

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Análise da contração em um solo argiloso laterítico estabilizado granulometricamente através da incorporação de resíduos

Igor Henrique Dalle Molle

Estudante, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, igorhdallemolle@gmail.com

Juliana Azoia Lukiantchuki

Professora, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, jalukiantchuki@uem.br

RESUMO: A avaliação da ocorrência da expansão e contração em camadas de solo compactado é um aspecto de fundamental importância quando se utiliza o solo como material de construção. A preocupação em relação ao seu desempenho está diretamente relacionada as variações volumétricas apresentadas pelo material. Esses fenômenos são fortemente dependentes da variação do teor de umidade do solo. Além disso esses fenômenos são dependentes da composição granulométrica e constituição mineralógica. Sendo assim, a incorporação de outros tipos de materiais ou solos é utilizada visando corrigir suas propriedades, de forma a reduzir a ocorrência desses fenômenos. Dessa forma, o enfoque deste trabalho consistiu na avaliação do comportamento de contração, em um solo argiloso laterítico, estabilizado granulometricamente através da incorporação de resíduos da construção civil (RCC) e pó de pedra, comparando com os resultados obtidos para o solo natural. Para isso, foi avaliado a variação volumétrica de amostras compactadas em torno do teor de umidade ótimo. Os resultados indicaram que a incorporação de RCC e pó de pedra promoveram a redução dos valores de contração volumétrica quando comparado com o solo natural.

PALAVRAS-CHAVE: Contração, Estabilização granulométrica, RCC, Pó de Pedra.

ABSTRACT: The evaluation of the occurrence of expansion and contraction in compacted layers of soil is an important aspect when using soil as a construction material. The concern regarding its performance is directly related to the volumetric variations presented by the material. These phenomena are strongly dependent on the variation in soil moisture content. Furthermore, these phenomena are dependent on the particle size composition and mineralogical constitution. Therefore, the incorporation of other types of materials or soils is used to correct their properties, in order to reduce the occurrence of these phenomena. Thus, the aim of this work consisted in evaluating the shrinkage behavior in a lateritic clayey soil, granulometrically stabilized through the incorporation of construction waste (CW) and quarry dust, comparing it with the results obtained for the natural soil. For this, the volumetric variation of compacted samples around the optimum moisture content was evaluated. The results indicated that the incorporation of CW and quarry dust reduced the volumetric shrinkage values when compared to natural soil.

KEYWORDS: Shrinkage, Grain size stabilization, Construction Waste, Quarry Dust.

1 Introdução

A expansão é considerada uma das propriedades mais importantes dos solos utilizados como materiais de construção para o emprego de pavimentos e/ou obras geotécnicas em geral. As modificações volumétricas apresentadas por esses materiais causam deformações diferenciais em fundações, ocasionam desmoronamento de túneis, provocam desagregação em lastros de ferrovias e em enrocamento de barragens, e vários outros danos causados pela alteração de outras propriedades do solo como consequência da expansão (COSTA, 2005). Os materiais expansivos caracterizam-se por perderem a capacidade de suporte em presença de água, ocasionando deformações excessivas nas camadas compactadas (BERNUCCI, 1987).

A utilização do solo compactado no caso de barreiras de baixa permeabilidade deve levar em conta o efeito da expansão, uma vez que quando esta ocorre em grande magnitude ocorre o aumento do índice de



vazios, consequentemente ocorre um aumento da permeabilidade. A ocorrência da expansão pode ocasionar o surgimento de pressões no interior das camadas compactadas, que por sua vez ocasionam o aparecimento de fissuras, que proporcionam a formação de canais condutores de contaminantes através das barreiras. Portanto, torna-se fundamental o entendimento das variações volumétricas (COSTA, 2005).

No caso específico de solos tropicais é importante o conhecimento da natureza do solo, uma vez que informações de granulometria e constituição mineralógica proporcionam comportamentos diferentes. Bernucci (1987) destaca que a previsão do comportamento de expansão e contração dos solos não é facilmente realizada. Isto porque, alguns solos lateríticos que são pouco expansivos, mesmo os mais plásticos, se apresentam com contração elevada. Marinho (2017) aponta que durante a ocorrência da contração a interação entre as partículas de solo e a água é bastante complexa, sobretudo porque existe uma dependência da estrutura do solo, da densidade, da mineralogia e do histórico de tensões. O autor destaca ainda que o entendimento deste fenômeno depende da avaliação da transição entre o estado saturado até condições de grau de saturação muito baixo.

Este projeto de pesquisa tem como finalidade o estudo de conceitos clássicos de mecânica dos solos e solos não saturados visando contribuir com o entendimento dos fenômenos de expansão e contração que ocorrem em solos tropicais brasileiros. Com base nas informações levantadas será proposto um estudo visando avaliar experimentalmente o comportamento de expansão e contração de um solo típico da cidade de Maringá (PR).

No processo de melhoramento dos solos, uma das técnicas que vem sendo amplamente utilizada é a estabilização granulométrica. Nesse processo de estabilização de solos, realiza-se a correção granulométrica do solo tornando muitas vezes viável a utilização de um material que não apresenta as características necessárias para o seu emprego. Dentre os materiais possíveis para a estabilização de um solo argiloso, no que diz respeito a estabilização granulométrica, destacam-se o emprego de dois tipos de resíduos: resíduos da construção civil (RCC) e o resíduo do pó de pedra.

A utilização de resíduos provenientes de demolição de construções antigas é tema de estudo de outros trabalhos, tais como Kianimehr *et al.* (2019). Os autores apontam inúmeras vantagens na adição desse material ao solo natural, sendo esses o aumento do teor de óxido de ferro com uma massa específica seca máxima menor. Além disso, ao acrescentar maiores porcentagens do material, foi possível verificar melhora no comportamento de dilatação da amostra, além da resistência ao cisalhamento do material.

O pó de pedra, que é subproduto da exploração de jazidas para a produção de material graúdo, é um material que ainda vem sendo pouco utilizado, no entanto, já existem pesquisas abordando as vantagens no uso do mesmo. Souza (2020) aponta algumas vantagens para a utilização desse resíduo sendo que além de melhorar o comportamento do solo observa-se que o pó de pedra possui elevado impacto ambiental e baixo valor comercial. Nienov *et al.* (2017) em seus estudos concluíram que, o acréscimo de pó de pedra em teores de 15% a 20% na mistura de solo, proporcionaram em um aumento de até 50% na resistência do solo.

Por fim, diante do apresentado este trabalho apresenta um estudo simplificado do efeito da estabilização granulométrica, através da incorporação de resíduos, em um solo argiloso típico da cidade de Maringá (PR). Este solo, em estudos anteriores (MOLLE, 2020), apresentou valores elevados de contração volumétrica com o aparecimento de inúmeras trincas e fissuras.

2 Materiais

Neste trabalho utilizou-se uma amostra de solo deformada coletada no Campus da Universidade Estadual de Maringá (UEM), localizada na cidade de Maringá (PR). Esse solo, amplamente estudado, caracteriza-se como sendo um latossolo do tipo vermelho distroférrico, formado em um horizonte profundo e apresentando textura argilosa e coloração marrom avermelhada.

O resíduo de construção civil (RCC) foi coletado na Usina Nova Obra localizada na cidade de Arapongas (PR). Segundo Souza (2020), o RCC é composto principalmente por peças de concreto e resto de paredes com argamassa. Conforme informações da usina, a composição é de 30 a 35% de cerâmica e o restante é de concreto. O RCC foi devidamente preparado apresentando granulometria inferior a 2 mm.

O resíduo de pó de pedra foi fornecido pela EXTRACON Mineração e Obras Ltda, empresa localizada na cidade de Maringá. O pó de pedra é proveniente de rochas basálticas e foi devidamente peneirado (peneira nº 10) em laboratório apresentando granulometria inferior a 2 mm.



2.2 Metodologia proposta

2.2.1 Preparação da amostra

As amostras foram preparadas e compactadas em laboratório, seguindo os parâmetros de compactação obtidos através do ensaio de compactação realizado na energia Proctor normal. Para a análise das variações volumétricas foram compactados 2 corpos de prova em dimensões reduzidas. Os corpos de prova foram nomeados de *A* e *B*, sendo que as amostras *A* e *B* foram compactadas em torno do teor de umidade ótimo da curva de compactação. Para a mistura S_RCC, os corpos de prova apresentaram teor de umidade em torno de 20,90% (umidade ótima) enquanto que para a mistura S_PP, o teor de umidade foi em torno de 20,55% (umidade ótima).

A dimensão dos corpos de prova foi pré-definida sendo a altura em torno de 20 mm e o diâmetro de 50 mm (Figura 1). A moldagem dos corpos de prova foi feita por meio de um compactador manual e medido com um paquímetro as dimensões finais dos corpos de prova. A massa excedente foi utilizada para a determinação do teor de umidade das amostras e posteriormente determinação do grau de compactação de cada uma das amostras.



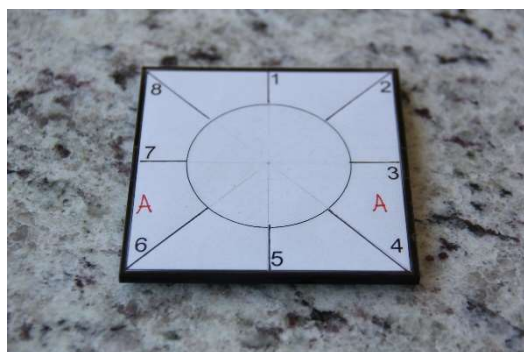
Figura 1 – Amostra compactada com dimensões reduzidas.

2.2.2 Controle da contração axial e volumétrica nas amostras compactadas

Para avaliar a contração dos corpos de prova, utilizou-se o mesmo procedimento estabelecido por Molle (2020) onde foram realizadas medições periódicas das dimensões dos corpos de prova, com o uso de paquímetro, durante vários dias. As medições foram realizadas a partir de um tempo inicial, denominado de tempo zero. Após o início, as leituras foram realizadas em tempos aproximados de 1, 2, 3, 4, 6, 8, 24, 32, 48 e 72 horas. A partir de 72 horas, não foram registradas variação de massa da amostra e considerou-se que a amostra entrou em equilíbrio higroscópico.

As leituras realizadas foram: temperatura, massa, diâmetro e altura da amostra, sendo estabelecidos 4 pontos fixos para leitura de diâmetro e 8 pontos fixos para leitura de altura. Considerou-se, para efeito de cálculo, o valor da média entre as leituras.

Para que as leituras fossem realizadas seguindo um mesmo padrão, desenvolveu-se suportes de acrílico, devidamente referenciados, para o posicionamento das amostras (Figura 2). A utilização do suporte, além de referenciar as medidas, facilitou o transporte da amostra até a balança, para efetuar-se o registro da variação de massa.



(a) suporte de acrílico



(b) amostra posicionada no suporte

Figura 2 – Sistema de aferição das medidas das amostras.

Através das leituras realizadas, foi possível determinar a contração axial e volumétrica dos corpos de prova, além de avaliar a variação do teor de umidade, através do controle da massa dos corpos de prova, durante o processo de secagem.

Posteriormente, em posse dos resultados, foram elaboradas curvas para analisar de forma prática os dados obtidos e observar possíveis semelhanças entre os resultados. A análise de contração foi feita, com 6 amostras da mistura solo-RCC e com 6 amostras de mistura solo-pó de pedra. Os resultados foram comparados com resultados anteriores apresentados por Molle (2020) onde utilizou-se o mesmo sistema de medidas.

Para análise dos dados, foi utilizado o software Grapher, em conjunto com o Excel, para melhor organização e representação dos mesmos. O ajuste das curvas foi realizado utilizando-se o software Table Curve 2D.

3 Resultados

3.1 Solo Puro

Os resultados apresentados para o solo puro foram obtidos anteriormente por Molle (2020). É importante destacar que os ensaios foram realizados em amostras de tamanho reduzido, com o objetivo de acelerar o tempo dos ensaios, e que não foi considerado o efeito de confinamento lateral das amostras. No entanto, considera-se que os resultados são válidos para comparar o comportamento dos diferentes materiais ensaiados.

A Figura 3 apresenta os valores de contração volumétrica para o solo natural puro para efeito comparativo com as misturas. Segundo a literatura apresentada por Kleppe e Olson (1985) e Daniel e Wu (1993), os valores ideais para a contração volumétrica para um solo ser utilizado para fins de engenharia é entre 4 e 5%. Sendo assim, observando os valores máximos e mínimos apresentados na Figura 3 obtidos após a estabilização da amostra, verifica-se que a faixa corresponde a valores entre 8,5 e 9,5%, sendo valores superiores ao limite desejado. Esse comportamento justifica a necessidade de se estudar soluções alternativas visando diminuir tais valores.

Adicionalmente foi realizado o ajuste dos dados buscando-se uma curva padrão para todas as amostras avaliadas. A Figura 3 também apresenta esta curva de ajuste, sendo a mesma curva do tipo exponencial com equação do tipo $y^{-1} = a + b \cdot e^{-x}$ onde o coeficiente de determinação (R^2) variou para as diferentes amostras ensaiadas. No caso do solo na umidade ótima, o R^2 foi de 0,761, sendo este o melhor ajuste obtido. Destaca-se que valores mais próximos de 1, indicam o melhor ajuste da curva com os dados apresentados.

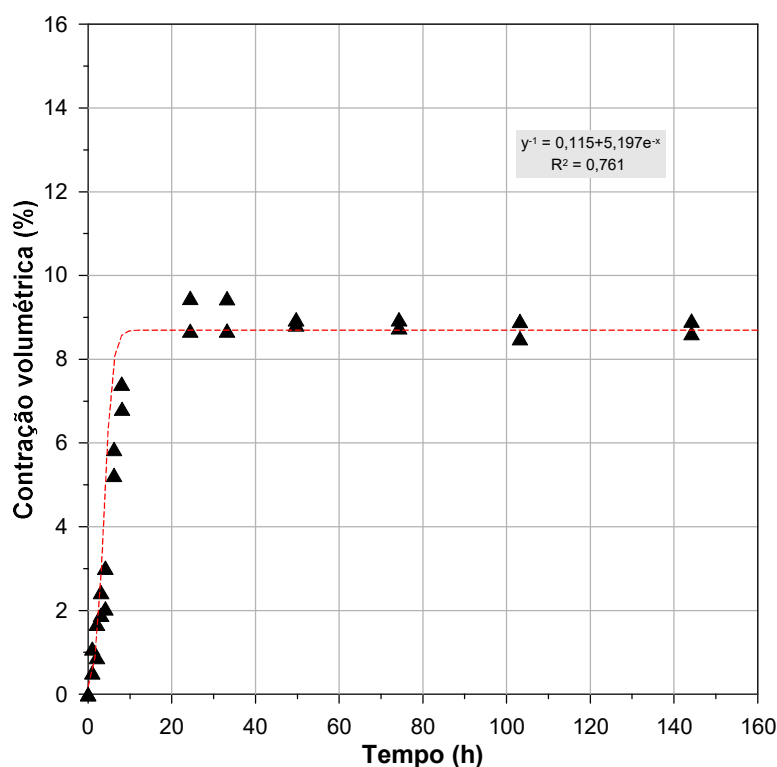


Figura 3 – Contração volumétrica em função do tempo para as amostras A e B

3.2 Mistura Solo-RCC

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos para a contração volumétrica das amostras compactadas no teor de umidade ótimo. É possível observar que os valores de contração volumétrica aferidos para essas amostras foram reduzidos em cerca de 54% quando comparados com o solo natural (Figura 3).

Os valores de contração volumétrica se apresentaram entre 3,50% e 4,22% e, conforme citado anteriormente e afirmado por Kleppe e Olson (1985) e Daniel e Wu (1993), valores ideais de contração no solo estão entre 4 e 5%. Sendo assim, as amostras de solo compactadas no teor de umidade ótimo, com incorporação de RCC na proporção de 50% de RCC e 50% de solo, mostraram-se apropriadas para a utilização como materiais para o emprego em obras de engenharia. Verifica-se que a adição de RCC viabilizou a utilização do solo natural em termos de comportamento de contração do material.

Pela Figura 4, pode-se verificar que, de maneira semelhante às amostras de solo puro, o padrão de curva de ajuste é do tipo $y^{-1} = a + b.e^{-x}$. Nesse caso, os coeficientes a e b são, respectivamente, 0,275 e 1,713. O fator R^2 da curva é 0,715.

3.3 Mistura Solo-Pó de Pedra

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para a contração volumétrica das amostras compactadas no teor de umidade ótimo. É possível observar que os valores de contração volumétrica aferidos para essas amostras foram reduzidos em cerca de 40% quando comparados com o solo natural (Figura 3). Os valores obtidos são maiores que os medidos nas misturas de solo com RCC. Esse comportamento pode estar associado à composição mineralógica do pó de pedra uma vez que o mesmo é proveniente de rochas basálticas da região apresentando óxidos de ferro da sua composição dentre outros minerais.

Por meio da análise dos valores obtidos, é observado que alguns valores são superiores ao limite de 4 a 5% para o uso do solo em obras geotécnicas (KLEPPE e OLSON, 1985; DANIEL e WU, 1993). Neste caso pode ser realizado um estudo aprofundado para possível utilização dessa mistura através de outras proporções entre os materiais utilizados.



Através da Figura 5, é possível notar a mesma relação de comportamento do solo que vem sendo apresentada, por meio da curva do tipo $y^{-1} = a + b.e^{-x}$. Os coeficientes a e b são 0,191 e 1,755, respectivamente. Observa-se que o valor do R^2 é de 0,904 demonstrando que o ajuste por meio desta curva é bastante satisfatório.

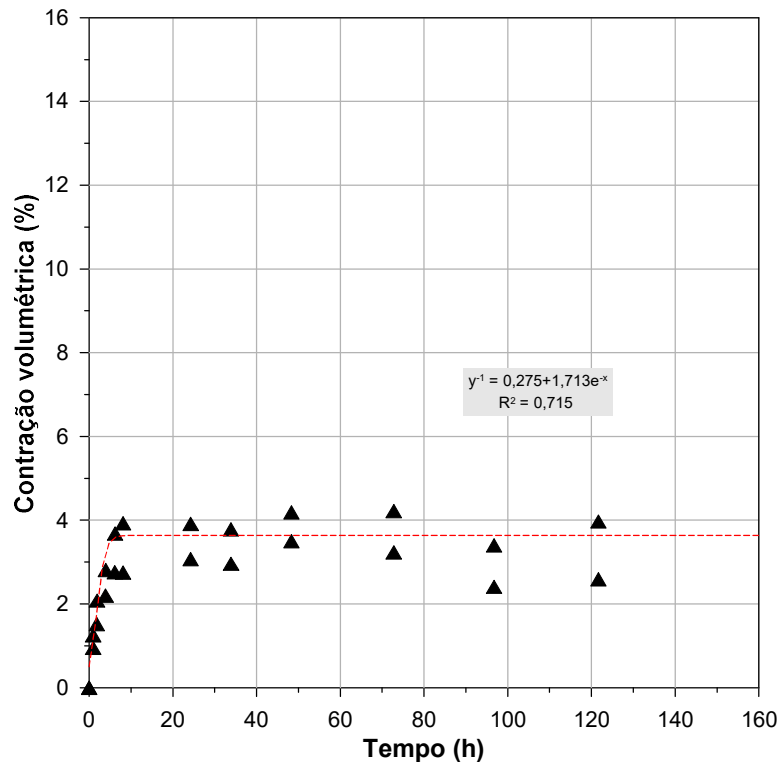


Figura 4 – Contração volumétrica em função do tempo para as amostras A e B

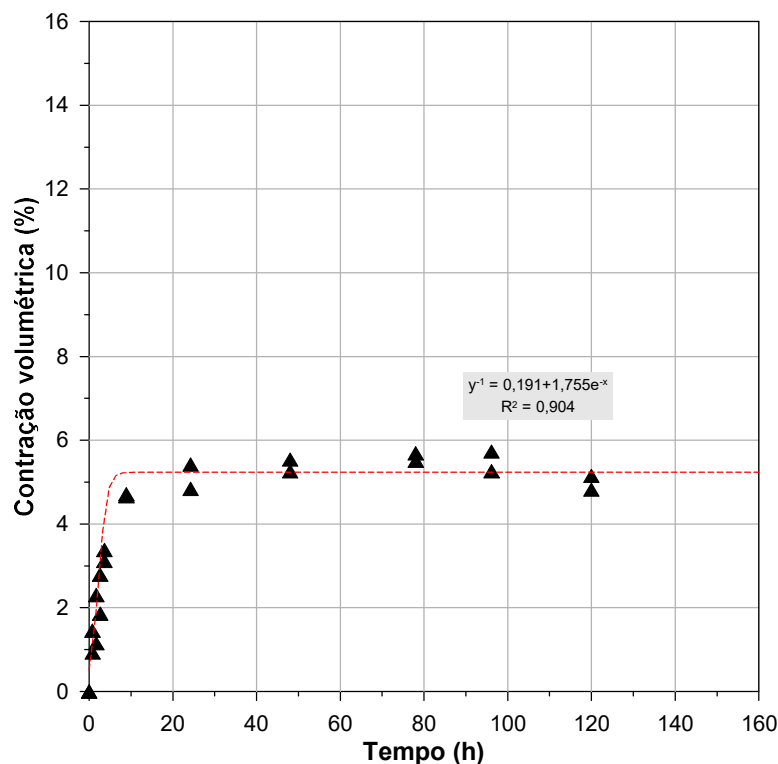


Figura 5 – Contração volumétrica em função do tempo para as amostras A e B



4 Considerações finais

Por meio da comparação entre os resultados obtidos nesta pesquisa, em conjunto com resultados de pesquisas anteriores, foi possível observar a influência da adição de diferentes resíduos no comportamento da contração volumétrica de uma amostra de solo argiloso laterítico. Sendo assim, as principais conclusões observadas neste estudo são:

1- A incorporação de resíduos de construção civil e resíduo de pó de pedra promoveram o decréscimo dos valores de contração volumétrica registrados na amostra de solo natural quando compactadas em torno do teor de umidade ótimo

2- As amostras de solo com resíduo da construção civil (RCC) apresentaram os menores valores de contração volumétrica registrados quando comparados com as amostras de solo natural e as amostras de solo com pó de pedra;

4- Os dados experimentais indicaram que o comportamento da variação volumétrica em função do tempo pode ser representado por uma curva exponencial do tipo $y^{-1} = a + b.e^{-x}$ para todas as amostras analisadas;

Sendo assim, os resultados evidenciam que a mistura do solo argiloso laterítico com resíduos de construção civil e resíduo de pó de pedra apresenta benefícios em relação ao seu comportamento de contração volumétrica.

Por fim, sugere-se novos trabalhos nesta linha de estudo, utilizando-se de outros solos para verificar se a estabilização granulométrica por meio do RCC e do pó de pedra também contribuem para os aspectos apontados nesta pesquisa. Pode-se também avaliar a influência das diferentes energias de compactação em amostras semelhantes além de diferentes teores de umidade. Destaca-se, ainda, que o presente estudo foi realizado com amostras de tamanho reduzido e não se considerou o efeito do confinamento em campo das amostras. Sugere-se ainda um estudo utilizando amostras em tamanhos maiores, em formato cúbico para avaliar o surgimento de trincas em blocos, que são importantes no caso de pavimentação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Maringá por fornecer todo o suporte necessário para o desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNUCCI, L. L. B.. *Expansão e contração de solos tropicais compactados e suas aplicações as obras viárias: classificação de solos tropicais com base na expansão e contração*. 1987. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1987.
- COSTA, O. P. da. *Avaliação de expansão, contração e resistência a compressão simples de barreiras selantes produzidas com solo laterítico estabilizado quimicamente*. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.
- DANIEL, D. E.; WU, Y.. Compacted clay liners and cover for arid sites. 1993. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE (American Society of Civil Engineers), Vol. 119 Issue 2, 1993, p.223-237.
- KIANIMEHR, M.; SHOURIJEH, P. T.; BINESH, S. M.; MOHAMMADINIA, A.; ARULRAJAH, A.. Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of clay soils. *Construction and Building Materials*, Farmington Hills, v. 227, 116792, p. 1-3, 2019.
- KLEPPE, J.; OLSON, R.. *Desiccation Cracking of Soil Barriers*. 1985. In A. Johnson, R. Frobel, N. Cavalli, e C. Pettersson (Eds.), STP874-EB Hydraulic Barriers in Soil and Rock. ASTM, Philadelphia, 1985, p. 263-275.
- MARINHO, F. A. M.. *Fundamentals of Soil Shrinkage*. 2017. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. In: PanAm Unsaturated Soils, ASCE GSP 300, 2017, p. 198 – 222.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022

23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL

COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

- MOLLE, I. H. D.. *Contribuição ao entendimento da expansão e contração em camadas de solos tropicais compactado para fins de aplicação prática*. 2020. Projeto de Institucional de Bolsas de Iniciação Científica. Relatório Final. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2020.
- NIENOV, F.; CAVALHEIRO, J. G. S.; LUVIZÃO, G.; ZAMPIERI, L. Q.. *Análise do comportamento mecânico de misturas de solo-cimento incorporadas com pó de pedra de origem basáltica*. Seminário de Iniciação Científica E Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa E Extensão, Joaçaba, 2017.
- SOUZA, J. M. de. *Estabilização de um solo argiloso através da incorporação de cimento Portland, resíduo de construção civil (RCC) e resíduo de pó de pedra*. 2020. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.