

Caracterização e avaliação de solos presentes no campus da Universidade Federal de Lavras para a produção de tijolos de solo cimento

Characterization and evaluation of soils present on the campus of the Federal University of Lavras for the production of soil cement bricks

Caracterización y evaluación de suelos presentes en el campus de la Universidad Federal de Lavras para la producción de ladrillos de suelo cemento

Diogo Antonio Correa Gomes¹, Eduardo Hélio de Novais Miranda¹, Wesley Gonçalo da Silveira², Eduardo Souza Cândido³, André Geraldo Cornélio Ribeiro¹, Pedro Luiz Terra Lima⁴

¹Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

²Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

³Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

⁴Pesquisador University of California Davis. University of California Davis, Davis, EUA.

RESUMO

Introdução: O campus da Universidade Federal (UFLA) Lavras constitui uma área com diversos tipos de solos ainda pouco pesquisados. Um maior conhecimento destes solos será de fundamental importância, por exemplo, para a escolha das melhores áreas para produção de tijolos de solo cimento.

Objetivo: Realizar a caracterização geotécnica de dois tipos de solos existentes na UFLA a fim de avaliar seu potencial para produção de tijolos solo cimento.

Métodos: Para a realização deste estudo foram escolhidos dois locais, de acordo com uma literatura existente, a partir do critério de maiores teores de areia. Posteriormente, estes dois solos foram caracterizados e avaliados quanto a sua granulometria, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), massa específica aparente (ρ) e compactação. Uma análise microscópica também foi realizada empregando as técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por dispersão de elétrons (EDS) a fim de verificar a área superficial e elementos químicos dos maciços.

Resultados: Os resultados demonstraram que os solos possuem grandes concentrações de alumínio e oxigênio em sua composição química. A sua microestrutura demonstrou microfraturas devido a uma pequena quantidade de umidade; a inserção de um elemento cimentante ao solo poderá ajudar a evitar esse fenômeno. Os limites de consistência e parâmetros advindos das curvas de compactação se mostraram dentro dos limites normativos para a produção de tijolo solo cimento.

Conclusão: Ambos os maciços estudados apresentaram boas porcentagens de areia e por isso são materiais ideais na produção de tijolo solo cimento.

Palavras-chave: Caracterização Geotécnica; Microestrutura; Solo Arenoso; Tijolo ecológico.

ABSTRACT

Introduction: The campus of the Federal University (UFLA) Lavras is an area with several types of soils that are still poorly researched. A greater knowledge of these soils will be of fundamental importance, for example, for the choice of the best areas for the production of soil cement bricks.

Objective: To carry out the geotechnical characterization of two types of soils existing at UFLA in order to evaluate their potential for the production of soil-cement bricks.

Methods: For this study, two locations were chosen, according to an existing literature, from the criterion of greater sand contents. Subsequently, these two soils were characterized and evaluated for their granulometry, liquidity limit (LL), plasticity limit (LP), apparent mass (p) and compaction. A microscopic analysis was also performed employing scanning electron microscopy techniques (SME) and electron dispersion spectroscopy (EDS) in order to verify the surface area and chemical elements of massifs.

Results: He results showed that soils have large concentrations of aluminum and oxygen in their chemical composition. Its microstructure demonstrated microfractures due to a small amount of firm; The insertion of a cementing element to the ground may help to avoid this phenomenon. The consistency limits and parameters arising from the compaction curves showed within the normative limits for the production of soil brick cement.

Conclusion: Both studied massifs presented good percentages of sand and are therefore ideal materials in the production of solo brick cement.

Keywords: Geotechnical Characterization; Microstructure; Sandy Soil; Ecological Brick.

RESUMEN

Introducción: El campus de la Universidad Federal (UFLA) Lavras es un área con varios tipos de suelos tan poco investigados. Un mayor conocimiento de estos suelos será de importancia fundamental, por Ejample, para elegir las mejores áreas para la producción de ladrillos de cemento.

Objetivo: Realice una caracterización geotécnica de los tipos de suelos existentes en el potencial de producir potencial para producir suelos de ladrillo de cemento.

Métodos: Para este estudio, se eligieron dos ubicaciones, según una literatura existente, del criterio de un mayor contenido de arena. Posteriormente, estos dos suelos fueron caracterizados y evaluados por su granulometría, límite de liquidez (LL), límite de plasticidad (LP), masa aparente (p) y compactación. También se realizó un análisis microscópico empleando técnicas de microscopía electrónica de barrido (PYME) y espectroscopía de dispersión de electrones (EDS) para verificar el área superficial y los elementos químicos de los masivos..

Resultados: os resultados mostraron que los suelos tienen grandes concentraciones de aluminio y oxígeno en su composición química. Su microestructura demostró microfracturas debido a una pequeña cantidad de empresa; La inserción de un elemento de cementación al suelo puede ayudar a evitar este fenómeno. Los límites de consistencia y los parámetros que surgen de las curvas de compactación se mostraron dentro de los límites normativos para la producción de cemento de ladrillo del suelo.

Conclusión: Ambos macizos estudiados presentaron buenos porcentajes de arena y, por lo tanto, son materiales ideales en la producción de cemento de ladrillo en solitario.

Palabras-clave: Caracterización Geotécnica; Microestructura; Suelo Arenoso; Ladrillo Ecológico.

INTRODUÇÃO

O solo é considerado um dos componentes mais complexos do ecossistema terrestre e por isso a sua caracterização deve ser realizada de tal maneira que as amostras devem ser representativas. Para realizar uma boa caracterização do maciço e obter dados confiáveis é importante que as amostras sejam de qualidade e que os ensaios sigam às normativas vigentes (CAMPOS et al., 2019; SIQUEIRA et al., 2013). Por se apresentar como um material natural de alta complexidade, quando comparado a outros materiais, suas características variam em função da sua origem, formação e vários outros parâmetros. (CAMPOS et al. 2019).

Flach (2018) relata que devido à alta variabilidade, os levantamentos de acordo com diferentes solos tornam-se amplamente complexos uma vez que existe uma dificuldade em estabelecer uma relação dos solos com a paisagem, sendo necessárias inúmeras incursões a campo, abertura e descrição das diferentes camadas e horizontes do solo. Para Nascimento et al. (2021), conhecer as condições preliminares dos solos são essenciais para se ter uma boa caracterização do maciço.

A necessidade de um sistema de classificação de solos e da realização da investigação de suas diferentes propriedades, textura, estrutura, cor, espessuras de horizontes, características químicas, físicas e mineralógica, massa de solo "in

"natura", matéria orgânica presente, distribuição granulométrica, etc, neste contexto, é de fundamental importância. (SIQUEIRA et al.; 2013).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2018) argumenta que, devido as características de muitos perfis não se enquadram nas categorias estabelecidas, faz-se necessário a realização de adaptações ao sistema vigente para a classificação do horizonte do solo (FLACH et al., 2019). A partir desta classificação, torna-se possível, por exemplo, a escolha das melhores localidades de maciços para instalações experimentais, mineração, engenharia ambiental, hidrologia e também escolher os melhores solos para produção de tijolos de solo cimento.

Estes tijolos de solo cimento são basicamente misturas de solo, principalmente arenosos, componentes cimentantes e, às vezes, fibras, para aperfeiçoamento de suas propriedades para utilização na construção civil (NASCIMENTO et al., 2021).

O objetivo desta pesquisa é, portanto, realizar a caracterização geotécnica e macroestrutural de dois solos existentes no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e avaliar o potencial de utilização de utilização destes maciços para produção de tijolos solo cimento.

MÉTODOS

Os maciços de solo foram coletados em dois diferentes locais do campus da UFLA (Lavras, Minas Gerais, Brasil), de acordo com a norma NBR 9820 (ABNT, 1997). Os solos coletados seguem às coordenadas em UTM fuso 23K, *datum WGS84*: solo1 - latitude 7652293 e longitude 501532; solo 2 - latitude 7651631 e longitude 502824.

O solo 1 foi obtido a partir de seu horizonte A, enquanto que o solo 2 dos seus horizontes B e C. Tais pontos foram escolhidos com base na pesquisa de Curi et al. (2017), os quais, segundo os autores, apresentaram maior presença de areia, componente favorável para a produção de tijolos de solo cimento de acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012).

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar livre, destorreadas e armazenados em bombonas para manutenção das características naturais. Posteriormente, realizou-se o peneiramento das amostras em uma peneira de 4,8 mm a fim de ocorrer o fracionamento dos solos para realização da caracterização geotécnica no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia da UFLA. Na Tabela (1) estão demonstrados os ensaios realizados e as respectivas normas baseadas (NBR 6457 (ABNT, 2016)).

Tabela 01: Ensaios de caracterização dos solos estudados.

Ensaio	Norma técnica
Massa específica aparente	NBR 6458 (ABNT, 2016)
Límite de liquidez	NBR 6459 (ABNT, 2016)
Límite de plasticidade	NBR 7180 (ABNT, 2016)
Granulometria	NBR 7181 (ABNT, 2018)
Sedimentação	NBR 7181 (ABNT, 2018)
Compactação	NBR 7182 (ABNT, 2016)

Além disso, para se analisar o tamanho dos agregados presentes, composição química, partículas primárias e a orientação das areias e das argilas, os solos também foram submetidos aos ensaios de espectroscopia por dispersão de elétrons (EDS) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando o aparelho SEM Zeiss EVO 40 (Oberkochen, Baden-Württemberg, Alemanha). Para tanto, os solos foram banhados a ouro (MEV) e a carbono (EDS). Foram utilizados elétrons secundários e detectores de retro espalhamento em ambos ensaios e o microscópio foi operado sob tensão de aceleração de 15 kV e corrente de sonda de 2 nA.

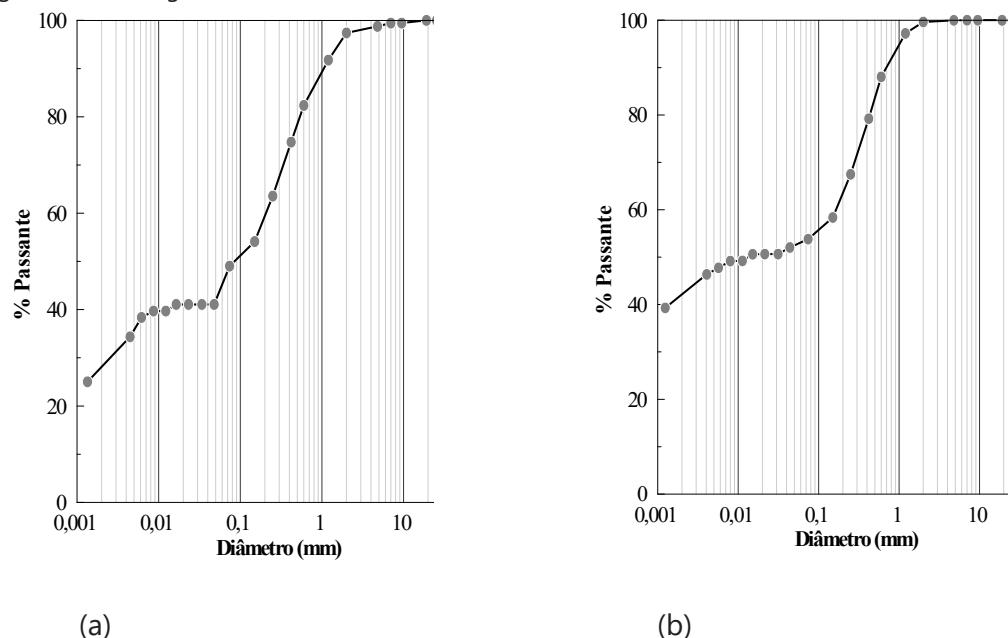
Os resultados dos ensaios foram confrontados com exigências das normas de tijolos de solo cimento a fim de analisar a viabilidade de produção destes compósitos com estes dois tipos de solos (NBR 10833 (ABNT, 2012); NBR 8491 (ABNT, 2012); NBR 8492 (ABNT, 2012)).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Granulometria

A Figura 2 representa a curva de granulometria dos dois solos estudados.

Figura 01: Curvas granulométrica dos solos 1 (a) e 2 (b).



As porcentagens da composição de ambos os maciços e apresentada na tabela 2. De acordo com a NBR 6502 ,(1995), define a seguinte granulação: fina inferior (0,05mm), média (0,05mm-0,1mm) e grossa (0,1mm-5mm), ambos os maciços foram classificados como areia siltosa média.

Tabela 02: Caracterização granulométrica dos solos.

Tipo de solo	Composição		
	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)
1	45,88	21,72	32,40
2	40,27	26,72	33,01

Na pesquisa de Lopes et al. (2012), o solo foi composto de 7,77 % de pedregulho, 19,38 % de areia grossa, 50,00 % de areia média e 8,52% de silte e argila, ou seja, o solo obteve granulometria em maior porcentagem de areia. Outro autor, no entanto, encontrou valores de 77,94 % de areia; 19,86% de silte e 2,2% de pedregulho (NEVES et al. 2022).

A NBR 10833 (ABNT, 2012) define que a granulometria ideal de solos para confecção de tijolos em conjunto com o cimento devem possuir de 10% a 50% de material passante na peneira de 0,075mm e na granulometria variando de 30% a 40% de areia na composição do solo. Perante os solos pesquisados e das literaturas baseadas estão de acordo com estes parâmetros.

3.2 Umidade

A umidade higroscópica dos solos é exposta na Tabela 3.

Tabela 03: Umidade higroscópica.

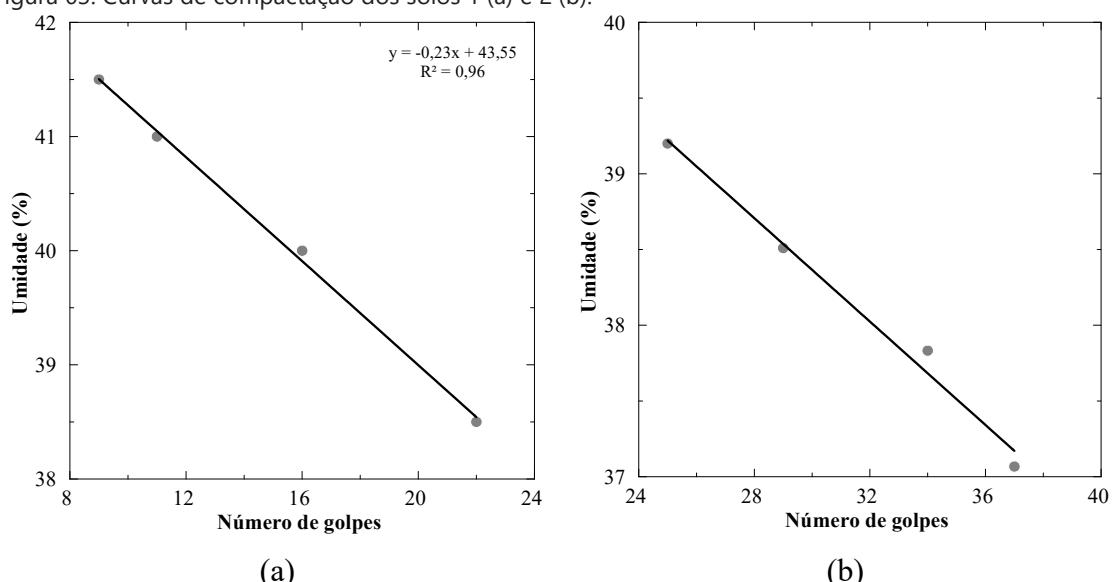
Tipo de solo	Umidade (%)
1	1,24
2	1,04

No trabalho de Lopes et al. (2012), o maciço apresentou uma umidade higroscópica variando entre 1,5% à 2,0 %. Os valores encontrados para os solos em análise abaixo de 2 % e inferiores a esta literatura. Essa ocorrência pode estar relacionado ao armazenamento do material, livre da ação de umidade por um período maior de tempo.

3.3 Índices de consistência

Os valores de LL foram obtidos a partir dos gráficos pré-traçados (Figura 3).

Figura 03: Curvas de compactação dos solos 1 (a) e 2 (b).



Na Tabela 4 é mostrado o LL, LP e o índice de plasticidade (IP) dos dois solos analisados.

Tabela 04: Caracterização dos limites de consistência dos solos

Tipo de Solo	Composição		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	31,28	38,18	14,20
2	40,27	26,72	13,30

Os valores de limite de liquidez (LL) foram todos abaixo de 35 golpes em ambos os solos ensaiados. Por isso os maciços apresentaram bom desempenho durante o teste do limite de liquidez. Em relação ao ensaio limite plasticidade, esse não apresentou patologias durante moldagem e todos foram realizados na mesma dimensão da norma NBR 7180 (ABNT, 2016).

No trabalho de Euphrosino et al. (2021) o maior número de golpes encontrados até o fechamento da ranhura do limite de liquidez foram 19 golpes consecutivos e por isso o solo não apresentou uma boa liquidez, entretanto, indicado para a fabricação de tijolo solo cimento.

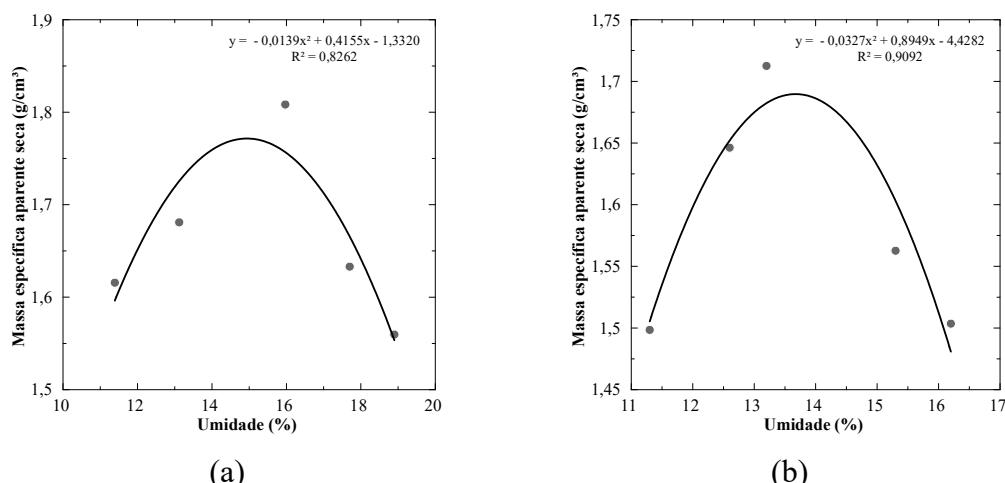
Além disso, ambos os solos foram classificados como plásticos de acordo com NBR 7180 (ABNT, 2016), e esta é uma característica importante para a moldagem de tijolos solo cimento, pois valores altos prejudicam a secagem do material e contribuem para o aparecimento de fissuras. De acordo com Lopes et al. (2012), os limites de Atterberg recomendados para solos arenosos são próximos a 35 % e o índice de plasticidade médio recomendado é de 15 %.

Por fim, discute-se também que os dois tipos de solo atenderam as especificações da norma NBR 10833 (ABNT, 2012), que define que o LL deve ser menor ou igual a 45% e o índice de plasticidade menor ou igual a 18 %. Por isso são recomendados para a confecção de tijolos de solo cimento segundo estes quesitos.

3.3 Compactação

As curvas de compactação dos dois solos são demonstradas na Figura 4.

Figura 04: Curvas de compactação dos solos 1 (a) e 2 (b).



Os dois maciços estudados são classificados como de textura areia média-fina e apresentam massa específica aparente seca ótima de 1,77 g/cm³ e 1,69 g/cm³ e umidade ótima de 14,95 % e 13,68 %, respectivamente, para os pontos 1 e 2, ambos os resultados estão dentro dos limites para a produção de tijolo solo cimento de acordo com a norma NBR 10833 (ABNT, 2012).

Os solos de textura areia média-fina apresentaram em outra pesquisa massa específica aparente seca variando entre 1,85 e 2,00 g/cm³ e teor de umidade ótima entre 11 e 14%, valores semelhantes aos encontrados nesta pesquisa (PINHEIRO et al., 2010).

3.5 Análise microscópica

Na Tabela 5 é demonstrada a composição química dos solos a partir da técnica EDS.

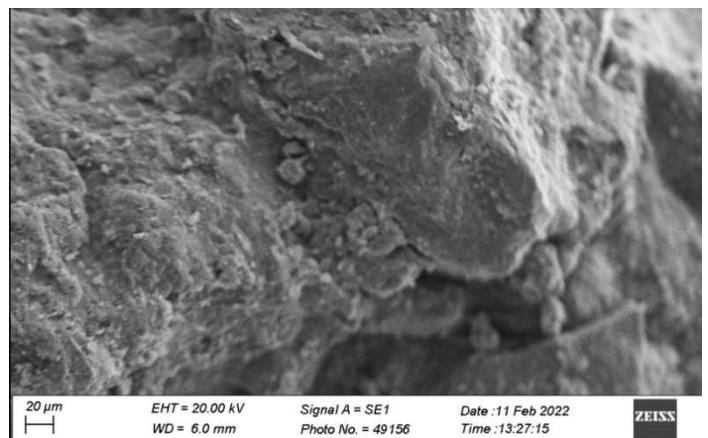
Tabela 5: Composição química dos solos.

Elementos químicos	Composição em massa (%)	
	Solo 1	Solo 2
Alumínio	25,72	32,95
Ferro	3,26	2,19
Silício	15,38	16,00
Oxigênio	53,89	45,26
Flúor	1,75	0,00

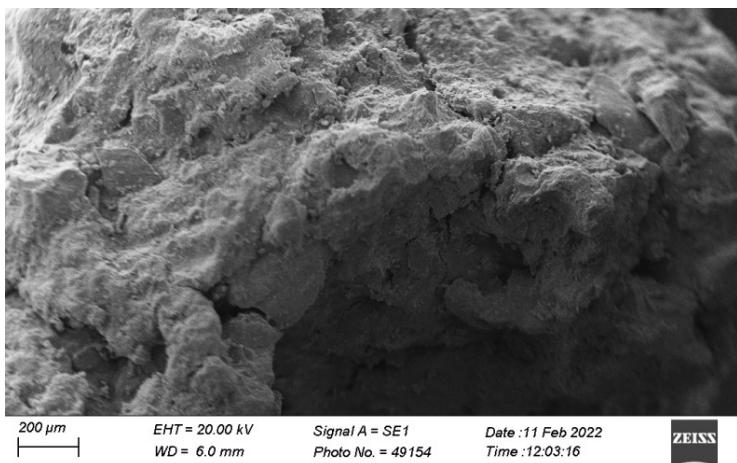
Na composição dos solos foram encontrados os seguintes elementos: oxigênio, alumínio e silício, sendo estes componentes importantes na fabricação de tijolos solo cimento NBR 8491 (ABNT, 2012). Segundo Cunha et al (2017), a predominância dos elementos oxigênio, alumínio, silício, e ferro é mineralogicamente representada por silicatos e óxidos de ferro e alumínio e de acordo com os autores, tais elementos que influenciam positivamente na cura do cimento. A Figura 4, apresenta a micrografia dos solos obtida através da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

As rachaduras presentes nas imagens, em maiores quantidades no solo 1, não podem ser confundidas com a porosidade, as mesmas são geradas pelo ressecamento da amostra. Já o solo 2 possui maior quantidade de alumínio e ferro por isso temos fortes ligações de óxidos de ferro. Esses elementos são importantes para a formação dos agentes cimentantes do maciço. (CUNHA et al. 2017).

Figura 04: Imagens MEV dos solos 1 (a) e 2 (b).



(a)



(b)

CONCLUSÃO

Os solos apresentaram boa liquidez durante os testes, sendo esse, um dos possíveis motivos do seu grande potencial a ser utilizado na fabricação de tijolo solo cimento. Os dois solos apresentaram umidade higroscópica semelhantes nos ensaios.

A umidade ótima dos solos foi compatível com a literatura para os solos arenosos, melhores tipos de solo para fabricação de tijolos solo cimento. Os elementos químicos presentes predominantes nos solos, alumínio e oxigênio, são fundamentais para a fabricação de tijolo solo cimento.

A estrutura do solo 1 apresentou mais microfraturas em comparação ao solo 2, relacionadas com o agente cimentante presente em maiores porcentagens na composição do solo 2.

Os solos possuem potencial para emprego na produção de tijolos ecológicos conforme as recomendações de granulometria e limites de consistência expressas na norma NBR 10883 (ABNT, 2012).

AGREDECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências de fomento à pesquisa, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502:** Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:** Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491:** Tijolo Maciço de Solo Cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492:** Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9820:** Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem - Procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833:** Fabricação de tijolo e bloco de solo cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

CAMPOS, P. C. O.; SILVA, B. H. A. E; MARQUES, M. E. S. Caracterização geotécnica dos solos de subleito ferroviário: investigações de campo e laboratoriais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 178-193, 2019.

CUNHA, R. B.; MARTINS, C. A. A. Geografia eleitoral: Uma revisão e possíveis caminhos. RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise. **Revista Geografia eleitoral**, Curitiba, v. 39, p. 43-56, 2017.

CURI, N.; SILVA, S.H.G.; POGGERE, G.C.; MENEZES, M.D. **Mapeamento de solos e magnetismo no campus da UFLA como traçadores ambientais**. Lavras :Ed. UFLA, 2017.

EUPHROSINO, C. A.; FONTANINI; P. S. A. Análise do solo utilizado na fabricação de tijolos solo cimento para habitação de interesse social em limeira-sp. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS. **Anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-6.

FLACH, C. W.; FEHRENBACH, A.; CORREA, A. Caracterização de solos com provável caráter sômbrio e dificuldade de classificação junto ao sistema brasileiro de classificação de solos. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019.

LOPES, D; OLIVEIRA, R.C.; SOUZA, V. B.; CERQUEIRA, V. B.; AZEVEDO, A. R. G.; BARRETO, M. N.; GALLO, D. P.; MONTEIRO, S. N.; ALEXANDRE, J. Estudo de viabilidade da produção de tijolos modulares de solo cimento para habitação popular.In: CONGRESSO ANUAL DA ABM. **Anais**. São Paulo, 2018. p. 2254-2260.

NEVES, I. C.; COTA, K. G.; CABRAL, S. C.; OLIVEIRA, I. A. K. M. Feasibility analysis of insertion of Coconut Fiber in Soil-Cement. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 11, n. 2, e22311225549, 2022.

PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, M. D. Utilização de Solos Arenosos para Obtenção de Tijolos de Solo Cimento. **Cerâmica Industrial**, v. 15, n. 5-6, p. 1-7, 2010.

NASCIMENTO, E. S. S.; SOUZA, P. C.; OLIVEIRA, H. A.; MELO JÚNIOR, M. M.; ALMEIDA, V. G. O.; MELO, F. M. C. Soil-cement brick with granite cutting residue reuse. **Journal of Cleaner Production**, v. 321, p. 129002, 2021.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil-cement bricks. **Journal of Environmental Management**, v. 131, p. 1-6, 2013.

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Portal Embrapa, 2018.