

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
RAFAEL RIBEIRO DA SILVA FERNANDES

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE MINERAIS SILICÁTICOS NA
ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE LATOSSOLO VERMELHO
AMARELO DISTRÓFICO**

Taubaté
2020

RAFAEL RIBEIRO DA SILVA FERNANDES

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE MINERAIS SILICÁTICOS NA
ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE LATOSSOLO
VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, como requisito para obtenção de título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Raposo de Almeida

Taubaté

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

F363e Fernandes, Rafael Ribeiro da Silva
 Efeito da aplicação de minerais silicáticos na estabilidade de
 agregados de latossolo vermelho amarelo distrófico. / Rafael Ribeiro da
 Silva Fernandes. - 2020.
 42 f.: il.

 Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Departamento
 de Ciências Agrárias, 2020.
 Orientação: Prof. Dr. Júlio Cesar Raposo de Almeida. Departamento
 de Ciências Agrárias.

 1. Remineralizador. 2. Densidade do solo. 3. Diâmetro médio de
 partículas. 4. Pó de rocha. 5. Agricultura orgânica. I. Título.

CDD – 631.584

RAFAEL RIBEIRO DA SILVA FERNANDES

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE MINERAIS SILICÁTICOS NA ESTABILIDADE DE
AGREGADOS DE LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO**

Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Ciências Ambientais pelo
curso de Pós-graduação em Ciências
Ambientais da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Ciências Ambientais

Data: 02 de Outubro de 2020.

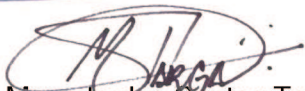
Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Julio Cesar Raposo de Almeida (Orientador) Universidade de Taubaté



Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa



Universidade de Taubaté

Pesq.. Dr. Antonio Carlos Pries Devide

Polo Regional Vale do Paraíba(AP)

DEDICATÓRIA

AO PAI

A morte nos reconcilia com o incondicional,
Porque ela mesma, a morte, é incondicional.
- Sim, sem condições, sem jogos,
Mas não sem esperança.
A morte só constrói certezas;
A morte revela o real.
É imperativa a revelação do humor;
A morte cessa o engano,
Faz descoberto o amor e, descoberto,
Esse amor não se gasta,
Porque o vínculo-fio é agora do eterno
E nem é a morte transmutada,
É a morte natural,
Na sua condição além de mero acontecimento.
O que é a morte?
É a sem-palavras nova ordem da relação?
Subversão do tempo e do espaço?
O outro nos levou.
E ter ido com quem parte nos deixa mais íntegros,
Se nos encontramos.
Não existe fim, então.
Esse ir e esse ficar é o que melhor dá conta do que somos,
Esse novo ser depois que a morte nos encontrou:
Um novo nascimento
Consustanciado na mesma vida.
Assim, a morte é irmã da paz,
Irmã perfeita da vida.

Gouvêa, L. G. a poesia usina.

(In memoriam)

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar aonde chegou sem o precioso apoio do meu orientador, Professor Doutor Julio Cesar Raposo de Almeida, por toda a paciência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho e em todos aqueles que realizei durante o mestrado. Muito obrigado por me ter corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar. Os meus mais sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

Wish You Were Here

*So, so you think you can tell
Heaven from hell?
Blue skies from pain?
Can you tell a green field
From a cold steel rail?
A smile from a veil?
Do you think you can tell?*

*Did they get you to trade
Your heroes for ghosts?
Hot ashes for trees?
Hot air for a cool breeze?
Cold comfort for change?
Did you exchange
A walk on part in the war
For a lead role in a cage?*

*How I wish
How I wish you were here
We're just two lost souls
Swimming in a fish bowl
Year after year
Running over the same old ground
What have we found?
The same old fears
Wish you were here*

Gilmour, D.; Waters, R.

RESUMO

A remineralização, que se caracteriza pela aplicação de rochas moídas e/ou minerais, *in natura*, no solo, é uma técnica utilizada no manejo do solo com o objetivo de promover melhorias nas suas propriedades químicas, mas também em seus atributos físicos e biológicos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da incorporação de pó de Gnaisse e pó de Biotita sobre atributos físicos de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. O solo utilizado após secagem à sombra foi homogeneizado e peneirado, disposto em vasos plásticos com capacidade de 4 kg, aos quais foram aplicados filler de Gnaisse (G) e Biotita (B) em quantidades equivalentes a 1, 10 e 30 t ha⁻¹, KCl e Ekosil em quantidades para fornecer 100 kg de K₂O ha⁻¹ e o tratamento Controle. Para incubação, os vasos receberam água deionizada para atingir 70% da capacidade de campo. Posteriormente aplicou-se calcário dolomítico para elevar a saturação por bases para 70% mantendo-se a umidade em 70% por mais 48 dias. Na sequência, cultivou-se soja por 53 dias e *Brachiaria humidicola* por 64 e 58 dias, em dois ciclos de produção. Ao término do experimento, amostras indeformadas de solo foram retiradas com o auxílio de anéis volumétricos de aço (50cm³). Determinou-se a Densidade Aparente (DA) do solo úmido (u) e seco (s), o Diâmetro Médio das Partículas (DMP) de solo seco e úmido e o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA). Os resultados foram submetidos a análise de variância, comparando-se as médias dos tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Efeitos significativos (P<0,05) relacionados aos tratamentos foram observados para DAs, DMPs e IEA. Nesse sentido, verificou-se que os tratamentos Controle e B10 apresentaram DAs menor que o Ekosil. Em relação ao DMPs constatou-se que o Ekosil apresentou DMPs maior que o Controle. Quanto ao IEA, observou-se que os tratamentos KCl e Eko apresentaram os menores IEA, diferindo do Controle. De modo geral, a aplicação os materiais silicáticos no solo resultou em valores de DA, DMPs e IEA intermediários entre os tratamentos de referência, uma vez que não foram encontradas diferenças entre os tratamentos com o uso de Biotita e de Filler de Gnaisse com o Controle, KCl e Ekosil.

Palavras-chave: remineralizador; densidade do solo, diâmetro médio de partículas; pó de rocha.

ABSTRACT

Remineralization is characterized by the application of crushed rocks and minerals *in natura* in the soil to improve chemical, physical and biological attributes. The aim of this work was to evaluate the effects of the incorporation of gneiss powder and biotite powder on the physical attributes of Red Yellow Oxisol. The soil was dried at shade and homogenized. After sieved 4 kg was put into plastic pots. Gneiss (G) and Biotite (B) fillers were applied in quantities equivalent to 1, 10 and 30 Mg ha⁻¹, KCl and Ekosil in quantities to supply 100 kg of K₂O ha⁻¹ and the Control treatment. For incubation, the soil was kept at 70% of their field capacity. Subsequently, dolomitic limestone was applied to increase the base saturation to 70%, keeping the humidity at 70% for 48 more days. Then, soybeans were cultivated for 53 days and *Urochloa humidicola* for 64 and 58 days, in two production cycles. At the end of the experiment, undisturbed soil samples were taken with volumetric steel rings (50 cm³). The Apparent Density (DA) of wet (u) and dry soil (s), the Average Particle Diameter (DMP) of dry and wet soil and the Aggregate Stability Index (IEA) were determined. The results were subjected to analysis of variance, comparing the averages of treatments by the Tukey test at 5% probability. significant effects (P <0.05) were observed for DAs, DMPs and IEA treatments. Also, Control and B10 treatments were found to have lower DAs than Ekosil. Regarding DMPs, Ekosil was found to have greater DMPs than Control. As for the IEA, it was observed that the treatments KCl and Eko had the lowest IEA, differing from Control. The application of silicatic materials in the soil resulted in intermediate DA, DMPs and IEA values among the reference treatments, since no differences were found between the treatments using Biotite and Gneiss Filler with Control, KCl and Ekosil.

Keywords: remineralizer; soil density, average particle diameter; rock powder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Agitador mecânico vibratório da marca MLW, modelo Thy 1.	28
Figura 2. Funil de papel filtro contendo amostra de solo em contato com água, para umedecimento por capilaridade.	29
Figura 3. Agitador com oscilação vertical da marca PACHANE, modelo TE 181.	29
Figura 4. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre a umidade em estado de friabilidade dos solos.	32
Figura 5. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre a umidade saturada dos solos.	33
Figura 6. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre a densidade dos solos secos.	34
Figura 7. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre a densidade úmida dos solos.	35
Figura 8. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, determinado a seco.	36
Figura 9. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, determinado em água.	37
Figura 10. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre o índice de estabilidade dos agregados do solo.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química dos pós de Biotita e filler de Gnaisse.....	24
Tabela 2. Análise granulométrica dos pós de Biotita e filler de Gnaisse.	24

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Agropecuária: cenário brasileiro	14
2.2. Solos	15
2.3. Atributos físicos do solo	17
2.3.1. Índice de Estabilidade de Agregados.....	17
2.3.2. Umidade	18
2.3.3. Densidade do solo	20
2.4. Remineralizadores	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Solo.....	23
3.2. Procedimento experimental.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Umidade do solo	32
4.2. Densidade	34
4.3. Diâmetro médio dos agregados	35
4.4. Índice de estabilidade de agregados	37
5. CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

A agropecuária tem se mostrado primordial na balança comercial brasileira. Além das grandes extensões de terra empregadas no setor, por se tratar de um país continental, o Brasil dispõe de clima favorável e tecnologia para incrementar alto índice de mecanização. Segundo o censo realizado pelo IBGE, em 2017, o país possuía mais de 15 milhões de pessoas vivendo em função de atividades diretas e indiretas relacionadas ao campo, o que gerou aproximadamente 24% do PIB nacional.

Os solos brasileiros, assim como nos demais países tropicais, apresentam, em geral, taxas elevadas de intemperismo, provocadas pela ação de agentes exógenos, tais como água, vento, temperatura e seres vivos, o que acarreta em elevada acidez e baixa capacidade de troca catiônica. Por essa razão, o uso de técnicas adequadas de manejo para a manutenção ou melhoria das características físicas, químicas e biológicas é fundamental. Destaca-se, entre várias técnicas existentes e largamente utilizadas, a adubação ou fertilização, que visa manter ou repor nutrientes dos solos.

As práticas de adubação empregadas na indústria agropecuária se valem de diversos tipos de adubos, industriais ou naturais. Os adubos industriais, altamente solúveis, embora gerem o efeito químico esperado no solo de maneira mais acelerada, podem, em longo prazo, representar prejuízos financeiros e ambientais.

Os prejuízos financeiros relacionados aos adubos industriais referem-se ao seu alto custo de produção e, em países onde o índice pluviométrico é elevado, há elevadas taxas de perda por lixiviação, que também pode ocorrer em função da irrigação. Além disso, caso a matriz energética das indústrias produtoras de fertilizantes esteja atrelada ao petróleo e as fontes de matérias-primas sejam importadas, o que normalmente ocorre, os preços praticados sofrem influência direta da variação cambial. Nesse caso, o que inclui o Brasil, pois possui economia em desenvolvimento, fortemente dependente de mercados estrangeiros desenvolvidos e consolidados, até mesmo pequenas crises internacionais podem gerar aumentos significativos nos preços internos.

Podem ocorrer, também, em função da lixiviação provocada pelo alto índice de solubilidade dos agentes químicos utilizados na adubação, diversos prejuízos ambientais, uma vez que esse material pode atingir o lençol freático ou cursos superficiais de água e provocar contaminação química. Estima-se, no Brasil, segundo levantamento de dados realizado pelo IBGE, em 2017, que mais de 1,6 milhão de produtores rurais fizeram uso de agrotóxicos e/ou fertilizantes, um aumento de mais de 20% nos últimos 10 anos.

Alternativamente às técnicas agrícolas tradicionais largamente utilizadas no Brasil e no mundo, surgem propostas que visam empregar técnicas que aumentem a garantia de segurança alimentar, com alimentos saudáveis, e o fornecimento dos insumos necessários para a economia, de forma socialmente justa e sem comprometer o meio ambiente e as gerações futuras: a agricultura orgânica. Trata-se, portanto, de um sistema de produção alternativo, seguro e sustentável, baseado na interação dinâmica entre o solo, as plantas, os animais, as pessoas, o ecossistema e o meio ambiente.

Entre as várias práticas adotadas para se obter um sistema orgânico, destaca-se a rochagem ou remineralização, que se caracteriza pela aplicação de rochas moídas e/ou minerais "*in natura*" no solo, como forma de fertilização natural.

A característica principal desse material é o baixo índice de solubilidade, o que proporciona um fornecimento de macro e micronutrientes de forma mais lenta ao meio cultivado, além de promover o reequilíbrio do pH do solo. Essa condição, por si só, promove um ganho ambiental significativo, pois as contaminações por lixiviação oriundas de adubos reduzem drasticamente.

Além da economia financeira gerada em função da redução das perdas provocadas pela lixiviação, há uma diminuição da dependência de fertilizantes industrializados, cuja matéria-prima, muitas vezes, é importada e a produção exija um elevado consumo de energia.

O pó de rocha possui baixo valor agregado, pois é obtido de forma secundária, a partir do rejeito de atividades mineradoras, o que o torna acessível aos pequenos e médios produtores, principalmente na agricultura familiar, onde

os gastos com insumos representam uma parcela significativa dos custos de produção.

Observa-se, também, em alguns pós de rocha, a capacidade de conservar um maior teor de umidade, demonstrando que os minerais presentes nas rochas retêm água. Essa habilidade, além de favorecer o desenvolvimento radicular das plantas por conservar a umidade do solo, pode se converter em economia para o produtor, uma vez que seja identificada, durante as atividades de irrigação, uma necessidade menor de utilização de água.

Considerando a hipótese de que a aplicação de remineralizadores pode alterar a estrutura do solo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da incorporação de pó de Gnaisse e pó de Biotita sobre a densidade do solo, o diâmetro médio dos agregados e o índice de estabilidade de agregados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Agropecuária: cenário brasileiro

Quando se analisa os dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2019), e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019), entende-se porque o Brasil é muitas vezes referenciado como “celeiro do mundo”. Segundo os dados divulgados por esses órgãos, em 2019, o Brasil figurou nas primeiras posições de produção e exportação de açúcar, café, suco de laranja, carne bovina, suína e de frango, soja e seus derivados, algodão, etc.

De acordo com o MAPA (2019b), essa situação, contribuiu para que o setor fosse responsável, ainda em 2017, por mais de 23% do produto interno bruto – PIB, uma vez que abrange, também, atividades de transformação e distribuição.

Conforme o censo realizado pelo IBGE (2018), referente ao ano de 2017, embora o setor seja responsável por quase um quarto do PIB brasileiro, nos últimos 11 anos a agropecuária reduziu o emprego de mão de obra pela metade, mas ainda corresponde a aproximadamente 15 milhões de pessoas, o que inclui os produtores, temporários ou não, e seus parentes. Isso representa uma a cada três pessoas que trabalharam naquele ano em todo o Brasil. No mesmo período, a mecanização, que foi medida pela quantidade de tratores nas propriedades, apresentou um aumento de quase 50%, o que pode explicar a redução no emprego de mão de obra.

No período de 2007 a 2014, constatou-se um aumento de mais de 149% no uso de produtos químicos na lavoura (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018), garantindo ao Brasil a posição de maior consumidor mundial desde 2008 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2018).

Segundo o Ministério da Saúde (2018), as taxas de aumento do uso de aditivos químicos são acompanhadas pelas taxas de notificações de intoxicações, da qual podemos inferir uma relação causal óbvia. Ainda, no Brasil, no ano de 2015, quase 12 mil pessoas sofreram intoxicação na lavoura, com taxa de

mortalidade de 16%. No mundo, cerca de 193 mil pessoas morrem por ano (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2018).

Segundo Mazzoleni e Nogueira (2006), o desenvolvimento sustentável da agricultura deve contemplar o equilíbrio entre os meios produtivos orgânicos e os métodos tradicionais, até que se atinja um nível de excelência no qual seja possível garantir o abastecimento atual da população sem prejudicar as necessidades das gerações futuras, ponderando, ainda, as questões econômicas, sociais e ambientais. Ainda segundo o autor, uma das técnicas possíveis de cooptar os efeitos químicos esperados dos fertilizantes, a redução de problemas ambientais provocados por produtos altamente solúveis e dos problemas de envenenamento, preços acessíveis e economia de água é o uso de pó de rocha ou minerais como adubos.

2.2. Solos

A formação do solo, explicado por meio da pedogênese, ocorre, inicialmente, por meio do intemperismo, conjunto de modificações de ordem física e química, ao ponto que as transformações químicas, mineralógicas e estruturais, com rearranjo e transporte dos minerais formadores do solo até os níveis superiores do manto, permitam que a fauna e flora desempenhem suas funções vitais (TOLEDO, OLIVEIRA E MELFI; 2000). Essas, por sua vez, também modificam e movimentam enormes quantidades de material, mantendo a aeração e renovação das partes superficiais.

A caracterização física de um solo se dá pelo estudo das propriedades físicas da solução do solo (fase líquida), sua atmosfera (fase gasosa) e a porção física, que é constituída de elementos orgânicos e minerais (Ferreira, 2010). Para a porção orgânica do solo, tem-se o acúmulo de resíduos animais e vegetais em seus variados graus de decomposição, desempenhando importante papel nas propriedades físicas do solo; para a porção mineral, as partículas unitárias dos mais variados minérios são resultantes do intemperismo de suas rochas originárias. Essas partículas podem assumir, inclusive, características amorfas.

Segundo Ferreira (2016), a textura do solo, que se caracteriza pela distribuição quantitativa das partículas sólidas minerais no que tange o seu diâmetro, é muito estável, o que lhe confere grande importância na sua classificação. As frações areia, silte e argila, em função de outros componentes minerais e orgânicos, formam micro e macroagregados, proporcionando estruturas das mais variadas.

Capeche (2008), no Comunicado Técnico nº 51, publicado pela EMBRAPA, o arranjo das partículas do solo e do seu espaço poroso define a estrutura dos solos, que pode ser classificada quanto à forma, tamanho e grau de desenvolvimento. Esse arranjo define, entre outras situações, uma boa relação com a água e o ar contidos nos poros e o crescimento vegetal, que se caracteriza por: melhor infiltração da água (chuva ou irrigação) que, ao percolar com maior velocidade, não escorre superficialmente e, por isso, não gera erosão, não ocorrem grandes perdas por evaporação e disponibilizam maiores reservatórios às raízes em estiagens; maior espaço poroso para as trocas gasosas do sistema radicular; maior atividade biológica no solo; maior eficácia dos corretivos aplicados ao solo; e resultados melhores e mais rápidos na decomposição dos resíduos orgânicos.

De acordo com Zonta *et al.* (2012), para manter um solo agrícola bem estruturado é necessário realizar o manejo de forma adequada, utilizando as práticas conservacionistas como cultivo direto, terraceamento, bacias de retenção, rotação de culturas, cobertura morta, análise de fertilidade do solo, plantio em curvas de nível, uso adequado de defensivos agrícolas (agrotóxicos, herbicidas e fertilizantes químicos e orgânicos), manejo integrado de pragas, sistema de irrigação eficiente, variedades e cultivares adaptados para a região, etc.

Segundo Santos *et al.* (2013), solos classificados como Latossolos são constituídos por material mineral e possuem horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial. São altamente intemperizados (muito evoluídos), resultado de energéticas transformações na matéria-prima, com quantidades mínimas de minerais primários e secundários menos resistentes às intempéries, e têm baixa

capacidade de troca de cátions da fração argila. Também costumam ser bem drenados.

Seguindo na classificação de Santos *et al.* (2013), em distinção às cores mais vivas em relação ao horizonte A, Latossolos Vermelho-Amarelos possuem essa nomenclatura em função da presença de óxidos e hidróxidos de ferro. Esses solos são tipicamente muito ácidos, com baixa saturação por bases – solos distróficos apresentam números inferiores a 50%. Ocorrem naturalmente em regiões equatoriais e tropicais, sobretudo, em regiões superficiais antigas de erosão ou terraços fluviais.

2.3. Atributos físicos do solo

2.3.1. Índice de Estabilidade de Agregados

Duas ou mais partículas primárias, quando se unem por uma força suficientemente forte, capaz de resistir a outras forças existentes no solo, formam o que se conhece por agregado, cujo pré-requisito é a flocculação da argila, condição necessária, mas não suficiente (FERREIRA, 2016). A manutenção dessa formação, que caracteriza a estrutura do solo, passa, necessariamente, pela qualidade do material coloidal, resultado das condições climáticas, que, em último caso, funcionará como substância cimentante. O autor observa, também, que estruturação não guarda relação com agregação.

De acordo com Salton *et al.* (2012), a estrutura do solo, determinada pela organização e arranjo das partículas minerais e orgânicas, as quais estão em interação contínua no solo, sintetiza sua qualidade física, influenciada, também, pelas frações líquida e gasosa. A boa qualidade da estrutura mencionada interfere de forma evidente na atividade biológica, para melhor, pois, por exemplo, porosidade adequada viabiliza boa aeração e umidade que, por consequência, incrementam o crescimento radicular das plantas.

Diante dos apontamentos anteriores, nos quais se evidencia a importante relação entre os parâmetros físicos e qualidade do solo, surge o índice de estabilidade de agregados do solo que, segundo Ferreira (2016), é o estudo da

distribuição de agregados por tamanho, pois guarda relação com a estrutura do solo. Essa avaliação, por tamanho, é importante, pois determina o grau de resistência do agregado à água e vento e a quantidade de espaços porosos nos solos cultivados. Preservar a capacidade do solo de manter a sua estrutura frente a diversos fatores, tais como manejo mecânico para agricultura ou outros fins, adição de fertilizantes, irrigação e cultivo intenso, é fundamental para sua conservação sustentável, uma vez que essa prática permite a manutenção de infiltração adequada de água e reserva de nutrientes no seu interior e resistência à erosão.

Como a água é considerada a principal força de desagregação da estrutura do solo, o índice de estabilidade é calculado a partir do quociente entre o diâmetro médio ponderado dos agregados determinado a seco (DMP_s) e em água (DMP_u) (SALTON *et al.*, 2012). O DMP_s é obtido pelo somatório da massa de cada classe, em grama, multiplicada pelo diâmetro, em milímetro, de sua respectiva classe. A classe foi definida a partir do peneiramento com malhas de diversos diâmetros, em agitador mecânico vibratório, a seco. Para o DMP_u , a separação das classes ocorreu submersa em água. Segundo Salton *et al.* (2012), o índice de estabilidade de agregados indica a capacidade dos agregados de resistirem à energia de desagregação, sendo esta tanto maior quanto o valor estiver mais próximo da unidade.

2.3.2. Umidade

Segundo Medina (1975) a importância da água se evidencia já nos processos de formação do solo, pois atua como solvente de rochas e minerais. A capacidade que os agregados têm de atrair e reter água em estado líquido e gasoso, e que determina a umidade do solo, é resultado de complexas interações de fatores e pode ser utilizada para a seguinte classificação:

a) Água gravitacional – possui teor de umidade acima da capacidade de campo, localizada nos macroporos, permanência efêmera no solo, fácil remoção pela drenagem, baixas tensões de retenção e provoca lixiviação do solo;

b) Água capilar – encontra-se entre capacidade de campo e umidade higroscópica, localizada nos microporos, não removida pela drenagem e possui tensões médias de retenção;

c) Água higroscópica – localizada bem próxima à superfície das partículas, permanente no solo e retida sob altas tensões.

Importante frisar que a água higroscópica é absorvida pelo solo da atmosfera, em forma de vapor, em quantidade máxima que permita o equilíbrio com o ambiente, e a capacidade de campo é a máxima quantidade de água retida por um solo em condições normais, ou seja, é a água disponível para a planta antes de atingir o ponto de movimentação por gravidade (MEDINA, 1975). Denota-se que quanto maior a distância da superfície de uma partícula mineral do solo e as diversas camadas de água, menores serão as forças de atração até o ponto em que a força da gravidade seja superior às forças de retenção.

A presença de maior ou menor quantidade de água no solo interfere na estrutura do solo, alterando a sua consistência, que diz respeito à manifestação de forças físicas entre as partículas sólidas, coesão, em baixa umidade, e entre partículas e outros materiais, adesão, em maior umidade (SOUZA *et al.*, 2019). A consistência do solo interfere em vários aspectos relacionados ao manejo, pois, quando seco, assume aspecto duro ou áspero; quando úmido, estado de friabilidade; quando molhado, torna-se plástico ou viscoso; e quando saturado, o solo flui por gravidade.

Souza *et al.* (2019) ainda alerta para outros aspectos que também influenciam a consistência do solo: a) granulometria – a coesividade, plasticidade e pegajosidade aumentam em função da diminuição das partículas; b) tipo de argila – argilas do tipo 2:1 permitem maior consistência ao solo em relação às argilas 1:1; c) estrutura – solos compactados, por apresentarem maior contato entre suas partículas, possuem maior coesão; d) teor de matéria orgânica – gera maior coesão do que areia e silte e menor que argila.

2.3.3. Densidade do solo

A densidade do solo é representada pelo resultado da divisão entre a massa de partículas sólidas do solo seco em estufa e o volume total do solo (amostra indeformada), incluindo o espaço poroso ocupado pela água e pelo ar (SOUZA *et al.*, 2019). Devido à textura e ao teor de matéria orgânica, que guardam forte relação com a estrutura do solo, a densidade pode variar quase o dobro: solos ricos em argila e matéria orgânica costumam ser menos densos que solos arenosos e com pouca matéria orgânica.

Souza *et al.* (2019) afirmaram que a densidade é influenciada pelos sistemas de cultivo e de manejo, pois estes alteram a estrutura e o espaço poroso do solo. Técnicas de plantio que aumentam a densidade dos solos prejudicam seus resultados, pois solo mais denso significa menos porosidade, e menos porosidade representa menor infiltração, permeabilidade e água disponível e menor aeração. Infere-se de uma situação de maior adensamento do solo maior dificuldade de crescimento radicular das plantas. Ainda, deve ser considerada a influência da mineralogia no estudo da densidade. Cabe ressaltar que maior densidade dos solos não representa, necessariamente, menor crescimento radicular, pois, por exemplo, solos arenosos, que possuem densidades superiores em comparação aos outros solos, possuem baixa coesão e, por essa característica, permitem um melhor desenvolvimento das plantas.

2.4. Remineralizadores

Segundo Madureira Filho, Atencio e McReath (2000), minerais são elementos químicos com composição definida, cristalizados, o que significa que possuem um arranjo atômico tridimensional, e formados naturalmente por processos inorgânicos, cuja composição química e suas propriedades bem definidas, quando em condição geológica ideal, determinam a organização atômica interna que, por sua vez, influencia a forma geométrica externa. Poucos são os minerais que possuem composição simples, a maioria é formada por

compostos químicos resultantes da combinação de diferentes elementos químicos.

De acordo com a Lei nº 12.890 (BRASIL, 2013), que alterou a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, remineralizador é todo material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo.

A rocha, que representa a associação de minerais resultante de diversos processos geológicos, mesmo coesa e, por vezes, dura, não é homogênea, pois não possui a unidade de um mineral, podendo, portanto, ser fragmentada novamente nas matérias-primas que as originaram (TEIXEIRA FILHO, ATENCIO E MCREATH; 2000). Ainda, por ser resultado do resfriamento do magma, material rochoso fundido, e caso esse resfriamento ocorra no interior da crosta terrestre, a rocha é denominada de ígnea ou magmática intrusiva.

O fato de o resfriamento ocorrer no interior da superfície do globo terrestre é importante, pois confere baixas velocidades à perda de calor, permitindo aos minerais ora em estado líquido se aglutinarem por mais tempo, conferindo-lhes maiores tamanhos a ponto de se tornarem visíveis a olho nu. O granito é a rocha ígnea intrusiva mais abundante da Terra.

A composição do magma ou das rochas ígneas é, predominantemente, silicatada, ou seja, formada por SiO_2 (dióxido de silício ou sílica), mas apresenta, também, diversos outros componentes, como o Al, Ca, Fe, Mg, Na, K, Mn, Ti e P. A classificação dessas rochas se dá em razão do teor de sílica, que representa a porcentagem em massa de SiO_2 : até 45%, rochas ultrabásicas; de 45 a 52%, basaltos; de 52 a 66%, andesitos; e superior a 66%, granitos (SZABÓ, BABINSKI e TEIXEIRA; 2000). O autor também explica que em rochas graníticas, a abundância de sílica, que se configura em excesso, promove a cristalização de quartzo, não incorporado aos demais minerais. Nas rochas basálticas, em virtude da menor concentração de sílica, ocorrem maiores teores de outros componentes químicos, como Mg, Fe e Ca, formando, por exemplo, a Biotita. Nas rochas ácidas

e intermediárias, definidas em função do nível de saturação de sílica, ocorre a presença de Si, Al, Na e K, dando origem aos feldspatos e ao próprio quartzo.

Há, ainda, as rochas metamórficas, resultantes, em sua maioria, de processos tectônicos, por isso ocorrem em abundância nas margens continentais convergentes, onde se desenvolvem as grandes cadeias de montanhas. Podem se formar, também, nas proximidades das dorsais meso-oceânicas, ao redor dos corpos ígneos intrusivos, ao longo de grandes zonas de falhas ou nas crateras de impacto de meteoritos (RUBERTI, SZABÓ e MACHADO; 2000). Os principais fatores que determinam o metamorfismo são natureza do protolito, temperatura, pressão, tempo de duração dos processos e presença de fluidos, que levam a modificações da composição mineralógica e reorganização estrutural e textural.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solo

O solo utilizado no presente trabalho é proveniente de estudo que visou avaliar a eficiência agrônômica da Biotita e do Gnaisse no cultivo de soja e *Braquiaria humidicola*, em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (ALMEIDA *et al.*; 2018, 2019), instalado em casa de vegetação do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, cujas coordenadas são 23°01'55,6"S e 45°30'38,9"O. Os tratamentos realizados na oportunidade, e utilizados no atual experimento, foram os seguintes:

Controle

B1 - 1 t ha⁻¹ de pó de Biotita

B10 - 10 t ha⁻¹ de pó de Biotita

B30 - 30 t ha⁻¹ de pó de Biotita

G1 - 1 t ha⁻¹ de pó de Gnaisse

G10 - 10 t ha⁻¹ de pó de Gnaisse

G30 - 30 t ha⁻¹ de pó de Gnaisse

KCl - 100 kg de K₂O ha⁻¹

Ekosil - 100 kg de K₂O ha⁻¹

A Biotita e o filler de Gnaisse são procedentes das cidades de Mogi das Cruzes e Embu das Artes (SP) e, de acordo com os resultados das análises químicas realizadas pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, apresentaram consideráveis teores de K₂O que possibilitariam seu uso como remineralizador do solo, respectivamente 5,83 e 6,07 dag/kg (Tabela 1):

Quanto a granulometria dos materiais, constatou-se que 89,3 dag/kg da Biotita e 98,0 dag/kg do filler de Gnaisse apresentaram dimensões inferiores a 0,5mm (Tabela 2).

Tabela 1. Análise química dos pós de Biotita e filler de Gnaisse.

Elemento químico	Biotita (dag/kg)	Gnaisse (dag/kg)
SiO ₂	58,3	65,7
Al ₂ O ₃	14,1	14,0
Fe ₂ O ₃	10,8	4,28
MnO	0,153	<0,10
MgO	2,08	1,12
CaO	2,45	2,62
Na ₂ O	2,37	2,57
K ₂ O	5,83	6,07
TiO ₂	1,45	0,63
P ₂ O ₅	0,57	0,36
perda ao fogo	1,44	1,34

Fonte: Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Tabela 2. Análise granulométrica dos pós de Biotita e filler de Gnaisse.

Diâmetro da peneira (mm)	Biotita (dag/kg)	Gnaisse (dag/kg)
4,76	0,00	0,00
2,00	2,50	0,00
1,00	3,06	0,61
0,50	5,08	1,40
0,25	44,20	7,56
0,15	25,01	67,90
0,05	17,82	20,12
<0,05	2,33	2,41

Fonte: Laboratório de Solos e Plantas do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté

O pó de Gnaisse utilizado é resultado da produção de agregados da Pedreira Itapeti, da Embu S/A Engenharia e Comércio, nas diversas etapas de cominuição e peneiramento das rochas para a obtenção de rachão, brita e pedrisco, além da areia de brita, rejeito fino impróprio para o uso direto na construção civil, denominado *filler*.

O transporte da areia de brita na unidade ocorre por via úmida, onde o *filler*, uma polpa de Gnaisse diluída em água, era enviado para a barragem de rejeitos. Com o intuito de reduzir ou eliminar o envio desse material à barragem,

estudou-se o seu aproveitamento para a indústria cerâmica, na produção de louça sanitária, esmalte cerâmico e porcelanato. Para que se tornasse viável o seu uso, deveria ser removido o material “colorante”, no caso, a Biotita.

Considerando que os Gnaisses sejam rochas compostas de três minerais essenciais: quartzo, feldspato e mica. Feldspatos e micas são famílias de minerais com diferentes composições químicas e estrutura cristalina. A mica presente nesta rocha é a Biotita, rica no elemento ferro e apresenta uma baixa susceptibilidade magnética. Estudos desenvolvidos demonstraram que o processo mais adequado encontrado para a remoção foi a separação magnética em via úmida, onde é possível remover a Biotita do quartzo e feldspato, estes sem nenhuma susceptibilidade magnética.

Inicialmente, coletou-se na Fazenda Piloto da Universidade de Taubaté cerca de 1000 kg de solo da camada subsuperficial, de uma área cujo solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (ALMEIDA et al., 2018, 2019).

O solo coletado permaneceu à sombra para secar e, posteriormente, foi homogeneizado e peneirado em malha de 4 mm. Em seguida, 4 kg de solo foram acondicionados em sacos plásticos transparentes e, em cada qual, incorporou-se as respectivas doses de cada tratamento. Logo em seguida, o solo preparado foi acondicionado em vasos plásticos pretos com capacidade de 4 L.

Para a incubação dos solos (sem potássio), adicionou-se água deionizada nos vasos, para atingir 70% da capacidade de campo. A cada duas semanas, os vasos eram pesados com a finalidade de se ajustar a umidade do solo. A incubação dos vasos foi realizada em sentido cronológico inverso para que todos os vasos atingissem juntos os tempos de incubação pré-estabelecidos ao final do período.

Após o período de incubação dos tratamentos, foram aplicados 8 t ha^{-1} de calcário dolomítico para elevar a saturação por bases (V%) para 70%. Novamente, foi adicionada água para reação do calcário por mais 48 dias, mantendo-se a umidade do solo em torno de 70% da capacidade de campo. A dose de calcário foi definida a partir de uma curva de calibração realizada previamente.

Transcorrido o período de incubação do pó de rocha e do calcário, os vasos foram transferidos para a casa de vegetação para o solo secar durante 10 dias.

A semeadura da soja (*Glycine max* L.) foi realizada no dia 15 de novembro de 2018, utilizando-se dez sementes do cultivar BRS-282 (convencional) por vaso. A colheita da soja ocorreu no dia 7 de janeiro de 2019, quando as plantas atingiram o florescimento pleno (estádio R2).

A semeadura da braquiaria humidicola (*Urochloa humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga syn. *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick)) foi realizada em 8 de janeiro e o primeiro corte ocorreu no dia 14 de março, sendo que nesse intervalo foram feitas duas adubações nitrogenadas. O segundo corte ocorreu nos dias 9 e 10 de maio, e, nesse ciclo, foram realizadas três adubações nitrogenadas (17 de março e 10 e 17 de abril).

3.2. Procedimento experimental

Após os cultivos da soja e da braquiaria, fez-se a amostragem de solo dos 4 vasos de cada um dos nove tratamentos descritos anteriormente, totalizando 36 vasos. A metodologia adotada foi descrita por Salton *et al.* (2012), conforme Comunicado Técnico nº 184, publicado pela EMBRAPA.

Os vasos foram depositados em local sombreado, seco e arejado para que os solos atingissem teor de umidade no ponto de friabilidade, no qual é possível realizar o destorroamento manual sem o emprego de força excessiva. O intervalo de umidade resultante foi entre 0 e 10,46%.

Ao atingir o estado de friabilidade, o solo foi extraído do interior de cada vaso sem comprometer a sua integridade física, partido ao meio com uma faca, no sentido vertical, e, no ponto central de cada face interna retirou-se uma amostra de solo com o auxílio de um anel metálico de 2,4 cm de diâmetro e 2,6 cm de altura (aproximadamente).

Após a coleta do material, determinou-se a massa de solo contida em cada anel utilizando-se uma balança analítica da marca Shimadzu, modelo

BL3200H. Para evitar perdas de solo, a parte inferior dos anéis foi recoberta com três camadas de tecido voil, afixado com bandas de elástico.

Na sequência, os anéis volumétricos foram acondicionadas em uma bandeja contendo, aproximadamente, 2 cm de água, para umedecimento por capilaridade. Após 16 horas parcialmente submersas, foram alocadas sobre uma grelha, por 20 minutos, para o escoamento do excesso de água, e tiveram suas massas determinadas novamente.

Os anéis foram transferidos para uma estufa de secagem e esterilização da marca FANEM, modelo 315 SE, a 105° C, onde permaneceram por 10 horas e novamente passaram por determinação de massa em balança analítica.

Posteriormente, as amostras de solo foram retiradas dos anéis e destorroadas manualmente para, primeiramente, realizar o peneiramento a seco. Cada amostra foi colocada no topo de um conjunto de peneiras com aberturas de 4,76 mm, 2,00 mm, 1,00 mm, 0,50 mm, 0,25 mm e menor que 0,25 mm, e agitada em agitador mecânico vibratório da marca MLW, modelo Thy 1, durante 1 minuto, com potência mínima necessária para apenas separar os agregados e não haver fragmentação (Figura 1).



Figura 1 Agitador mecânico vibratório da marca MLW, modelo Thy 1.

Em seguida, determinou-se a massa dos agregados retidos em cada peneira e reconstituiu-se a amostra, que foi utilizada na etapa seguinte, no peneiramento em água.

Para o peneiramento em água das amostras reconstituídas, o material contendo agregados e terra solta foi acondicionado em funil de papel filtro e inserido em recipiente contendo lâmina de água de, aproximadamente, 2 cm, suficiente para promover o umedecimento por capilaridade. O funil de papel filtro contendo a amostra reconstituída ficou parcialmente submerso em água por 16 horas (Figura 2).



Figura 2. Funil de papel filtro contendo amostra de solo em contato com água, para umedecimento por capilaridade.

Após o umedecimento, as amostras foram transferidas cuidadosamente para o topo de um conjunto de peneiras com aberturas de 4,76 mm, 2,00 mm, 1,00 mm, 0,50 mm e 0,25 mm, que se encontravam dentro de um balde, e acopladas a um agitador com oscilação vertical da marca PACHANE, modelo TE 181. No balde, foi colocado volume de água suficiente para encobrir a amostra de solo depositada no interior do topo do conjunto de peneiras, na sua posição mais elevada (Figura 3).



Figura 3. Agitador com oscilação vertical da marca PACHANE, modelo TE 181.

As amostras foram agitadas por um período de 15 minutos, a 42 oscilações por minuto. Em seguida, o material retido em cada peneira foi transferido, com auxílio de jatos de água (piceta), para recipientes, os quais foram levados à estufa de secagem, a 105° C, por 10 horas, para determinação da massa seca de solo retido em cada peneira. A diferença da massa total seca de solo resultante do peneiramento em água para o somatório das massas dos agregados em cada fração do peneiramento a seco representa a massa do material inferior a 0,25 mm resultante de peneiramento em água.

O cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP) seco e úmido foi realizado considerando-se a massa de solo de cada classe de diâmetro, de acordo com a Equação 1 (Salton *et al.*, 2012):

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^R (w_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^R w_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: w_i representa massa de cada classe em gramas; e x_i significa diâmetro médio das classes expresso em milímetro.

O quociente entre DMP_u , obtido no peneiramento em água, e o DMP_s , obtido no peneiramento a seco, é considerado como o índice de estabilidade dos agregados (IEA), conforme Equação 2 (Salton *et al.*, 2012):

$$IEA = \frac{DMP_u}{DMP_s} \quad (\text{Eq. 2})$$

Também foram calculadas as densidades dos solos, após 16 horas imersos em água para umedecimento por capilaridade e após 10 horas em estufa para secagem, e as suas respectivas umidades no estado de friabilidade e em base seca.

As análises de variância foram realizadas utilizando-se o programa *The SAS System*, e em caso de teste F significativo ($P < 0,05$), comparou-se as médias dos tratamentos com o teste Tukey (5%).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Umidade do solo

Avaliando-se a umidade inicial do solo próximo ao ponto de friabilidade (Figura 4), verificou-se diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos.

A umidade do solo no tratamento Controle (8,15%) foi maior que a dos tratamentos G1 (1%), G10 (0,975%), KCl (0,475%) e Ekosil (1%). (Figura 4).

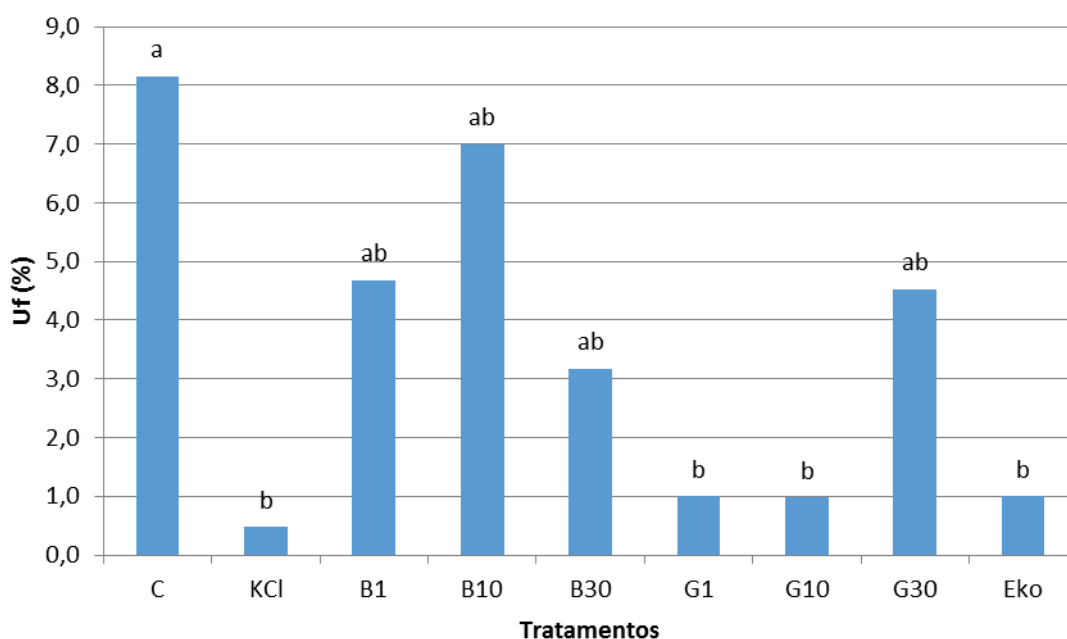


Figura 4. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre a umidade em estado de friabilidade dos solos.

Em pesquisa realizada por Matos *et al.* (2016), constatou-se que houve maior manutenção da umidade nos dois tipos de solos utilizados, argilosos e médios, que receberam tratamento à base de pó de rocha, na dose de 10 t ha^{-1} , em comparação aos mesmos tipos de solos que não receberam o tratamento. O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, para o qual os pesquisadores determinaram a capacidade de campo de cada tipo de solo, em seus respectivos vasos, que tiveram sua massa determinada; durante os primeiros 14 dias, os vasos foram pesados e irrigados diariamente até atingirem novamente a capacidade de campo; nos 14 dias subsequentes, o procedimento de pesagem e

irrigação se repetiu a cada 48 horas. Ao final de 28 dias, os solos médios que receberam o pó de rocha economizaram, em média, 45% do volume de água em relação aos mesmos solos que não foram tratados com pó de rocha. Para o solo argiloso, a economia foi de 25%. Essa vantagem pode ser explicada, pois solos argilosos tendem a reter, naturalmente, maiores quantidades de água. Dessa forma, o efeito hidrotentor do pó de rocha se sobressai em solos que apresentam menor capacidade de retenção hídrica.

Almeida (2018) aplicou diversas doses de pó de metabasalto em solo cultivado por soja, comparando a um solo que não recebeu tratamento, e analisou as variáveis umidade, infiltração e percentual de macroporos, não obtendo diferenças significativas. Concluiu que não prejudicou o solo, garantindo-lhe as mesmas características físicas originais.

Os resultados de umidade após a saturação apontaram diferença significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos.

As umidades dos tratamentos Controle (31,49%), e B10 (30,91%) foram maiores que G10 (21,28%) e Eko, (14,33%), não havendo diferença entre os demais tratamentos (Figura 5).

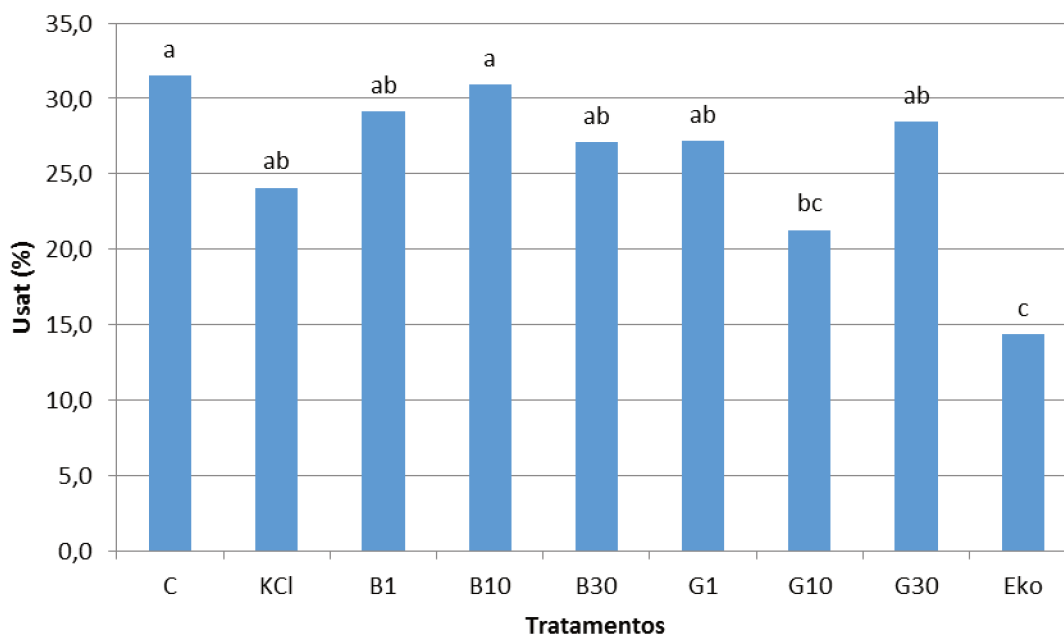


Figura 5. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre a umidade saturada dos solos.

4.2. Densidade

A análise de variância da densidade do solo seco revelou efeito significativo ($P < 0,05$) entre os tratamentos. Comparando-os, verificou-se que o tratamento Controle ($1,333 \text{ g cm}^{-3}$) e B10 ($1,355 \text{ g cm}^{-3}$) apresentaram densidade menor que o tratamento Ekosil ($1,558 \text{ g cm}^{-3}$). Não houve diferença em relação aos demais tratamentos (Figura 6).

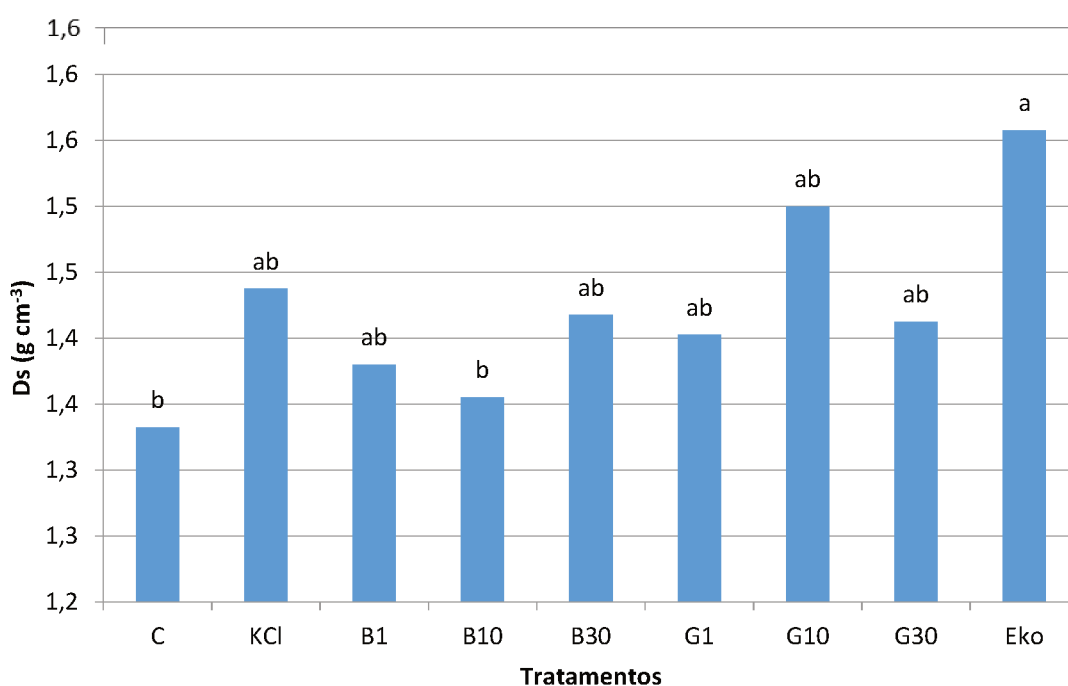


Figura 6. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre a densidade dos solos secos.

Pereira *et al.* (2019) realizaram experimento em solo do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, onde se manejou pomar de gravioleira da cultivar Morada com diversos tratamentos, inclusive na composição esterco de ave com pó de rocha, comparando-os ao tratamento testemunha (sem adubação), não apresentando diferença estatística. Nesse mesmo trabalho, os autores identificaram que, entre todos os tratamentos, também não houve diferença para o parâmetro físico porosidade total.

Como a porosidade é um índice adimensional representado pelo quociente das densidades do solo e das partículas, ambas indicadoras de massa por volume, a indicação de que não há diferença estatística entre os tratamentos para o parâmetro físico porosidade total sugere que o pó de rocha não alterou o diâmetro médio dos agregados do solo, logo, não alterou seu DMP.

Em relação à densidade do solo úmido (Figura 7), não foram detectadas diferenças entre os tratamentos.

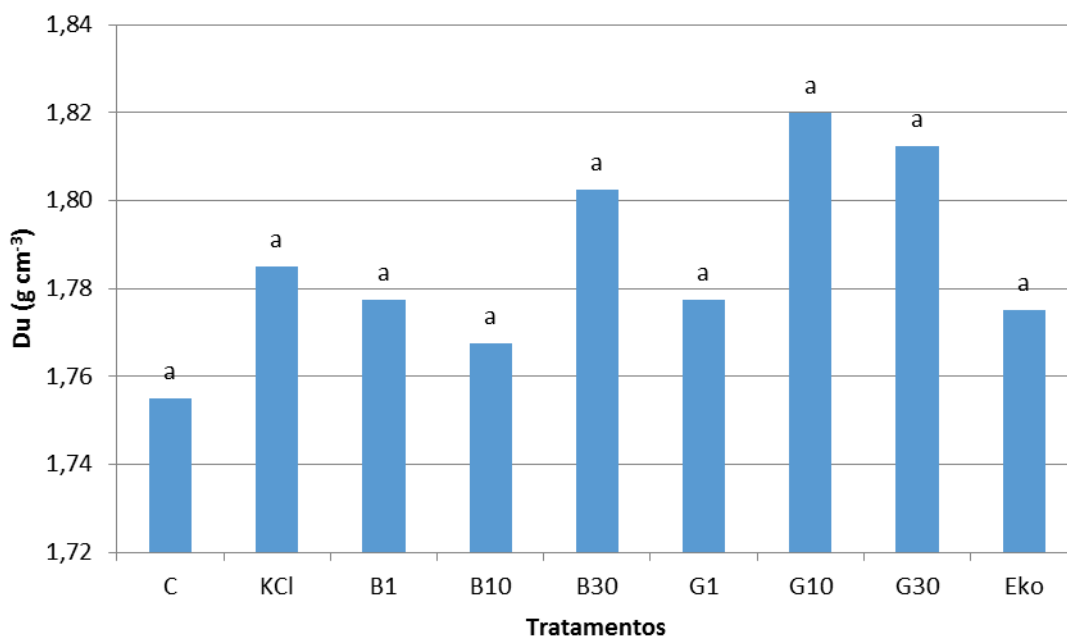


Figura 7. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre a densidade úmida dos solos.

4.3. Diâmetro médio dos agregados

A análise de variância do DMP_s revelou efeito significativo devido aos tratamentos (Figura 8). Comparando-se as médias pelo teste Tukey, verificou-se que a aplicação de Ekosil (3,613 mm) foi o que possibilitou o maior DMP (3,613 mm), diferindo este tratamento dos demais. Controle apresentou o menor valor (2,06 mm).

Vale ressaltar que os tratamentos com Gnaiss e Biotita, exceto o G10, que apresentaram diâmetros iguais ao Controle e menores que o Ekosil, não apresentaram diferenças em função do aumento da dose dos produtos, equivalendo-se ao KCl.

Para o DMP_u , não foi observado efeito significativo ($P>0,05$) devido os tratamentos (Figura 9) e, ficando o valor médio foi em 1,1933 mm.

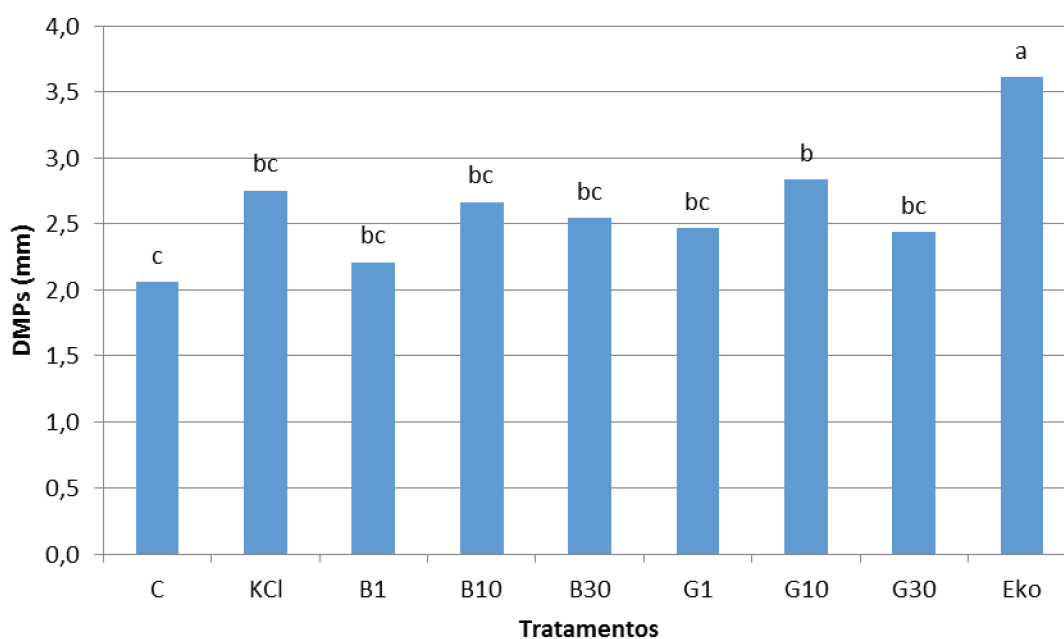


Figura 8. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, determinado a seco.

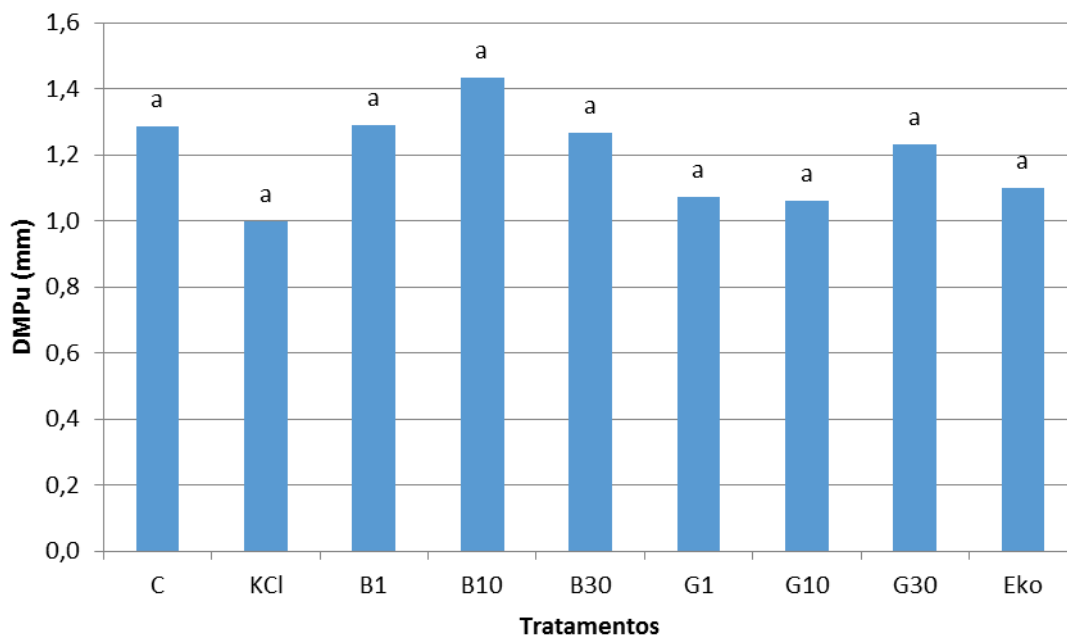


Figura 9. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo, determinado em água.

Matos *et al.* (2008) realizou experimento utilizando adubo mineral N-P-K na proporção 4-14-8, nas doses 0, 250 e 500 kg ha⁻¹ por ano, aplicados no plantio, em comparação ao mesmo solo Argissolo Vermelho amarelo distrófico, não adubado e adubado com adubo orgânico formado por palha de soja e de feijão misturados a esterco bovino, na dose 40 m³ ha⁻¹. O uso do adubo mineral, na dose 250 kg ha⁻¹, não alterou o DMPs e DMPu, em comparação ao solo sem adubação. Entretanto, a adubação mineral, na dose 500 kg ha⁻¹, apresentou desagregação de macroagregados entre 4–2 mm, tanto a seco quanto no meio úmido, em torno de 6%, em relação à adubação orgânica na camada de 0–10.

4.4. Índice de estabilidade de agregados

A análise de variância do IEA (Figura 10) demonstrou efeito significativo ($P < 0,05$) devido aos tratamentos. Comparando-se as médias dos tratamentos, verificou-se que a aplicação de KCl (0,3725) e Ekosil (0,3050) diminuiram o IEA em relação ao Controle (0,63). O aumento das doses dos pós de Gnaisse e de Biotita levaram a uma diminuição do IEA, ainda que não tenham

vido observadas diferenças significativas entre esses materiais silicáticos e os tratamentos Controle, KCl e Ekosil.

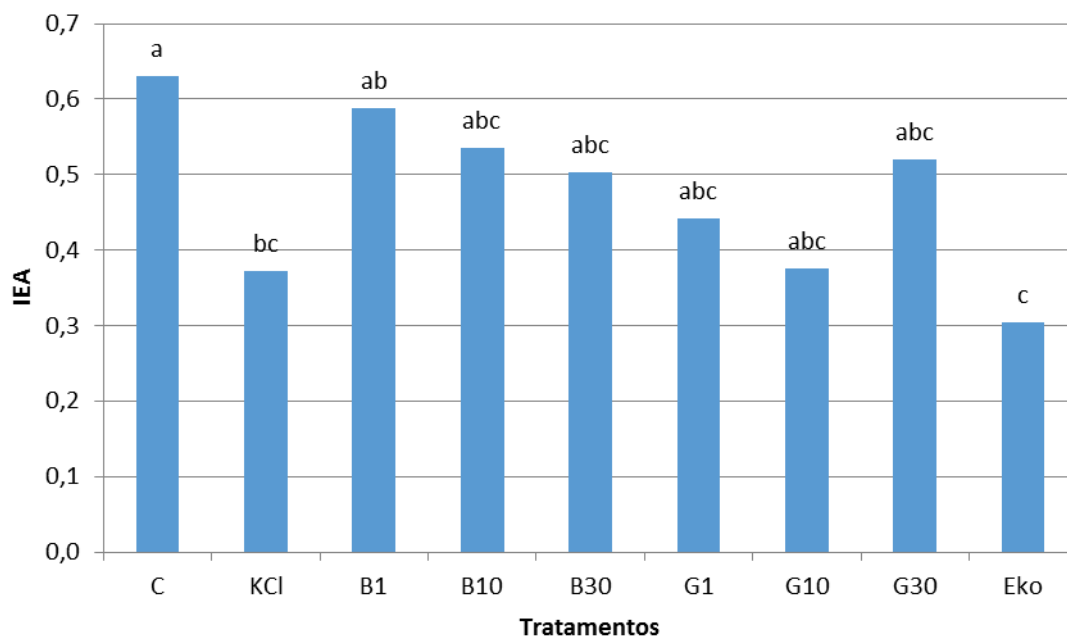


Figura 10. Efeito da adição de doses de materiais silicáticos e fertilizantes potássicos sobre o índice de estabilidade dos agregados do solo.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de Biotita e Filler de Gnaisse não alterou os atributos físicos do solo, uma vez que a Densidade Aparente, o Diâmetro Médio de Partículas no solo seco e o índice de Estabilidade de Agregados apresentando valores semelhantes ao tratamento Controle.

A aplicação de KCl e Ekosil alterou os atributos físicos do solo resultando em aumento da densidade aparente do solo, do diâmetro médio dos agregados secos e em redução o Índice de Estabilidade dos Agregados.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. N. de. ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE LATOSSOLO DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE PÓ DE METABASALTO. Orientador: Edson Campanhola Bortoluzzi. 2018. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2018.
- ALMEIDA, J. C. R. de; GADIOLI, J. L.; ALMEIDA, A. A. S.; CÍCERO, C. M.; TAKADA, H. M.; VILELLA, O. V.; AZEREDO, V. Reatividade de Biotita e K6 em Latossolo Vermelho Amarelo. Taubaté: Mineração Embú, 2018,.
- ALMEIDA, J. C. R. de; GADIOLI, J. L.; ALMEIDA, A. A. S.; CÍCERO, C. M.; TAKADA, H. M.; VILELLA, O. V.; AZEREDO, V. Efeito do tempo de incubação da Biotita e K6 em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico sobre a produção e nutrição de Soja (*Glycine max*) e *Brachiaria humidicola*. Taubaté: Mineração Embú, 2019,
- BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm>. Acesso em: 19 mar. 2020.
- CAPECHE, C. L. Comunicado Técnico 51: Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista. Rio de Janeiro: Embrapa, dez 2008. ISSN 1517-5685.
- FERREIRA, M. M. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO. In: LIER, Quirijn de Jong van (ed.). Física do Solo. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. Cap. I, p. 1-27. ISBN 978-85-86504-06-8.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agro 2017: resultados preliminares mostram queda de 2,0% no número de estabelecimentos e alta de 5% na área total. [S. l.], 26 jul. 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/21905-censo-agro-2017-resultados-preliminares-mostram-queda-de-2-0-no-numero-de-estabelecimentos-e-alta-de-5-na-area-total>. Acesso em: 9 set. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores IBGE: Contas Nacionais Trimestrais e Indicadores de Volume e Valores Correntes. Brasil: IBGE, 30 maio 2019.
- MADUREIRA FILHO, J. B.; ATENCIO, D.; MCREATH, Ian. MINERAIS E ROCHAS: CONSTITUINTES DA TERRA SÓLIDA. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; T, F. (org.). DECIFRANDO A TERRA. 1. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2000. Cap. 2, p. 27-42.
- MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C.. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 43, n. 9, p. 1221-1230, set. 2008
- MATOS, E. M.; REIS, T. C.; ROSA, V. A.; JESUS, E. S. *et al.* Efeito do Pó de Rocha na retenção de água em diferentes tipos de solo. III Reunião Nordeste de Ciência do Solo. Aracajú, 4 p., set 2016.
- MAZZOLENI, E. M.; NOGUEIRA, J. M.. Agricultura orgânica: características básicas do seu produtor. Revista de Estudos Regionais, Rio de Janeiro, v. 44, n. 2, p. 263-293, abr/jun 2006.
- MEDINA, H. P. ÁGUA NO SOLO. IN: MONIZ, ANTONIO C. (coord.). ELEMENTOS DE PEDOLOGIA. 1. ed. Rio de Janeiro: POLÍGONO, 1975. Cap. 4, p. 45-57.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Agropecuária Brasileira em Números. [S. l.], 22 fev. 2019. Disponível em: www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros. Acesso em: 9 set. 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Agropecuária puxa o PIB de 2017. Disponível em: www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017. Acesso em: 9 set. 2019b.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos: Agrotóxicos na ótica do Sistema Único de Saúde. 1. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2018. 193 p. v. 1. ISBN 978-85-334-2588-0. Disponível em: www.saude.gov.br/bvs. Acesso em: 9 set. 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. Agrotóxicos e outras substâncias químicas matam 193 mil pessoas no mundo por ano, diz ONU. [S. l.], 12 set. 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/agrotoxicos-e-outras-substancias-quimicas-matam-193-mil-pessoas-no-mundo-por-ano-diz-onu/>. Acesso em: 10 set. 2019.

PEREIRA, W. E.; SILVA, S. I. A.; MALTA, A. O. T., NÓBREGA, M. N.; *et al.* Atributos físicos e químicos do solo cultivado com gravioleira, sob adubação orgânica e mineral. Revista PesquisAgro, Confresa, v. 2, n. 1, p. 11-23, jan/jun 2019.

RUBERTI, E.; SZABÓ, G. A. J.; MACHADO, R.. ROCHAS METAMÓRFICAS. IN: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F.. (org.). DECIFRANDO A TERRA. 1. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2000. Cap. 18, p. 381-398.

SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.. Comunicado Técnico 184: Determinação da agregação do solo - Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados: Embrapa, dez 2012. ISSN 1679-0472.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p. ISBN 978-85-7035-198-2.

SOUZA, L.; MAFRA, Á. L.; SOUZA, L. D.; SILVA, I. F.. INTER-RELAÇÃO ENTRE MANEJO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. .; SOUZA, L. S. (ed.). Manejo e Conservação do Solo e da Água. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. VIII, p. 193-249.

SZABÓ, G. A. J.; BABINSKI, M.; TEIXEIRA, W.. ROCHAS ÍGNEAS. IN: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F.. (ORG.). DECIFRANDO A TERRA. 1. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2000. Cap. 16, p. 327-346.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B. DE; MELFI, A. J. INTEMPERISMO E FORMAÇÃO DO SOLO. In: TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, M. Cristina Motta de; FAIRCHILD, Thomas Rich; TAIOLI, Fabio. (org.). DECIFRANDO A TERRA. 1. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2000. Cap. 8, p. 139-166.

ZONTA, J. H.; SOFIATI, V.; COSTA, A. G. F; SILVA, O. RENY R. F., *et al.* Circular Técnica 133: Práticas de Conservação de Solo e Água. Campina Grande: Embrapa, set 2012. ISSN 0100-6460.