



CAROLLINE VARGAS E SILVA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E MECÂNICOS DE SOLOS EM ÁREA
DE EXPLORAÇÃO MINERAL NO MUNICÍPIO DE
BRUMADINHO – MG**

LAVRAS – MG

2018

CAROLLINE VARGAS E SILVA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E MECÂNICOS DE SOLOS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO
MINERAL NO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO -MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Ph.D. Moacir de Souza Dias Junior
Orientador

**LAVRAS – MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Caroline Vargas e.

Atributos físicos e mecânicos de solos em área de exploração mineral no município de Brumadinho - MG / Caroline Vargas e Silva. - 2018.

57 p.

Orientador(a): Moacir de Souza Dias Júnior.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Compactação do Solo. 2. Qualidade do Solo. 3. Solos construídos. I. Dias Júnior, Moacir de Souza. II. Título.

CAROLLINE VARGAS E SILVA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E MECÂNICOS DE SOLOS EM ÁREA DE EXPLORAÇÃO
MINERAL NO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 31 de agosto de 2018.

Dr. Piero Iori

UFG

Dr. Bruno Montoani

UFLA

Prof. Ph.D. Moacir de Souza Dias Junior
Orientador

**LAVRAS – MG
2018**

Aos meus pais e vó Alzira (inmemorian).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda Sua glória, sabedoria e discernimento que me concedeu durante o Mestrado.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor PhD Moacir de Souza Dias Junior que tanto admiro, e que durante minha jornada acadêmica, desempenhou o papel de líder, pai e amigo.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo, pelos conhecimentos compartilhados.

Aos filhos de Uhlend, Zélio Resende, Diego Tassinari, Maria Luiza Andrade, pela força, apoio, amparo e risadas durante essa fase.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo, Dulce e Doroteo, pelo auxílio nas análises laboratoriais e a amizade adquirida.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial, Dirce, Maria Alice e Pezão, pela eficiência em seus trabalhos.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação, que contribuíram positivamente de diversas formas em minha vida.

Às pessoas que me apoiaram diretamente e indiretamente, com palavras de incentivo e parceria.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Este trabalho avaliou os atributos físicos e mecânicos de solos construídos pós-mineração de ferro na mina Córrego do Feijão, situada no município de Brumadinho – MG, comparando-os com vegetação nativa (Floresta Estacional Semidecidual). Foram avaliadas características e propriedades físicas como textura, densidade de partículas, densidade de solo, porosidade e estabilidade de agregados, bem como a determinação da pressão de pré-consolidação para a quantificação da capacidade de suporte de carga. Os solos construídos apresentaram textura franca-arenosa, enquanto os solos sob vegetação nativa apresentaram textura argilosa. A textura dos solos construídos afetou propriedades físicas como densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e diâmetro médio geométrico de agregados. A densidade do solo e densidade de partículas foram significativamente diferentes entre as camadas de solo, maiores valores foram encontrados nos solos construídos sob pilha de estéril e menores valores sob vegetação nativa. A porosidade total e o diâmetro médio geométrico foram significativamente maiores em solos sob vegetação nativa em comparação aos solos construídos. Os solos construídos sob pilhas de estéreis apresentaram maior capacidade de suporte de carga, com valores de pressão de pré-consolidação variando de 313,2 kPa a 361,5 kPa no potencial matricial de - 1500 kPa. Em geral, os modelos de capacidade de suporte de carga dos solos construídos sob pilha de estéril obtiveram valores de pressão de pré-consolidação maiores, em relação aos solos sob vegetação nativa.

Palavras-chave: Compactação do Solo. Qualidade do Solo. Solos construídos.

ABSTRACT

This work evaluated the physical and mechanical attributes of reconstructed soils from Córrego do Feijão mine, located in the municipality of Brumadinho, Minas Gerais, Brazil, comparing them with native vegetation (Semideciduous Atlantic Forest). Characteristics and physical properties such as texture, particle density, soil bulk density, porosity and aggregate stability in water were evaluated, as well as the determination of the precompression stress for the quantification of the load bearing capacity. The reconstructed soils had a sandy-loamy texture, while the soils under native vegetation had a clayey texture. The texture of the built soils affected physical properties such as soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity and geometric mean diameter of aggregates. Soil bulk density and particle density were significantly different among the soil layers, higher values were found in reconstructed soils and lower values under native vegetation. Total porosity and geometric mean diameter were significantly higher in soils under native vegetation compared to reconstructed soils. Reconstructed soils presented higher load bearing capacity, with precompression pressure values varying from 313.2 kPa to 361.5 kPa at the - 1500 kPa water potential. In general, the load bearing capacity models of reconstructed soils obtained higher precompression values in relation to soils under native vegetation.

Keywords: Soil Compaction. Soils quality. Reconstructed Soils.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1	26
Figura 1 - Mina Córrego do Feijão, Brumadinho - MG. (a). Pilha de Estéril vegetada com Capim- colonião (<i>Panicummaximum</i>) e Lobeira (<i>Solanumlycocarpum</i>) (b). Vegetação Nativa (c).	26
ARTIGO 2	41
Figura 1 - Mina Córrego do Feijão, Brumadinho - MG. (a). Pilha de Estéril vegetada com Capim- colonião (<i>Panicummaximum</i>) e Lobeira (<i>Solanumlycocarpum</i>) (b). Vegetação Nativa (c).....	41
Figura 2-Modelos de capacidade de suporte de carga em função do potencial matricial ($-\psi_m$) em um solo sob vegetação nativa (Mata, 0-10, 10-20 e 20-30cm) e sob pilha de estéril (Pilha, 0-30cm).....	44

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1	26
Tabela 1- Valores de carbono orgânico total (COT) dos solos das áreas de estudo (vegetação nativa e pilha de estéril) nas camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm localizados na Mina do Córrego do Feijão.	30
Tabela 2- Valores médios das características físicas dos solos das áreas de estudo.	31
Tabela 3- Média das propriedades físicas dos solos das áreas de estudo.	33
ARTIGO 2	41
Tabela 1- Análise textural do solo, densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds) e teor de carbono orgânico total no solo (COT) das diferentes camadas (0-10, 10- 20 e 20-30 cm) das áreas de estudo avaliadas.	41
Tabela 2-Comparação entre os modelos de capacidade de suporte de carga pelo procedimento de SNEDECOR & COCHRAN (1989).	44
Tabela 3-Valores médios de umidade e pressão de pré-consolidação dos solos nas áreas de estudo nas tensões de 6, 100 e 1500 kPa.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

COT	Carbono orgânico total do solo
CSC	Capacidade de suporte de carga
D _p	Densidade de partículas
D _s	Densidade do solo
DMG	Diâmetro Médio Geométrico
Ma	Macroporosidade
Mi	Microporosidade
MCSC	Modelo de Capacidade de Suporte de Carga
P _t	Porosidade total
(ψ_m)	Potencial matricial
σ_p	Pressão de pré-consolidação
U	Umidade com base em peso

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	14
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Recuperação de áreas degradadas pela mineração	16
2.2 Propriedades físicas de solos afetados pela mineração	17
2.3 Pressão de pré-consolidação e modelos de capacidade de suporte de carga como ferramenta de análise da sustentabilidade estrutural de áreas de exploração mineral	18
REFERÊNCIAS	21
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	26
ARTIGO 1	26
QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM ÁREAS DE EXPLORAÇÃO MINERAL NO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO – MG	26
1 INTRODUÇÃO	29
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS	38
ARTIGO 2	41
MODELAGEM DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE SOLOS EM ÁREAS DE EXPLORAÇÃO MINERAL NO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO – MG	41
1 INTRODUÇÃO	44
2 MATERIAL E MÉTODOS	45
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
REFERÊNCIAS	54

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as áreas exploradas pela mineração no Brasil contribuíram para expansão da economia em função da quantidade de minério de ferro comercializado, devido às fortes demandas internas e externas pelo produto (KRUMMELBEIN & RAAB, 2012), como o fornecimento às usinas siderúrgicas e produtores independentes (NAGARAJ & SHREYASVI, 2017).

As reservas brasileiras de minério de ferro estão distribuídas principalmente nos estados de Minas Gerais, Pará e Mato Grosso do Sul. No segundo semestre de 2016, o país foi o segundo maior produtor de ferro do mundo, com aumento de 1,7% na produção mundial em relação ao ano anterior, tendo Minas Gerais como o principal estado produtor (SILVA et al., 2012).

A intensa atividade de exploração mineral pode proporcionar impactos diretos e indiretos de diferentes naturezas sobre as áreas mineradas (LONGO et al., 2011), provocando a degradação do ambiente devido às alterações na vegetação nativa, topografia original e recursos hídricos (PEREIRA et al., 2015) em decorrência aos desmontes, escavações e tráfego de máquinas pesadas utilizadas para transportar grandes volumes de materiais durante a extração do minério, e remoção do material estéril da área de lavra, seu empilhamento e disposição final (SCHROEDER et al., 2010; SHRESTHA & LAL, 2011; WANG et al., 2015).

Em geral, solos construídos pós-mineração apresentam baixa disponibilidade de nutrientes, baixa capacidade de retenção de água e alta compactação da superfície exposta do solo (SHADU et al., 2012; CAO et al., 2015), características limitantes ao desenvolvimento radicular das plantas que impedem os processos de sucessão natural (STUMPF et al., 2016) e que acarretam prejuízos aos mananciais e fauna local (NAGARAJ & SHREYASVI, 2017), devido à perda de funcionalidade e alteração da estrutura do solo.

Dessa forma, a avaliação da qualidade desses solos e a determinação de valores de referências obtidos a partir de uma área adjacente em condição natural, torna-se importante para adoção de medidas de recuperação ambiental (NASCIMENTO, 2015), tendo em vista o caráter dinâmico dos solos construídos e as peculiaridades de cada região. Dentre estas alternativas para planejamento da sustentabilidade estrutural dos solos, a pressão de pré-consolidação (σ_p) e a utilização do ensaio de compressão uniaxial vêm sendo largamente

pesquisados na avaliação dos diversos efeitos da compactação do solo (IORI et al., 2014a), e na redução dos problemas de degradação física de solos agrícolas e não-agrícolas (DIAS JUNIOR et al., 2007; IORI et al., 2014b; SILVA et al., 2015).

Por outro lado, estudos que avaliam a susceptibilidade do solo à compactação e as relações entre suas propriedades físicas e mecânicas em áreas de exploração mineral são escassos. Assim, a estimativa dos níveis de pressão a serem aplicados ao solo, pelo uso da modelagem matemática, é uma alternativa viável para minimizar os problemas de degradação nessas áreas, constituindo-se de indicadores sensíveis às alterações ambientais e considerada como ferramenta de orientação para planejamento e avaliação de práticas de manejo de solos construídos.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos e mecânicos de solos construídos após a mineração de ferro na mina de Córrego do Feijão, situada no município de Brumadinho – MG, comparando-os com solos sob vegetação nativa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Recuperação de áreas degradadas pela mineração

A exploração excessiva dos recursos minerais é considerada um dos grandes agentes modificadores de paisagem, devido à violação que acarreta ao ecossistema como um todo, redução de sua capacidade de auto-regulação e renovação (MACHADO et al., 2014), resultando em progressiva redução da biodiversidade e degradação ambiental devido às alterações na vegetação nativa (LONGO et al., 2011; PEREIRA et al., 2015).

As alterações nas paisagens se dão devido à abertura de cavas para acesso ao minério e à deposição de pilhas de materiais de pouco ou nenhum valor econômico, mais conhecido como estéreis, os quais são retirados da área de lavra para garantir acesso ao corpo do minério a ser explorado (FORGEANARI et al., 2015). O sistema de deposição de estéril deve funcionar como uma estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e protegido de ações erosivas, de modo a mitigar a geração de resíduos e movimentos de massa (SILVA et al., 2011).

Dessa forma, para o êxito no restabelecimento das condições de equilíbrio e sustentabilidade dos processos biológicos, é necessário que essas séries de ações voltadas à recuperação da qualidade ambiental do meio se baseiem em critérios geotécnicos e vegetativos (NERI, 2007; PINHEIRO, 2008). Outro aspecto fundamental na recuperação de áreas degradadas pela mineração é o conhecimento do solo ou do substrato onde a recuperação será conduzida, dependendo essencialmente das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do mesmo, já que ele deverá apresentar condições adequadas para o desenvolvimento das plantas (BENDING et al., 2004).

A implantação da cobertura vegetal em áreas mineradas é a medida mais comum de recuperação (SILVA & CORREA, 2010), porém é um processo que exige a escolha de espécies de plantas com rápido crescimento e desenvolvimento, com características que contribuam para o reequilíbrio e estabilização desses ambientes degradados (ALVES et al., 2007). Destaca-se, dessa forma, o plantio de espécies de gramíneas e leguminosas que além de aumentarem a cobertura do solo protegendo-o do impacto das gotas d'água da chuva e erosão hídrica, favorecem melhoria da qualidade do substrato (PANDEY, 2013) e promovem através de seu sistema radicular abundante, a formação de macroporos e estabilidade do agregados do solo, contribuindo para melhoria de sua estrutura física (HAIGH et al., 2013).

Nesse contexto, o uso de plantas que atuam como descompactadoras do solo, constitui-se em importante estratégia na recuperação da qualidade estrutural do solo (MENTA et al., 2014).

2.2 Propriedades físicas de solos afetados pela mineração

Os melhores indicadores da qualidade do solo são aqueles que integram os efeitos combinados de diversos atributos ou processos do solo, os quais devem ser precisos e simples, estando associados à função para a qual se pretende usar o solo (GOMES, 2010; ANDREOLA, 2011). Há inúmeros atributos que podem ser utilizados como indicadores, mas o grande desafio é desenvolver ou adaptar critérios válidos para avaliar a funcionalidade da área, havendo de se buscar propriedades específicas para cada situação e cada ambiente a ser recuperado, sendo improvável que se possa desenvolver um indicador de uso universal (RODRIGUES & GANDOLFI, 2004), devido à diversidade de materiais presentes em solos afetados pela mineração.

O processo de extração de minério pode resultar em alterações tanto nas características físico-químicas, quanto na variabilidade espacial das propriedades do solo (RAI et al., 2011), como volume do espaço de poros, da densidade, distribuição de partículas e na movimentação da água (WICK et al., 2009). A compactação do solo é um importante fator limitante na restauração da vegetação nativa dos solos construídos (SINNETT et al., 2008), as limitações físicas resultantes incluem estrutura pouco resistente e com agregação incipiente, baixa permeabilidade da camada superficial à água e redução da agregação do solo, como também redução da atividade microbiana e matéria orgânica (MORALES et al., 2015), resultando em um inadequado desenvolvimento da vegetação e perdas de solo por erosão (LEAL et al., 2015).

Para que a organização de práticas de manejo para uso sustentável dessas áreas de exploração mineral desempenhem um papel significativo, pesquisadores têm avaliado as propriedades físicas de solos afetados pela mineração. KRÜMMELBEIN et al. (2010) e KRÜMMELBEIN & RAAB (2012) investigaram a influência de diferentes tratamentos em áreas de exploração mineral e no desenvolvimento da estrutura do solo com base em propriedades físicas do solo como textura, densidade do solo, pressão de pré-consolidação e condutividade hidráulica. CAO et al. (2015) avaliaram a densidade do solo, porosidade e teor de água para comparar os solos construídos em relação ao tipo de local e topografia das pilhas de estéreis.

Em um estudo conduzido por BORBA (2013), observou-se que a densidade do solo em áreas em recuperação ambiental foi considerada baixa na camada de 0-10 cm onde houve influência da cobertura vegetal, maior quantidade de raízes e não compactação da camada superficial. MIOLA et al. (2015) quantificou a faixa de variação do intervalo hídrico ótimo de um solo construído sob diferentes plantas de cobertura em área de mineração, considerando diferentes limites críticos de umidade do solo na capacidade de campo e de resistência à penetração, e observou em todos os tratamentos que a resistência à penetração foi positivamente correlacionada com a Ds e negativamente com a umidade volumétrica, o que pode estar associado à maior coesão entre as partículas minerais, principalmente em solos de textura argilosa (KAY & ANGERS, 1999).

QUIÑONES et al., (2008) analisou características de solos construídos há 24 anos e 2 anos após mineração, e constataram que o processo de construção e os materiais utilizados alteraram as características morfológicas e físicas desses solos, comparativamente ao solo natural. O intenso tráfego de máquinas durante a remoção, transporte e construção dos solos construídos, aumentou a densidade do solo e diminuiu a condutividade hidráulica saturada e a capacidade de infiltração de água no solo, o que apresentou sérias limitações para o desenvolvimento de vegetação, influenciando negativamente para a recuperação dessas áreas e de áreas adjacentes.

2.3 Pressão de pré-consolidação e modelos de capacidade de suporte de carga como ferramenta de análise da sustentabilidade estrutural de áreas de exploração mineral

A resistência do solo à redução de seu volume quando submetido a uma carga mecânica é definida como compressibilidade (GUPTA & ALLMARAS, 1987; HORN & LEBERT, 1994), a qual depende de fatores externos e internos como intensidade e frequência da força aplicada (HORN, 1988; LEBERT & HORN, 1991), teor de água, teor de matéria orgânica, textura, estrutura, densidade do solo inicial e outros (IMHOFF et al., 2004). Alguns indicadores, como a pressão de pré-consolidação e o índice de compressão, são obtidos através da curva de compressão, que expressa a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e a densidade do solo (HOLTZ & KOVACS, 1981), parâmetros úteis para o planejamento mais adequado da execução de operações mecanizadas e a redução dos problemas de degradação física de solos agrícolas (DIAS JUNIOR et al., 2007).

Em solos já submetidos a tensões externas, a curva de compressão é dividida em

duas regiões (DIAS JUNIOR & MARTINS, 2017): a primeira, denominada curva de compressão secundária, em que as deformações são recuperáveis, considerada um indicativo do histórico do manejo do solo; e a segunda, chamada de curva de compressão virgem, em que as deformações correspondentes são irreversíveis, alterando-se as propriedades físicas, onde ocorre a compactação adicional do solo. A pressão de pré-consolidação é a pressão que divide a curva de compressão do solo nessas duas regiões. É na região da curva de compressão secundária que o solo deve ser cultivado ou trafegado, sem que ocorra compactação. Portanto, pressões exercidas sobre o solo podem ou não acarretar em compactação do mesmo, dependendo da capacidade de suporte de carga, expressa pela pressão de pré-consolidação (REICHERT et al., 2009).

Por um lado, a resistência à deformação tende a ser maior em solos com maior agregação (VEIGA et al., 2007). Em contrapartida, a formação de agregados maiores, ao aumentar a proporção de macroporos e, eventualmente, reduzir a densidade do solo, pode diminuir a capacidade de suporte de carga do solo (RÜCKNAGEL et al., 2012). Isto é exposto por SUZUKI et al. (2008), em que sistemas de manejo com maior densidade do solo resultaram em acúmulo de pressões que o solo já sofreu no passado pelo tráfego de máquinas, apresentando menor deformação. Em contrapartida, manejos com menor compactação apresentaram maior deformação e foram mais susceptíveis à compactação, porém é importante definir ou estabelecer valores ou faixas de pressão de pré-consolidação que sejam favoráveis para manutenção da estrutura do solo, evitando a compactação adicional pelo tráfego de máquinas (DEBIASI et al., 2008).

Como visto, o uso desta propriedade (σ_p) vem sendo largamente pesquisada na avaliação dos diversos efeitos da compactação do solo em solos agrícolas (PIRES et al., 2017; BRAGA et al., 2015; TASSINARI et al., 2015). Por outro lado, estudos que avaliam a susceptibilidade do solo à compactação e as relações entre suas propriedades mecânicas em áreas de exploração mineral são escassos.

Buscando atender parcialmente essa demanda, TASSINARI (2015) avaliou a qualidade física de solos construídos em pilhas de estéril provenientes da mineração de ferro, comparando-os com outros solos sob vegetação nativa. O autor relatou que os locais avaliados diferiram significativamente em seus atributos mecânicos, o que condicionou modificações em sua qualidade física. A capacidade de suporte de carga dos solos foi bastante diferente entre os diferentes usos de terra e profundidades, foi observado que a pressão de pré-consolidação decaiu exponencialmente com o aumento do conteúdo de água, porém as

condições físicas dos solos construídos não foram restritivas às plantas, sendo variáveis em função dos materiais empregados na construção.

Portanto, pesquisas que objetivem avaliar a qualidade dos solos de áreas de exploração mineral podem detectar tendências de mudanças que são mensuráveis num período relativamente longo e elucidar alternativas de correção da degradação de solos construídos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C. G. A. S.; SUZUKI L. E. A. S.; SUZUKI L. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação, **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.31, p. 617-625, 2007.
- ANDREOLA, A. **Avaliação dos atributos químicos de um solo construído pós-mineração de carvão no município de Lauro Müller, SC**. 2011. 71 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2011.
- BENDING, G. D.; TURNER, M. K.; RAYNS, F.; MARX, M. C.; WOOD, M. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under constrating agricultural management regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p. 1785-1792, 2004.
- BORBA, F. B. **Caracterização química e física do solo de áreas de mata ciliar recuperadas pós-mineração de carvão em Santa Catarina**. 2013. 34 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.
- BRAGA, R. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; BRAGA, F. A., VENTURIN, F., PROTÁSIO, T. P. Physical Characterization of a Dystroferic Red Latosols Under Semideciduous Seasonal Forest, **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, n. 7, p. 422-428, 2015.
- CAO, Y.; WANG, J.; BAI, Z.; ZHOU, W.; ZHAO, Z.; DING, X.; LI, Y. Differentiation and mechanisms on physical properties of reconstructed soils on open-cast mine dump of loess area. **Environ Earth Sciences**, v. 74, p. 6367-6380, 2015.
- DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2629–2637, 2008.
- DIAS JUNIOR, M. S.; MARTINS, P. C. C. Ensaio de compressão uniaxial e modelos de capacidade de suporte de carga do solo. In: Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG, editores. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Embrapa. 3ª edição revista e ampliada. Brasília: Embrapa, p. 152-171, 2017.
- DIAS JUNIOR, M. S.; FONSECA, S.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; SILVA, A. R., Soil compaction due to forest harvest operations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 257–264, 2007.
- FORGEARINI, R. G.; NETO, R. O.; SOUZA, L. E.; ABICHEQUER, L. A. Metodologia de avaliação ambiental na análise de alternativas locacionais de pilhas de estéril. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, p. 80–97, 2015.
- GOMES, A. S. Qualidade do solo: conceito, importância e indicadores da qualidade, **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, Grupo Cultivar Artigos Técnicos, 2010.
- GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction, **Advances in Soil Science**, v. 6, p. 65-100, 1987.
- HAIGH, M.; REED, H.; FLEGE, A.; AUCOURT, M. D.; PLAMPING, K.; CULLIS, M.;

- WOODRUFEE, P.; SAWYER, S.; PANHUIS, W.; WILDING, G.; FARRUGIA, F.; POWELL, S. Effect of planting method on the growth of *Alnus glutinosa* and *Quercus petraea* in compacted opencast coal mine soils, South Wales. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 3, p. 227-236, 2013.
- HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. An introduction to geotechnical engineering, **Englewood Cliffs, Prentice-Hall**, p. 733, 1981.
- HORN, R. Compressibility of arable land, **Catena**, v. 11, p. 53-71, 1988.
- HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility, **Elsevier**, p.45-69, 1994.
- IMHOFF, S.; DA SILVA, A.P.; FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity and soil compressibility of hapludox, **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 17-24, 2004.
- IORI, P.; SILVA, R. B.; AJAYI, A. E.; SILVA, F. A. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; SOUZA, Z. M. What Drives Decline Productivity in Ageing Tea Plantation- Soil Physical Properties or Soil Nutrient Status? **Agricultural Science**, v. 2, n. 1, p. 20-34, 2014a.
- IORI, P.; DIAS JUNIOR, M. S.; AJAYI, A. E.; GUIMARÃES, P. T. G.; SOUZA, Z. R.; FIGUEIREDO, V. C. Seasonal change of soil precompression stress in coffee plantation under sub-humid tropical condition, **Coffee Science**, v. 9, p. 145-154, 2014b.
- KAY, B. D.; ANGERS, D. A. **Soil structure**. In: A. SUMNER, M.E., ed. Handbook of Soil Science. Boca Raton, CRC Press, p.229-276, 1999.
- KRÜMMELBEIN, J., HORN, R., RAAB, T., BENS, O., HÜTTL, R. Soil physical parameters of a recently established agricultural recultivation site after brown coal mining in Eastern Germany, **Soil and Tillage Research**, v. 111, p. 19-25, 2010.
- KRUMMELBEIN, R.; RAAB, T. Development of soil physical parameters in agricultural reclamation after brown coal mining within the first four years, **Soil & Tillage Research**, v. 125, p. 109-115, 2012.
- LEAL, O. D. A.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A. Organic Matter Fractions and Quality of the Surface Layer of a Constructed and Vegetated Soil After Coal Mining. I - Humic Substances and Chemical Characterization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 886-894, 2015.
- LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils, **Soil & Tillage Research**, v.19, p.275-86, 1991.
- LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: Biomassa microbiana e atividade da desidrogenase, **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 132-138, 2011.
- MACHADO, D. F. T.; CONFESSOR, J. G.; RODRIGUES, S. C. Processo inicial de recuperação de área degradada a partir de intervenções físicas e utilização de leguminosas, **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 42-54, 2014.
- MENTA, C.; CONTI, F. D.; PINTO, S.; LEONI, A.; LOZANO-FONDON, C. Monitoring soil restoration in an open-pit mine in northern Italy, **Applied Soil Ecology**, v.83, p.22-29,

2014.

MIOLA, E. C. C.; PAULETTO, E. A.; LIMA, C. L. R. DE; PINTO, L. F. S.; TIMM, L. C. Intervalo Hídrico Ótimo Em Solo Construído Após Mineração De Carvão Em Diferentes Limites Críticos De Resistência à Penetração E Umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 563–572, 2015.

MORALES N. A.; MARTINEZ D.; GARCIA-MEZA J. V.; LABASTIDA I.; ARMIENTA M. A.; RAZO I.; LARA R. H.; Total and bioaccessible arsenic and lead in soil impacted by mining exploitation of Fe-oxide-rich ore deposit at Cerro de Mercado, Durango, Mexico, **Environ Earth Sciences**, v.73, p. 3249–3261, 2015.

NAGARAJA, H. B.; SHREYASVIB C. Compressed stabilized earth blocks using iron mine spoil waste - An explorative study, **Procedia Engineering**, v. 180, p. 1203 – 1212, 2017.

NASCIMENTO, A. R. V. J. Atributos físicos e químicos de áreas degradadas pela mineração de scheelita na região tropical semiárida. 2015. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

NERI, A. C. **Avaliação da eficácia de medidas de recuperação ambiental em mineração de calcário para cimento**. 2007. 309 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

PANDEY, V. C. Suitability of *Ricinus communis L.* cultivation for phytoremediation of flyash disposal sites, **Journal of Ecological Engineering**, v. 57, p. 336–341, 2013.

PEREIRA, I. M.; GONZAGA, A. P. D.; MACHADO, E.L. M.; OLIVEIRA, M.L. R.; MARQUES, I. C. Estrutura da vegetação colonizadora em ambiente degradado por extração de cascalho em Diamantina, MG, **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 77, 2015.

PINHEIRO, C. Q. **Avaliação da recuperação da cascalheira do Aeroporto Internacional de Brasília Juscelino Kubitschek: aspectos edáficos, florísticos e ecológicos**. 2008.84f.Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2008.

PIRES, L. F.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; AULER, A. C.; DIAS, N. M. P.; DIAS JUNIOR, M.S; DE ALCANTARA, E. N. Soil physico-hydrical properties changes induced by weed control methods in coffee plantation. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 246, p. 261-268, 2017.

QUINÕES, O. R. G.; INDA JUNIOR, A. V.; GIASSON, E.; BISSANI, C. A.; DICK, D. P. Características de solos construídos após mineração de carvão relacionadas ao processo de construção e à composição do material utilizado, **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1564–1571, 2008.

RAI, A. K.; PAUL, B.; SINGH, G. A study on physico chemical properties of overburden dump materials from selected coal mining areas of Jharia coalfields, Jharkhand, India, **International Journal of Environmental Sciences**, v. 1, n. 6, p. 1350–1360, 2011.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares, **Ciliares Conservação e Recuperação**, v.1, p. 235-247, 2004.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON,

- I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils, **Soil & Tillage Research**, v. 102, p. 242-254, 2009.
- RÜCKNAGEL, J.; CHRISTEN, O.; HOFMANN, B.; ULRICH, S. A simple model to estimate change in precompression stress as a function of water content based on the basis of precompression stress at field capacity, **Geoderma**, v. 177–178, p. 1–7, 2012.
- SCHROEDER, P. D.; DANIELS, W. L.; ALLEY, M. M. Chemical and physical properties of reconstructed mineral sand mine soils in Southeastern Virginia, **Soil Sciences**, v. 175, p. 2–9, 2010.
- SHADU, K.; ADHIKARI, K.; GANGOPADHYAY, A. Effect of mine spoil on native soil of Lower Gondwana coal fields: Raniganj coal mines areas, India, *International Journal of Environmental Sciences*, v. 2, n.3, p. 1675-1687, 2012.
- SHRESTHA R. K.; LAL, R. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation, **Geoderma**, v. 161, p. 168-176, 2011.
- SINNETT D.; POOLE J.; HUTCHINGS T. R. A comparison of cultivation techniques for successful tree establishment on compacted soil, **Forestry**, v. 81, p. 663–679, 2008.
- SILVA, L. C. R.; CORRÊA, R. S. Evolução da qualidade do substrato de uma área minerada no cerrado revegetada com *Stylosanthes* spp, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.835 841, 2010.
- SILVA, A. P. M.; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração. **Caderno de Diagnostico**, 41 p. 2011.
- SILVA, A. P. M.; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 46p. 2012.
- SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; IORI, P.; SILVA, F. A. M.; FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. B.; SOUZA, Z.M. Prediction of soil shear strength in agricultural and natural environments of the Brazilian Cerrado, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.1, p.82-91, jan. 2015.
- STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; SPINELLI, L. F. Soil aggregation and root growth of perennial grasses in a constructed clay minesoil, **Soil & Tillage Research**, v. 161, p.71-78, 2016.
- SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R. Estimativa da susceptibilidade de à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.963-973, 2008.
- TASSINARI, D. Parâmetros físicos e mecânicos de solos em áreas alteradas pela mineração de ferro no município de Sabará, MG. 2015. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D.J.; REICHERT, M.J. Soil compressibility and penetrability of an oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems, **Soil Tillage & Research**, v. 92, p. 104–113, 2007.
- WANG, J.; ZHANG, M.; BAI, Z.; GUO, L. Multi-fractal characteristics of the particle

distribution of reconstructed soils and the relationship between soil properties and multi-fractal parameters in an opencast coal-mine dump in a loess area. **Environ Earth Science**, v. 73, p. 4749-4762, 2015.

WICK, A. F.; STAHL, P. D.; INGRAM, L. J.; VICKLUND, L. Soil aggregation and organic carbon in short-term stockpiles. **Soil Use and Management**, Inglaterra, v.25, n.3, p.311-319, 2009.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM ÁREAS DE EXPLORAÇÃO MINERAL NO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO – MG¹

Carolline Vargas e Silva², Diego Tassinari², Zélio Resende de Souza², Moacir de Souza
Dias Junior³

¹Parte da dissertação da primeira autora

²Discentes da Pós-Graduação, Departamento de Ciência do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras - MG

³Professor, Departamento de Ciência do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras- MG

RESUMO

A recuperação de áreas degradadas pós-mineração é fundamental para a sustentabilidade do meio ambiente. A organização de práticas de manejo e pesquisas sobre os atributos físicos desses solos desempenham um papel significativo nesse processo. Características como textura do solo e densidade de partículas e propriedades físicas como densidade do solo, porosidade e estabilidade de agregados foram avaliados em solos reconstruídos provenientes de mineração de ferro e em vegetação nativa. Os solos construídos apresentaram textura franca-arenosa, enquanto os solos sob vegetação nativa apresentaram textura argilosa. A textura dos solos construídos afetou propriedades físicas como densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e diâmetro médio geométrico de agregados. A densidade do solo e densidade de partículas foram significativamente diferentes entre as camadas de solo, maiores valores foram encontrados nos solos construídos sob pilha de estéril e menores valores sob vegetação nativa. A porosidade total e o diâmetro médio geométrico foram significativamente maiores em solos sob vegetação nativa em comparação aos solos construídos, devido ao efeito da compactação pelas operações de construção das pilhas de estéreis.

Palavras-chave: Densidade do Solo. Estabilidade de Agregados. Pilha de estéril

ABSTRACT

The recovery of degraded areas after mining is fundamental to the sustainability of the environment. The organization of management practices and research on the physical attributes of these soils play a significant role in this process. Characteristics such as soil texture, particle density and physical properties such as soil bulk density, porosity and aggregate stability were evaluated in reconstructed soils from iron mining and in native vegetation. The reconstructed soils had a sandy-loamy texture, while the soils under native vegetation had a clayey texture. The texture of the built soils affected physical properties such as soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity and geometric mean diameter of aggregates. Soil bulk density and particle density were significantly different among the soil layers, higher values were found in reconstructed soils and lower values under native vegetation. Total porosity and geometric mean diameter were significantly higher in soils under native vegetation compared to reconstructed soils, due to the effect of compaction by the construction operations of the waste dumps.

Keywords: Soil Bulk Density. Aggregate Stability. Waste dumps.

1 INTRODUÇÃO

Considerada uma das bases da economia nacional, a mineração ocupa atualmente 0,5% de todo o território brasileiro (IBRAM, 2018). Embora a exploração dos bens não-renováveis impulse o desenvolvimento econômico e social, esta atividade é geradora de impactos ambientais, que acarretam ao ecossistema a redução de sua capacidade de autorregulação e renovação (MACHADO et al., 2014).

No Brasil, a norma NBR 13029 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT, 2017) especifica os requisitos mínimos para a elaboração de projetos que visem à reabilitação dessas áreas. Contudo, devido aos custos de desenvolvimento e à carência de orientação de profissionais, os processos tecnológicos de remoção do material estéril da área de lavra, seu empilhamento e disposição final nem sempre resultam em um nível adequado de sucesso e eficiência (WANG et al., 2015). Dessa forma, surge o interesse na recuperação de áreas degradadas pela mineração de ferro, relacionado à sustentabilidade e ao êxito no restabelecimento das condições de equilíbrio do meio-ambiente (BAO et al., 2012).

Como visto, o objetivo principal da recuperação é promover nas áreas pós-mineração, condições que garantam sua estabilização (OLATUYI & LESKIW, 2014; CAO et al., 2015). A vegetação desempenha um papel importante na reversão dos processos de degradação (ALDAY et al., 2011; HUANG et al., 2016), pois além de ser fonte de matéria orgânica, protege o solo do impacto da gota d'água da chuva e erosão hídrica (EVANS et al., 2014; PANDEY, 2013).

Para que a revegetação promova o equilíbrio e estabilização desses ambientes, o passo fundamental é a reconstrução das propriedades físicas do solo como textura, densidade e porosidade do solo (STUMPF et al., 2016; SHADU et al., 2012; CHUDY et al., 2014). Portanto, faz-se necessário o estudo de métodos que visem avaliar a qualidade dos solos reconstruídos após mineração e determinar valores de referência dos atributos físicos desses solos, para um gerenciamento criterioso das atividades de recuperação pós-mineração. (SHRESTHA & LAL, 2011).

O objetivo deste trabalho foi avaliar características e propriedades físicas em solos construídos de mineração de ferro e de vegetação nativa como referência situados no município de Brumadinho – MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Mina do Córrego do Feijão – Vale S.A. situada na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, município de Brumadinho, estado Minas Gerais, iniciou sua atividade em 1956 por meio da Cia de Mineração Ferro e Carvão e desde 2003, vem sendo dirigida pela Vale S.A. A aproximadamente sete anos, as atividades da mina foram encerradas e a área foi reabilitada e revegetada com gramíneas, que possuem sistema radicular agressivo. O trabalho foi desenvolvido utilizando-se amostras de solos de Latossolos Vermelhos-Amarelos de textura argilosa sob vegetação nativa (Floresta Estacional Semidecidual - FL), constituídos por fragmentos de rocha granítica bastante decompostos (saprolito) e amostras de solos de pilhas de estéreis (PE), vegetadas com Capim-colônia (*Panicum maximum*) e Lobeira (*Solanum lycocarpum*), compostos por fragmentos de itabirito, hematita, petroplintita e quartzo (COELHO et al., 2017). O clima da região é classificado como Sub-tropical úmido segundo Köppen, caracterizado por um regime pluviométrico tropical, com precipitação total média anual de 1.734,3 mm. A temperatura média anual é de 20,5°C (máxima: 22,0 °C; mínima: 16,5°C) e umidade relativa média anual é de 75,5%.

Foram traçados transectos sobre os quais foram demarcados cinco pontos de coleta em cada área, dispostos em topossequência, desde o terço superior até inferior. Em cada ponto, três amostras deformadas de solo foram coletadas nas camadas 0-10, 10-20, 20-30 cm, totalizando 45 amostras por área (5 pontos de coleta x 3 profundidades x 3 repetições). A Figura 1 possibilita a visualização da localização dos pontos amostrais nas áreas de estudo.

Amostras deformadas (torrões) de solo foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e lacrados, posteriormente, secos ao ar, destorroados e passados em peneira de 8,0, 4,75 e de 2 mm de abertura de malha para obtenção de agregados (material que passou na peneira de 8,0 e retido na de 4,75 mm) e terra fina seca ao ar (TFSA, fração menor que 2,0 mm), os quais foram submetidos às análises laboratoriais.

Figura 1 - Mina Córrego do Feijão, Brumadinho - MG. (a). Pilha de Estéril vegetada com Capim- colônião (*Panicum maximum*) e Lobeira (*Solanum lycocarpum*) (b). Vegetação Nativa (c).



Fonte: Do autor (2016).

Para a análise textural, dez gramas de solo foram dispersos em 10 mL de NaOH 1,0 M e agitado mecanicamente em aparato de baixa rotação (30 rpm) por 16 h (GEE & BAUDER, 1986). A fração argila foi separada por sedimentação, sendo o tempo definido de acordo com a lei de Stokes. A fração areia, retida em peneira com malha de 53 μm , após secagem (105- 110 $^{\circ}\text{C}$) e pesagem foi subdividida nas subfrações, areia grossa (AG) e areia fina (AF) com peneira de malha de 0,25 mm. A fração silte foi obtida por diferença. A densidade de partículas foi determinada pelo método do picnômetro empregando-se água destilada desaerada (BLAKE & HARTGE, 1986a) e o teor de carbono orgânico total do solo (COT) pelo método de combustão úmida com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (FONTANA et al., 2017). Resultados de COT podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1- Valores de carbono orgânico total (COT) dos solos das áreas de estudo (vegetação nativa e pilha de estéril) nas camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm localizados na Mina do Córrego do Feijão.

Ambiente	Camada cm	COT g kg⁻¹
Vegetação Nativa	0-10	26,2
Vegetação Nativa	10-20	17,4
Vegetação Nativa	20-30	12,5
Pilha de Estéril	0-10	2,3
Pilha de Estéril	10-20	1,9
Pilha de Estéril	20-30	1,7

Para a determinação da estabilidade de agregados em água, foram pesadas amostras de 25 g, que foram pré-umedecidas em leite de areia e colocadas em jogo de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50, 0,25 e 0,105 mm, e submetidas à agitação na água no aparelho de Yooder, durante 15 minutos (KEMPER & ROSENAU, 1986). Após o tempo determinado, o material retido em cada peneira foi retirado separadamente, com o auxílio de jato d'água e colocado em latas previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa por 48 horas a 105- 110 °C e posteriormente calculado o diâmetro médio geométrico (DMG).

Para a determinação da porosidade total, as amostras indeformadas coletadas em cilindros metálicos com auxílio do amostrador de Uhland (15 amostras para cada área de estudo) foram saturadas em uma bandeja com água até dois terços da altura correspondente à altura do anel volumétrico, durante 48 horas e então submetidas à tensão de 6 kPa para determinação da microporosidade (GROHMANN, 1960; OLIVEIRA, 1968). A porosidade total (PT) foi calculada a partir da relação entre densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) e a macroporosidade, pela diferença da porosidade total e microporosidade (DANIELSON & SUTHERLAND, 1986). Após os ensaios, as amostras foram levadas à estufa (105 - 110 °C) para a secagem.

Em seguida, foi efetuada a pesagem das amostras para determinação da

microporosidade e da densidade do solo, que foi calculada a partir da relação da massa de solo seco e do volume do anel volumétrico (BLAKE & HARTGE, 1986b).

As análises de variância e a comparação das médias foi feita pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) através do software RStudio (RStudio Team, 2015), empregando-se o pacote “Scott-Knott” (JELIHOVSCHI et al., 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A textura do solo das áreas estudadas apresentou diferenças estatísticas (TABELA 2). Maior teor de argila foi observado na vegetação nativa (em média 418 g g⁻¹), na qual o solo foi classificado como argiloso (EMBRAPA, 2018). Nos solos construídos, os teores de areia foram maiores quando comparados à vegetação nativa (em média 444 g g⁻¹) e a classificação textural do solo foi franco-arenosa. Como esses solos são relativamente jovens, os teores de silte também apresentaram maiores valores nas diferentes camadas dos solos construídos, sendo próximos a 350 g g⁻¹.

Tabela 2- Valores médios das características físicas dos solos das áreas de estudo.

Ambiente	Camada (cm)	Dp g cm ⁻³	Argila g g ⁻¹	Areia total g g ⁻¹	Areia grossa g g ⁻¹	Areia fina g g ⁻¹	Areia F/G g g ⁻¹	Silte g g ⁻¹
FL	0-10	2,59 B	426 A	344 Ba	138 Ba	206 B	1,59 Ba	231 B
FL	10-20	2,63 B	418 A	335 Bb	121 Bb	214 B	1,82 Ba	247 B
FL	20-30	2,62 B	411 A	334 Bb	126 Bb	207 B	1,72 Ba	256 B
PE	0-10	3,37 A	189 B	463 Aa	163 Aa	301 A	1,89 Ab	348 A
PE	10-20	3,51 A	214 B	444Ab	133Ab	312 A	2,34 Aa	342 A
PE	20-30	3,44 A	234 B	425Ab	122 Ac	303 A	2,51 Aa	342 A

FL: Vegetação Nativa; PE: Pilha de Estéreis. As letras maiúsculas comparam as áreas de estudo dentro da mesma camada de solo ($p < 0,05$, teste de Skott-Knott). Letras minúsculas comparam camadas de solo ($p < 0,05$ teste de Skott-Knott) dentro da mesma área de estudo.

Segundo RESENDE et al. (2015) a fração silte é indicativa do grau de intemperização do solo, além de desempenhar importante papel quanto ao encrostamento do solo, o qual consiste em uma camada que tende a se dispor em forma de lâminas, dificultando a infiltração de água. Diante desta perspectiva, as frações com maior potencialidade à erosão são as frações areia e silte, sobretudo, areia fina, pois não possuem alta capacidade de agregação, o

inverso com a argila, que é a fração mais difícil de remoção, pois possui maior capacidade de agregação, devido a sua maior superfície de contato (PEREIRA et al., 2016).

A principal preocupação na reconstrução do solo é restaurar suas propriedades físicas (PAULETTO et al., 2016), e sabe-se que a textura de solos construídos está intimamente relacionada com o material utilizado no processo de construção dessas áreas. Os solos construídos da área de estudo, por serem constituídos por fragmentos de itabirito, petroplintita e quartzo (COELHO et al., 2017), apresentaram textura mais grosseira.

Resultados semelhantes foram encontrados por MORALES et al., (2015) e WANG et al., (2015) que constataram que as características físicas e morfológicas dos solos construídos dependem da variabilidade herdada dos materiais geológicos e dos diferentes processos de fragmentação das rochas durante a extração e beneficiamento de minério de ferro, que levam a um decréscimo da fração argila e aumento de fragmentos grosseiros como areia e cascalho.

CHARTIER et al., (2013) e MARTÍN DUQUE et al., (2015), avaliaram atributos físicos em áreas degradadas pela mineração e também observaram redução no teor de argila nas áreas mineradas. Os pesquisadores apontam que essa característica é esperada em locais de deposição de estéril onde a cobertura vegetal foi removida, o que contribui para suscetibilidade dos solos à erosão.

Como visto, os solos da Mina de Córrego do Feijão foram construídos com uma quantidade considerável de materiais com presença de fragmentos de rocha granítica bastante decompostos e ferruginosos, como saprolito de itabirito e hematita (COELHO et al., 2017). Por essa característica aliada à mineralogia, as pilhas de estéreis apresentaram diferença estatística em relação à densidade de partícula (TABELA 3), os valores elevados são por influência dos minerais presentes de elevada densidade. Esses minerais pesados são constituídos principalmente por oxihidróxidos de ferro, como a hematita, cuja densidade é de $5,26 \text{ g cm}^{-3}$, e goethita, com $4,26 \text{ g cm}^{-3}$ (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989).

Os valores médios das propriedades físicas dos solos das áreas de estudos podem ser vistos na Tabela 3. A densidade do solo foi significativamente afetada pela mineração, sendo menor nas diferentes camadas da vegetação nativa ($0,86 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,10 \text{ g cm}^{-3}$) e maior nas camadas dos solos construídos ($1,49 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,67 \text{ g cm}^{-3}$).

Tabela 3 - Média das propriedades físicas dos solos das áreas de estudo.

Ambiente	Camada cm	Ds g cm ⁻³	Pt m ³ m ⁻³	Ma m ³ m ⁻³	Mi m ³ m ⁻³	DMG mm
FL	0-10	0,86 Bb	0,67 Aa	0,38 Aa	0,29 Bb	4,74 A
FL	10-20	1,05 Bb	0,60 Aa	0,25 Ab	0,35 Ba	4,66 A
FL	20-30	1,10 Ba	0,58 Ab	0,22 Ab	0,36 Ba	4,45 A
PE	0-10	1,49 Aa	0,56 Bb	0,20 Ba	0,36 Ab	3,80 B
PE	10-20	1,62 Aa	0,54 Bb	0,17 Ba	0,37 Aa	4,00 B
PE	20-30	1,67 Aa	0,51 Bb	0,11 Ba	0,40 Aa	3,56 B

FL: Vegetação Nativa; PE: Pilha de Estéreis. As letras maiúsculas comparam as áreas de estudo dentro da mesma camada de solo ($p < 0,05$, teste de Skott-Knott). Letras minúsculas comparam camadas de solo ($p < 0,05$ teste de Skott-Knott) dentro da mesma área de estudo.

A densidade do solo é um importante atributo físico que reflete no arranjo das partículas do solo (LIU et al., 2013; STUMPF et al., 2014), e o movimento repetido de equipamentos pesados usados tanto para remover o material estéril da área de lavra, como para recomposição topográfica contribuem para seu aumento. Segundo SHRESTHA & LAL, (2011), solos construídos sob pilhas de estéreis tendem a apresentar maior densidade do solo e menor porosidade total, devido ao efeito do maquinário pesado e também devido à mistura de partículas de diferentes tamanhos que preenchem os espaços vazios.

Observa-se que nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm de vegetação nativa (TABELA 3) todos os valores médios de Ds foram inferiores à 1,10 g cm⁻³. Há indicações da existência de limites críticos de densidade do solo ao crescimento radicular, mas esses limites são variáveis devido à diversidade de materiais presentes em solos afetados pela mineração e às peculiaridades de cada região. Porém, mesmo que os dados observados nas camadas subsuperficiais dos solos construídos apresentaram valores médios de Ds superiores, não restringiram o desenvolvimento radicular das gramíneas nas pilhas de estéreis. Esses resultados corroboram com os encontrados por STUMPF et al., (2016) que observaram na avaliação da condição física e potencialidade de um solo construído após mineração, valores críticos para densidade do solo e baixo teor de matéria orgânica, apesar da alta densidade radicular das gramíneas na área de estudo.

A porosidade total dos solos sob vegetação nativa foi maior em relação aos solos construídos sob pilhas de estéreis (TABELA 3). Em geral, solos que apresentam menor Ds e maior PT, apresentam maior macroporosidade. A macroporosidade dos solos construídos sob pilhas de estéreis diferiu estatisticamente dos solos sob vegetação nativa, apresentando menores valores médios. O valor de macroporosidade de 0,10 m³ m⁻³ adotado como referencial da qualidade física do solo (KIEHL, 1979), mostra que condições ideais foram

verificadas nos solos construídos ($0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. No entanto, na camada de 20-30 cm verificou-se o valor de $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporos, próximo ao limite crítico citado. Quanto à microporosidade, importante para retenção e armazenamento de água, as camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm dos solos reconstruídos apresentaram maiores valores médios em relação às camadas dos solos sob vegetação nativa.

Para WANG et al., (2015), a macroporosidade desempenha um papel fundamental no transporte e armazenamento de água e nutrientes, podendo ser usado como um indicador da qualidade do solo. Em seus estudos sobre os efeitos da mineração na distribuição de macroporos no solo, constataram que a macroporosidade em solos construídos, atingiu o limite crítico devido à compactação causada pelo maquinário pesado.

A estabilidade de agregados foi significativamente diferente entre solos sob vegetação nativa e solos construídos (TABELA 3). O diâmetro médio geométrico foi significativamente maior sob vegetação nativa em comparação aos solos construídos, em todas as camadas. O maior conteúdo de carbono orgânico total dos solos sob vegetação nativa em relação aos solos construídos (TABELA 1), pode explicar essa diferença, já que a matéria orgânica auxilia na agregação, aeração e retenção de água no solo, criando condições favoráveis ao sistema edáfico (HERNANI & PADOVAN, 2014; YUAN et al., 2018).

4 CONCLUSÕES

Os solos construídos apresentaram textura franca-arenosa, enquanto os solos sob vegetação nativa apresentaram textura argilosa. A textura dos solos construídos afetou propriedades físicas como densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e diâmetro médio geométrico de agregados.

A densidade do solo e densidade de partículas foram significativamente diferentes entre as camadas de solo, maiores valores foram encontrados nos solos construídos sob pilha de estéril e menores valores sob vegetação nativa.

A porosidade total e o diâmetro médio geométrico foram significativamente maiores em solos sob vegetação nativa em comparação aos solos construídos, devido ao efeito da compactação pelas operações de construção das pilhas de estéreis.

REFERÊNCIAS

- ALDAY, J.; MARRS, R., MARTINEZ-RUIZ, C. Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors, **Applied Vegetation Science**, v. 14, n. 1, p. 84-94, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13029**: Mineração -- Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. 2017
- BAO, N.; YE, B.; BAI, Z. Rehabilitation of vegetation mapping of ATB opencast coal-mine based on GIS and RS, **Sensor Letters**, v. 10, n.1-2, p.287-393, 2012.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. ASA. Madison, WI, p. 377 – 382,1986a.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. ASA. Madison, WI, p. 363 – 376,1986b.
- CAO, Y.; WANG, J.; BAI, Z.; ZHOU, W.; ZHAO, Z.; DING, X.; LI, Y. Differentiation and mechanisms on physical properties of reconstructed soils on open-cast mine dump of loess area, **Environ Earth Science**, v. 74, p. 6367-6380, 2015.
- CHARTIER, M. P.; ROSTAGNO, C. M.; VIDELA, L. S. Selective erosion of clay, organic carbon and total nitrogen in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina, **Journal of Arid Environments**, v.88, p.43-49, 2013.
- CHUDY, K.; MARSZALEK, H.; KIERCZAK, J. Impact of hard-coal waste dump on water quality — A case study of LudwikowiceKłodzkie (NowaRuda Coalfield, SW Poland), **Journal of Geochemical Exploration**, v. 146, p. 127–135, 2014.
- COELHO, M, R., VASQUES, G. M, TASSINARI, D. SOUZA, Z. R.; OLIVEIRA, A. P.; MOREIRA, F. M. S. **Solos do Quadrilátero Ferrífero sob Diferentes Coberturas Vegetais e Materiais de Origem**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 130 p. 2017.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy. v.1, p.443-461, 1986.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2018.
- EVANS, D. M.; ZIPPER, C. E.; DONOVAN, P. F.; DANIELS, W. L. Long-term trends of specific conductance in waters discharged by coal-mine valley fills in central Appalachia, USA, **Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, p. 1449-1460, 2014.
- FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573 p. 2017.
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle fractionation and particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis Part. 1: Physical and Mineralogical Methods**. 2. Ed. Madison: ASA/SSSA, p. 383 – 412, 1986.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo, **Bragantia**, v. 19, n. 21, p. 319-328, 1960.

HERNANI, L. C.; PADOVAN, M. P. Adubação verde na recuperação de solos degradados. In: Lima Filho, O.F.; Ambrosano, E.J.; Rossi, F.; Carlos, J.A.D (Eds). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, p. 372-398, 2014.

HUANG, M., ZETTL, J. D.; BARBOUR, S. L.; PRATT, D. Characterizing the spatial variability of the hydraulic conductivity of reclamation soils using air permeability, **Geoderma**, v. 262, p. 285-293, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. Relatório anual de atividades, 36 p.2018.

JELIHOVSCHI,E.G.;FARIA,J.C.;ALLAMANB.ScottKnott:APackageforPerforming the Scott-Knott Clustering Algorithm in R. **Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**, v. 15, n. 1, p. 3-17,2014.

KIEHL, E.L. **Manual de edafologia**. São Paulo, Ceres, p. 262, 1979.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, v.1, p. 499-509, 1986.

LIU, M.Y.; GAO, Y., WANG, J.; JIN, Y. C., GONG, P. The variation characteristics of soil carbon and nitrogen content in mining reclaimed land, **Soil and Water Conservation**, v. 20, p. 94-97, 2013.

MACHADO, D. F. T.; CONFESSOR, J. G.; RODRIGUES, S. C. Processo inicial de Recuperação de área degradada a partir de intervenções físicas e utilização de leguminosas, **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 42–54, 2014.

MARTÍN DUQUE, J. F.; ZAPICO, I.; OYARZUN, R.; LÓPEZ GARCÍA, J. A.; CUBAS, P. A descriptive and quantitative approach regarding erosion and development of landforms on abandoned mine tailings: New insights and environmental implications from SE Spain, **Geomorphology**, v.239, p.1–16, 2015.

MORALES, M. A, MARTINEZ. D.; GARCIA-MEZA, J. V.; LABASTIDA I.; ARMIENTAM. A.; RAZO I.; LARA R.H. Total and bioaccessible arsenic and lead in soils impacted by mining exploitation of Fe-oxide-rich ore deposit at Cerro de Mercado, Durango, Mexico, **Environ Earth Science**, n. 73, p. 3249–3261, 2015.

OLATUYI, A. S. O.; LESKIW, L. A. Long-term changes in soil salinity as influenced bysubsoil thickness in a reclaimed coal mine in east-central, **Canadian Journal of Soil Science**, v. 94, p. 605-620, 2014.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3, p. 197-200, 1968.

- PANDEY, V. C. Suitability of *Ricinus communis L.* cultivation for phytoremediation of flyash disposal sites, **Ecological Engineering**, v. 57, p. 336–341, 2013.
- PAULETTO, E. A.; STUMPF, L.; PINTO, L. F. S.; SILVA, T. S.; AMBUS, J. V.; GARCIA, G. F.; DUTRA JUNIOR, L. A.; SCHEUNEMANN, T.; ALBERT, R. P. Reclamation of a Degraded Coal-Mining Area with Perennial Cover Crops, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-13, 2016.
- PEREIRA, L. S. ; SANTOS, R. C.; POLIVANOV, H.; JORGE, M. C. O. ; GUERRA, A. J. T. Associação do grau de intemperismo do solo com os processos erosivos por meio da identificação dos argilominerais, **XI SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia - UGB - União da Geomorfologia Brasileiro**, 2016.
- RESENDE, M.; CURI, N.; OLIVEIRA, J. B.; KER, J. C. **Pedologia: Fundamentos: Princípios da classificação dos solos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 343p. 2015.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R. M. Iron Oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, p.379- 438, 1989.
- SHADU, K.; ADHIKARI, K.; GANGOPADHYAY, A. Effect of mine spoil on native soil of Lower Gondwana coal fields: Raniganj coal mines areas, India, **International Journal of Environmental Sciences**, v. 2, n.3, p. 1675-1687, 2012.
- SHRESTHA R. K.; LAL, R. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation, **Geoderma**, v. 161, p. 168-176, 2011.
- STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; CASTRO, R. C.; PINTO, L. F.S.; FERNANDES, F. F.; BARBOZA, F. S.; FRANCO, A. M. P., GONÇALVES, F. C. Structure of a constructed soil cultivated with different species of poaceae, **Ciência Rural**, v. 39, p. 2171-2177, 2014.
- STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; SPINELLI, L. F. Soil aggregation and root growth of perennial grasses in a constructed clay minesoil, **Soil & Tillage Research**, v. 161, p.71-78, 2016.
- WANG, J.; ZHANG, M.; BAI, Z.; GUO, L. Multi-fractal characteristics of the particle distribution of reconstructed soils and the relationship between soil properties and multi-fractal parameters in an opencast coal-mine dump in a loess area. **Environ Earth Science**, v. 73, p. 4749-4762, 2015.
- YUAN, Y.; ZHAO, Z.; LI, X.; WANG, Y.; BAI, Z. Characteristics of labile organic carbon fractions in reclaimed mine soils: Evidence from three reclaimed forests in the Pingshuo opencast coal mine, China, **Science of the Total Environment**, v. 613–614, p.196–1206, 2018.

ARTIGO 2**MODELAGEM DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE SOLOS EM
ÁREAS DE EXPLORAÇÃO MINERAL NO MUNICÍPIO DE BRUMADINHO – MG¹**

Carolline Vargas e Silva², Diego Tassinari², Zélio Resende de Souza², Moacir de Souza Dias
Junior³

¹Parte da dissertação da primeira autora

²Discentes da Pós-Graduação, Departamento de Ciência do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras - MG

³Professor, Departamento de Ciência do Solo (DCS), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras- MG

RESUMO

A compactação do solo é um processo comum em solos construídos pós-mineração, em decorrência ao tráfego de máquinas pesadas utilizadas para transportar grandes volumes de materiais durante as etapas de extração e deposição. A pressão de pré-consolidação é um parâmetro mecânico eficiente para avaliar a qualidade física do solo, inclusive dos solos construídos pós-mineração. Neste trabalho foi determinado a pressão de pré-consolidação em pilhas de estéreis provenientes de mineração de ferro e em vegetação nativa, para quantificação da capacidade de suporte de carga. Os solos construídos sob pilhas de estéreis apresentaram maior capacidade de suporte de carga em relação à mata nativa, devido às próprias características do material grosseiro com presença de fragmentos de rocha granítica bastante decompostos e ferruginosos, com valores de pressão de pré-consolidação variando de 313,2 kPa a 361,5 kPa no potencial matricial de - 1500 kPa. Em geral, os modelos de capacidade de suporte de carga dos solos construídos sob pilha de estéril apresentaram valores de pressão de pré-consolidação maiores, em relação aos solos sob vegetação nativa.

Palavras-chave: Compactação do Solo. Pressão de pré-consolidação. Recuperação de áreas mineradas.

ABSTRACT

Soil compaction is a common process in post-mining soils due to the traffic of heavy machinery used to transport large volumes of material during the extraction and deposition stages. Precompression pressure is an efficient mechanical parameter to evaluate the physical quality of the soil, including the soils constructed after mining. In this work, the precompression pressure was determined in sterile piles from iron mining and in native vegetation, to quantify the load bearing capacity. Soils built under sterile piles had a higher load bearing capacity than the native forest, due to the characteristics of the coarse material with the presence of highly decomposed and ferruginous granite rock fragments, with precompression pressure values varying from 313.2 kPa at 361.5 kPa at the water potential of - 1500 kPa. In general, load bearing capacity models of soils constructed under sterile piles presented higher precompression pressure values in relation to soils under native vegetation.

Keywords: Soil Compaction. Precompression pressure. Recovery of mining areas.

1 INTRODUÇÃO

A indústria mineral brasileira formada pelos segmentos empresariais de exploração e mineração, tem oferecido matérias-primas suficientes para expansão da economia, em decorrência às demandas mundiais por minério de ferro (MME, 2016). Em 2017, este importante setor atingiu US\$ 28,3 bilhões do valor de sua produção, representando 16,7% do PIB industrial e 30% do saldo da balança comercial do Brasil (IBRAM, 2018).

Entretanto, a exploração dos recursos naturais relacionada às atividades de mineração implica em alterações na topografia e regime hidrológico da área, afetando diretamente as propriedades físicas do solo (KODZIEF et al., 2016), devido à remoção da cobertura vegetal, solo e rocha no processo de extração (ZHANG et al., 2015). Além disso, a disposição inadequada de materiais estéreis, os quais são descartados em pilhas de taludes durante as etapas de produção do minério (LAHMIRA et al., 2017), promove a segregação de partículas, camadas alternadas com diferentes tamanhos de partículas e formação de camadas compactadas (MUKHOPADHYAY et al., 2014).

Os solos construídos de minas são relativamente jovens e se desenvolvem a partir de uma mistura de rochas fragmentadas e solo (CAO et al., 2015) e como visto, são solos compactados em decorrência ao movimento repetido de equipamentos pesados utilizado para transportar grandes volumes de materiais (VILLENEUVE et al., 2017). O desafio é a melhoria do conhecimento e compreensão sobre o comportamento dinâmico desses processos sobre o solo e os impactos das práticas de gestão nesses processos, que é fundamental para determinar a sustentabilidade e manejo do solo (BITENCOURT et al., 2015).

Dessa forma, as propriedades mecânicas dos solos desempenham um papel importante no planejamento da sustentabilidade estrutural desses solos (RAMAIAH et al., 2017). Dentre as alternativas, a pressão de pré-consolidação (σ_p) vem sendo largamente pesquisada na avaliação dos diversos efeitos da compactação e na redução dos problemas de degradação física dos solos (ANDRADE et al., 2017; PIRES et al., 2017; MARTINS et al., 2018; SILVA et al., 2015; IORI et al., 2012a; IORI et al., 2012b).

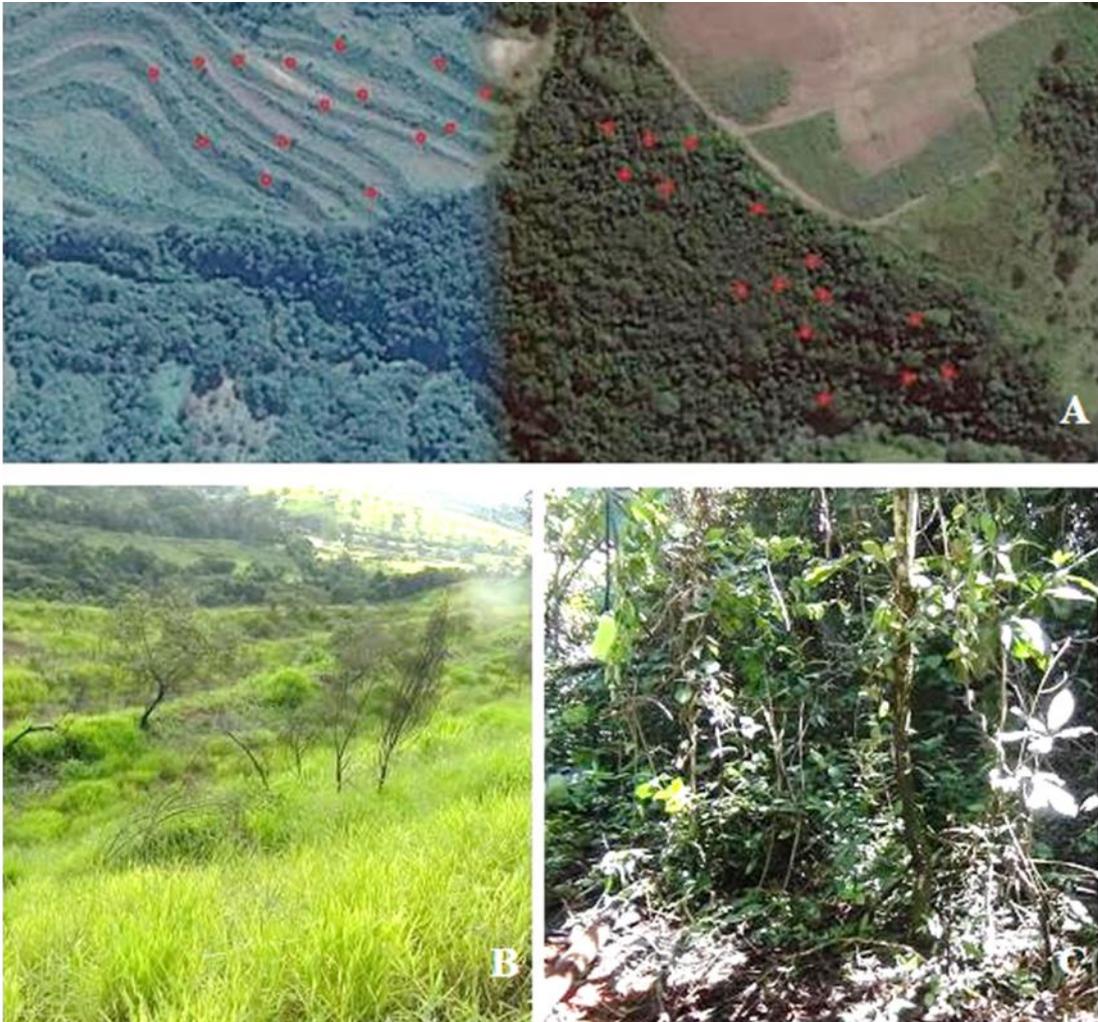
O objetivo deste trabalho foi determinar a pressão pré-consolidação em solos reconstruídos provenientes de mineração de ferro e em vegetação nativa para quantificação da capacidade de suporte de carga.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Mina do Córrego do Feijão, área pertencente à Vale S.A., situada na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, município de Brumadinho, estado Minas Gerais, inserida na Mata Atlântica com vegetação secundária de Floresta Estacional Semidecidual. A área total impactada é de 237,83 ha, restringindo-se às áreas de cava, pilhas, barragens, acessos e diques (IEF, 2013). As atividades da mina iniciaram-se em 1956 por meio da Cia de Mineração Ferro e Carvão. Em 1973, o seu controle foi passado para a Ferteco Mineração e a partir de 2003, vem sendo dirigida pela companhia Vale S.A. A Mina do Córrego do Feijão está desativada desde 2003 (SEMAD, 2011). O solo da região de estudo é classificado conforme COELHO et al., (2017), como Latossolo Vermelho-Amarelos de textura argilosa.

O clima da região é classificado como Sub-tropical úmido segundo Köppen, caracterizado por um regime pluviométrico tropical, com precipitação total média anual de 1.734,3 mm. A temperatura média anual é de 20,5°C (máxima: 22,0 °C; mínima: 16,5°C) e umidade relativa média anual é de 75,5%. As áreas estudadas foram (i) Floresta Estacional Semidecidual (FL), predomínio de feições fisiográficas representativas de granito-gnáissicos, com relevo de amplitude modesta, constituído por colinas convexas, em geral amplas; e (ii) Pilha de Estéril (PE), área em reabilitação, vegetadas com Capim-colonião (*Panicum maximum*) e Lobeira (*Solanum lycocarpum*). A Figura 1, possibilita visualizar a localização dos pontos amostrais nas áreas de estudo.

Figura 1- Mina Córrego do Feijão, Brumadinho - MG. (a). Pilha de Estéril vegetada com Capim-colonião (*Panicum maximum*) e Lobeira (*Solanum lycocarpum*) (b). Vegetação Nativa (c).



Fonte: Do autor (2016).

As amostras indeformadas foram coletadas em cilindros metálicos (anéis volumétricos com 6,4 cm de diâmetro de 2,5 cm de altura aproximadamente) com auxílio do amostrador de Uhland em cada área de estudo (Figura 1). Foram traçados transectos sobre os quais foram demarcados cinco pontos de coletas em cada área, dispostos em topossequência, desde o terço superior até inferior. Em cada ponto, 5 amostras indeformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, totalizando 135 amostras por área (15 pontos de coleta x 3 profundidades x 3 repetições). Para preservar a integridade das amostras indeformadas desde o momento da coleta até a realização do ensaio de compressão uniaxial no laboratório, todas as

amostras foram embaladas em filme plástico e parafinadas no campo para evitar perda de umidade e preservação da estrutura.

As amostras passaram por um processo de preparação, sendo retirados o filme plástico e o excesso de solo dos anéis volumétricos, de maneira que o volume do solo a ser avaliado correspondesse ao volume do anel. Com o excesso de solo retirado dos anéis, foram realizadas análises de caracterização física, dentre elas: análise textural, pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986) e densidade de partículas (BLAKE & HARTGE, 1986a), e química: teor de carbono orgânico total do solo (COT) pelo método de combustão úmida com K₂Cr₂O₇ (FONTANA et al., 2017). Esses resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Análise textural do solo, densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds) e teor de carbono orgânico total no solo (COT) das diferentes camadas (0-10, 10- 20 e 20-30 cm) das áreas de estudo avaliadas.

Ambiente	Camada (cm)	Dp g cm ⁻³	Argila	Areia Total	Areia grossa g g ⁻¹	Areia fina	Silte	COT g kg ⁻¹	Ds g cm ⁻³
Floresta Nativa	0-10	2,59	426	344	138	206	231	26,2	0,86
Floresta Nativa	10-20	2,63	418	335	121	214	247	17,4	1,05
Floresta Nativa	20-30	2,62	411	334	126	207	256	12,5	1,10
Pilha de Estéril	0-10	3,37	189	463	163	301	348	2,3	1,49
Pilha de Estéril	10-20	3,51	214	444	133	312	342	1,95	1,62
Pilha de Estéril	20-30	3,44	234	425	122	303	342	1,7	1,67

Para a elaboração do modelo de capacidade de suporte de carga, as amostras indeformadas coletadas foram inicialmente saturadas por capilaridade por 24h e equilibradas nos potenciais matriciais ($-\psi_m$): 6, 100, 1500 kPa. O potencial matricial de 6 kPa foi obtido utilizando-se unidade de sucção com funis de Buchner (GROHMANN, 1960) e os demais potenciais no extrator de Richards (KLUTE, 1986), equipamento composto por placas de cerâmicas porosas cuja extração de água ocorre por diferença de potencial entre a placa e amostra de solo. Após atingir o equilíbrio foi determinado a massa de solo úmido e

posteriormente as amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, usando Consolidômetro S-450 Terraload Consolidometer (Durham GeoEnterprises, USA), onde foram aplicadas em cada amostra, através de ar comprimido: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa de pressão, em sequência e sem descompressão (DIAS JUNIOR & MARTINS, 2017).

Para a determinação da relação entre a carga aplicada e a deformação na amostra durante o teste de compressão, a taxa de deformação na forma de leitura do mostrador foi avaliada nos tempos decorridos de 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 15 minutos. Para solos brasileiros, estabeleceu-se que 15 minutos são suficientes para atingir os 90% da deformação máxima em solos parcialmente saturados (TAYLOR, 1984; DIAS JUNIOR et al., 2005). Após os ensaios, as amostras foram levadas à estufa (105 - 110 °C) por 48 horas para a secagem e a massa seca de cada amostra foi obtida. A partir dos valores de massa seca e do volume calculado, para cada pressão aplicada, foram determinados os valores de densidade do solo de cada amostra (BLAKE & HARTGE, 1986b).

A partir do ensaio de compressão uniaxial, foram determinados os valores de pressão de pré-consolidação (σ_p), utilizando uma planilha eletrônica de fluxo livre para determinação dos parâmetros da curva de compressão do solo (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1995). Os modelos de capacidade de suporte de carga foram ajustados em função do potencial matricial (ψ_m), segundo OLIVEIRA et al., (2003):

$$\sigma_p = a + b \ln(-\psi_m)$$

em que: σ_p = pressão de pré-consolidação; a = coeficiente linear; b = coeficiente angular; $-\psi_m$ = potencial matricial do solo.

As análises de regressão para a obtenção dos modelos de capacidade de suporte de carga foram realizadas pelo software RStudio e os modelos foram comparados ao teste de homogeneidade (F) e significância dos coeficientes angular (b) e linear (a), pelo procedimento descrito por SNEDECOR & CROCHRAN (1989).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A homogeneidade das variâncias dos modelos de capacidade de suporte de carga foi testada usando o procedimento de SNEDECOR & COCHRAN (1989). Equações de regressão linear e os coeficientes das regressões não significativos foram agrupadas, sendo então, ajustados um novo modelo considerando todos os valores de σ_p e $-\psi_m$ (TABELA 2). Os modelos de capacidade de suporte de carga (MCSC) nos solos construídos sob pilhas de estéreis não apresentaram diferenças significativas entre suas três camadas analisadas, obtendo-se assim um único MCSC para estas camadas. Esses solos não apresentam horizonte subsuperficiais desenvolvidos, devido à idade da pilha de estéril ser recente (COELHO et al., 2017), dessa forma a amostragem poderia estar localizada dentro das mesmas camadas, o que poderia explicar a falta de diferenças significativa. Em relação aos solos sob vegetação nativa, os modelos das três camadas diferiram entre si e foram mantidos separados.

Tabela 2- Comparação entre os modelos de capacidade de suporte de carga pelo procedimento de SNEDECOR & COCHRAN (1989).

Comparação	Homogeneidade	Intercepto	Coefficiente angular
FL 0-10 x 10-20	H	ns	**
FL 10-20 x 20-30	H	*	ns
FL 0-10 x 20-30	NH	**	*
PE 0-10 x 10-20	H	*	ns
PE 10-20 x 20-30	H	ns	ns
PE 0-10 x (10-20 + 20-30)	H	ns	ns

H: homogêneo; NH: não homogêneo; *: significativo a 5%; **: significativo a 1%.

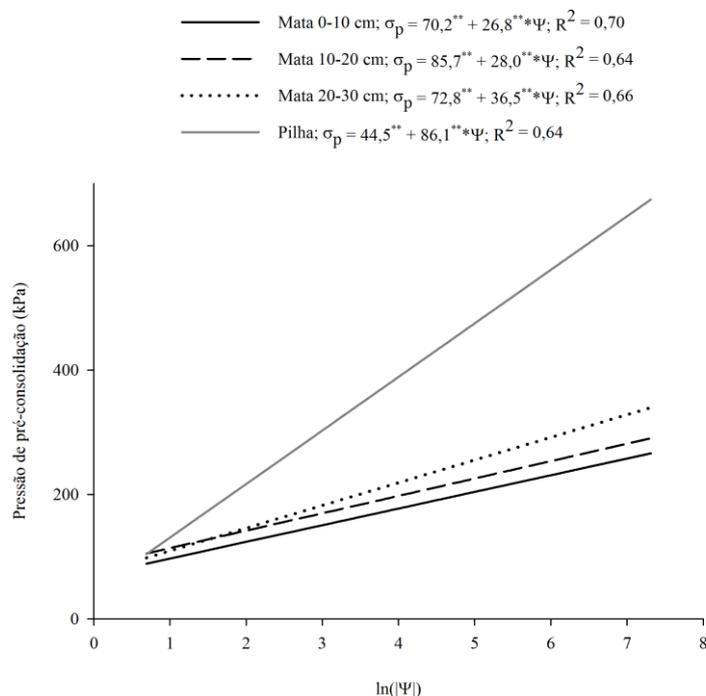
Os coeficientes de determinação para os MCSC variaram entre 0,64 e 0,70 (FIGURA 2). Os parâmetros de ajuste de regressão “a” e “b” variaram, respectivamente, de 44,5 a 85,7 e de 26,8 a 86,1, em todas as camadas. Os valores dos parâmetros “a” foram sempre maiores nos solos sob vegetação nativa, enquanto o parâmetro “b” foram maiores (em valores absolutos) nos solos construídos sob pilhas de estéreis.

Um parâmetro “a” maior, indica maior resistência do solo em diminuir seu volume quando submetidos à pressões em determinada faixa de umidade, sendo superior nos solos com maiores teores de argila (AJAYI et al., 2013). Esses resultados em relação ao solo sob

vegetação nativa, estão relacionados aos atributos físicos do Latossolo, como a alta porosidade e baixa densidade do solo que indicam boas condições da estrutura do solo (BRAGA et al., 2015). Os constituintes mineralógicos da fração argila e o desenvolvimento da macroestrutura granular (FERREIRA et al., 1999) também contribuem para maior compressibilidade do solo.

Em contrapartida, os solos construídos sob pilhas de estéreis apresentaram maiores valores absolutos para o parâmetro “b” (FIGURA 2). De acordo com SEVERIANO et al., (2008) esse comportamento é atribuído a solos com textura mais grosseira, que tendem a apresentar maior densidade do solo, menor coesão entre partículas, portanto, mais propensos à compactação.

Figura 2 - Modelos de capacidade de suporte de carga em função do potencial matricial ($-\psi_m$) em um solo sob vegetação nativa (Mata, 0-10, 10-20 e 20-30 cm) e sob pilha de estéril (Pilha, 0-30cm).



Verificou-se a partir da análise destes modelos (FIGURA 2), que as pressões de pré-consolidação aumentam significativamente em direção aos menores potenciais matriciais ($-\Psi_m$), evidenciando a importância do tráfego de máquinas em menores conteúdos de água, a

fim de evitar compactação adicional (KAMIMURA, et al., 2012; SEVERIANO et al., 2013). CHEN et al., (2017), RAMAIAH et al., (2017) e TASSINARI (2015) avaliaram a qualidade física de solos reconstruídos em pilhas de estéril provenientes de mineração, e concluíram que esses solos sofreram alterações em seus atributos intrínsecos (textura e D_p) e que a densidade do solo também influenciou o comportamento compressivo dos solos ao longo de todas as pressões aplicadas.

Valores médios de umidade e pressão de pré-consolidação dos solos das áreas de estudo nas tensões de 6, 100 e 1500 kPa são apresentados na Tabela 3. Os solos reconstruídos apresentaram maior σ_p em todas as camadas na tensão de -1500 kPa. Em contrapartida, a capacidade de suporte de carga dos solos estudados pode ser considerada baixa sob altos conteúdos de água, isto é, devido ao potencial de água ser um fator determinante no processo de compressão e deformação dos solos (HUANG et al., 2016; KOLODZIEJ et al., 2016). O aumento da umidade do solo reduz o contato entre as partículas, diminuindo as forças entre elas, deixando-as menos coesas por diminuir as forças de ligação entre os agregados, alterando seu estado de consistência e, por sua vez, reduzindo a capacidade de suporte de carga (REICHERT et al., 2010, VILLENEUVE et al., 2017).

Tabela 3– Valores médios de umidade e pressão de pré-consolidação dos solos das áreas de estudo nas tensões de 6, 100 e 1500 kPa.

Ambiente	Camada cm	U. Volumétrica (m ³ m ⁻³)			Pressão de pré-consolidação (kPa)		
		6 kPa	100 kPa	1500 kPa	6 kPa	100 kPa	1500 kPa
FL	0-10	0,510	0,278	0,270	119,9	190,4	268,2
FL	10-20	0,483	0,259	0,264	145,8	194,1	300,6
FL	20-30	0,550	0,232	0,240	124,2	269,8	325,5
PE	0-10	0,411	0,196	0,130	129,9	160,9	313,2
PE	10-20	0,371	0,176	0,138	141,2	196,4	347,0
PE	20-30	0,359	0,183	0,136	128,5	160,6	361,5

FL: Floresta Nativa. PE: Pilha de Estéril.

Solos com maior resistência mecânica podem ser benéficos à trafegabilidade de máquinas que são utilizadas para transportar grandes volumes de materiais, provenientes da mineração de ferro (ALDAY, et al., 2011; BAO et al., 2012; SINGH et al., 2017), pois o acúmulo de pressões que o solo já sofreu devido a esses processos apresentam menor deformação, entretanto, está ligado a maior compactação do solo, o que pode afetar a expansão do sistema radicular das plantas (RÖMKENS & MILLER, 1971) e outros atributos físicos que contribuem para degradação do ambiente (IORI et al., 2013; ZHANG et al., 2015; STUMPF et al., 2018).

4 CONCLUSÕES

Os solos construídos sob pilhas de estéreis apresentaram maior capacidade de suporte de carga em relação à mata nativa, devido às próprias características do material grosseiro com presença de fragmentos de rocha granítica bastante decompostos e ferruginosos.

Em geral, os modelos de capacidade de suporte de carga dos solos construídos sob pilha de estéril obtiveram valores de pressão de pré-consolidação maiores, em relação aos solos sob vegetação nativa.

REFERÊNCIAS

- AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; OLADIPO, I. Compressive response of some agricultural soils influenced by the mineralogy and moisture, **International Agrophysics**, n. 27, p. 239-246, 2013.
- ALDAY, J.; MARRS, R., MARTINEZ-RUIZ, C. Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors, **Applied Vegetation Science**, v. 14, n. 1, p. 84-94, 2011.
- ANDRADE, M. L. C. ; TASSINARI, D. ; DIAS JUNIOR, M. S. ; MARTINS, R. P. ; ROCHA, W. W.; SOUZA, Z. R. Soil compaction caused by harvest and logging operations in eucalyptus forests in coarse-textured soils from northeastern Brazil, **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p. 191-200, 2017.
- BAO, N.; YE, B.; BAI, Z. Rehabilitation of vegetation mapping of ATB opencast coal-mine based on GIS and RS, **Sensor Letters**, v. 10, n.1-2, p.287-393, 2012.
- BITENCOURT, D. G. B.; PINTO, L. F. S.; PAULETTO, E. A.; SILVA, M. T.; GARCIA, G. F. Geração de drenagem ácida e de contaminação por metais pesados em perfis de solos construídos em área de mineração de carvão, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, p.1821-183, 2015.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. ASA. Madison, WI, p. 377 – 382, 1986a.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. ASA. Madison, WI, p. 363 – 376, 1986b.
- BRAGA, R. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; BRAGA, F. A., VENTURIN, F., PROTÁSIO, T. P. Physical Characterization of a Dystroferic Red Latosols Under Semideciduous Seasonal Forest, **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, n. 7, p. 422-428, 2015.
- CAO, Y., J.; BAI, Z.; ZHOU, W.; ZHAO, Z.; DING, X.; LI, Y. Differentiation and mechanisms on physical properties of reconstructed soils on open-cast mine dump of loess area, **Environ Earth Science**, v. 74, p. 6367-6380, 2015.
- CHEN, W.; WILLIAMS, A. R.; MILLER, J.; PLINKE, J. On uniaxial compression and Jenike direct shear testings of cohesive iron ore materials, **Powder Technology**, v. 312 p. 184–193, 2017
- COELHO, M, R.; VASQUES, G. M.; TASSINARI, D.; SOUZA, Z. R.; OLIVEIRA, A. P.; MOREIRA, F. M. S. **Solos do Quadrilátero Ferrífero sob Diferentes Coberturas Vegetais e Materiais de Origem**. Rio de Janeiro, RJ : Embrapa Solos, 130 p. 2017.
- DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves, **Soil Technology**, Amsterdam, v. 8, p. 139 - 151, 1995.
- DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P.; LASMAR JÚNIOR, E.; ARAÚJO JUNIOR, C. F.

Traffic effect on the preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations, **Scientia Agricola**, v. 62, n. 3, p. 248-255, 2005.

DIAS JUNIOR, M. S.; MARTINS, P. C. C. Ensaio de compressão uniaxial e modelos de capacidade de suporte de carga do solo. In: Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG, editores. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Embrapa. 3ª edição revista e ampliada. Brasília: Embrapa, p. 152-171, 2017.

FONTANA, A.; CAMPOS, D. V. B. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573 p. 2017.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 507-514, 1999.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle fractionation and particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis Part. 1: Physical and Mineralogical Methods**. 2. Ed. Madison: ASA/SSSA, p. 383 – 412, 1986.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo, **Bragantia**, v. 19, n. 21, p. 319-328, 1960.

HUANG, M., ZETTL, J. D.; BARBOUR, S. L.; PRATT, D. Characterizing the spatial variability of the hydraulic conductivity of reclamation soils using air permeability, **Geoderma**, v. 262, p. 285-293, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. Relatório anual de atividades, 36 p. 2018.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. Parecer único de compensação ambiental, n. 43, p. 21, 2013.

IORI, P.; PAIS, P. S. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; DIAS, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; SANTOS, G. A. Load-bearing capacity of a red-yellow latosol cultivated with coffee plants subjected to different weed managements. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, p. 145-151, 2013.

IORI, P.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, R. B. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em Áreas de Preservação Permanente. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 185-195, 2012a.

IORI, P.; SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; LIMA, J. M. Pressão de preconsolidação como ferramenta de análise da sustentabilidade estrutural de classes de solos com diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1448-1456, 2012b.

KAMIMURA, K. M, DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; SANTOS, G. R. S.; OLIVEIRA, M. S. Capacidade de Suporte de Carga de um Latossolo de Vermelho-Amarelo em uma Lavoura Cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1457-1465, 2012.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison, **American Soil Society of Agronomy**, v.1, p. 635-660, 1986.

KOŁODZIEJ, B.; BRYKA, M., SLOWINKS-JURKIEWICZA, A.; OTREMBAB K.; GILEMSKAB, M. Soil physical properties of agriculturally reclaimed area after lignite mine: A case study from central Poland, **Soil & Tillage Research**, v. 163, p. 54–63, 2016.

LAHMIRA, B.; LEFEBVRE, R.; BUSSIÈRE, B. Effect of material variability and compacted layers on transfer processes in heterogeneous waste rock piles, **Journal of Contaminant Hydrology**, 2017.

MARTINS, P. C. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; AJAYI, A. E.; TAKAHASHI, E. N.; TASSINARI, D. Soil compaction during harvest operations in five tropical soils with different textures under eucalyptus forests, **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 58-68, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Análise-Síntese da Mineração Brasileira, n. 4, p. 113, 2016.

MUKHOPADHYAY, S.; MAITI, S. K.; MASTO, R. E. Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study, **Ecological Engineering**, v.71, p.10-20, 2014.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; CURI, N.; RESCK, D.V.S. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 773-781, 2003.

PIRES, L. F.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; AULER, A. C.; DIAS, N. M. P.; DIAS JUNIOR, M.S; DE ALCANTARA, E. N. Soil physico-hydrical properties changes induced by weed control methods in coffee plantation. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 246, p. 261-268, 2017.

RAMAIAH, B. J.; RAMANA, G. V.; DATTA, M. Mechanical characterization of municipal solid waste from two waste dumps at Delhi, India. **Waste Management**, v. xxx p. xxx–xxx (article in press), 2017.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. **Mecânica do solo**. In: van LIER, Q.J., ed. Física do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.30-102, 2010.

RÖMKENS, M. J. M.; MILLER, R. D.; Predicting root size and frequency from one-dimensional consolidation data: a mathematical model. *Plant and Soil*, Amsterdam, v. 35, n. 2, p. 237-248, 1971.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTOSUSTENTÁVEL – SEMAD. Relatório de Desempenho Ambiental, 31 p. 2011.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; COSTA, K. A.P.; CARDUCCI, C. E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 5, p. 193–202, 2013.

SEVERIANO, E. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; OLIVEIRA G. C.; OLIVEIRA, L.F.C.; CASTRO, M. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um Latossolo e um Cambissolo sob cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1419-1427, 2008.

SILVA, R. B. ; DIAS JUNIOR, M. S.; IORI, P.; SILVA, F. A. M.; FOLLE, S.; FRANZ, C. A. B.; SOUZA, Z. M. Prediction of soil shear strength in agricultural and natural environments of the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 82-91, 2015.

SINGH, A. K.; RAI, A.; PANDEY, V.; SINGH, N. Contribution of glomalin to dissolveorganic carbon under different land uses and seasonality in dry tropics, **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 192, p. 142-149,2017.

SNEDECOR, G. W.; COCHRA, N, W. G. **Statistical methods**. Eighth edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1989.

STUMPF, L.; LEAL, O. A.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; REIS, D. A.; PINTO, M.A. B.; KRUGER, I. Tensile strength and organic matter fractions in aggregates of a grass-covered mined soil under early stage recovery,**Soil & Tillage Research**, v. 176, p. 69–76, 2018.

TASSINARI, D. Parâmetros físicos e mecânicos de solos em áreas alteradas pela mineração de ferro no município de Sabará, MG. 2015. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

TAYLOR, D. M. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley & Sons, p. 770, 1948.

VILLENEUVE, S. A.; BARBOUR, S. L.; HENDRY, M. J.; CAREY, S. K. Estimates of water and solute release from coal waste rock dump in the Elk Valley, British Columbia, Canada, **Science of the Total Environmental**, v. 601–602, p.543–555, 2017.

ZHANG, L.; WANG, W.; BAI, Z.; CHUNJUAN, L.V. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area, **Catena**, v.128, p.44-53,2015.