superfície do Cambissolo Háplico Distrófico da área experimental. ....                                     | <b>23</b> |
| <b>Tabela 8.</b> Produção de forragem e altura da pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu reformada com sem coretivo e corrigida com calcário associado ou não ao gesso em Cambissolo Háplico Distrófico. ....   | <b>25</b> |
| <b>Tabela 9.</b> Produção acumulada de sedimentos, escoamento superficial e taxa de infiltração estável (TIE) no Cambissolo Háplico Distrófico por tratamento avaliado, com 36% de declividade.....  | <b>26</b> |
| <b>Tabela 10.</b> Índices estatísticos dos diferentes modelos ajustados para a taxa de infiltração estimada versus a taxa de infiltração observada em Cambissolo Háplico Distrófico com pastagem e pastagem reformada com calagem associada ou não ao gesso.....                         | <b>28</b> |
| <b>Tabela 11.</b> Parâmetros dos modelos para estimativa da taxa de infiltração de água em Cambissolo Háplico Distrófico Distrófico em pastagem reformada nas áreas com os tratamentos com calcário associado ou não ao gesso, e áreas de pastagem degradada.....                        | <b>29</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1.</b> Temperatura máxima e mínima médias e precipitação pluviométrica de maio de 2018 a janeiro de 2019, em Seropédica, RJ.....  | <b>9</b>  |
| <b>Figura 2.</b> Croqui da área experimental. ....  | <b>10</b> |
| <b>Figura 3.</b> Área experimental após a implantação com a aplicação de calcário e calcário + gesso nas parcelas. Setor de bovinocultura da UFRRJ. Em maio de 2015. ....   | <b>11</b> |
| <b>Figura 4.</b> <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu um mês após a semeadura a lanço, em abril de 2018. ....  | <b>13</b> |
| <b>Figura 5.</b> Simulador de chuvas modelo InfiAsper (Alves Sobrinho et al., 2008). A) vista superior de todos os componentes do simulador. B) Montagem do simulador na área experimental para realização de teste. C) Parcela experimental cravada no solo. D) Estrutura tipo funil para coleta de escoamento superficial. .... | <b>15</b> |
| <b>Figura 6.</b> Plantas de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu e espontâneas por m <sup>2</sup> 52 dias após a semeadura. Coeficiente de variação: 37,52%. Coeficiente de variação para as espontâneas: Teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ....  | <b>24</b> |
| <b>Figura 7.</b> Infiltração de água no solo (mm h <sup>-1</sup> ) para os diferentes tratamentos, em Cambissolo Háplico Distrófico em pastagem reformada sem correção (controle); e com correção (calagem isolada; calagem + 25% de gesso; calagem + 50% de gesso). ....   | <b>26</b> |
| <b>Figura 8.</b> Taxa de infiltração de água observada e estimada através dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, nos tratamentos: calagem (A), calagem + 25% de gesso (B).....  | <b>30</b> |
| <b>Figura 9.</b> Taxa de infiltração de água observada e estimada através dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, nos tratamentos: calagem + 50 % de gesso (C), controle (D).....  | <b>31</b> |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1 Histórico e Desenvolvimento da Pecuária no Brasil .....  | 2         |
| 2.2 Reforma de Pastagens e o Processo de Acidificação do Solo .....  | 2         |
| 2.3 Correção de Solos Ácidos com Calcário Associado ao Gesso, Aplicados em<br>Superfície sem Incorporação .....              | 3         |
| 2.4 Erosão dos Solos Decorrente de Precipitação Pluviométrica e sua Avaliação<br>Através do Uso do Simulador de Chuvas ..... | 6         |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>   | <b>18</b> |
| 4.1 Atributos Químicos do Solo .....   | 18        |
| 4.2 Atributos Físicos .....  | 22        |
| 4.2.1 Densidade do solo .....  | 22        |
| 4.2.2 Porosidade total do solo .....   | 22        |
| 4.2.3 Estabilidade dos agregados .....   | 23        |
| 4.3 Formação da Pastagem .....   | 23        |
| 4.4 Produção de Forragem.....  | 24        |
| 4.5 Infiltração e Perda de Solo e Água na Pastagem .....   | 25        |
| 4.6 Desempenho dos Modelos para Estimativa da Taxa de Infiltração .....  | 26        |
| <b>5 CONCLUSÃO.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>33</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira historicamente se desenvolveu com base na criação extensiva e alimentação dos rebanhos a pasto, tendo como estimuladores desse modelo a grande extensão de terras destinadas à pastagem, em sua grande maioria após o abandono de áreas destinadas a agricultura, especialmente o café e cana-de-açúcar. A formação de pastagens com espécies rústicas e adaptadas às condições edafoclimáticas, mesmo com suas variações regionais em função do tamanho do país, resultou no estabelecimento cultural e comportamental entre os pecuaristas de desenvolver a pecuária praticamente sem investimento na formação e manutenção das pastagens. Este modelo de exploração agropecuária contribuiu para que ao longo do tempo ocorresse o empobrecimento dos solos e a degradação das pastagens brasileiras.

Com o avanço das discussões sobre a conservação dos recursos naturais em meio as áreas de produção agropecuária e a competitividade dos produtos oriundos da agropecuária no mercado nacional e internacional, a cobrança da sociedade pela produção com o menor impacto ambiental possível vem crescendo nos últimos tempos. Este novo cenário exige do setor agropecuário a manutenção das pastagens produtivas, seja através da recuperação ou da reforma. Entretanto, esta é uma atividade relativamente complexa, haja vista que, a grande maioria das pastagens degradadas no Brasil encontra-se em áreas de topografia acidentada, de difícil recuperação pelas práticas convencionais arações e gradagens mecanizadas, as quais precisam ser executadas no sentido do declive das encostas. Este preparo possibilita a incorporação de corretivos no solo, além de melhorar momentaneamente o solo fisicamente, no entanto, eleva os riscos de arraste da camada arada pela água das chuvas, uma vez que expõem o solo a ação direta das chuvas e a erosão laminar e/ou até mesmo em sulcos devido à exposição do solo na fase de germinação e estabelecimento da pastagem. Além da erosão o preparo do solo no sistema convencional resulta no assoreamento dos mananciais, contaminação da água e prejuízos generalizados a toda a sociedade.

Diante do contexto em que a recuperação ou reforma das pastagens é uma necessidade, porém de difícil execução pelo método convencional, é preciso buscar alternativas que resolvam o problema, ou que pelo menos amenizem os riscos de uma degradação ainda maior no período de execução das atividades inerentes ao preparo mecanizado do solo em áreas de relevo acidentado. A calagem em superfície associada ao uso do gesso agrícola sem incorporação, em áreas de relevo acidentado, no final da estação chuvosa, pode ser uma alternativa de baixo risco em relação a acentuação ainda maior da erosão laminar e/ou em sulcos na fase de preparo do solo e a semeadura, entretanto carece de estudos que avaliem sua eficiência em termos de melhorias nos atributos químicos e físicos do solo, bem como do impacto na quantidade e qualidade de forragem produzida nestas áreas.

A hipótese deste estudo é que é possível recuperar e/ou reformar pastagens degradadas usando calcário associado ou não ao gesso agrícola, sem a incorporação no solo, uma vez que promoverá melhorias químicas e físicas nos atributos do solo e com isso favorecerá a infiltração da água no solo, reduzirá a ação da erosão e consequentemente melhorará a produtividade quantitativa e qualidade das forragens produzidas.

Com este trabalho objetivou-se avaliar os atributos químicos e físicos do solo mediante a aplicação de calcário associado ou não ao uso de gesso agrícola sem incorporação no solo; a produtividade da pastagem formada e o efeito da pastagem recuperada na infiltração e na perda de solo e água.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Histórico e Desenvolvimento da Pecuária no Brasil**

A história da pecuária brasileira está intimamente ligada à história do próprio País. Desde a chegada dos primeiros europeus em terras brasileiras houve a presença de animais de grande porte, tendo inicialmente como as principais funções o transporte de pessoas, cargas e o apoio nas atividades agrícolas e pecuárias (ANDRADE, 2002). Com o passar dos anos houve naturalmente o aumento da demanda por animais para a produção de carne, leite e derivados, bem como para força de trabalho e as populações de bovinos, equinos, caprinos, ovinos, entre outras começaram a se estabelecer de forma mais numerosa nas principais capitâneas brasileiras, distribuindo-se ao longo dos anos para todo o território nacional (ANDRADE, 2002; PRADO JR., 2010).

Segundo o último censo agropecuário realizado em 2016, os bovinos que são os animais mais expressivos na pecuária brasileira, pelo tamanho e quantidade de animais, chegaram ao número recorde de 218,23 milhões de cabeças (IBGE, 2016). Devido a este aumento do efetivo bovino na pecuária de corte e leite, há uma maior necessidade de alimentos para esses animais. Em resposta a essa demanda de alimento para os bovinos, muitos pecuaristas migram para a região Norte, buscando áreas para a exploração de pastagens, resultando no aumento do desmatamento de grandes áreas de vegetação nativa, as quais precisam ser preservadas segundo a legislação brasileira (Brasil, 2012).

A busca por áreas maiores evidencia a necessidade de melhoria na produção e na qualidade das pastagens que hoje encontram-se degradadas, e tendo como resposta a permanência dos produtores nas atuais áreas.

### **2.2 Reforma de Pastagens e o Processo de Acidificação do Solo**

A medida que as pastagens entram em processo de degradação tendem a perder qualidade e quantidade de sua produção, com isso é recomendada práticas de recuperação de pastagens para que voltem a ter produção satisfatória. Porém quando a pastagem de um determinado local está em um nível avançado de degradação, ela torna a recuperação técnica e economicamente inviável. Nessa situação, o que se recomenda é a reforma (DIAS FILHO & SERRÃO, 1982; VEIGA et al., 1985). Uma forma de definir se a pastagem está em processo avançado de degradação é através da presença de plantas invasoras (LUZ et al., 2004) pois se a pastagem apresentar muitas falhas, se torna mais viável sua remoção, com a dessecação por exemplo, seguida da correção do solo e implantação de uma nova espécie forrageira ou da mesma que existia antes. Segundo Dias Filho (2011), a escolha de uma estratégia de renovação de uma pastagem degradada, deve ser feita levando em consideração as causas que a levaram a degradação, desde o estágio de degradação atual, o tamanho da propriedade, o tipo de sistema praticado na propriedade (familiar, pequeno produtor ou empresarial), a área a ser renovada, por fim ao capital financeiro disponibilizado para renovar a pastagem.

Quando se reforma uma pastagem, a prática que proporciona a melhor resposta para a nova pastagem implantada é a correção da acidez do solo. Segundo Luz et al. (2000) a correção do solo é uma prática primordial na formação e renovação e/ou recuperação de pastagens. Ela é uma prática primordial, pois os solos apresentam uma elevada acidez e alta saturação em Al e Fe trocáveis, principalmente em regiões tropicais, onde o maior volume de precipitação pluviométrica, provoca maior percolação da água pelo perfil do solo, o que resulta na lixiviação dos cátions básicos. Esses cátions são então compensados por  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , vindos do intemperismo do oxihidróxido de alumínio e, dessa forma, acontece um predomínio do alumínio na solução do solo, que por sua vez, se torna cada vez mais ácido (LEPSCH, 2002). Em solos com pH em torno de 5,0 a reação  $CO_2 + H_2O$  libera  $H^+$  após a dissociação do gás

carbônico, e isso leva à redução do pH do solo, e por consequência aumenta sua acidez, o  $\text{HCO}_3$  também é liberado como resultado da reação, favorecendo a lixiviação de bases em profundidade (QUAGGIO, 1986). Existem ainda as regiões que apresentam naturalmente solos ácidos, isso ocorre devido ao material de origem ser pobre em bases ou devido a processos de formação que removem elementos básicos como K, Ca, Mg e Na (BAHNIUK, 2014).

Em pastagens onde não é realizada a manutenção da correção da acidez do solo e a reposição adequada de nutrientes, o solo apresentará redução dos valores de pH ao longo dos anos e elevação dos teores de  $\text{Al}^{3+}$ . Segundo Sousa et al. (2007), quando se remove  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  o complexo de troca requer a liberação de  $\text{H}^+$  para manter o balanço de cargas da solução do solo.

Tanto na lixiviação como na extração de bases pela cultura, levam a redução de pH, e aliado ao excesso de alumínio reflete na baixa fertilidade (Malavolta 2006). Além desses fatores um outro que pode levar a acidificação dos solos é o uso constante de fertilizantes sem a devida atuação técnica e a falta de utilização adequada de um manual de adubação.

Além da menor disponibilidade de alguns nutrientes essenciais para as plantas, o solo com o pH ácido, pode apresentar o  $\text{Al}^{3+}$  que é muito tóxico para as plantas, sendo um fator muito prejudicial ao desenvolvimento da maioria das culturas. Seu principal efeito é provocar um atrofiamento no desenvolvimento do sistema radicular, restringindo o crescimento das raízes e sua região de exploração, afetando a absorção e translocação de nutrientes e a absorção de água (ERNANI & BARBER, 1991; BRACCINI et al., 1998; ERNANI et al., 2000), resultando em baixas produções.

A acidez e o alumínio também podem interferir na disponibilidade dos nutrientes devido a formação de compostos pouco disponíveis ou até mesmo indisponíveis para as plantas. O alumínio na forma solúvel, pode se ligar ao fósforo, formando fosfato de alumínio, composto praticamente insolúvel, levando a uma menor disponibilidade de fósforo no solo. Ernani et al. (2000) trabalhando com solos ácidos, observou que parte do P presente no solo permanece retido nos sítios de ligação da fase sólida, e também na forma de precipitados, de fosfato de ferro e de alumínio, ficando pouco disponível para as plantas, e por consequência levando a sua deficiência.

### **2.3 Correção de Solos Ácidos com Calcário Associado ao Gesso, Aplicados em Superfície sem Incorporação**

A correção do solo e elevação do pH a muitos anos vem sendo usada para se recuperar o solo e a produtividade das pastagens. Segundo Raji (2011), a acidez em excesso, é considerada a principal causa de baixa produtividade, tornando o uso de calagem como o melhor investimento para melhorar a produção, pois poucas práticas dão resultados tão elevados como a calagem em relação a produtividade (ALCARDE, 1992). Esta prática é uma das mais utilizadas para se elevar o pH do solo, pois seu efeito na elevação do pH, aumento de cátions básicos ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e redução do  $\text{Al}^{3+}$  trocável, trazendo excelentes resultados. A disponibilidade de nutrientes essenciais para as pastagens também sofre alterações, um exemplo é o P que normalmente já é um elemento pouco disponível nos solos brasileiros. Quando se aumentam as cargas negativas na solução do solo a solubilidade de elementos como a do ferro e do alumínio é reduzida, elevando a disponibilidade de P na solução do solo (ERNANI et al., 1996) melhorando sua absorção pelas pastagens.

Essa técnica é a primeira ação a ser feita para se reformar uma pastagem, mas ela deve ser melhor avaliada e estudada, pois apresenta respostas variadas (PAULINO et al., 2006). Isso acontece possivelmente pelos diferentes tipos de solos e da tolerância à acidez do solo, que as forrageiras apresentam em níveis diferentes uma da outra.

A correção da acidez do solo, não depende apenas dos fatores relacionados ao corretivo,

mas também de como são aplicados estes insumos. De acordo com Alcarde (1992) o sucesso da calagem depende de três fatores: dosagem adequada, produto utilizado (características relacionadas ao corretivo) e a forma de aplicação. A dosagem vai depender da análise química do solo. O corretivo pode variar, pois existem diversos corretivos no mercado, normalmente o mais usado é o calcário. Já em relação a sua forma de aplicação, normalmente é feita com máquinas seguido de incorporação ao solo, ou aplicação em superfície, sem incorporação, técnica que vem sendo adotada, para elevar o pH em solos de áreas onde o acesso do trator é dificultado ou impossível, método que também é muito utilizado no sistema de plantio direto (SPD) e em casos onde a condição financeira do produtor é limitada.

A aplicação em superfície sem incorporação, minimiza a movimentação do solo, conserva o acúmulo de resto de culturas e fertilizantes usados na superfície e ainda reduz a compactação por veículos pesados.

Segundo Cassol (2003) alguns pesquisadores têm observado a aplicação superficial de calcário quanto à sua eficiência em corrigir o solo, em doses e tempos diferentes. Para Oliveira e Pavan (1996), houve diminuição do alumínio trocável e elevação do pH do solo em profundidades de até 0,40 m, 32 meses após aplicação de calcário na superfície em SPD. Já Caires et al. (1998) observou que a aplicação de calcário na superfície, corrigiu a acidez, elevando o pH e os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  do solo até à profundidade de 0,05 m e, em menor grau, na camada de 0,05 – 0,10 m, após 28 e 34 meses da sua aplicação. De acordo com Mello et al. (2003), analisando resultados dos atributos químicos do solo (pH,  $\text{H}^+ + \text{Al}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), 12 meses após a aplicação superficial do corretivo sem a incorporação, observou melhorias na camada de 0,00 – 0,10 m. Já Corrêa et al. (2007) comparando os efeitos de diferentes corretivos da acidez do solo, observou a elevação do pH nos primeiros 0,05 m e 0,10 m, 3 e 15 meses respectivamente após a aplicação superficial de calcário. Segundo Soratto & Crusiol (2008), estudando doses de calcário, encontraram redução da acidez do solo até 0,40 m aos 12 meses após aplicação do calcário na superfície, também foi observado elevação dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  até 0,40 m aos 12 e 18 meses após a aplicação do calcário. A equipe de Caires et al. (2011) avaliaram a resposta da calagem em superfície, após 8 anos da sua aplicação, e tiveram como resultado a elevação do pH em até 0,60 m de profundidade.

O que se tem notado, é que em vários estudos, a utilização de calcário aplicado em superfície, torna a correção do perfil do solo lenta. Na maioria dos casos, a correção restringe-se aos primeiros centímetros do solo, com a aplicação do calcário são geradas cargas variáveis negativas, as quais retêm os cátions nas primeiras camadas do solo, dificultando a distribuição vertical dos nutrientes (CAIRES et al., 2010). Outro fator que interfere essa distribuição é o fato o calcário apresentar baixa solubilidade (FLORES, 2008). Quando a calagem é feita em superfície, ela acaba criando uma frente de correção, neutralizando em profundidade proporcional à dose e ao tempo de aplicação, criando uma onda alcalinizante (CAIRES et al. 2005; RAIJ, 2011). Dessa forma estudos na tentativa de se melhorar a correção em profundidade vem sendo feitos a vários anos. Uma alternativa encontrada para se desvencilhar deste entrave, e conseguir corrigir as camadas mais profundas através da aplicação superficial sem a incorporação, é a utilização de uma associação de calcário e gesso agrícola na aplicação em superfície, pois como a composição do gesso apresenta uma boa solubilidade em água, ocorre um arraste de bases da superfície para as camadas mais profundas (RAIJ, 2011).

Mais conhecido como gesso agrícola, o sulfato de cálcio diidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) tem sido utilizado como fertilizante desde a era greco-romana (CAIRES et al., 2001). Os primeiros registros de utilização no Brasil, são do Instituto Agrônomo de Campinas no século XIX (CAIRES et al., 2001), porém só a algumas décadas ele vem sendo utilizado com o objetivo de correção de níveis tóxicos de alumínio e elevação dos teores de cálcio em camadas mais profundas do solo (ZAMBROSI et al., 2007).

Segundo Vitti et al. (2008) o gesso agrícola é um produto secundário na produção

industrial de fertilizante fosfatado para a agricultura, a rocha fosfática sofre uma reação com o ácido sulfúrico resultando em ácido fosfórico - produto primário, e em gesso que é um subproduto ou melhor dizendo produto secundário. Em um outro estudo Vitti e Trevisan (2000) observaram que para cada tonelada de ácido fosfórico produzido são geradas de 4 a 5 toneladas de gesso. Entre os nutrientes que fazem parte de sua composição se destacam de cálcio, com cerca de 21% da sua composição total, enxofre com 15,5% (FERREIRA et al., 2013) e o fosforo com porção menor que 1% (VITTI & TREVISAN, 2000). Essa composição permite que o gesso possa ser aplicado no solo como fonte de cálcio e de enxofre, assim como para tornar solos subsuperficiais com alta quantidade de alumínio, em solos menos tóxicos nessas camadas, promovendo assim um melhor ambiente radicular para as plantas (ALVAREZ et al., 1999).

A redução de toxicidade do  $Al^{3+}$  com a adição de gesso ocorre pela formação de um composto menos tóxico, o  $(AlSO_4)$  e pela precipitação de Al. As melhorias nas condições químicas do subsolo, resultam no crescimento do sistema radicular que reflete em maior absorção de água e nutrientes pelas plantas (SUMNER et al., 1986; CARVALHO & RAIJ, 1997). Nos últimos anos tem se notado na agricultura o uso de fertilizantes altamente concentrados, porém sem conter enxofre em sua composição, comprometendo ao longo do tempo a disponibilidade do nutriente para as plantas. Nesse contexto Caires et al. (2006) observou várias utilidades do gesso agrícola para beneficiar o solo, sendo uma delas o aproveitamento do enxofre em sua composição para as culturas.

Para a legislação do Brasil (2006), o gesso é classificado como corretivo de sodicidade e condicionador de solo. Já Watts e Dick, (2014) ressaltam que o gesso agrícola promove melhorias nas propriedades físicas, físico-químicas e ou atividade biológica do solo, e ajudam na recuperação de solos com desequilíbrios entre os nutrientes. Por tanto o gesso é considerado um condicionador de solo e não altera as condições de pH do solo (MEURER et al., 2004), com isso vale ressaltar que o gesso não substitui o calcário na correção do solo, e que o gesso e calcário são insumos que se complementam (RAIJ, 2008, 2011). Em alguns experimentos combinando doses de gesso e calcário foi verificado a mudança do pH em camadas do subsolo de diferentes texturas, e em períodos que variam de 8 a 55 meses (DALLA NORA et al., 2013; PAULETTI et al., 2014).

Para Rosa Junior et al. (2006) a gessagem pode atuar como condicionador das estruturas do solo favorecendo a agregação e, com isso leva a melhoria na estrutura do solo. Segundo Zhang & Norton (2002) o gesso forma ponte catiônica com argila e carbono orgânico do solo. Ele também interfere em outros atributos físicos como densidade e porosidade do solo que podem sofrer alterações de acordo como é feito a gessagem e o sistema de manejo do solo (COSTA et al., 2007).

Como não é feito o revolvimento do solo em plantio direto, pode ocorrer a formação de impedimentos físicos e químicos, o que afeta o desenvolvimento das plantas principalmente por afetar o crescimento do sistema radicular das plantas, o que atrapalha à penetração das raízes em áreas mais profundas, assim a água existente nas camadas abaixo desses impedimentos fica inacessível para as plantas. Dessa forma o solo não consegue atender a necessidade da planta por água, pois, a região explorada pelas raízes é bem pequena.

A utilização de gesso agrícola se torna cada vez mais em uma alternativa de melhoria do ambiente radicular em camadas mais profundas (NEIS et al., 2010), sendo essencial não somente para a maior absorção de água, mais também para absorção dos nutrientes, desde o de maior até o de menor mobilidade (SOUSA et al., 2005), permitindo ganhos na produtividade das pastagens (SANTOS et al., 2009).

Apesar de o gesso ser um insumo agrícola fundamental por suas características, a sua utilização deve ser feita com cuidado, pois sua utilização sem as devidas recomendações técnicas poderá resultar em sérios prejuízos para os agricultores e suas produções (Alvarez et al., 1999). Dessa forma vários autores têm pesquisado e observado o efeito do gesso na redução



dos teores de  $Al^{+3}$  do solo e outros efeitos proporcionados por sua aplicação (PAVAN et al., 1984; CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2001; CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2004; CAIRES et al., 2006; SORATTO e CRUSCIOL, 2008; RAIJ, 2008; BENITES et al., 2010; RAMPIM et al., 2011; CARDUCCI et al., 2015).

## **2.4 Erosão dos Solos Decorrente de Precipitação Pluviométrica e sua Avaliação Através do Uso do Simulador de Chuvas**

O Brasil possui uma enorme extensão territorial da qual grande parte tem elevado potencial agrícola, porém, a maior parte dessas áreas agricultáveis possuem baixa fertilidade natural decorrente da formação do solo e de situações que promovem desgaste da fertilidade. Estes desgastes são intensificados quando não é feito um manejo adequado das práticas agrícolas, o que resulta em aceleração dos processos erosivos (CARVALHO, 2002).

Estes processos podem provocar perdas de solo, água, nutrientes e outras substâncias do solo (CASSOL & REICHERT, 2002). Para Bertol et al. (2004) essas perdas são responsáveis pelo declínio da fertilidade do solo e queda constante da produtividade, resultante do arraste de sedimentos e nutrientes, consequentemente a remoção dos horizontes superficiais mais férteis, que são levados pelo escoamento superficial que pode causar sérios danos ambientais, como assoreamento e poluição das fontes de água.

A precipitação pluviométrica, através da ação da água consiste no principal agente causador de erosões no Brasil. Nas áreas agrícolas, a erosão hídrica é a que mais afeta o solo, sendo considerada a forma de degradação mais prejudicial (COGO et al., 2003) e também é a principal causa de os sistemas de produção serem insustentáveis (HERNANI et al., 2002). Para Bertoni e Lombardi Neto (1990), em um terreno pode ocorrer diferentes formas de erosão hídrica ao mesmo tempo, com destaque para a laminar, em sulco e voçoroca. A erosão laminar é forma menos agressiva na qual acontece a remoção de solo de forma mais ou menos uniforme sobre a superfície de uma área, devido ao escoamento superficial. A erosão em sulcos é a forma intermediária que se caracteriza por pequenos sulcos na superfície do solo, onde o fluxo da enxurrada e o escoamento superficial se concentra. Por fim, as voçorocas são consideradas a forma mais avançada da erosão em sulcos, provocando grande deslocamento de solo e alterações na superfície.

Além da chuva, a declividade, o comprimento de declividade da região, a capacidade de retenção de água no solo e a densidade vegetal do solo, são forças responsáveis por acelerar ou reduzir os processos erosivos (BERTONI & LOMBARDI, 1999). Para Domingos (2006) a quantidade, intensidade e duração da precipitação, e o tipo de cobertura vegetal também são forças que interferem na erosão.

A erosão se dá quando as precipitações incidem sobre o terreno, uma parte da precipitação é interceptada pela vegetação, quando esta se encontra presente, a outra parte atinge a superfície do solo, umedecendo os agregados do solo e fazendo com que as forças de coesão fiquem reduzidas (PRUSKI, 2006). A chuva contínua danifica os agregados do solo, promovendo a redução do tamanho deles, que por consequência obstruem os poros do solo e isto provoca o selamento superficial. O selamento associado a compactação do solo, que pode ser provocada inclusive pelo impacto das gotas de chuva, reduz a taxa de infiltração da água. Quando a quantidade de chuva passa a ser maior do que a taxa de infiltração, ocorre o início do escoamento superficial com o deslocamento das partículas para terrenos mais baixos.

A cada ano que se passa há uma necessidade maior de pesquisas e informações no sentido de se evitar os danos ambientais, econômicos e sociais. Segundo Cassol et al. (2002), diversas instituições brasileiras têm feito estudos, tratando a erosão hídrica com mais atenção. As perdas de solo e nutrientes tem resultado ano após anos em enormes prejuízos econômicos (HERNANI et al., 2002). Estimativa de custos anuais indicam que os processos erosivos estão

alcançando níveis alarmantes, e resultando em uma elevação dos custos das propriedades, pois na tentativa de repor o que foi perdido tem se aumentado a compra de fertilizantes e corretivos, elevando se assim os custos de produção, que podem ser agravados se for feito sem instruções técnicas. O Brasil apresenta uma perda anual de 600 milhões de toneladas de solo agrícola (BAHIA et al., 1992). Essa perda de solo também provoca perda de nutrientes, que significa uma perda econômica por volta de 4 bilhões de dólares em adubos e corretivos para reposição (AMORIM, 2003). Em seu estudo, Silva et al. (2005) relata que a adoção de técnicas para a minimização das perdas de solo, água, nutrientes do solo é de fundamental importância para o planejamento conservacionista.

Com a finalidade de auxiliar nas pesquisas fornecendo dados importantes dos processos de perdas de água, solo e nutrientes, que ocorrem através de processos como erosão hídrica, infiltração e lixiviação (RIBEIRO et al., 2000), foi desenvolvido um equipamento chamado Infiltrômetro de aspersão, também conhecido como simulador de chuva. O uso deste equipamento é considerado o método que melhor representa uma realidade da infiltração e escoamento, pois apresenta a vantagem de usar uma chuva simulada é a coleta rápida de dados sob condições relativamente uniformes. Para Aksoy et al. (2012) através de uma chuva simulada, é replicado o processo natural de precipitação com bastante precisão. Condições típicas de chuvas naturais, como velocidade de impacto e distribuição do tamanho das gotas da chuva, intensidade de precipitação, ângulo de impacto das gotas e capacidade de reproduzir a intensidade e a duração das chuvas intensas, podem ser reproduzidas (BRANDÃO et al., 2004). Porém, um simulador deve atingir algumas condições para que sua precisão chegue bem próximo da chuva natural. As condições são: precisão da reprodução do tamanho e energia natural da queda de chuva, a aplicação uniforme e quase contínua sobre uma área de 1 m<sup>2</sup> ou maior, a capacidade de variar a duração da chuva aplicada e intensidades que for de interesse, e por fim que seja um equipamento de fácil portabilidade e baixo custo (HIGNETT et al., 1995). Já para Alves Sobrinho et al. (2002), as condições ideais de um simulador são que ele aplique água de modo contínuo na parcela experimental ou, pelo menos, duas aplicações por segundo, de forma, que a aplicação se torna não intermitente. Por último, o simulador deve permitir o uso de parcela experimental com área superior a 0,50 m<sup>2</sup>, sendo menor do que a descrito por autores anteriores. Para Meyer e Meyer e McCune (1958) citado por Montebeller et al. (2001) um simulador considerado satisfatório para o seu uso deve apresentar a relação entre a energia cinética da chuva simulada e da precipitação natural acima de 75%.

Após a coleta dos dados de escoamento superficial de água e sedimentos, os resultados são analisados, interpretados e utilizados para o entendimento do processo de infiltração, que serve para determinar o balanço de água na zona das raízes a lixiviação de nutrientes, o fenômeno da erosão provocado pelas precipitações pluviais entre outros. O conhecimento desse processo e a as relações dele com as propriedades do solo tornam-se essenciais para manejo eficiente do solo e da água nos cultivos agrícolas (REICHARDT et al., 1996).

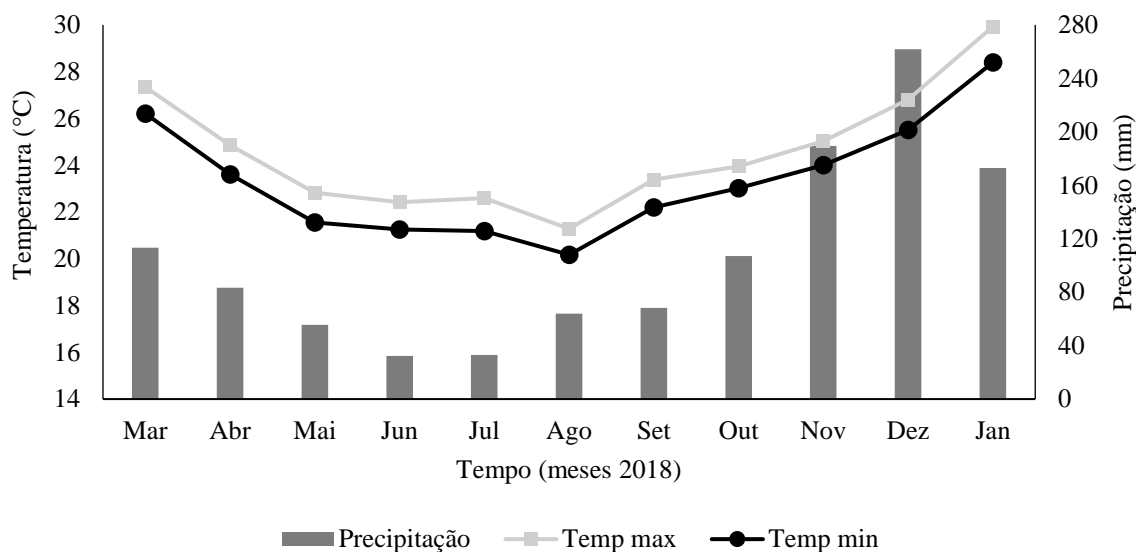
Para ter a certeza que a chuva simulada foi realizada de maneira correta e representativa são usados diversas equações ou modelos estatísticos. Esses modelos podem ser desenvolvidos por considerações físicas, ou de forma empírica.

Com relação aos modelos empíricos, um dos mais utilizados no manejo de irrigação, é o modelo de Kostiaikov-Lewis, descrito por Prevedello (1996). Esse modelo normalmente utilizado para cálculo da estimativa de infiltração acumulada onde os parâmetros utilizados não têm significado físico próprio e são estimados a partir de dados experimentais obtidos no campo. Outro modelo que também é bastante usado é o de Horton, esse modelo utiliza uma equação descrita na forma de uma função exponencial. Segundo Prevedello (1996), esse modelo descreve a redução da taxa de infiltração com o tempo, que é controlada por fatores que operam na superfície do solo como o selamento superficial resultante do impacto das gotas de chuva no solo e de fenômenos de expansão e contração do solo. A não consideração do impacto das gotas

de chuva no solo, pode superestimar a infiltração da água, o que pode resultar em problemas de dimensionamento de projetos. Chaves et al. (1993), relata que os impactos das gotas de chuva influenciam na redução da taxa de infiltração por duas maneiras: diminuição da rugosidade e formação de uma fina camada adensada na superfície, com uma condutividade menor do que a do solo subjacente. Um outro modelo também muito conhecido é o de Philip, nesse modelo é considerado que o processo de infiltração sofre grande influência das propriedades físicas do solo e pela ação gravitacional, principalmente no começo do processo em solos bem úmidos (ASSOULINE, 2013).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Bovinocultura da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), município de Seropédica, RJ (22° 46' 38'' S e 43° 39' 28'' O, a 33 m de altitude), sendo uma parte inicial em 2015 a 2016 e uma parte em 2018 onde foi conduzido o experimento visando a dissertação. A precipitação pluviométrica e a temperatura máxima e mínima ocorridas durante o período experimental onde foi feita o plantio e cortes de forrageira são apresentadas na Figura 1.



**Figura 1.** Temperatura máxima e mínima médias e precipitação pluviométrica de maio de 2018 a janeiro de 2019, em Seropédica, RJ.

O solo da área experimental foi classificado com Cambissolo Háplico Distrófico (SANTOS et al., 2013) de textura média cascalhenta (Tabela 1), localizado em terço médio de encosta, com relevo forte ondulado com aproximadamente 36% de declividade. No momento da implantação do experimento, a área encontrava-se ocupada com diferentes espécies de *Brachiarias* (*Urocloa* sp) e grama batatais (*Paspalum notatum*), além de plantas invasoras de pastagens.

**Tabela 1.** Textura do Cambissolo Háplico Distrófico da área experimental.

| Horizontes | Prof.<br>(cm)        | Argila             | Silte | Areia grossa | Areia fina | Areia total | Cascalho<br>(%) |
|------------|----------------------|--------------------|-------|--------------|------------|-------------|-----------------|
|            |                      | g kg <sup>-1</sup> |       |              |            |             |                 |
| A          | 0-12                 | 230                | 255   | 347          | 168        | 515         | 5               |
| E          | 12-22                | 217                | 153   | 538          | 92         | 630         | 15              |
| EB         | 22-42                | 318                | 209   | 359          | 114        | 473         | 15              |
| Bi1        | 41-61                | 537                | 183   | 227          | 53         | 280         | 20              |
| Bi2        | 61-95                | 537                | 180   | 233          | 50         | 283         | 25              |
| BC         | 95-120               | 367                | 483   | 104          | 46         | 150         | 20              |
| C          | 120-145 <sup>+</sup> | 426                | 196   | 305          | 73         | 378         | 20              |

Textura obtida por meio do Método da Pipeta, conforme descrito em Teixeira et al. (2017).

Inicialmente o objetivo do experimento foi a recuperação da pastagem degradada a partir do uso de calagem associada à gessagem em superfície. Em abril de 2015 foi realizada a amostragem do solo para análise dos atributos químicos e da textura do solo, quando foram coletadas 15 amostras simples para formar uma composta por camada de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Foram determinados o pH em água, a acidez potencial (H+Al), alumínio (Al<sup>3+</sup>), sódio (Na<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), fósforo (P) e o carbono orgânico do solo (COS) (Tabela 2). A partir desses resultados foram calculados a soma de bases (S), a saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e efetiva (t), segundo a metodologia descrita em Silva (2009).

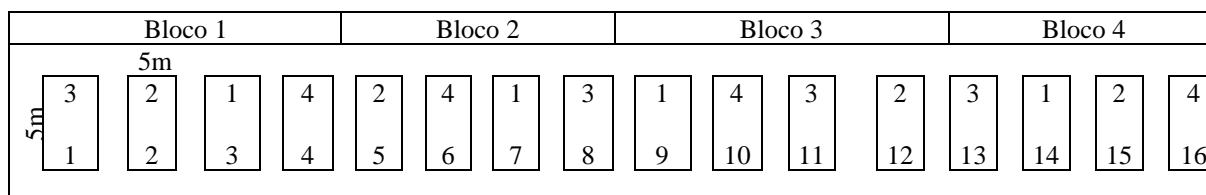
**Tabela 2.** Atributos químicos do Cambissolo Háplico Distrófico da área experimental antes da implantação do experimento, em abril de 2015.

| Prof.<br>(cm)           | pH<br>H <sub>2</sub> O | Al                                 | H+Al | Ca   | Mg   | Na   | S    | T    | V  | t    | m     | K                   | P                   | C                  |
|-------------------------|------------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|----|------|-------|---------------------|---------------------|--------------------|
|                         |                        | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |      |      |      |      |      |      |    | %    |       | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> |
| 0-5                     | 5,3                    | 0,71                               | 5,02 | 0,96 | 1,32 | 0,04 | 2,34 | 7,38 | 32 | 3,04 | 23,00 | 39                  | 16                  | 7,13               |
| 05-10                   | 5,1                    | 0,82                               | 4,83 | 1,57 | 1,61 | 0,02 | 3,16 | 7,95 | 40 | 3,91 | 19,16 | 16                  | 13                  | 6,23               |
| 10-20                   | 4,9                    | 0,91                               | 2,61 | 0,51 | 1,10 | 0,02 | 1,65 | 4,29 | 39 | 2,55 | 35,24 | 12                  | 11                  | 5,67               |
| 20-40                   | 5,0                    | 1,30                               | 3,17 | 0,42 | 1,05 | 0,02 | 1,44 | 4,57 | 30 | 2,74 | 47,48 | 4                   | 9                   | 5,10               |
| Média ponderada de Al = |                        | 1,07                               |      |      |      |      |      |      |    |      |       |                     |                     |                    |

Análise realizada com base na metodologia descrita por Silva (2009).

Com base nos resultados da análise química (tabela 2), foi calculada a dose de calcário, adotando a metodologia para a neutralização do Al<sup>3+</sup>, multiplicado pelo fator 3, em função da calagem ser aplicada manualmente em área de declividade acentuada. Como o objetivo do estudo foi avaliar o efeito dos tratamentos com calagem superficial até 40 cm de profundidade, foi realizado o cálculo da média ponderada do teor de Al<sup>3+</sup> até 40 cm de profundidade, resultando no valor de 1,07, conforme apresentado na Tabela 2.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos com quatro repetições cada. Os tratamentos foram: 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico aplicado em superfície; 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 0,7 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (25% da dose de calcário), aplicados em superfície; 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico + 1,4 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (50% da dose de calcário), aplicados em superfície; e o controle experimental sem calcário e sem gesso. O poder relativo de neutralização total (PRNT) do calcário foi de 76%. Cada parcela possuía área de 25 m<sup>2</sup> (5 x 5 m), com 1 m de espaçamento entre as mesmas e a área experimental total foi de 475 m<sup>2</sup>, conforme o croqui (Figura 2).



**Figura 2.** Croqui da área experimental.

A calagem foi realizada em duas parcelas, sendo 50% da dose aplicada em março de 2015 e o restante em março de 2016 (Figura 3). O parcelamento da calagem teve como objetivo

reduzir possíveis perdas de calcário e do gesso por erosão em função da declividade do terreno. Na época da implantação dos tratamentos não haviam animais na pastagem, não sendo necessário o cercamento da área após a aplicação do calcário.



**Figura 3.** Área experimental após a implantação com a aplicação de calcário e calcário + gesso nas parcelas. Setor de bovinocultura da UFRRJ. Em maio de 2015.

Após 3 anos e 9 meses de avaliação (maio de 2015 a janeiro de 2018) houve melhorias nos atributos químicos do solo e não foi possível a recuperação da pastagem, com isso se optou pela reforma total da pastagem. Os atributos químicos do solo foram descritos na Tabela 3.

**Tabela 3.** Atributos químicos do solo da área experimental trinta e dois meses após a calagem + gessagem em superfície em janeiro de 2018.

| Tratamento | pH               | Al   | H+Al | Ca   | Mg   | Na   | S    | T     | t    | m     | V  | K   | P                  |
|------------|------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|----|-----|--------------------|
|            | H <sub>2</sub> O |      |      |      |      |      |      |       |      |       | %  |     | mg dm <sup>3</sup> |
| 0-5 cm     |                  |      |      |      |      |      |      |       |      |       |    |     |                    |
| 1          | 5,59             | 0,10 | 4,10 | 3,27 | 1,95 | 0,04 | 5,57 | 9,67  | 5,67 | 1,78  | 58 | 120 | 2                  |
| 2          | 5,89             | 0,03 | 3,53 | 3,57 | 1,60 | 0,04 | 5,50 | 9,02  | 5,52 | 0,51  | 60 | 113 | 4                  |
| 3          | 5,89             | 0,01 | 3,70 | 3,65 | 2,43 | 0,04 | 6,45 | 10,15 | 6,46 | 0,21  | 63 | 130 | 3                  |
| 4          | 5,00             | 0,30 | 4,63 | 1,80 | 1,50 | 0,04 | 3,69 | 8,31  | 3,98 | 8,01  | 44 | 136 | 4                  |
| 5-10 cm    |                  |      |      |      |      |      |      |       |      |       |    |     |                    |
| 1          | 5,30             | 0,28 | 4,12 | 2,22 | 1,62 | 0,04 | 4,10 | 8,23  | 4,38 | 6,51  | 50 | 83  | 3                  |
| 2          | 5,20             | 0,20 | 4,05 | 1,97 | 1,52 | 0,04 | 3,74 | 7,79  | 3,94 | 5,27  | 48 | 76  | 4                  |
| 3          | 5,25             | 0,21 | 4,07 | 2,50 | 1,47 | 0,04 | 4,23 | 8,31  | 4,44 | 4,48  | 51 | 84  | 6                  |
| 4          | 4,81             | 0,56 | 4,57 | 1,45 | 1,17 | 0,04 | 2,90 | 7,48  | 3,49 | 17,01 | 39 | 91  | 3                  |
| 10-20 cm   |                  |      |      |      |      |      |      |       |      |       |    |     |                    |
| 1          | 4,70             | 1,01 | 4,50 | 0,95 | 1,55 | 0,04 | 2,65 | 7,15  | 3,67 | 27,74 | 37 | 43  | 2                  |
| 2          | 4,77             | 0,75 | 4,22 | 1,27 | 1,02 | 0,04 | 2,46 | 6,68  | 3,21 | 23,73 | 37 | 47  | 2                  |
| 3          | 4,88             | 1,00 | 4,55 | 1,37 | 1,42 | 0,04 | 2,96 | 7,51  | 3,96 | 24,57 | 39 | 47  | 3                  |
| 4          | 4,64             | 1,11 | 4,57 | 0,92 | 1,30 | 0,04 | 2,39 | 6,96  | 3,50 | 31,58 | 34 | 47  | 2                  |
| 20-40 cm   |                  |      |      |      |      |      |      |       |      |       |    |     |                    |
| 1          | 4,60             | 1,65 | 4,72 | 0,87 | 1,55 | 0,06 | 2,56 | 7,28  | 4,21 | 39,09 | 35 | 28  | 1                  |
| 2          | 4,47             | 1,74 | 4,77 | 1,05 | 1,00 | 0,05 | 2,16 | 6,94  | 3,90 | 44,92 | 31 | 25  | 1                  |
| 3          | 4,41             | 1,88 | 4,77 | 1,05 | 1,45 | 0,06 | 2,86 | 7,63  | 4,73 | 39,40 | 37 | 28  | 1                  |
| 4          | 4,59             | 1,70 | 4,52 | 0,85 | 1,40 | 0,06 | 2,38 | 6,91  | 4,08 | 41,41 | 34 | 29  | 0                  |

Médias de 4 repetições. Análise realizada com base na metodologia descrita por Silva (2009). 1. 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico aplicado em superfície; 2. 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico acrescido de gesso agrícola na proporção de 25% da dose de calcário, aplicados em superfície; 3. 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico acrescido de gesso agrícola na proporção de 50% da dose de calcário, aplicados em superfície; 4. controle experimental sem calcário e sem gesso.

Em janeiro de 2018, optou-se por reformar a pastagem na área experimental. Para isso a área foi cercada com cerca elétrica e a vegetação dessecada com aplicação de *Roundup*, utilizando aplicador costal de 20L e dosagem conforme recomendação na bula do produto.

Em fevereiro de 2018 foi realizada a semeadura, a lanço, de *Brachiaria brizantha* com germinação de 40% e grau de pureza de 60%, correspondendo ao equivalente a 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. A germinação desta semeadura foi baixa, possivelmente pela falta de compactação da semente ao solo e principalmente pelas condições climáticas desfavoráveis, sendo necessário uma segunda semeadura 20 dias após a primeira, novamente equivalente a 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, resultando na semeadura de 40 kg ha<sup>-1</sup> de sementes para a formação da pastagem, de modo que ela cobrisse totalmente as parcelas, embora grande parte da primeira semeadura foi perdida. Fotografia da área experimental com um mês após a segunda semeadura. (Figura 4)





**Figura 4.** *Brachiaria brizantha* cv. Marandu um mês após a semeadura a lanço, em abril de 2018.

Parte da adubação de plantio da *brachiaria brizantha* cv. Marandu, foi realizada junto com a primeira semeadura, com aplicação de dose equivalente a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , utilizando como fonte superfosfato simples. O adubo foi misturado com a sementes em um balde, homogeneizado e em seguida aplicado a lanço. O restante da adubação de plantio foi realizada aos 20 e 40 dias após a segunda semeadura com aplicação de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $\text{K}_2\text{O}$ , na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente.

Aos 60 dias após a segunda semeadura (DAS) foi realizada a contagem de plântulas de *Brachiaria* e invasoras utilizando um gabarito de  $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$  com área de  $0,25 \text{ m}^2$ , com o objetivo de acompanhar a formação da pastagem. Para isso o gabarito foi alocado em cinco pontos previamente definidos em cada parcela, dos quais calculou-se a média por parcela (unidade experimental).

A massa de forragem foi avaliada com o corte da *Brachiaria* utilizando um gabarito de  $9 \text{ m}^2$  ( $3,0 \times 3,0 \text{ m}$ ), que foi lançado aleatoriamente no centro da parcela e a forragem cortada a



15 cm de altura. Foram realizados 6 cortes, respectivamente: 22 de maio; 20 de junho; 18 de julho; 15 de agosto; 13 de setembro e 10 de outubro de 2018 resultando em ciclos de corte de 28 em 28 dias. Após os cortes foram realizadas as pesagens da massa fresca de forragem no campo, retirada uma sub amostra de aproximadamente 30 g para secagem em estufa a 105°C por 24h para a determinação da massa seca, de acordo com método descrito por Silva e Queiroz (2002). O acumulo ou produção de forragem, foi calculado com base na soma das massas de forragem obtidas em cada data de avaliação.

A altura do dossel foi definida alocando uma folha de acetato (transparência) sobre a pastagem em cinco pontos na área útil da unidade experimental (moldura de 3x3 m). Posteriormente, foram anotados os valores dos pontos de altura com uma régua graduada em milímetros, e em seguida a altura média de cada unidade experimental foi calculada (DA SILVA e CUNHA, 2003).

Em novembro de 2018 (270 DAS) foi realizada uma nova amostragem do solo. Os atributos químicos foram coletados e analisados conforme já descrito anteriormente. Também foram avaliados os atributos físicos do solo com a determinação da estabilidade dos agregados via úmida, através do diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo e porosidade total, segundo metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

A densidade do solo (Ds) foi avaliada com a coleta de amostras indeformadas utilizando anel de Koppeck. Após a secagem a 105°C por 24 horas foi calculada a Ds utilizando a seguinte equação:

$$Ds = Ms/Vt$$

Ms = massa da amostra de solo seca a 105°C (g) e Vt = volume do anel de Koppeck (cm<sup>3</sup>).

A densidade das partículas (Dp) foi determinada através do método do Balão Volumétrico (Teixeira et al., 2017). Segundo esse método 20 gramas de terra fina seca ao ar (TFSA) são acondicionados em balão volumétrico de 50 mL, sendo em seguida acrescidos de 20 mL de álcool etílico, agitado e levado para o dessecador acoplado à bomba de vácuo operando a aproximadamente 5 kgf cm<sup>2</sup> para eliminação de todo o ar contido nos microporos dos agregados da amostra de TFSA. Após cessar a saída de bolhas de ar (aproximadamente 15 minutos sob vácuo no dessecador), o balão foi completado com álcool etílico até 50 mL e o volume anotado. Ressalta-se que o método requer o cálculo com terra fina seca em estufa (TFSE), o que requer a determinação da umidade higroscópica da TFSA e o cálculo do fator de correção (Fc) da umidade higroscópica. O Fc foi determinado a partir da secagem de aproximadamente 10 g de TFSA em estufa a 105 °C por 24 horas e a divisão do peso de TFSA por TFSE (Fc = TFSA/TFSE, adimensional com 3 decimais). De posse do volume de álcool gasto em mL e do peso da amostra de TFSA convertida em TFSE mediante a Fc foi calculado a Dp, utilizando a seguinte equação:

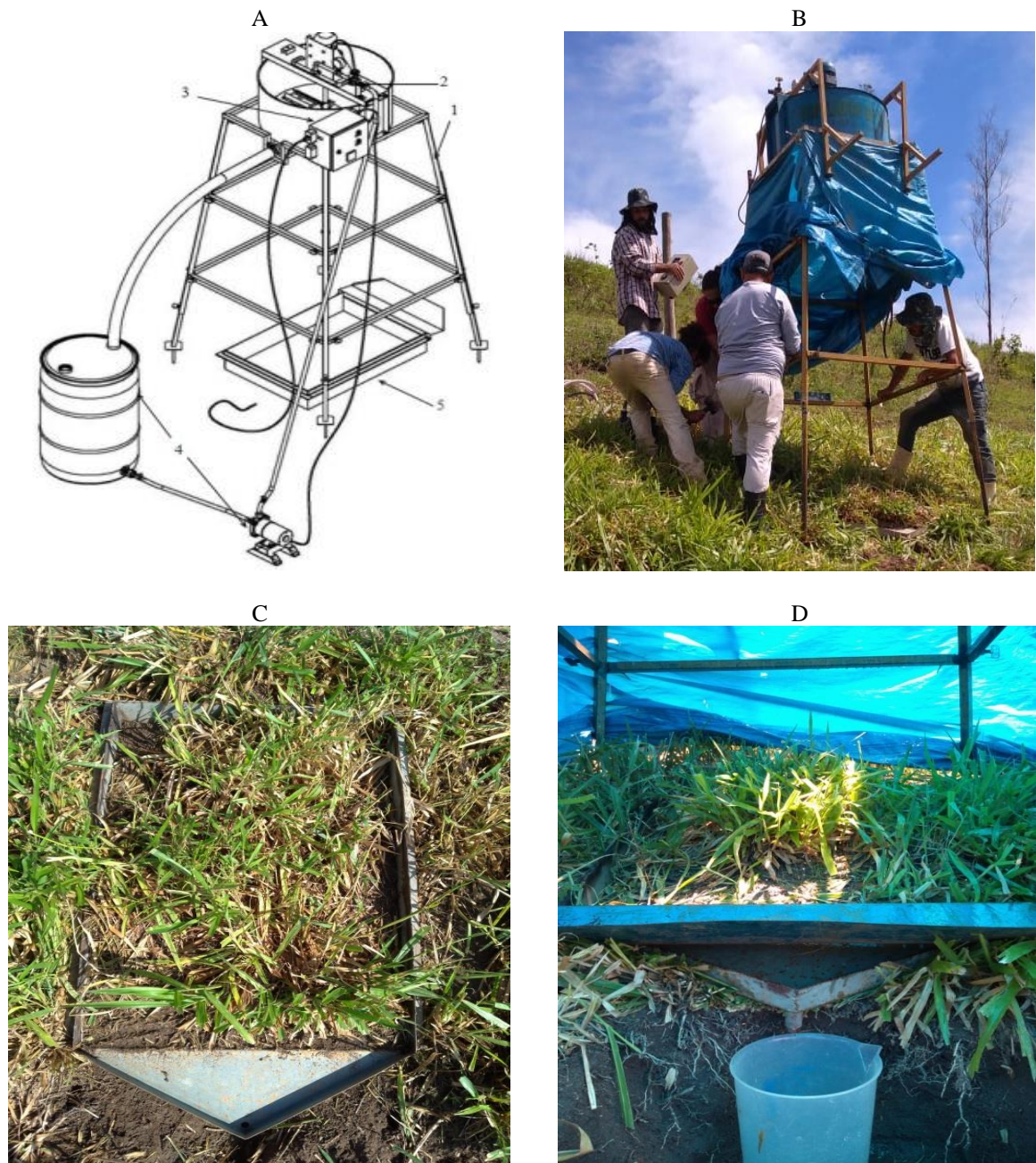
$$Dp = (TFSA/Fc)/(50- \text{volume total de álcool etílico gasto}), \text{ em g cm}^3$$

O volume total de poros (VTP) do solo foi calculado a partir com a equação:

$$VTP = [1- (Ds/Dp)] \times 100, \text{ em } \%.$$

Ainda foram avaliadas a infiltração de água e a erosão do solo (perdas de solo e de água), após formação da pastagem. Para isso, foram aplicadas chuvas usando um simulador de chuvas de disco rotativo desenvolvido por Alves Sobrinho et al. (2008) (Figura 5). O simulador opera com dois bicos Veejet 80.150, paralelos entre si, posicionados a 2,3 m em relação à superfície

do solo e com pressão de serviço média de 5 psi. A parcela sobre a qual é aplicada a chuva é construída com chapa metálica galvanizada, com estrutura do tipo funil em uma das laterais por onde é coletado o volume de água escoado superficialmente em área de 0,70 m<sup>2</sup> (1m x 0,70m), com altura de 0,20 m, dos quais aproximadamente 15 cm são cravados no solo com auxílio de uma madeira e uma marreta de 10 kg. A intensidade das chuvas aplicadas foi de 70 mm h<sup>-1</sup> e a duração de 60 minutos para cada evento simulado. Em todos os testes o simulador foi envolto por uma lona plástica para evitar a influência do vento na trajetória de queda das gotas de chuva.



**Figura 5.** Simulador de chuvas modelo InfiAsper (Alves Sobrinho et al., 2008). A) vista superior de todos os componentes do simulador. B) Montagem do simulador na área experimental para realização de teste. C) Parcela experimental cravada no solo. D) Estrutura tipo funil para coleta de escoamento superficial.

Antes de cada aplicação de chuva foi realizado o molhamento nas parcelas, com igual quantidade de água, com uso regador manual visando a uniformização da umidade inicial do solo para todos os tratamentos. Após o molhamento o simulador foi ligado, a aplicação de chuva iniciada e o escoamento foi contabilizado a partir do momento em que houve a formação de um filete constante de água na calha coletora. O volume escoado superficialmente foi medido a cada 1 minuto para avaliação das perdas de água e da infiltração da água no solo. Ao longo do período de avaliação do escoamento (60 minutos) foram realizadas coletas a cada 5 minutos para estimar o arraste de sedimentos na água escoada. Cada período de chuva simulada de 60 minutos resultou em 13 amostras de água + sedimentos escoados, os quais foram armazenados em recipientes de plástico de 1L e encaminhados para o laboratório para a separação da água e sedimentos escoados. No laboratório as amostras foram transferidas para provetas de 1L, adicionado de 10 mL de sulfato de alumínio a 20% para acelerar o processo de floculação e decantação dos sólidos em suspensão. Após o período de 24 horas o excesso de água de cada proveta foi retirado por sifonamento com uma mangueira de calibre de 4mm. Os sedimentos floculados no fundo das provetas foram transferidos para placas de Petri pré secadas e pesadas, sendo em seguida colocados em estufas para a secagem dos sedimentos a 60°C por 96h. Após a secagem foi calculada a massa de sedimentos em cada teste por meio do somatório da massa seca das amostras provenientes de uma mesma chuva de 60 minutos. Os resultados foram transformados em perdas de solo em  $\text{g m}^{-2}$ .

Os dados coletados com o simulador de chuva foram tabulados e utilizados nas equações dos modelos descrito por Kostiakov-Lewis (Kostiakov, 1932; Lewis, 1937), Horton (Horton, 1933, 1939) e Philip (Philip, 1969) para avaliação do ajuste dos valores de taxa de infiltrações observadas nas avaliações a campo em função do tempo correspondente.

Equações:

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| Kostiakov-Lewis | $i = i_f + \alpha k t^{\alpha-1}$    |
| Horton          | $i = i_f + (i_o - i_f) e^{-\beta t}$ |
| Philip          | $i = b + \frac{1}{2} k t^{-0,5}$     |

onde  $i$  é a taxa de infiltração instantânea estimada ( $\text{mm h}^{-1}$ ),  $i_o$  e  $i_f$  são as taxas de infiltração inicial e estável observadas ( $\text{mm h}^{-1}$ ) e  $t$  é o tempo (min). Os parâmetros dos modelos ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $b$  e  $k$ ) foram estimados por regressão não linear utilizando-se o método de Gauss-Newton, no qual minimiza-se a soma dos quadrados dos desvios em relação aos valores de taxa de infiltração observada. A estimativa desses parâmetros foi feita no *software DataFit* (versão demonstrativa 9.1).

Conforme sugerido por Chai e Draxler (2014), o ajuste dos modelos foi verificado pelos seguintes índices estatísticos: raiz quadrada do erro médio (RMSE), eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) (Nash & Sutcliffe, 1970), coeficiente de correlação (R) e desvio padrão das observações (RSR), calculado pela razão entre o RMSE e o desvio padrão da taxa de infiltração observada em cada teste. Os cálculos foram desenvolvidos em planilha Excel.

$$\begin{aligned} \text{RMSE} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiest})^2}{n}} \\ \text{NSE} &= 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiest})^2}{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiom})^2} \\ \text{RSR} &= \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiest})^2}}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (\text{Tiob} - \text{Tiom})^2}} \end{aligned}$$

em que Tiob - é a taxa de infiltração observada, Tiest - taxa de infiltração estimada, n - número de observações e Tiom - média aritmética da taxa de infiltração observada.

Para o índice RMSE, o valor 0 indica ajuste perfeito. O índice NSE varia de  $-\infty$  a 1, sendo 1 ajuste perfeito. Os valores de 0 a 1 são considerados como desempenho aceitável e os valores menores que 0 indicam desempenho inaceitável (Nash and Sutcliffe, 1970; Moriasi et al., 2007). Quanto ao coeficiente de correlação (R) expressa o grau de relação linear entre dados observados e dados estimados e varia de -1 a 1. Se R = 0, não existe relação linear. Se R = 1 ou -1, existe relação linear positiva ou negativa perfeita. Finalmente, o RSR varia de 0 (melhor ajuste), que indica variação residual (RMSE) zero e, portanto, perfeita estimativa pelo modelo, para um valor positivo grande. Quanto menor o RSR, menor o RMSE e melhor o desempenho do modelo na estimativa dos dados (Moriasi et al., 2007).

Para atender as pressuposições da análise estatística, a normalidade e a homogeneidade dos resíduos foram verificadas, respectivamente pelos testes de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) e de Bartlett (Bartlett, 1937). Não houve necessidade de transformação dos dados para atender às pressuposições. Os atributos do solo, da formação e produtividade de forragem, perdas de solo e escoamento de água e as taxas de infiltração foram submetidos a análise de variância utilizando o programa estatístico Sisvar 5.3 da Universidade Federal de Lavras, MG, e as médias comparadas pelo teste de t (LSD) a 5% de probabilidade. A estimativa de infiltração de água no desempenho de cada modelo (Kostiakov-Lewis, Horton e Philip) foi verificado por meio dos índices estatísticos: coeficiente de correlação (R), raiz quadrada do erro médio (RMSE), eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e desvio padrão das observações (RSR).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos Químicos do Solo

Tanto a calagem quanto a calagem associada à gessagem promoveram melhorias nos atributos químicos do solo após 3 anos e 9 meses de sua aplicação em superfície, principalmente na camada de 0-5 e 5-10 cm de profundidade.

Os valores de pH diferem estatisticamente na camada de 0-5 cm, com a calagem associada a 50% da dose de gesso sendo o tratamento que mais elevou o pH do solo e o controle aquele com menor valor. Na camada de 5-10 cm os tratamentos com calagem, associada ou não ao gesso, apresentaram pH superior ao controle. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm de profundidade não houve diferença nos valores de pH entre os tratamentos e o controle. O maior valor de pH no solo sob a calagem acrescida de 50% de gesso demonstra menor tempo na correção da acidez do solo em relação à calagem acrescida de 25% de gesso e a calagem isolada. A similaridade entre os valores de pH na camada de 5-10 cm indica que nessa camada não houve efeito do gesso associado ao calcário, porém os tratamentos com uso de calcário e calcário + gesso foram superiores ao controle, mostrando o efeito do calcário na elevação do pH. Resultados semelhantes do calcário sem a incorporação foram encontrados por ALLEONI et al. (2005) comparando o calcário incorporado ao não incorporado em Latossolo de cerrado sob plantio direto, observando a elevação de pH na camada de 0-10 cm apenas 18 e 30 meses após a aplicação do calcário sem incorporação, enquanto com a incorporação o tempo foi reduzido pela metade.

Os teores de Al foram totalmente neutralizados nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm, tanto com a calagem isolada quanto com a calagem associada às duas doses de gesso, não diferindo entre os tratamentos, nem tampouco do controle onde foram verificados teores de 0,21 e 0,26  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente. Na camada de 10-20 cm a calagem associada à gessagem nas duas proporções (25% 50%) reduziu os teores de Al em relação ao controle, porém não diferiu da calagem isolada. Na camada de 20-40 cm os teores de Al não diferiram entre os tratamentos com calagem e gessagem e o controle. Apesar de não ter apresentado diferença significativa entre todos os tratamentos na profundidade 0-10 cm, foram observados valores maiores no controle em relação aos outros tratamentos. Isto pode ser decorrente do elevado coeficiente de variação obtido para essa propriedade química ( $\text{CV}=67,14\%$ ) influenciado na não se detecção das diferenças significativas entre as médias dos teores de alumínio obtidas para cada tratamento. Na camada de 10-20 cm também pode ter ocorrido fato semelhante. Em trabalho conduzido por Mongelo et. al. (2018), ao avaliar os efeitos da aplicação de gesso nos teores de alumínio de um neossolo quartzarênico encontraram resultados semelhantes, onde não foi encontrado diferença significativa, apesar dos valores serem diferentes visualmente, atribuído assim a não diferenciação ao elevado coeficiente de variação dificultando essa diferenciação ( $\text{CV}=50\%$ ).

Tomando como referência os teores de Al verificados na análise de 2015 (Tabela 1), verificou-se que houve redução do teor de Al no controle ao longo do período de experimentação (abril de 2015 a novembro de 2018). A redução do teor de Al no controle ao longo do tempo pode ter ocorrido em função do pisoteio de animais, uma vez que esporadicamente equinos foram soltos na área experimental, antes da área ser totalmente cercada, o que pode ter resultado na contaminação das parcelas com o pisoteio dos animais. Além disso, pode ter ocorrido o arraste de cinzas pela água da chuva da parte superior ao experimento, a qual foi queimada acidentalmente duas vezes ao longo do período avaliado.

Os teores de Ca aumentaram nos três tratamentos com calagem em relação ao controle experimental até 10 cm de profundidade, sendo o maior valor observado na associação da calagem acrescida de 50% da dose de gesso. A calagem aplicada de forma isolada e em

associação com 25% de gesso não diferiram entre si, porém os teores de Ca são inferiores à associação da calagem com 50% da dose de gesso e superiores ao controle experimental. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm não houve diferença nos teores de Ca entre os tratamentos e o controle experimental.

O maior teor de Mg avaliado na camada de 0-5 cm, foi constatado no tratamento calagem associada a dose de 50% de gesso, sendo superior ao controle experimental, porém não diferiu da calagem isolada e da calagem associada a 25% da dose de gesso. O mesmo padrão ocorreu na camada de 5-10 cm, porém, porém diferindo do controle e da calagem associada a 25% da dose de gesso, que apresentaram os menores valores. Na camada de 10-20 e 20-40 cm de profundidade não houve diferença entre nos teores de Mg entre os tratamentos e o controle experimental, assemelhando-se ao resultado observado para o Ca. A calagem associada ao gesso agrícola aumentou os teores de Ca e Mg, elevando-os para níveis considerados adequados para o uso agrícola do solo, especialmente na camada de 0-5 e 5-10 cm de profundidade. Em trabalho conduzido por Caires et al. (2003) trabalhando com aplicação de calcário e gesso em plantio direto, observou-se que o  $\text{Ca}^{2+}$  aumentou também em profundidade.

A soma de bases (S) teve comportamento similar aquele do  $\text{Ca}^{2+}$  nas camadas de 0-5 cm em relação a comparação dos tratamentos. Na camada de 5-10 cm a calagem associada a 50% de gesso agrícola, foi constatado o maior valor, ( $8,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) enquanto no controle o menor valor ( $3,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Na camada de 10-20 cm a calagem consorciada a 50% de gesso, obteve valor superior ao controle, porém não diferiu da calagem isolada, e nem da calagem associada a 25% de gesso agrícola. Na camada mais profunda 20-40 cm não houve diferença entre os tratamentos. A associação calagem mais 50% de gesso agrícola obteve o maior valor na maioria das camadas, possivelmente devido esse tratamento ter apresentado valores maiores em todas as bases utilizadas na soma de bases ( $\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ). Souza et al. (2012) avaliando os efeitos do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo, não encontraram diferença nos tratamentos em relação à presença ou ausência de gesso. Resultado que diverge do presente trabalho, o qual mostra a associação calcário mais a dose maior de gesso (50%) apresentando com os maiores valores de soma de base.

A capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) não diferiu entre tratamentos, nas profundidades de 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Na camada de 0-5 cm, foi verificado maior valor para a calagem associada a 50% de gesso, enquanto na calagem isolada e o controle experimental o menor valor. Isso evidenciou que a dose de gesso influenciou o aumento e melhoraria da CTC do solo. Resultado semelhante do aumento na CTC após aplicação de gesso associado ao calcário foi observado por Zandoná et al. (2015). Os mesmos autores relatam que esse aumento é importante, pois proporciona maior capacidade de retenção do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  pelos coloides, e que esses nutrientes são importantes para a fertilidade do solo, pois possuem funções essenciais no metabolismo das plantas.

A capacidade de troca catiônica efetiva (t) não diferiu na camada de 10-20 e 20-40 cm. Na camada de 0-5 cm a calagem associada a 50% de gesso agrícola, promoveu o dobro do valor encontrado no controle. Na camada 5-10 cm a calagem associada a 50% de gesso resultou nos maiores valores CTC efetiva. O aumento de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  no complexo sortivo do solo, no tratamento com dose maior de gesso é o responsável pelos maiores valores de CTC para este tratamento.

A saturação por Al (m) não diferiu entre os tratamentos na camada de 0-5 e 5-10 cm, sendo praticamente zero para os tratamentos com calcário e calcário mais gesso. Entretanto, na camada de 10-20 cm, no tratamento controle foram obtidos os maiores valores, não diferindo da calagem solteira, que por sua vez não foi diferente de nenhum outro tratamento. Na camada de 20-40 cm não foi observado diferença entre tratamentos. Apesar de não ter apresentado diferença estatística, nota-se nas camadas superficiais a redução dos valores de saturação por Al, nos tratamentos contendo calcário consorciado ou não. Em profundidade pode ser



observado, além dos maiores teores do controle, a calagem isolada com valores bem maiores que a dos consórcios, isso pode ser decorrente da neutralização do alumínio em profundidade pelo poder do gesso.

Os teores de K não diferiram nas camadas 5-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo que na camada de 0-5 cm houve diferença entre tratamentos. Provavelmente a adubação não atingiu as camadas mais profundas e por isso não houve diferença nestas camadas. Na camada de 0-5 cm, a calagem isolada apresentou valor inferior aos outros tratamentos ( $64 \text{ mg dm}^3$ ), isso pode ter ocorrido devido a extração de K pela planta forrageira, na qual verificou-se maior produção nesse tratamento. Em outros trabalhos não foram notadas diferenças entre tratamentos de calagem comparados com calagem consorciada ao gesso (CAIRES et al., 2003) podendo descartar a lixiviação de potássio, pois ela não é comum (CAIRES et al., 2002).

Os teores de P apresentaram diferença somente na camada de 0-5 cm, entre os tratamentos calagem associada a 50% da dose de gesso ( $13 \text{ mg dm}^3$ ) e a calagem isolada. Possivelmente a calagem isolada teve os menores valores, devido a esse tratamento ser o que mais produziu maior massa de forragem, dessa forma houve maior extração de fósforo pela forrageira nesse tratamento, mesmo que estatisticamente a produção não tenha se diferenciado entre os tratamentos. O fósforo é um mineral pouco móvel no solo, portanto, necessita de mais tempo para atingir as camadas mais profundas e promover aumento do seu teor.

Os teores de carbono no solo (C), não diferiram nas camadas mais profundas, mas houve diferença na camada de 0-5 cm. Nos tratamentos associados a 25 e 50 % de gesso foram constatados valores maiores ( $29,90$  e  $29,47 \text{ g kg}^{-1}$ ) que o tratamento calagem isolada ( $26,42 \text{ g kg}^{-1}$ ), o tratamento controle não apresentou diferença para nenhum tratamento. Apesar da baixa diferença entre os tratamentos, quando comparado com a análise química realizada em 2015 (Tabela 2), onde houve aumento expressivo de carbono em todos os tratamentos, isso ocorreu devido ao processo da reforma da pastagem, com a dessecação da vegetação anterior os restos vegetais ficaram nas parcelas somando se a implantação da nova pastagem, adubação e processos biológico favorecidos durante todo o processo de reformação. A utilização de calcário também resulta em processos que influenciam o aumento de C no solo. De acordo com Briedis et al. (2012) avaliando Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto, observaram que a calagem pode promover ganhos no C no perfil do solo até a camada de 10-20 cm, embora ela foi o que apresentou o menor valor no presente estudo.

**Tabela 4.** Atributos químicos do solo três anos e nove meses após a aplicação em superfície de calcário isolado e associado com gesso agrícola em diferentes proporções.

| Trat.    | pH               | Al     | H+Al    | Ca      | Mg      | Na                                 | S       | T        | t      | m        | V     | K                  | P     | N                  | C        | C/N      |
|----------|------------------|--------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|----------|--------|----------|-------|--------------------|-------|--------------------|----------|----------|
|          | H <sub>2</sub> O |        |         |         |         | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |         |          |        |          | %     | mg dm <sup>3</sup> |       | g kg <sup>-1</sup> |          |          |
| 0-5 cm   |                  |        |         |         |         |                                    |         |          |        |          |       |                    |       |                    |          |          |
| 1        | 5,44 b           | 0,00 a | 7,42 b  | 4,12 b  | 1,72 ab | 0,12 a                             | 6,12 b  | 13,54 c  | 6,12 b | 0,00 a   | 46 a  | 64 b               | 8 b   | 1,89 a             | 26,42 b  | 13,96 b  |
| 2        | 5,51 b           | 0,00 a | 10,82 a | 4,42 b  | 1,85 ab | 0,15 a                             | 6,66 b  | 17,49 ab | 6,66 b | 0,00 a   | 38 a  | 92 a               | 9 ab  | 2,04 a             | 29,90 a  | 14,55 ab |
| 3        | 5,75 a           | 0,00 a | 11,47 a | 5,35 a  | 2,42 a  | 0,12 a                             | 8,14 a  | 19,62 a  | 8,14 a | 0,00 a   | 41 a  | 97 a               | 13 a  | 1,89 a             | 29,47 a  | 16,67 a  |
| 4        | 4,60 c           | 0,21 a | 11,52 a | 2,15 c  | 1,42 b  | 0,10 a                             | 3,93 c  | 15,45 bc | 4,14 c | 0,40 a   | 25 b  | 98 a               | 11 ab | 2,04 a             | 28,77 ab | 14,06 ab |
| 5-10 cm  |                  |        |         |         |         |                                    |         |          |        |          |       |                    |       |                    |          |          |
| 1        | 5,04 a           | 0,01 a | 7,72 a  | 2,55 b  | 1,57 ab | 0,11 a                             | 4,41 b  | 12,14 a  | 4,42 b | 0,00 a   | 37 a  | 66 a               | 3 a   | 1,60 ab            | 21,85 a  | 13,62 a  |
| 2        | 5,06 a           | 0,00 a | 9,10 a  | 2,62 ab | 1,30 b  | 0,11 a                             | 4,24 b  | 13,34 a  | 4,24 b | 0,00 a   | 32 ab | 78 a               | 4 a   | 1,41 b             | 21,52 a  | 15,34 a  |
| 3        | 5,13 a           | 0,00 a | 8,67 a  | 3,15 a  | 2,17 a  | 0,12 a                             | 5,62 a  | 14,29 a  | 5,62 a | 0,00 a   | 39 a  | 74 a               | 5 a   | 1,68 a             | 23,45 a  | 14,11 a  |
| 4        | 4,54 b           | 0,26 a | 8,42 a  | 1,82 c  | 1,10 b  | 0,10 a                             | 3,20 c  | 11,63 a  | 3,47 b | 0,70 a   | 27 b  | 73 a               | 5 a   | 1,64 ab            | 21,47 a  | 13,13 a  |
| 10-20 cm |                  |        |         |         |         |                                    |         |          |        |          |       |                    |       |                    |          |          |
| 1        | 4,48 a           | 0,41ab | 5,35 a  | 1,57 a  | 1,35 a  | 0,10 a                             | 3,14 ab | 8,49 a   | 3,55 a | 10,00 ab | 37 a  | 46 a               | 3 a   | 1,29 a             | 15,85 a  | 12,37 a  |
| 2        | 4,55 a           | 0,26 b | 5,65 a  | 1,52 a  | 1,35 a  | 0,11 a                             | 3,11 ab | 8,76 a   | 3,37 a | 6,00 b   | 36 a  | 49 a               | 2 a   | 1,24 a             | 15,97 a  | 12,94 a  |
| 3        | 4,55 a           | 0,20 b | 7,02 a  | 1,95 a  | 1,52 a  | 0,12 a                             | 3,75 a  | 10,78 a  | 3,95 a | 4,00 b   | 35 a  | 60 a               | 3 a   | 1,29 a             | 16,72 a  | 13,03 a  |
| 4        | 4,41 a           | 0,66 a | 6,47 a  | 1,40 a  | 1,12 a  | 0,10 a                             | 2,77 b  | 9,24 a   | 3,43 a | 18,00 a  | 30 a  | 56 a               | 3 a   | 1,39 a             | 16,87 a  | 12,15 a  |
| 20-40 cm |                  |        |         |         |         |                                    |         |          |        |          |       |                    |       |                    |          |          |
| 1        | 4,51 a           | 1,09 a | 4,42 a  | 1,32 a  | 1,90 a  | 0,16 ab                            | 3,48 a  | 7,91 a   | 4,57 a | 23,00 a  | 43 a  | 39 a               | 2 a   | 1,23 a             | 11,50 a  | 9,37 a   |
| 2        | 4,43 a           | 1,05 a | 4,47 a  | 1,10 a  | 1,60 ab | 0,18 a                             | 2,98 a  | 7,46 a   | 4,03 a | 26,00 a  | 39 ab | 39 a               | 1 a   | 1,15 a             | 11,17 a  | 9,76 a   |
| 3        | 4,44 a           | 1,19 a | 4,62 a  | 1,45 a  | 1,85 a  | 0,16 ab                            | 3,57 a  | 8,19 a   | 4,75 a | 24,00 a  | 43 a  | 40 a               | 1 a   | 1,16 a             | 11,62 a  | 10,16 a  |
| 4        | 4,43 a           | 1,09 a | 3,97 a  | 1,15 a  | 1,60 ab | 0,11 b                             | 2,95 a  | 6,93 a   | 4,04 a | 27,00 a  | 42 a  | 35 a               | 2 a   | 1,13 a             | 12,37 a  | 11,58 a  |
| C.V. %   | 3,18             | 67,14  | 25,08   | 17,31   | 39,80   | 31,22                              | 17,21   | 18,94    | 16,22  | 66,88    | 15,37 | 24,32              | 36,17 | 12,10              | 9,64     | 14,19    |

Médias de 4 repetições. Trat. = Tratamentos: 1. Calagem isolada; 2. Calagem + 25% de gesso agrícola; 3. Calagem + 50% de gesso agrícola; 4. Controle experimental (sem calcário e sem gesso). C.V: coeficiente de variação. Teste t (LDS) a 5% de probabilidade.



## 4.2 Atributos Físicos

### 4.2.1 Densidade do solo

A Ds variou entre tratamentos em algumas camadas de solo avaliadas, em função dos tratamentos (Tabela 5). Nas camadas de 0-5 e 10-20 cm, não foram observadas diferenças. Na camada de 5-10 cm, maior valor foi observado com a calagem isolada, e menor para a associação calagem+25% de gesso agrícola. Na camada de 20-40 cm o maior valor foi observado na calagem isolada e o menor para calagem mais 25% de gesso e controle experimental, a calagem +50% foi considerada igual a todos os demais tratamentos. De maneira geral os valores observados encontram-se abaixo de valores restritivos para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, especialmente de gramíneas (Souza et al., 2012).

Um aspecto importante a ser considerado é a presença de cascalho no solo, o que pode interferir nesta avaliação e nos resultados. Segundo Viana (2008) em estudos sobre a determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos, ressalta que solos com um percentual alto de cascalhos não deve ter sua densidade avaliada pelo método convencional, pois o mesmo não se aplica a estas situações.

**Tabela 5.** Densidade do solo sob pastagem reformada nos diferentes tratamentos, 3 anos e 9 meses após a implantação.

| Tratamento            | Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) |         |          |          |
|-----------------------|--|---------|----------|----------|
|                       | 0-5 cm                                   | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-40 cm |
| Calagem               | 1,41 a                                   | 1,50 a  | 1,55 a   | 1,67 a   |
| Calagem + 25% gesso   | 1,33 a                                   | 1,34 b  | 1,48 a   | 1,48 b   |
| Calagem + 50% gesso   | 1,37 a                                   | 1,45 ab | 1,55 a   | 1,58 ab  |
| Controle experimental | 1,35 a                                   | 1,46 ab | 1,49 a   | 1,44 b   |
| C.V. (%)              | 6,81                                     |         |          |          |

Média de 4 repetições. C.V.: Coeficiente de variação. Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

### 4.2.2 Porosidade total do solo

A porosidade total não sofreu variações em relação aos tratamentos (Tabela 6). Apenas na camada de 20-40 cm, no tratamento calagem isolada foram constatados valores inferiores aos outros tratamentos. Essa variação possivelmente se deve a algum fator inerente do solo, visto que com o tempo as camadas mais superficiais não sofreram influência da correção. Os valores de porosidade total encontram-se dentro de padrões considerados adequados para o desenvolvimento do sistema radicular para todos os tratamentos. Assim como discutido para a Ds, a porosidade total pode ter sido influenciada pela presença de cascalhos no solo. Esse resultado corrobora com o encontrado por Pires et. al. (2012) ao estudar a Influência da aplicação superficial de calcário e gesso agrícola nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho não observou diferença na porosidade em relação aos tratamentos

**Tabela 6.** Porosidade total do solo sob pastagem reformada nos diferentes tratamentos em cambissolo háplico distrófico corrigido com calagem superficial com e sem associação ao gesso agrícola em diferentes proporções e controle experimental, 33 meses após a implantação.

| Tratamento          | Porosidade total do solo (%) |         |          |          |
|---------------------|------------------------------|---------|----------|----------|
|                     | 0-5 cm                       | 5-10 cm | 10-20 cm | 20-40 cm |
| Calagem             | 41 a                         | 38 a    | 36 a     | 29 b     |
| Calagem + 25% gesso | 44 a                         | 45 a    | 38 a     | 41 a     |
| Calagem + 50% gesso | 43 a                         | 40 a    | 36 a     | 38 a     |
| Controle            | 44 a                         | 41 a    | 39 a     | 43 a     |
| Dp                  | 2,42                         | 2,50    | 2,44     | 2,48     |
| C.V. %              | 10,24                        |         |          |          |

Média de 4 repetições. Dp: Média das densidades da partícula das repetições C.V.: Coeficiente de variação. Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

#### 4.2.3 Estabilidade dos agregados

A estabilidade dos agregados, quantificada pelo DMP, não variou nas camadas de solo avaliadas (Tabela 7). Tendo como referência que o valor máximo de DMP é 5 mm, verifica-se elevada estabilidade dos agregados em todos os tratamentos, o que se explica com a ausência de revolvimento do solo uma vez que o teor de carbono que atua como cimentante das partículas primárias do solo, favorecendo uma estruturação do solo.

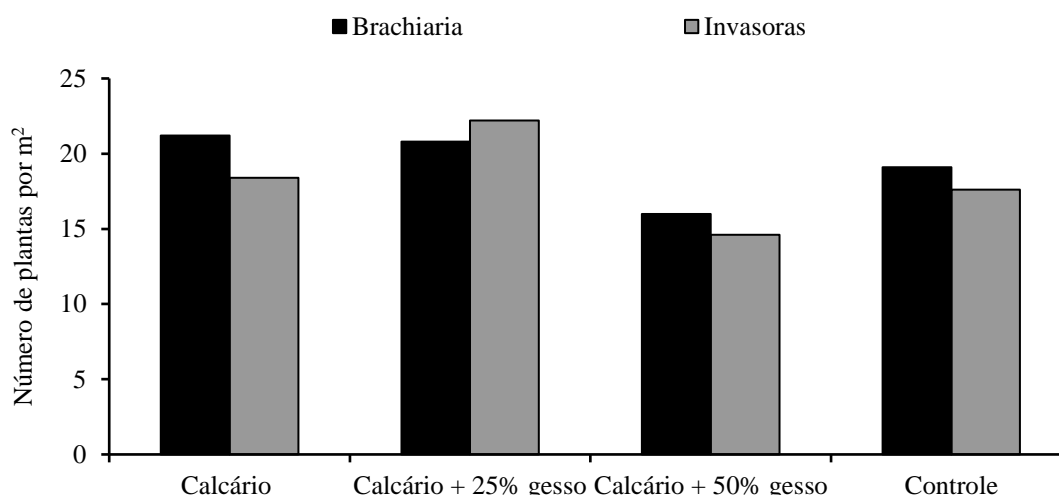
**Tabela 7.** Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo sob pastagem renovada com calagem isolada e associada com gesso agrícola em diferentes proporções aplicada na superfície do Cambissolo Háplico Distrófico da área experimental.

| Tratamento          | Diâmetro médio ponderado - DMP (mm) |         |          |
|---------------------|-------------------------------------|---------|----------|
|                     | 0-5 cm                              | 5-10 cm | 10-20 cm |
| Calagem             | 4,55 a                              | 4,73 a  | 4,76 a   |
| Calagem + 25% gesso | 4,81 a                              | 4,25 a  | 4,50 a   |
| Calagem + 50% gesso | 4,20 a                              | 4,62 a  | 4,61 a   |
| Controle            | 4,76 a                              | 4,68 a  | 4,51 a   |
| C.V. (%)            | 9,80                                |         |          |

Média de 4 repetições. C.V.: Coeficiente de variação. Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

#### 4.3 Formação da Pastagem

A renovação da pastagem com aplicação de herbicida e subsequente semeadura *brachiaria brizantha* cv. Marandu favoreceu o estabelecimento de plantas espontâneas ao logo após a germinação (Figura 6). Não foram verificadas diferenças entre os tratamentos tanto para a *Brachiaria* quanto para as plantas espontâneas, nem tampouco entre *Brachiaria* e as plantas espontâneas dentro de cada tratamento. Apesar de não terem sido verificadas diferenças estatísticas, o tratamento com associação de calagem e 50% da dose de gesso promoveu os menores números de plantas tanto de *Brachiaria* quanto de espécies invasoras. Possivelmente pelo excesso de enxofre proveniente de diversas fontes nesse tratamento



**Figura 6.** Plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e espontâneas por m<sup>2</sup> 52 dias após a semeadura. Coeficiente de variação: 37,52%. Coeficiente de variação para as espontâneas: Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

#### 4.4 Produção de Forragem

A altura, não apresentou diferença em relação aos tratamentos, já a produção de forragem da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu foi influenciada pela calagem e pela calagem associada ao uso de gesso (Tabela 8). O somatório de 6 cortes com intervalos de 28 dias entre os cortes, praticados de maio a outubro, resultaram na produtividade de 5,45 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca no tratamento com apenas calagem, sendo superior ao controle e ao tratamento com calagem associada a 50% da dose de gesso, porém, não diferiu da calagem associada a 25% da dose de gesso. Este resultado sugere que a associação de 50% de gesso à dose de calcário influenciou negativamente na germinação, estabelecimento e desenvolvimento da pastagem, apesar de ter sido o tratamento que promoveu o aumento de pH e a elevação dos teores de Ca e Mg a valores considerados os mais adequados para o cultivo com essa gramínea (Tabela 4). Essa redução do potencial produtivo da *Brachiaria* com o aumento da dose de gesso pode ser resultante da elevação do teor de enxofre a concentração superior a recomendada para a cultura em questão. Segundo Malavolta, (1980) o enxofre em altas doses pode afetar a absorção de nutrientes pela presença de íons acompanhantes e/ou pelos efeitos interiônicos que alteram a entrada de nutrientes nas plantas. Em trabalho desenvolvido por Custodio (2005) avaliando gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia em latosolo vermelho-escuro, mediante a curva de absorção do enxofre, foi aplicado dose de até 3,01 t / ha de gesso, onde a maior produção da forragem foi obtida na dose de 2,93 t / ha de gesso agrícola, e um decréscimo na produção quando utilizado a dose máxima.

A maior produtividade encontrada no tratamento com apenas calagem é considerada aceitável quando comparado ao potencial produtivo de 8 a 20 Mg ha<sup>-1</sup> ano da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (VALLE et al., 2010). Os resultados encontrados demonstram que a formação de pastagem sem o revolvimento do solo, não prejudicou o potencial produtivo da forrageira utilizada. De acordo Boris, et al. (2008) ao estudarem a influência de diversas doses de calcário aplicadas em superfície sobre a produtividade do capim braquiário (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), não encontraram diferenças na produção quando comparados as doses de calcário, porém quando o calcário foi associado ao gesso houve um aumento na produção de capim. Já Sousa et al. (2001) obtiveram incremento de 50% na produção de braquiário em dois anos de avaliação com adição de 200 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola na recuperação de pastagens. Resultados que divergem do presente estudo, o qual constatou redução da produtividade com o

incremento maior de gesso. Para Cruz et al. (1994) ao avaliarem o efeito da calagem sobre algumas forrageiras, entre elas o Braquiário, concluíram que a calagem proporcionou aumento na produção de MS. Os mesmos autores concluíram que a calagem pode não trazer grandes benefícios a produção de MS no primeiro ano, mas ao decorrer dos anos a produção acumulada mostra incremento na produtividade.

**Tabela 8.** Produção de forragem e altura da pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu reformada com sem coretivo e corrigida com calcário associado ou não ao gesso em Cambissolo Háplico Distrófico.

| Tratamentos         | MS (Mg ha <sup>-1</sup> ) | Altura (cm) |
|---------------------|---------------------------|-------------|
| Calagem             | 5,45 a                    | 29,55 a     |
| Calagem + 25% gesso | 4,51 ab                   | 28,40 a     |
| Calagem + 50% gesso | 4,18 b                    | 28,11 a     |
| Controle            | 4,25 b                    | 28,09 a     |
| C.V. %              | 14,91                     | 8,40        |

MS – Matéria seca; média das 4 repetições obtidas do somatório dos 6 cortes; Altura obtida da média das 4 repetições obtidas das medias dos 6 cortes; C.V.: Coeficiente de variação. Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

#### 4.5 Infiltração e Perda de Solo e Água na Pastagem

Na (Tabela 9) são apresentados os resultados das medias dos tratamentos, para a perda de sedimentos e água através do escoamento superficial e para a taxa de infiltração estável, sob precipitação média de 70 mm h<sup>-1</sup>. Não foi observado diferença entre os tratamentos para nenhuma das variáveis analisadas.

A princípio o fato de todos os tratamentos terem sua área com a vegetação (pastagem) completamente reformada, evitando o impacto das gotas de chuva e desprendimento de partículas, contribuiu para a proteção do solo, de maneira igual para todos, além de reduzir as perdas de solo. Panachuki (2006a), avaliando os parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária encontrou em parcelas de pastagem valores de sedimentos em média, com aproximadamente a metade dos encontrados no presente trabalho, com densidade igual e porosidade total um pouco maior que o presente trabalho, porém, a declividade de 0,03 m m<sup>-1</sup> e intensidade de precipitação de 60 mm h<sup>-1</sup> utilizadas ele são bem inferiores ao deste trabalho

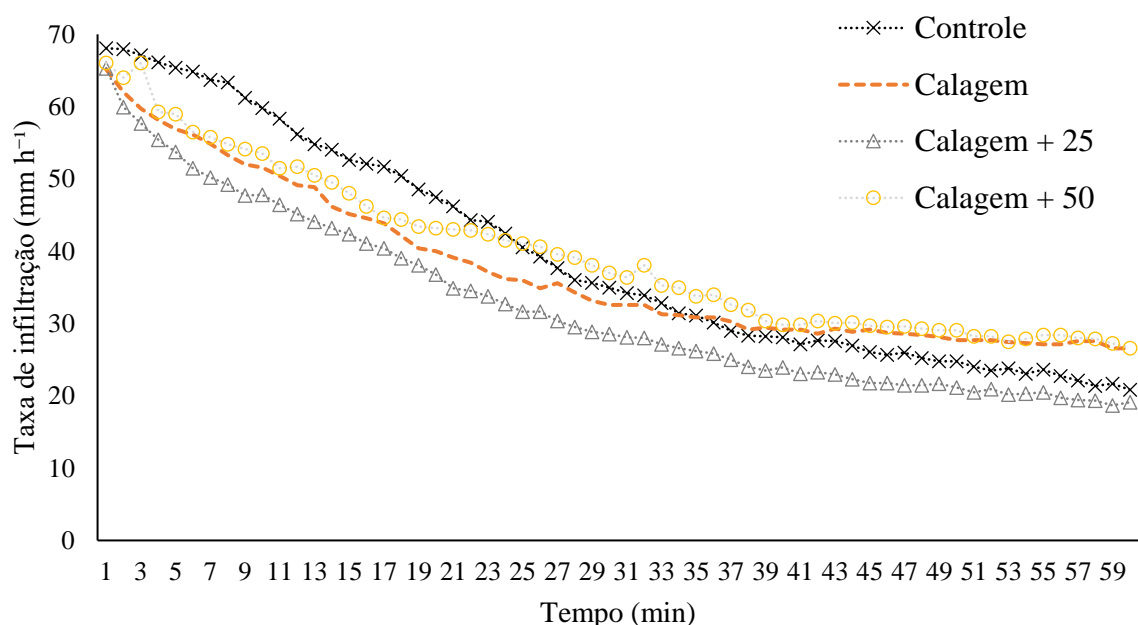
A taxa de infiltração estável (TIE) média mensurada no presente estudo foi de 23,93 mm h<sup>-1</sup>. Essa TIE é menor que aquela verificada encontrado por Panachuki (2003) (42,86 mm h<sup>-1</sup>), sob chuva simulada de 60 mm h<sup>-1</sup> em sistema de integração agricultura-pecuária, em Dourados-MS. O fato de a taxa ser bem inferior pode ser explicado pela maior intensidade de da chuva aplicada nesse experimento (70 mm h<sup>-1</sup>), associada à alta declividade do terreno (36%), o que favorece maior velocidade do escoamento superficial da água e, consequentemente diminui a infiltração. Panachuki (2003), observou uma tendência de maior infiltração nas camadas com menor densidade do solo, o presente estudo também apresentou resultado semelhante a essa tendência, levando em consideração que a densidade do solo não apresentou diferença ou pouca diferença, assim como a taxa de infiltração não apresentou diferença. Segundo Zwirter et al., 2013, características estruturais do solo como a elevação da porosidade e a redução da densidade do solo, favorecendo a menor resistência à penetração, e facilitam a infiltração.

**Tabela 9.** Produção acumulada de sedimentos, escoamento superficial e taxa de infiltração estável (TIE) no Cambissolo Háplico Distrófico por tratamento avaliado, com 36% de declividade.

| Tratamentos           | Sedimentos ( $\text{g m}^{-2}$ ) | Escoamento de água (mL) | TIE ( $\text{mm h}^{-1}$ ) |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Calagem               | 37,32 a                          | 32,60 a                 | 26,90 a                    |
| Calagem + 25% gesso   | 26,80 a                          | 37,51 a                 | 19,03 a                    |
| Calagem + 50% gesso   | 35,76 a                          | 30,41 a                 | 27,25 a                    |
| Controle experimental | 23,80 a                          | 30,49 a                 | 21,29 a                    |
| C.V. %                | 40,72                            | 37,57                   | 47,61                      |

Média de 4 repetições. Comparando sedimentação nos tratamentos; Escoamento superficial de água; C.V.: Coeficiente de variação. Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

A infiltração de água observada no solo, foi semelhante nos diferentes tratamentos, sofrendo poucas variações e reduzindo com o aumento da duração (Figura 6). Após o início do escoamento em superfície, a infiltração de água no solo decresce rapidamente, sobretudo nos primeiros 20 e 30 min, posteriormente a infiltração vai se estabilizando e se tornando o que é conhecido como infiltração estável, onde ela sofre leves variações.



**Figura 7.** Infiltração de água no solo ( $\text{mm h}^{-1}$ ) para os diferentes tratamentos, em Cambissolo Háplico Distrófico em pastagem reformada sem correção (controle); e com correção (calagem isolada; calagem + 25% de gesso; calagem + 50% de gesso).

#### 4.6 Desempenho dos Modelos para Estimativa da Taxa de Infiltração

O ajuste dos modelos às taxas de infiltração observadas em campo foi realizado por análise gráfica e pelos valores dos índices estatísticos observados na Tabela 10 e na Figura 7, onde o índice R, apresentou em todos os modelos a relação positiva, com o modelo Horton com os maiores valores em quase todos os tratamentos, com exceção da calagem isolada onde o modelo de Philip, possui os melhores ajustes. No índice RMSE, o modelo de Horton apresentou

os valores mais próximos de 0 (perfeito) em todos os tratamentos. Quando o índice avaliado foi o NSE, para todos os modelos foram obtidos valores positivos em todos os tratamentos, portanto, todos com ajuste aceitáveis. Por último o índice RSR, no qual o modelo de Horton possui os menores valores em todos os tratamentos, o que evidencia o melhor ajuste em todas as condições (NASH & SUTCLIFFE, 1970).

Os três modelos avaliados, possuem desempenho semelhante na estimativa da infiltração um dos outros e a partir dos dados coletados em campo, portanto, o ajuste da taxa de infiltração obtida com o infiltrômetro, é aceitável para todos os modelos avaliados conforme os índices estatísticos. Almeida, et al. (2018) estudando a intensidade da chuva simulada na erosão e na infiltração de água no solo, observou os valores dos índices R, NSE, RMSE e RSR para os três modelos muito próximos, e atribuiu isso à presença da palhada na superfície do solo, a qual altera a infiltração de água. Resultado que corrobora para o presente estudo, pois a proteção que a pastagem proporcionou para o solo, nas parcelas reformadas e a grama batatais na parcela degradada, interceptaram a água durante a chuva protegendo a superfície do solo contra o impacto das gotas (PANACHUKI et al. 2006a). Outro fator que pode ter influenciado foi que os modelos de Philip e Kostiaikov-Lewis foram elaborados para solos descobertos (SHAO & BAUMGARTL, 2016).

Porém, o modelo de Horton se mostrou com melhor ajuste em todos os índices avaliados, tendo um ajuste um pouco melhor do que os outros modelos. Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida et. al. (2018), avaliando os efeitos do preparo do solo e da cobertura vegetal na infiltração do solo, onde o modelo de Horton obteve os melhores ajustes. Panachuki et al. (2006b), avaliando a infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, ao comparar os modelos Horton e Kostiakov - Lewis, também encontrou melhor ajuste para Horton. Alves Sobrinho et al. (2003), estudando a adequação das equações de Horton e Kostiakov - Lewis, em plantio direto e plantio convencional sob condição de chuva simulada de 60 mm h<sup>-1</sup>, também concluíram que o modelo de Horton também se adequou melhor para estimativa da taxa de infiltração de água.

**.Tabela 10.** Índices estatísticos dos diferentes modelos ajustados para a taxa de infiltração estimada versus a taxa de infiltração observada em Cambissolo Háplico Distrófico com pastagem e pastagem reformada com calagem associada ou não ao gesso.

| Tratamentos         | Índices | Kostiakov-Lewis | Horton | Philip |
|---------------------|---------|-----------------|--------|--------|
| Calagem             | R       | 0,66            | 0,75   | 0,76   |
|                     | RMSE    | 1,83            | 1,58   | 1,79   |
|                     | NSE     | 0,43            | 0,58   | 0,46   |
|                     | RSR     | 0,75            | 0,65   | 0,74   |
| Calagem + 25% gesso | R       | 0,54            | 0,62   | 0,54   |
|                     | RMSE    | 3,28            | 3,06   | 3,26   |
|                     | NSE     | 0,29            | 0,38   | 0,30   |
|                     | RSR     | 0,84            | 0,78   | 0,84   |
| Calagem + 50% gesso | R       | 0,51            | 0,60   | 0,52   |
|                     | RMSE    | 2,56            | 2,38   | 2,54   |
|                     | NSE     | 0,26            | 0,36   | 0,27   |
|                     | RSR     | 0,86            | 0,80   | 0,85   |
| Controle            | R       | 0,62            | 0,75   | 0,62   |
|                     | RMSE    | 2,47            | 2,10   | 2,49   |
|                     | NSE     | 0,40            | 0,56   | 0,39   |
|                     | RSR     | 0,78            | 0,66   | 0,78   |

R= coeficiente de correlação; RMSE= raiz quadrada do erro médio; NSE= eficiência de Nash-Sutcliffe; e RSR= razão entre o RMSE e o desvio padrão das taxas de infiltração observadas.

Os Parâmetros  $\alpha$ ,  $k$ ,  $\beta$  e  $b$  ajustados para os modelos de Horton, Kostiakov-Lewis e Philip, para a obtenção dos índices estatísticos, são apresentados na Tabela 11.

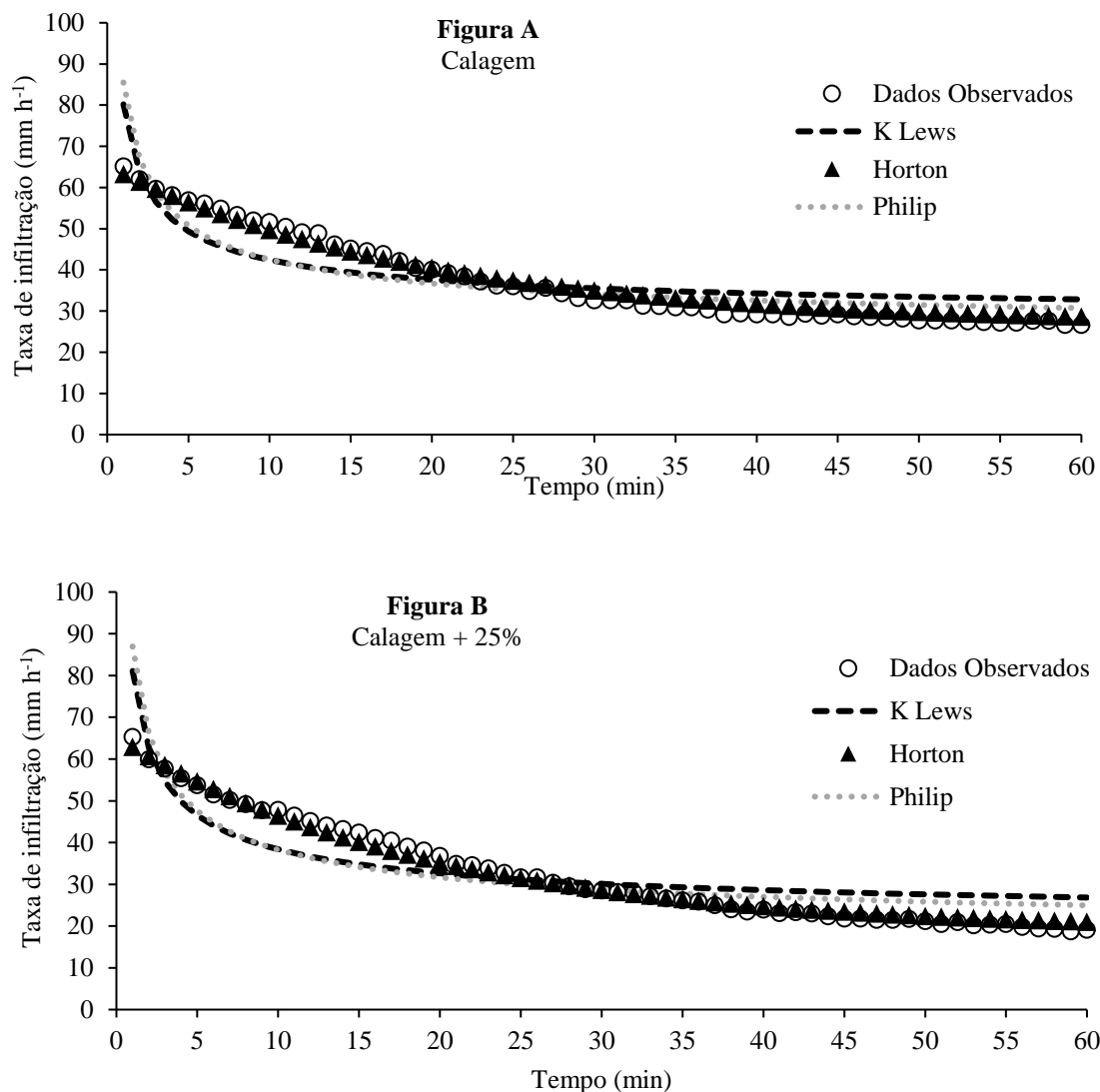
**Tabela 11.** Parâmetros dos modelos para estimativa da taxa de infiltração de água em Cambissolo Háplico Distrófico Distrófico em pastagem reformada nas áreas com os tratamentos com calcário associado ou não ao gesso, e áreas de pastagem degradada.

| Modelos    | Parâmetros | Calagem  | Calagem +25%<br>gesso | Calagem +50%<br>gesso | Controle |
|------------|------------|----------|-----------------------|-----------------------|----------|
| Kostiakov- | $\alpha$   | 0,5521   | 0,4639                | 0,4933                | 0,5073   |
| Lewis      | $k$        | 129,2692 | 114,8693              | 125,7904              | 108,6970 |
| Horton     | $\beta$    | 0,0382   | 0,0518                | 0,0523                | 0,0472   |
| Philip     | $b$        | 20,5815  | 22,6353               | 15,7628               | 24,7795  |
|            | $k$        | 161,1408 | 125,7318              | 142,4061              | 126,6518 |

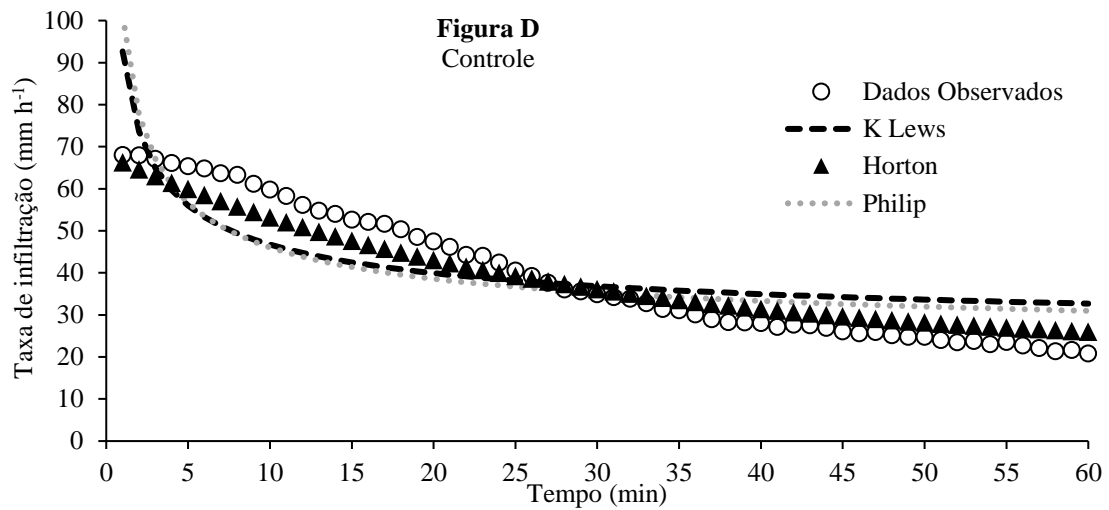
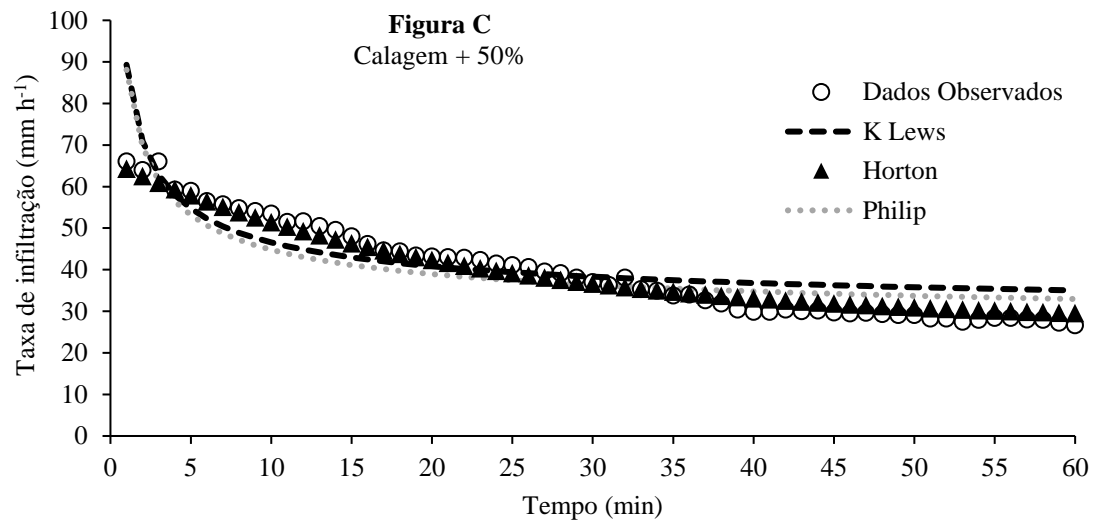
$\alpha$ ,  $k$ ,  $\beta$  e  $b$  são os parâmetros dos modelos obtidos por regressão não linear; \*Sem ajuste ao modelo de Horton.



Na figura 8 estão representados graficamente as comparações da infiltração observada com a estimada através dos três modelos durante uma hora de teste em cada tratamento. De maneira geral, os modelos de Kostiakov-lewis e Philip, apresentam desempenho semelhante, e próximos ao observado, apesar desses dois modelos superestimarem a infiltração até em torno dos 3 minutos iniciais e depois subestimarem a infiltração até os 20 minutos quando possuem o mesmo desempenho que o observado até os 30 minutos e depois novamente voltam a superestimar a infiltração. O modelo de Horton apresentou projeção praticamente idêntica ao observado em campo, mostrando visualmente que foi o melhor modelo.



**Figura 8.** Taxa de infiltração de água observada e estimada através dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, nos tratamentos: calagem (A), calagem + 25% de gesso (B).



**Figura 9.** Taxa de infiltração de água observada e estimada através dos modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, nos tratamentos: calagem + 50 % de gesso (C), controle (D).

## 5 CONCLUSÃO

A calagem superficial associada acrescida da aplicação de gesso agrícola tanto na proporção de 25 quanto de 50% da dose de calcário promove melhoria nos atributos químicos do solo, com destaque para elevação de pH, neutralização de Al e elevação dos teores de Ca e Mg, o reflete positivamente nos valores de S, T e V na camada 0-10 cm, sendo o efeito da dose de 50% de gesso mais expressivo na elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, em comparação a dose de 25%.

Os atributos físicos do solo não foram afetados de forma significativa pela calagem associada ao uso do gesso agrícola.

A calagem isolada proporciona maior produção de forragem da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em comparação ao controle e a associação do calcário com 50% de gesso, apesar de este último tratamento ter promovido melhorias químicas no solo em termos quantitativos superiores à calagem isolada. Vale ressaltar que a produção ficou dentro do potencial produtivo da forrageira, indicando que com o manejo adequado e acompanhamento técnico é possível reformar pastagens de *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu, em áreas degradadas com declividade até 36%.

O processo de reforma de pastagens degradadas promove a desagregação das partículas do solo e perdas pelo escoamento superficial superiores ao que ocorre em pastagens degradadas onde haja a presença de plantas invasoras e grama batatais.

A equação de Horton ajustou-se muito bem aos dados de taxa de infiltração. As equações de Kostiakov-Lewis e Philip obtiveram ajustes semelhantes, porém, inferior à de Horton.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKSOY, H.; UNAL, N. E.; COKGOR, S.; GEDIKLI, A.; YOON, J.; KOCA, K.; INCI, S. B.; ERIS, E. **A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff sediment transport processes over a two-dimensional flume**. Catena, v. 98, 63 – 72p, 2012.
- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: Características e interpretações técnicas**. 2 ed. Boletim Técnico. São Paulo, ANDA, 26p. 1992.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. **Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.6, p.923-934, 2005.
- ALMEIDA, W.S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P.T.S.; SILVA, R.M.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F. **Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration**. Soil e Tillage Research, v.175, p.130-138, 2018.
- ALVAREZ V. V.H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A.S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 25-32. 1999.
- ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 2, p. 337-344, 2002.
- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO A. C. T.; SOUZA L. C. F.; GONÇALVES M. C.; CARVALHO D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb., Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.
- ALVES SOBRINHO, T.; MACPHERSON, H.G.; GÓMEZ, J.A. **A portable integrated rainfall and overland flow simulator**. Soil Use and Management, v.24, p.163-170, 2008.
- AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas Brasileiras**. Viçosa-MG, Universidade federal de Viçosa, 2003. 116p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).
- ANDRADE, M.C. **Pecuária e culturas de subsistência**. História econômica do período colonial. 2. ed São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- ASSOULINE, S. **Infiltration into soil: Conceptual approaches and solutions**, Water Resour, Res., v.49, p.1-18, 2013.
- BAHIA, V. G.; CURI, N.; CARMO, D. N. **Fundamentos de erosão do solo (tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle)**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 176, n. 16, p.25-31, 1992.
- BAHNIUK S. B. **SOLOS: Contextualizando conceitos químicos**. Produções Didático-Pedagógicas ,2014.

BARTLETT, M.S. **Properties of sufficiency and statistical tests**. Proceedings of the Royal Society of London, v.160, p.268-282, 1937.

BENITES, V. M.; CARVALHO, M.C.S.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C., BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A., **Potássio, cálcio e magnésio**. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP S. R. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, v.2, p. 137-191, 2010.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. **Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.28, n.3, p.485-494, 2004.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F., **Conservação do solo**. 4, ed. São Paulo, Ícone, 355 p. 1999.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 355 p, 1990.

BLUM, S.C.; CAIRES, E. F.; ALLEONI, L.R.F. **Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system**. J Soil Sci Plant Nutr.; v.13, p.279-300, 2013.

BORIS, C. D.; BUCHELT, A. C.; SANTANA, M. S.; LANGE, A. **Recuperação de Braquiária brizantha CV. Marandu por meio da aplicação de calcário na superfície do solo na Região Norte do Mato Grosso**. In: IX Simpósio Nacional Cerrados, 2008.

BRACCINI, A.L. REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S; SEDIYAMA, T.; ROCHA, V. S., **Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.33, n.9, p.1451-1459, 1998.

BRANDÃO, V. D. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. DA. (2004). **Infiltração da água do solo**. Viçosa: UFV, 2ª Edição, 98 p.

BRASIL (2012) **Plano setorial de mitigação e adaptação as mudanças climáticas para consolidação da economia de baixa emissão de carbono na agricultura – PLANO ABC**, p. 173. Ministerio da Agricultura, Pecuaria e Abastecimento, Ministerio do Desenvolvimento Agrario, Coordenac~ao da Casa Civil da Presid^encia da Republica, Brasilia.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, DF, 12 jul. 2006.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M.; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; FERREIRA, A.O. **Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.47, p.1007-1014, 2012.

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 plantio direto**. Revista Brasileira Ciência do Solo, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M., **Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J., **Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; JORIS, H. A. W. **Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system**. Agronomy Journal, Madison, v. 103, n. 6, p. 1804-1814, 2011.

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**. Agronomy Journal, v.97, p.791-798, 2005.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. **Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; BARTH, G. & GARBUIO, F.J. **Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil**. Soil Till. Res., v.89, p. 3-12, 2006.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. **Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo**. R. Bras. Ci. Solo, 22:27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G. & GARBUIO, F.J. **Lime and gypsum application on the wheat crop**. Sci. Agric., v. 59, p. 357-364, 2002.

CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.W. & CHURKA, S. **Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil**. Soil Use Manage., 27:45-53, 2010.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L., **Gypsum effects on the spatial distribute on of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol**. Soil and Tillage Research, v. 145, p. 171-180, 2015.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: simplificações do método do perfil instantâneo**. 2002, 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. **Van calcium sulphate, phosphogypsum. and calcium carbonate in the amelioration of acid ssul sois for root growth**. Plant and soil, v, 192, p. 37-47, 1997.

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M. P. **Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo Viçosa, v. 26, p.705-712, 2002.

CASSOL, E.A.; REICHERT, J.M. **Pesquisa em erosão do solo no Brasil.** p.399-420. In: ARAÚJO, Q.R. (organizador). 500 anos de uso do solo no Brasil. Ilhéus - BA: editora UESC, 605p. 2002.

CASSOL, L.C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 157p. (Tese de Doutorado).

CHAI, T.; DRAXLER, R.R. **Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature.** Geoscientific Model Development, v.7, p.1247-1250, 2014.

CHAVES, H.M.L; ORLOWSKI, E.; ROLOFF, G. **Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.17, n.2, p.141-147, 1993.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. **Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.743-753, 2003.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, R. & MAUAD, M. **Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário.** Pesq. Agropec. Bras.,V. 42, P. 1307-1317, 2007.

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, p.701-708, 2007.

CRUZ, M. C. P. et al. **Efeito da calagem sobre a produção de matéria seca de três gramíneas forrageiras.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 29, n. 8, p. 1303-1312, 1994.

CUSTÓDIO, D. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, E C. D. **Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia,** Ciência Animal Brasileira v.6, n.1, p. 27-34, 2005.

DA SILVA, S.C.; CUNHA, W.F. **Métodos indiretos para estimar a massa de forragem em pastos de Cynodon spp.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n.8, p.981-989, 2003.

DALLA NORA, D.; AMADO T. J. C.; GIRARDELLO V. C.; MERTINS C., **Gesso: alternativa para redistribuir verticalmente nutrientes no perfil do solo sob sistema plantio direto.** Revista Plantio Direto, Passo Fundo, v. 133, n. 1, p. 8-20, 2013.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação.** 4. ed. rev. atual. e ampl. Belém, PA, 215 p. 2011.

DIAS FILHO, M.B.; SERRAO, E.A.S. **Recuperação, melhoramento e manejo de pastagens na região de Paragominas, Pará.** Belém: Embrapa-CPATU,. 24p., 1982. (Embrapa-CPATU. Documentos, 5).

DOMINGOS, J. L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma Bacia hidrográfica.** Monografia apresentada ao departamento de geografia da UFES. Vitória ES. 67p, 2006.

ERNANI, P.R. e BARBER, S.A. **Corn growth and changes of soil and root parameters as affected by phosphate fertilizers and liming.** Pesq. Agropec. Bras., v. 26, p. 1309-1314, 1991.

ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.R.A.; BECEGATO, V. & ALMEIDA, J.A. **Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH.** R. Bras. Ci. Solo, 20:159-162, 1996.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L.; CAMILLO, R.J. Influencia da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. R. Bras. Ci. Solo, v. 24, p. 537-544, 2000.

FERREIRA, A. O.; AMADO, T. J. C.; DALLA NORA, D.; KELLER, C.; BORTOLOTTTO, R. P., **Mudança no conteúdo de carbono e cálcio em Latossolo melhorado por gesso e calcário no Rio Grande do Sul.** Ciencia del suelo, v.31, p.1-13, 2013.

FLORES, J.P.C. **Atributos físicos e químicos do solo e rendimento de soja sob integração lavoura-pecuária em sistemas de manejo.** 2008. 102p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; MARIA, I.C. DE; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.C. **A erosão e seu impacto.** p.47-60. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 174p. 2002.

HIGNETT, C.T.; GUSLI, S.; CASS, A.; BESZ, W.; **Uma chuva automatizada de laboratório sistema de simulação com intensidade de chuva controlada, energia de gota de chuva e drenagem do solo.** Soil Technol. v.8, 31-42. 1995.

HORTON, R.E. **Analysis of runoff plat experiments with varying infiltration capacity,** Trans Am Geophys Union, v. 20 p. 693-711, 1939.

HORTON, R.E. **The role of infiltration in the hydrological cycle.** Trans. Am. Geophys. Union, v.14, p.446-460, 1933.

KOSTIAKOV, A.N. **On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration.** Transactions of the Sixth Commission of the International Society of Soil Science, Part A (Moscow), p.17-21, 1932.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LEWIS, M.R. **The rate of infiltration of water in irrigation practice.** Transactions of the American Geophysical Union, v.18, p.361-368, 1937.



LUZ, P.H.C.; HERLING, V. R.; BRAGA, G. J.; OLIVEIRA, P. P. A., **Uso da calagem na recuperação e manutenção da produtividade das pastagens**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004. Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fealq, 2004. p. 63-100.

LUZ, P.H.C.; HERLING, V. R.; BRAGA, G. J.; VITTI, G. C.; LIMA, C. G., **Efeitos de tipos, doses e incorporação de calcário sobre características agronômicas e fisiológicas do capim Tobiatã (*Panicum Maximum*)**. Rev. Bras. Zootec., Viçosa, v. 29, n. 4, p. 964-970, 2000.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MELLO, J.C.A.; VILLAS-BOAS, R.L.; LIMA, E.V.; CRUSCIOL, C.A.C. & BÜLL, L.T. **Alterações nos atributos químicos de um Latossolo Distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional**. R. Bras. Ci. Solo, v. 27, p. 553-561, 2003.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. **Fenômeno de sorção em solos**. In: MEURER, J. E. (Ed.). Fundamentos de química do solo. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, p.131-179, 2004.

MEYER, L.D. e McCUNE, D.L. **Rainfall simulator for runoff plots**. Agric. Eng., 39:644-648, 1958.

MONGELO, A.I.; RIBON, A.A.; WOLF, M.J.; SILVA, A.R.B. da; DAVALO, M.J. **Efeitos da aplicação de gesso nos teores de alumínio de um Neossolo Quartzarenico cultivado com feijão**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS 28, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7, 2008, Londrina, PR. Anais. Londrina, PR, 2008.

MONTEBELLER C. A.; CARVALHOS D. F.; SOBRINHOS A. T.; NUNES A. C. S.; RUBIOS E. **Avaliação hidráulica e um simulador de chuvas pendular**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.1-5, 2001.

MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**. Transactions American Society of Agricultural and Biological Engineers, v.50, p.885-900, 2007.

NASH, J.E. e SUTCLIFFE, J.V. **River flow forecasting through conceptual models: part 1. A discussion of principles**. Journal of Hydrology, v.10, p.282-290, 1970.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E.F.; PINTO, F. A., **Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.34, n.2, p.409-416, 2010.

OLIVEIRA, E. L. & PAVAN, M. A. **Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production.** Soil Tillage Research, v.38, p.47-57, 1996.

PANACHUKI, E.. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agriculturapecuária.** 2003. 67 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul Câmpus de Dourados, Dourados, 2003.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. **Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.261-268, 2006a.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. **Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil.** Acta Scientiarum Agronomy, v.28, p.129-137, 2006b.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T; BARTH, G.; MOTTA, A.C. V., **Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo [online], v. 38, n. 2, p.495-505, 2014.

PAULINO, V. T.; GERDES, L.; VALARINI, M. J.; FERRARI JUNIOR, E. **Retrospectiva do uso de leguminosas forrageiras.** In: PAULINO, V. T.; FERRARI JUNIOR, E.; GERDES, L. (Eds.). Uso de leguminosas forrageiras. Nova Odessa: IZ/APTA, v.1, p.1-47, 2006.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. **Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol.** Soil Science Society of America Journal, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PHILIP, J.R. **Theory of infiltration.** Advances in Hydrosience, v.5, p.215-296, 1969.

PIRES, C. A. B. ; SILVA, V. R. ; LUZ, F. B. ; BREITENBACH, D. A. ; JANDREY, W. F. ; BERTOLLO, A. M. ; BASSO, C. J. . **Influência de Diferentes Doses de Gesso Agrícola na Produtividade de Soja.** In: XXXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul e Seminário Técnico de Soja, 2012, Passo Fundo - RS. Influência de Diferentes Doses de Gesso Agrícola na Produtividade de Soja. Passo Fundo - RS: Embrapa Trigo, 2012. v. 5. p. 1-221.

PRADO JR., C. **História econômica do Brasil.** São Paulo: Brasiliense, 364p., 2010.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Ed. SAEAFS. Curitiba, PR., 446p. PORTZ, ADRIANO; RESENDE, A. S. ; TEIXEIRA, A. J. ; ABOUD, ANTONIO CARLOS; MARTINS, CARLA ANDREIA da CUNHA; CARVALHO, CARLOS AUGUSTO BRANDÃO de; LIMA, EDUARDO; ZONTA, EVERALDO; PEREIRA, J. B. A.; BALIEIRO, F. de CARVALHO; ALMEIDA, JOÃO CARLOS de CARVALHO; SOUZA, J. F.; GUERRA, J. G. M.; MACEDO, J. R.; SOUZA, J. N.; FREIRE, LUIZ RODRIGUES; VASCONCELOS, MARCO ANTONIO da SILVA; LEAL, MARCO ANTÔNIO de ALMEIDA; FERREIRA, M. B. C.; MANHAES, M.; GOUVEA, R. F.; BUSQUET, R. N. B.; BHERING, S. B.. **Recomendações de adubos, corretivos e de manejo da matéria orgânica para as principais culturas do Estado do Rio de Janeiro.** In: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.;

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D.V.B.; POLIDORO, J. C. (Org.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa, v.1, 2013. p.257-413. 1996.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV, 240 p, 2006.

QUAGGIO, J.A. **Simpósio avançado de química e fertilidade do solo: Reação do solo e seu controle**. Piracicaba, Fundação Cargill, p.9-39, 1986.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 233 p, 2008.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 420p, 2011.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S., **Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta**. Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, 2011.

REICHARDT, K. **Infiltração da água no solo**. In: Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2 ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, P.317-352. 1996.

RIBEIRO, B. T.; MAGALHÃES, C. A. S.; SILVA, M. L. N. **Calibração e Uso de Minissimulador de Chuva Para Estudos de Erosão e Poluição do Solo**. Boletim Técnico n. 77, Lavras, 2000.

ROSA JÚNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J., CREMON, C. **Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo**. Pesq. Agropec. Tropical, v. 36, p.37-44, 2006.

SANTOS, G.G.; FIGUEIREDO, C.C.; OLIVEIRA, L.F.C.; GRIEBELER, N.P. **Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.899-905, 2009.

SANTOS, H.G. dos, JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C. dos, OLIVEIRA, V.A. de, LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., CUNHA, T.J.F., OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, v.1. p.353, 2013.

SHAO, Q., BAUMGARTL, T. **Field evaluation of three modified infiltration models for the simulation of rainfall sequences**. Soil Sci. 181, 45–56, 2016.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. **An analysis of variance test for normality (complete samples)**. Biometrika, v.52, p.591-611, 1965.

SILVA CF. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª edição revisada e ampliada, Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 627p, 2009.

SILVA, C.G.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. **Atributos físicos, químicos e erosão entre sulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional.** Engenharia Agrícola, v.25, p.144-153, 2005.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.** 2. ed. Viçosa, MG: UFV. 178 p. 2002.

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, n. 2, p. 675-688, 2008.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado.** Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2005.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. **Acidez do solo e sua correção.** In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). Fertilidade do Solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 206-274, 2007.

SOUSA, D.M. G.; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 22, 2001. (Embrapa Cerrados. Documento 12)

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.

SUMNER, M. E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J., **Amelioration of an acid soil prolife through deep leming an sunface aplication of gypsum.** Soil Science Society of America Journal, v. 50, p 1254-1278, 1986.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos.**3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573p., 2017.

VALLE, C. B; MACEDO M. C. M.; EUCLIDES, V. P. B.; JANK, L. & RESENDE, L. M. S. **Gênero Brachiária.** In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). Plantas forrageiras. Viçosa, MG: UFV, p.30-77. 2010.

VEIGA, J.B. da.; SERRÃO, E.A.S.; MARQUES, L.C.T.; CAMARÃO, A.P.; PEREIRA NETO, L.G.; SEIXAS, L.C.C.; CALDERÓN, M.; COVRE, J.L. **Pesquisa agropecuária em Paragominas-PA.** Belém: Embrapa-CPATU, 19p., 1985. (Embrapa.CPATU. Comunicado Técnico, 55).

VIANA, J. H. M. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 11 p, 2008

VITTI, C. G.; LUZ, P.H.C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E., **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola.** Piracicaba, SP. GAPE, 104 p, 2008.

VITTI, G.C.; TREVISAN, T.. **Manejo de Macro e Micronutrientes para a alta produtividade da Soja.** IN: CAMARA, G. M. S.(Ed).. Soja:tecnologia da produçãoII Piracicaba p. 383-422, 2000.

WATTS, A. B.; DICK, W. A. **Sustainable Uses of FGD Gypsum in Agricultural Systems: Introduction.** Journal of Environmental Quality. v.43,p.246–252.2014.

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.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. M.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHIMIDT, M. R. **Gesso e Calcário Aumentam a Produtividade e Amenizam o Efeito do Déficit Hídrico em Milho e Soja.** Pesquisa Agropecuaria Tropical, 2015.

ZHANG, X. C.; NORTON, L. D. **Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils.** Journal Hydrology, v. 260, p. 194-205, 2002.

ZWIRTES, A.L; SPOHR, R.B; BARONIO, C.A; MENEGOL, D.R; ROSA, G.M; MORAIS, M.T. **Utilização do infiltrômetro de Cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho.** Londrina: Ciências Agrárias, v.34, n.6 2013.