XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/69

Avaliação da Resistência Mecânica de um Lodo de Estação de Tratamento de Água com Adição de Cinzas da Casca do Café

Fernanda Vescovi Gonçalves
Pós-Doutoranda, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP, Brasil. vescovi@ita.br

Paulo Scarano Hemsi
Professor Associado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP, Brasil. paulosh@ita.br

João Claudio Bassan de Moraes
Professor Adjunto, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP, Brasil. jbmoraes@ita.br

RESUMO: Esse trabalho apresenta resultados de resistência à compressão simples de misturas do resíduo lodo de estação de tratamento de água (LETA) da estação de tratamento do DCTA em São José dos Campos (SP) com cinzas da casca do café (CCC). Mesmo após desaguamento na estação (por exemplo, por meio de bolsas geossintéticas), o LETA apresenta baixo teor de sólidos, consistência muito mole, elevada compressibilidade e baixíssima resistência ao cisalhamento, sendo, assim, um resíduo de difícil aproveitamento geotécnico. As CCC apresentam uma composição com presença majoritária de carbonato de potássio (K_2CO_3), que permite antever a possibilidade da formação de cimentos ativados alcalinamente quando em contato com o LETA, com as CCC desempenhando o papel de fonte alcalina. Nesse trabalho, os ensaios de compressão simples foram complementados com ensaios mineralógicos de Difratometria de Raios X (DRX), Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), para uma discussão de resultados levando em conta as possíveis alterações químicas verificadas no material. As misturas de LETA contendo 26 % em massa de CCC apresentaram aumentos significativos na resistência à compressão simples e no módulo de rigidez secante (entre 0 e 4 %), quando comparadas com corpos-de-prova do LETA puro, em mesmo teor de umidade e seguindo as mesmas condição de preparo e compactação. Os resultados obtidos indicaram uma melhoria promissora do comportamento mecânico do LETA pela adição das CCC e novas pesquisas encontram-se em desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de resíduo, Cimento álcali-ativado, Compressão Não Confinada, Cinzas, Lodo, Reúso.

ABSTRACT: This work presents results of unconfined compressive strength tests on mixtures of water treatment plant sludge (WTS) from the DCTA treatment plant in São José dos Campos (SP) with coffee husk ash (CHA). Even after dewatering at the plant (for example, using geosynthetic bags), WTS has a low solids content, very soft consistency, high compressibility, and very low shear strength, thus being a residue that is difficult to utilize geotechnically. The CHA has a composition with a major presence of potassium carbonate (K_2CO_3), which suggests the possibility of the formation of alkali-activated cements when in contact with WTS, with CHA acting as an alkaline source. In this work, unconfined compression tests were complemented by mineralogical tests using X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Scanning Electron Microscopy (SEM), for a discussion of results taking into account the possible chemical alterations observed in the material. WTS mixtures containing 26% by mass of CHA showed significant increases in unconfined compressive strength and secant modulus of rigidity (between 0 and 4%), when compared to specimens of pure WTS, with the same moisture content and following the same preparation and compaction conditions. The results obtained indicated a promising improvement in the mechanical behavior of WTS by the addition of CHA, and further research is underway.

KEYWORDS: Waste utilization, Alkali-activated cement, Unconfined compression, Ash, Sludge, Reuse.

1 INTRODUÇÃO

O lodo de estação de tratamento de água (LETA) consiste do resíduo formado pela lavagem dos decantadores e filtros nas estações de tratamento de água em ciclo completo. No baixo teor de sólidos, elevado teor de umidade, em que se encontra, mesmo após alguma forma de desaguamento realizado na estação (por exemplo, em bolsas geossintéticas ou por meio de centrifugação), o LETA apresenta uma consistência muito mole, elevada compressibilidade, baixíssima resistência ao cisalhamento e difícil trabalhabilidade como material com potencial para uso geotécnico (Silva e Hemsi, 2018; 2021). Apenas no Estado de São Paulo, são geradas diariamente cerca de 190 t de LETA em base seca, no tratamento de mais de 119 mil litros de água por segundo (SABESP, 2024). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) proíbe a destinação do LETA em corpos hídricos; entretanto, até hoje, a maior parte do lodo é descartada irregularmente dessa forma, e sem prévio tratamento (IBGE, 2017). Desse modo, é importante investigar e determinar opções viáveis para o aproveitamento do LETA, o que se alinha com os pilares da Política Nacional de Resíduos Sólidos, tendo em vista o aproveitamento do resíduo, a prevenção de sua destinação inadequada no meio ambiente, e a economia de recursos naturais na execução de futuras obras de infraestrutura. Nesse sentido, vem sendo vislumbradas as aplicações geotécnicas de utilização do resíduo melhorado para a construção de aterros compactados em obras, e também para constituir camadas de cobertura diária em aterros sanitários. Este trabalho apresenta resultados iniciais de pesquisa que vem sendo realizada para avaliar, em escala laboratorial, o melhoramento do LETA condicionado por meio da mistura com CCC. As cinzas da casca do café (CCC) apresentam em sua composição a presença majoritária de K_2CO_3 (Lima et.al, 2022), o que permite antever a possibilidade da formação de cimentos ativados alcalinamente, com as CCC desempenhando o papel de fonte alcalina, quando em contato com os componentes do LETA. O Brasil é o maior produtor de café do mundo, tendo produzido em 2025 aproximadamente 56,5 milhões de sacas de 60 kg (CONAB, 2025). Estima-se que cerca de 50 % desta massa total produzida corresponda às cascas (IPEA, 2012).

Assim, dada a dificuldade em aproveitar o LETA em grande escala e minimizar o impacto ambiental do seu descarte incorreto, acrescido da possibilidade das CCC atuarem como fonte alcalina, este estudo busca avaliar a resposta ao ensaio de compressão simples do LETA em mistura com as CCC. A utilização de CCC para o melhoramento do LETA é inovadora, havendo trabalhos em que as CCC foram adicionadas a solos argilosos expansivos para o melhoramento de suas propriedades (Munirwan et al., 2022, 2023).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Lodo de Estação de Tratamento de Água

As amostras de LETA utilizadas nesse trabalho foram coletadas do decantador da estação de tratamento de água do DCTA, em São José dos Campos (SP), nos meses de setembro e novembro de 2024 e maio de 2025. Para as coletas, a água de lavagem acumulada no decantador foi bombeada para um bolsão geossintético (geotêxtil não tecido), com capacidade de 2500 litros (Figura 1a), no qual foi realizado o desaguamento por peso próprio ao longo de 7 dias. Posteriormente, o LETA foi trazido para o Laboratório de Geotecnia Ambiental do ITA, seco ao ar, e seco em estufa a 100°C por 24 horas (Figura 1b). Em seguida à secagem em estufa, o material foi destorroado em moinho de bolas por 90 minutos, e passado através da peneira nº 200, resultando em um material pulvurulento fino (Figura 1c).



Figura 1. Preparação do LETA: a) bolsa geossintética para desaguamento; b) material após 10 dias em desaguamento (lodo de setembro de 2024); c) material destorroado e homogeneizado.

2.1.2 Cinzas da Casca do Café

As cascas do café tipo arábica (Figura 2a) foram obtidas junto à fazenda Laje, localizada em Três Pontas (MG). A calcinação da casca do café foi realizada em laboratório, seguindo a técnica descrita por Lima et al. (2023) para obtenção de cinzas com elevado teor de K_2O na forma de carbonatos, principalmente K_2CO_3, e também apresentando alto teor de solubilidade. Assim, realizou-se uma primeira queima a 400°C por 1h30min (Figura 2b) e uma segunda queima, esta com maior duração, por 18h a 700°C (Figura 2c). As cinzas da casca do café (CCC) foram resfriadas até temperatura ambiente, homogeneizadas em um moinho vibratório por 5 minutos e armazenadas em pote hermeticamente fechado. Para o melhor desempenho como ativador alcalino, as cinzas produzidas devem apresentar alto teor de K_2O na forma de K_2CO_3, baixo teor de matéria orgânica, e elevados solubilidade e pH em água.

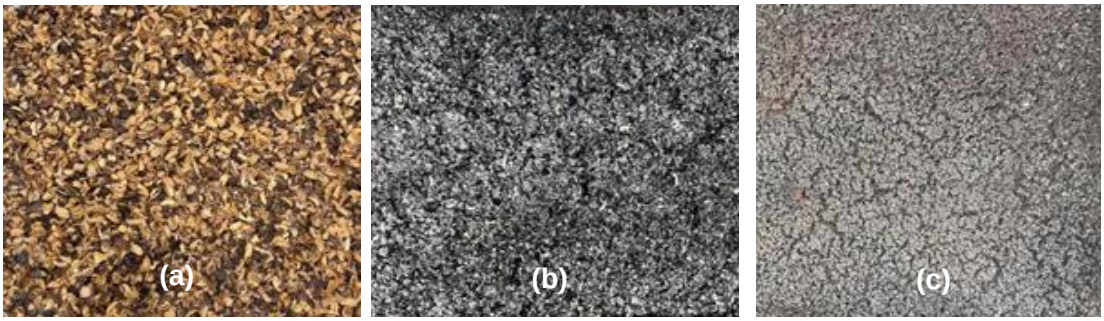


Figura 2. Preparação das CCC: a) cascas de café “in natura”; b) cinzas geradas por queima a 400°C; c) cinzas geradas por queima prolongada a 700°C.

2.2 Métodos Experimentais

2.2.1 Massa Específica dos Grãos e Limites de Atterberg do LETA

Para a amostra de LETA utilizada, foram realizados os ensaios de massa específica dos grãos e dos Limites de Plasticidade (LP) e de Liquidez (LL), conforme as normas ABNT NBR-6508, NBR-7180 e NBR-6459, respectivamente. Ao todo, foram realizados quatro ensaios com picnômetro para a massa específica dos grãos do LETA, e seis ensaios para LL e LP, de cada tipo, com a determinação das médias aritméticas.

Nos ensaios de LL e LP, os ensaios 1 a 3 foram realizados com o material seco em estufa e destorroado conforme descrito no item 2.1.1. Já nos ensaios 4 a 6, utilizou-se reuso do material, trabalhando com LETA reaproveitado dos ensaios anteriores, após nova secagem (estufa a 110°C por 24 horas) e moagem. A determinação dos limites com o LETA reaproveitado visou permitir verificar se haveria alteração nos resultados dos limites de consistência em função da secagem adicional do material.

O ensaio de massa específica dos grãos foi realizado também para as CCC, conforme a NBR-6508, porém em picnômetros utilizando álcool etílico, 95% extra neutro, uma vez que as CCC são parcialmente solúveis em água.

2.2.2 Caracterização Mineralógica

Para caracterização mineralógica, as amostras foram homogeneizadas em acetona e filtradas, com auxílio de uma bomba de vácuo. Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa a 60ºC por 24h. Foram realizados os ensaios de Difração de raios X (DRX), Espectroscopia infravermelha com transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva de Raios X (EDS). O ensaio de DRX foi realizado por meio do Difratômetro Panalytical Empyrean, com intervalo de ângulo de Bragg de 10-70°, radiação CU-Ka, passo de 0,01° e 3 s/passo. Os espectros de FTIR foram obtidos com um Espectrofotômetro no Infravermelho (FTIR) PerkinElmer Frontier, na faixa da 4000-400 cm^{-1} e resolução espectral de 1 cm^{-1}. Os ensaios de MEV/EDS foram realizados com o modelo de microscópio Vega-3 LMU TESCAN com detector Oxford EDS 133 eV, em amostras obtidas após o ensaio por compressão simples. Para o ensaio, as amostras receberam uma camada de parafina nas laterais e no fundo, para evitar fraturas durante o ensaio. O EDS foi realizado em triplicata e os dados apresentados são a média destas análises.

2.2.3 Preparo dos Corpos-de-Prova de LETA e da Mistura LETA-CCC

Utilizando o material LETA puro (L0) e as CCC, foi preparada uma mistura do LETA contendo 26 % (em massa seca) de CCC (L26) a ser testada no laboratório. A massa exata de CCC foi adicionada a uma porção do material LETA seco, de tal modo que o teor de CCC na mistura resultasse igual a 26 %. O teor de umidade gravimétrico da mistura LETA-CCC foi então ajustado a 42 %, mediante a adição de água. A mistura foi homogeneizada manualmente. Esse teor de umidade foi exatamente o mesmo utilizado nos testes do material L0.

Corpos-de-prova foram compactados em moldes de PVC bipartidos de pequenas dimensões, nas dimensões de 3,5 cm de diâmetro por 7,5 cm de altura. A compactação foi feita através de quedas repetidas de um pequeno soquete manual, com altura de queda, número de golpes por camada e número de camadas padronizados, reproduzindo a energia de Proctor Normal. Os corpos-de-prova foram produzidos em quadruplicata para L0 e L26. Cada corpo-de-prova foi deixado descansar por 24 horas dentro do molde de PVC, embalado em plástico filme, em câmara úmida com umidade controlada em 60 %.

2.2.4 Ensaios de Compressão Simples

Os ensaios de compressão simples foram realizados, nos corpos-de-prova descritos acima, utilizando prensa (Durham Geo) com velocidade de deslocamento entre 0,5 e 1,0 mm/min. Os valores da força axial nos corpos-de-prova foram medidos utilizando célula de carga tipo S (Solotest) com capacidade de 100 kgf com indicador digital, e os deslocamentos verticais impostos foram medidos com relógio comparador digital (Mitutoyo) com curso de até 13 mm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Massa Específica dos Grãos e Limites de Atterberg do LETA

Os quatro ensaios de determinação da massa específica dos grãos do LETA resultaram nos valores de 2,42, 2,45, 2,40 e 2,44 g/cm^3, com um valor médio de 2,44 g/cm^3. Esse valor é inferior ao de solos em geral, mas se encontra dentro de faixas reportadas na literatura para diferentes LETAs, como 2,05 a 2,94 g/cm^3 (Huat et al., 2009) e 2,40 a 2,61 g/cm^3 (Watanabe et al., 2011). Com relação aos limites de consistência, nas amostras 1 a 3 (apenas uma secagem do LETA) foram obtidos os valores: LL = 62%, 61%,

58% (média = 60 %) e LP = 50%, 44%, 39% (média = 44 %). Já para as amostras 4 a 6 (duas secagens do material), resultaram: LL = 58%, 60%, 58% (média = 59 %) e LP = 48%, 54%, 45% (média = 49 %). Assim, os valores de IP (índice de plasticidade) resultaram, nas médias, 16% e 10%. Os resultados indicam que a secagem adicional não alterou o valor de LL, mas afetou os valores de LP e, portanto, de IP. Diante desses resultados, verifica-se que o LETA testado é constituído por finos de plasticidade moderada (7 < IP < 17), indicando um comportamento siltoso, em contraste com outros lodos, de comportamento argiloso com alta plasticidade, como o LETA de Cubatão (SP) (LL=239%, IP=158%) testado por Montalvan (2016). Para a massa específica dos grãos das CCC, foi obtido o valor médio de 2,55 g/cm^3.

3.2 Parâmetros dos Corpos-de-Prova

Os corpos-de-prova compactados com os materiais L0 e L26 (em quadruplicata para cada material) apresentaram, imediatamente após a compactação, massas específicas úmidas (em média) de 1,57 g/cm^3 (L0) e 1,65 g/cm^3 (L26). Sendo o teor de umidade gravimétrico de 42%, resultam as massas específicas secas (em média) de 1,11 g/cm^3 (L0) e 1,16 g/cm^3 (L26). Para os corpos-de-prova L0, sendo a massa específica dos grãos 2,44 g/cm^3, resultam os valores médios de índice de vazios e grau de saturação de 1,20 e 85%, respectivamente.

Para os corpos-de-prova do material L26, admite-se, a massa específica dos grãos 2,47 g/cm^3, que resulta da média ponderada entre as massas específicas dos grãos obtidas para o LETA e para as CCC. O índice de vazios e grau de saturação dos corpos-de-prova L26 foram avaliados, portanto, como 1,14 e 91%, respectivamente. Com base nos parâmetros acima, é possível afirmar que a preparação dos corpos-de-prova dos materiais L0 e L26 conduziu a condições semelhantes em termos de índice de vazios de moldagem e grau de saturação. Assim, a comparação das resistências à compressão permitirá avaliar o incremento de resistência devido ao efeito das reações químicas no material L26.

3.3 Caracterização Mineralógica

A Figura 3 mostra os difratogramas obtidos nos ensaios por DRX realizados nas amostras de CCC, L0 (LETA puro) e L26 (mistura LETA-CCC).

O difratograma das CCC revela a presença de carbonato de potássio (K) (PDF cards 01-073-0470 e 01-070-0965), tendo sido também identificados quartzo (SiO_2, PDF 01-649) e fases cristalinas de Fairchildite (C) ($K_2Ca(CO_3)$ (PDF 03-504); um resultado semelhante foi apresentado por Lima et al. (2022).

Já para os materiais L0 e L26, os difratogramas apresentam majoritariamente a presença de fases cristalinas de silicato de alumínio hidratado (A-S) (PDF 01-0527), identificando, também, óxido de silício (PDF 01-082-1395). Observa-se que os picos de difração para o silicato de alumínio hidratado são largos sugerindo um material pouco cristalino. Além disso, os picos característicos da CCC (principalmente K_2CO_3) não são identificados no difratograma S26, sugerindo uma reação rápida entre as espécies alcalinas na CCC e os aluminosilicatos presentes no lodo nas primeiras 24 h de cura, levando a síntese bem sucedida do ligante.

A Figura 4 apresenta os resultados do ensaio FTIR para as CCC, L0 e L26. Para as CCC, nota-se que as bandas principais estão centradas em 1361 cm^{-1} e 1443 cm^{-1} (modo de vibração O-C-O), que podem ser atribuídas aos modos vibracionais dos compostos K_2CO_3. Resultado semelhante foi apresentado por Lima et al. (2023). Observa-se que nas amostras L26, tais bandas desaparecem, sugerindo o consumo total dos precursores de cinzas, para formação de compostos novos e estáveis, corroborando os resultados do DRX. Além disso, bandas em 1404 cm^{-1} e em 1531 cm^{-1} foram identificadas na amostra S26. Picos em 1531 cm^{-1} possivelmente estão relacionados com a formação de fases de carbonatos, como fases pouco cristalinas de carboaluminato de potássio hidratado (Fernandez-Carrasco et al., 2005), resultantes de reação química entre o LETA, rico em alumínio, e os carbonatos fornecidos pela CCC. Um novo pico em 864 cm^{-1}, característico de grupos de carbonatos, foi identificado exclusivamente na amostra S26, reforçando ainda mais o desenvolvimento de novos carbonatos nas misturas LETA-CCC.

O ensaio de MEV/EDS (Figura 5) revela alteração na estrutura do material L26, com diminuição visível dos poros na estrutura. Há maior aglomeração dos grãos tornando o material mais denso e contínuo.

Os resultados do mapa de EDS para L0 apresentam uma relação, em peso molecular, de Al/Si, Fe/Si e K/Si igual a 1,15, 0,47 e 0,02, respectivamente. Para o EDS do L26, a relação Al/Si, Fe/Si e K/Si resulta igual a 1,31, 0,55 e 0,84, respectivamente, indicando reação das CCC com o LETA, alterando o material.

3.4 Ensaios de Compressão Simples

A Figura 6 apresenta as curvas tensão-deformação no ensaio de compressão não-confinada, para os corpos-de-prova dos materiais L0 e L26 (em quadruplicada para cada material).

Os valores de tensão de compressão máxima obtidos para os corpos-de-prova L0 apresentaram média e desvio padrão de 54,9 kPa e 6,1 kPa, respectivamente, para deformação axial, em média, de 8 %. Já para o material L26, a tensão de compressão máxima atingiu, em média, 126,0 kPa, com desvio padrão de 11,1 kPa, para uma deformação axial, em média, também de 8%. Assim, os dados obtidos nos ensaios de compressão simples mostraram que houve um aumento médio de 2,3 vezes na resistência à compressão, por efeito da adição de CCC no LETA, com 24 horas de tempo de descanso, e mantendo-se iguais os teores de umidade gravimétricos e para índices de vazios de moldagem semelhantes.

O módulo de rigidez (tensão/deformação) secante (entre 0% e 4% de deformação axial) dos corpos-de-prova L26 resultou, em média, 4,5 vezes maior que aquele dos ensaios com LETA puro (L0).

Os resultados obtidos, de aumento da resistência e da rigidez do LETA por adição das CCC, revela o melhoramento sofrido pelo material LETA, que reflete as alterações microestruturais observadas, as quais revelaram reação das CCC com o LETA.

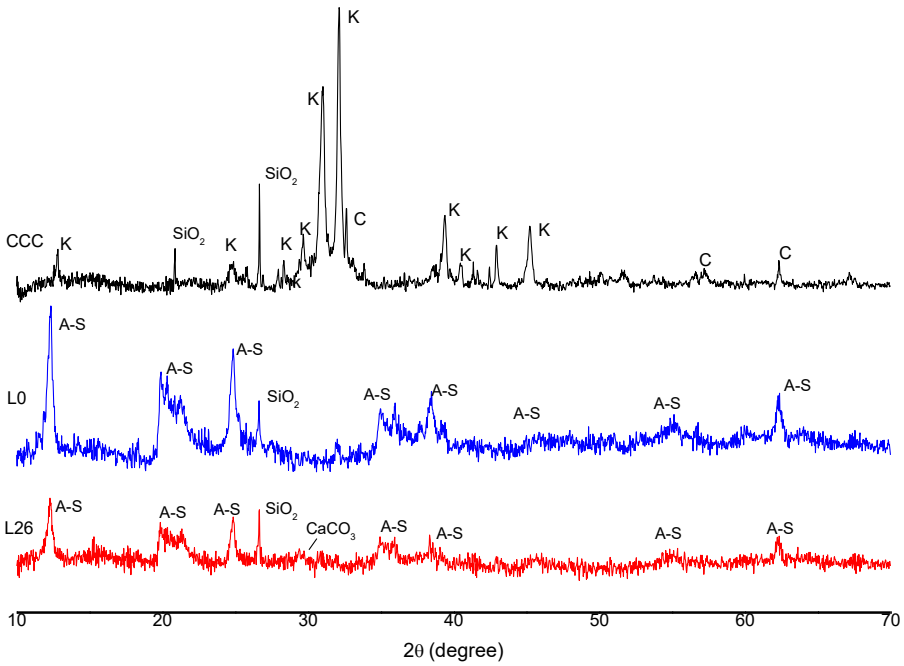


Figura 3. Difratogramas DRX para as amostras de CCC, L0 e L26.

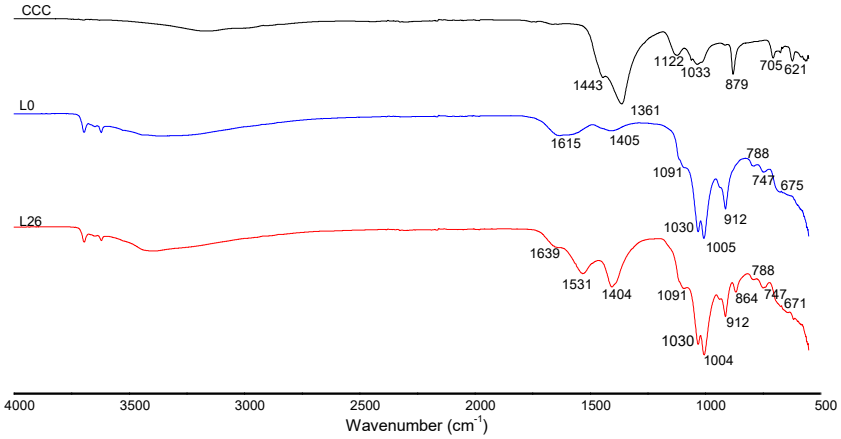


Figura 4. FTIR para as amostras de CCC, L0 e L26.

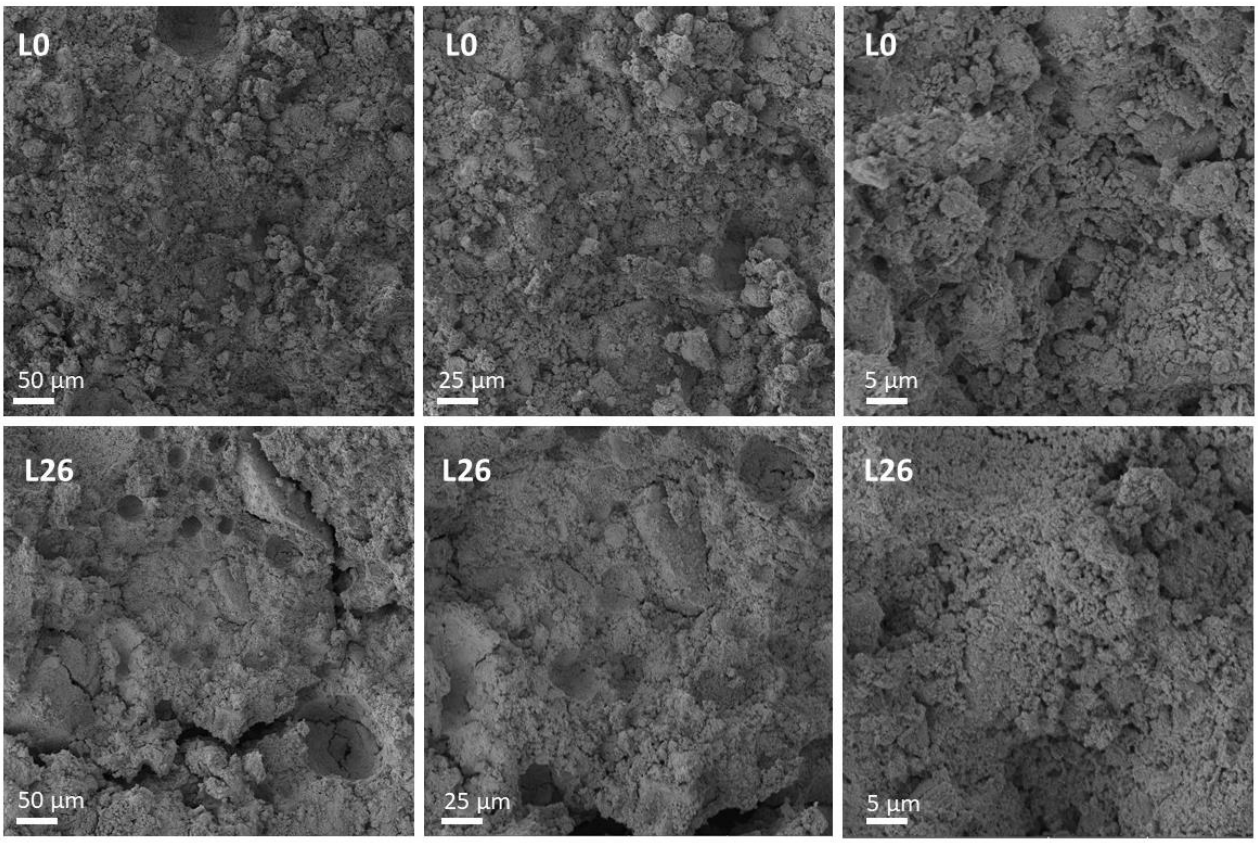


Figura 5. Imagens de MEV para as amostras de L0 e L26.

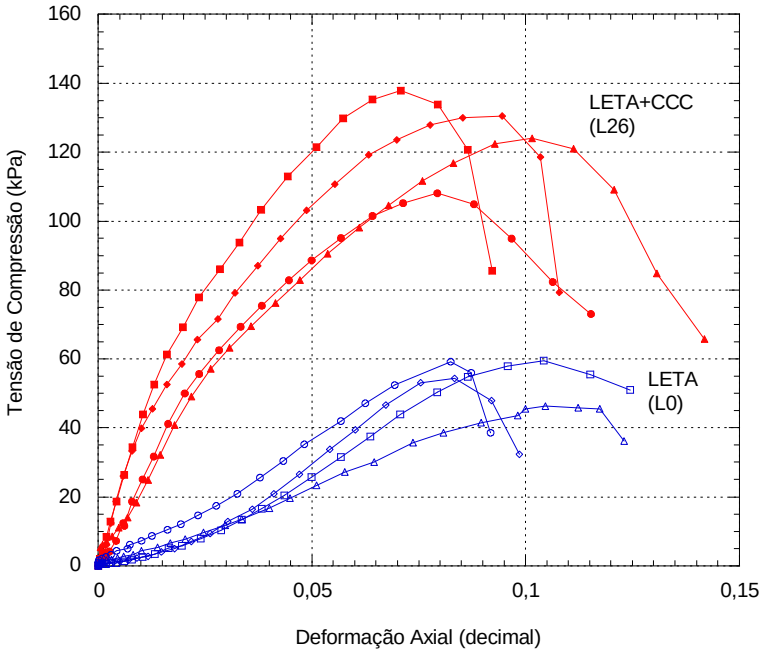


Figura 6. Curvas Tensão de Compressão x Deformação Axial para L0 de L26.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu verificar que os corpos-de-prova da mistura de LETA com 26 % (massa seca) de CCC apresentaram resistência à compressão simples 2,3 vezes superior, e módulo de rigidez secante (entre 0 e 4 %) 4,5 vezes superior aos corpos-de-prova do LETA puro, em mesmo teor de umidade e com índices de vazios de moldagem semelhantes. Assim, o ensaio de compressão simples mostrou a melhoria das características mecânicas do LETA por adição das CCC. Nos ensaios mineralógicos, identificou-se a presença majoritária de silicato de alumínio hidratado para o LETA. Notou-se reação completa das cinzas com o LETA, fases amorfas e formação de carboaluminatos, tornando o material L26 mais denso que o LETA puro. Os resultados obtidos indicaram uma melhoria promissora do comportamento mecânico do LETA pela adição das CCC, o que tem ensejado a realização de novas pesquisas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos Laboratórios de Plasmas e Processos e de Materiais e Processos do ITA por permitirem o uso de equipamentos, à ETA do DCTA por permitir a coleta de amostras, ao Eng. Matheus Müller pelo apoio na coleta e desaguamento, e ao técnico de laboratório do ITA Marcos Vinícius de Oliveira Rezende.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm- Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 1984, 8p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 6459: Determinação do Limite de Liquidez, Rio de Janeiro, 2020, 6p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 7180: Determinação do Limite de Plasticidade, Rio de Janeiro, 1988, 3p.

BRASIL (2010). Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providencias. Diário Oficial da União: Brasília.

CONAB (2025). Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, v. 12(4), Brasília, p. 1-59.

Fernández-Carrasco, L., Puertas, F., Blanco-Varela, M.T., Vázquez, T., Rius. J. (2005). Synthesis and crystal structure solution of potassium dawsonite: An intermediate compound in the alkaline hydrolysis of calcium aluminate cements. Cement and Concrete Research, 35(4): 641-646. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.018.

Huat, B., Prasad, A., Assadi, A., Kazemian, S. (2014). Geotechnics of organic soils and peat. CRC Press/Balkema, Londres, RU.

IBGE (2017). INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: IBGE.

IPEA (2012) Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor Agrossilvo pastoril e Agroindústrias Associadas. https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/9dcf2c51-8f78-4d61-8f2e-1fb66a89ca28/content

Lima, F.S.; Gomes, T.C.F.; Moraes, J.C.B. (2023). Effect of coffee husk ash as alkaline activator in one-part alkali-activated binder, Construction and Building Materials, 362, 129799.

Lima, F.S.; Gomes, T.C.F.; Moraes, J.C.B. (2022). Novel one-part alkali-activated binder produced with coffee husk ash. Materials Letters, 313, 131733.

Montalvan, E.L.T. (2016). Investigação do comportamento geotécnico de misturas de solo arenoso com lodo da estação de tratamento de água do município de Cubatão, SP. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Munirwan, R.P., Mohd Taib, A., Taha, M.R., Abd Rahman, N., Munirwansyah, M. (2023). A sustainable solution of coffee husk waste disposal for soil stabilization. In Proceedings of the 9th International Congress on Environmental Geotechnics, 25-28 June, Chania, Grécia.

Munirwan, R. P., Mohd Taib, A., Taha, M. R., Abd Rahman, N., Munirwansyah, M. (2022). Utilization of coffee husk ash for soil stabilization: A systematic review. Physics and Chemistry of the Earth, 128 (Setembro). https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103252

SABESP (2024). De onde vem a água que bebemos - Tratamento de água. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/o-que-fazemos/fornecimento-agua/tratamento-agua. Acesso: 16/07/2024.

Silva, A.S., Hemsi, P.S. (2018). Efeito do teor de sólidos na resistência ao cisalhamento de um lodo de ETA visando seu uso em cobertura diária de aterros sanitários. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Salvador, Brasil.

Silva, A.S., Hemsi, P.S. (2021). Adição de cal a um lodo de ETA visando melhoria da resistência para o uso em cobertura diária de aterros sanitários. 1° Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água - LETA 2021, Volume 1.

Watanabe, Y., Komine, H., Yasuhara, K., Murakami, S. (2011). Batch Leaching Test Focusing on Clod Size of Drinking Water Sludge and Applications to Long-term Prediction Using Column Leaching Test. In: Geo-Frontiers Congress, 13-16 de Março, Dallas, Texas, EUA.