

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO COMO MATERIAL ALTERNATIVO NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

Amanda Mendes Arruda ¹

Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça ²

RESUMO

A estabilização química de solos é realizada mediante a incorporação de agentes cimentantes, como cimento e cal, que promovem a aglutinação das partículas do solo, o preenchimento dos vazios e, conseqüentemente, o incremento da resistência em virtude da redução da tendência contrativa da estrutura. Para solos granulares, a eficácia da estabilização com cal está condicionada à adição de materiais pozolânicos ricos em sílica e alumina, os quais reagem quimicamente formando compostos hidratados de silicatos e aluminatos de cálcio. A substituição do cimento Portland por misturas de cal e pozolanas não apenas mantém as propriedades geotécnicas desejadas, mas também representa uma alternativa ambientalmente vantajosa. Nesse sentido, a crescente demanda por práticas sustentáveis na engenharia geotécnica tem fomentado a utilização de subprodutos industriais como materiais pozolânicos, estratégia que simultaneamente mitiga os impactos ambientais associados ao descarte desses resíduos e reduz os custos de produção. O processo de polimento a úmido na fabricação de porcelanatos gera um resíduo, denominado Resíduo de Polimento de Porcelanato (RPP), formado por partículas da cerâmica e do material abrasivo. Esse subproduto, frequentemente descartado em aterros, apresenta desafios ambientais significativos devido à sua elevada produção diária, necessidade de grandes áreas de armazenamento e potencial de contaminação do solo e lençóis freáticos. Sua composição deriva principalmente da massa porcelânica (argilas, feldspatos, quartzo e caulins) e do material abrasivo (carbeto de silício aglomerado com matriz de cloreto de magnésio), resultando em teores expressivos de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), magnésio e outros óxidos fundentes. Ensaio de condutividade elétrica e consumo de hidróxido de cálcio confirmam sua atividade pozolânica, atribuída à presença de sílica reativa. Quando incorporado em matrizes cimentícias, o RPP demonstra capacidade de catalisar reações de hidratação, aumentar a resistência mecânica e melhorar a durabilidade, caracterizando-se como um material promissor na estabilização de solos.

Palavras-chave: Resíduo de Polimento de Porcelanato, Estabilização Química, Solos.

INTRODUÇÃO

A melhoria das propriedades de solos tem sido um tema que despertou o interesse de engenheiros geotécnicos por muitos anos. Como exemplo, na pavimentação têm-se que subleitos fracos aumentam significativamente os custos, pois exigem a construção de

¹ Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, amandamarruda@outlook.com;

² Doutora pelo Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG ana.duartemendonca@gmail.com;



pavimentos de espessuras maiores. Portanto, nos subleitos fracos existentes na natureza que não atendem aos critérios para construção de pavimentos, a estabilização pode ser uma opção para o transporte de materiais necessários para as camadas de base e sub-base, bem como o subleito (SENGUL *et al.*, 2023).

As características desses solos podem ser melhoradas usando métodos como a estabilização com materiais convencionais e com resíduos, que podem ocasionar alterações das propriedades mecânicas, térmicas ou químicas, aumentando a durabilidade e resistência para torná-los adequado ao uso em pavimentos rodoviários. Desse modo, uma solução convencionalmente utilizada é a estabilização do solo com cal ou cimento Portland, frequentemente utilizada como reforço das camadas dos pavimentos, com o objetivo de melhorar a resistência, rigidez e durabilidade. A estabilização converte uma camada não ligada em uma camada ligada que possui considerável resistência à tração.

Estudos realizados por Biswal *et al.* (2020), indicam que o uso de base estabilizada na estrutura do pavimento altera o comportamento e mecanismo de ruptura. A ruptura das camadas de base estabilizadas pode ser atribuída a três razões, tais como (1) desenvolvimento de fissura de retração, (2) erosão de partículas finas no topo da camada de base levando à ruptura por esmagamento e (3) ruptura por fadiga. As rachaduras ocasionadas por retração e os problemas de erosão podem ser resolvidos selecionando materiais, dosando adequadamente o aglutinante e realizando manutenções oportunas. No entanto, as fissuras de fadiga desenvolvem-se com acúmulo gradual de danos após grande número de tráfego, sendo a durabilidade dessas estruturas frequentemente questionada quando submetida a cargas cíclicas.

Os resíduos de polimento de porcelanato (RPP), compostos por material cerâmico e abrasivos como carbeto de silício, são reutilizados na produção de porcelanato. Isso reduz impactos ambientais ao evitar a contaminação do solo e águas subterrâneas. Economicamente viável, também diminui custos de armazenamento e transporte de resíduos, promovendo práticas sustentáveis na indústria cerâmica.

Este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de revisão bibliográfica, o potencial de aplicação do resíduo do polimento de porcelanato na estabilização química de solos, considerando seus efeitos sobre as propriedades geotécnicas e o desempenho mecânico das misturas, bem como os benefícios ambientais decorrentes de seu aproveitamento como material pozolânico alternativo na engenharia civil.



METODOLOGIA

O presente artigo foi elaborado com base em uma revisão bibliográfica. A pesquisa teve caráter qualitativo, exploratório e descritivo, com o objetivo de reunir e analisar as principais contribuições científicas sobre o tema, identificando tendências e potencialidades relacionadas à aplicação de materiais residuais na engenharia geotécnica e rodoviária.

O levantamento bibliográfico foi realizado em bases de dados científicas nacionais e internacionais, complementado por dissertações e teses relacionadas à estabilização de solos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estabilização química de solos envolve a adição de materiais cimentícios ou pozolânicos, como cal e o cimento Portland, para melhorar suas propriedades (HALL *et al.*, 2012; AMHADI e ASSAF, 2019; FIROOZI *et al.*, 2017). Este processo é amplamente empregado em diversas obras de infraestrutura, incluindo blocos de construção, camadas de pavimentos, barragens, fundações, pontes, aterros e muros de contenção (HALL *et al.*, 2012; FIROOZI *et al.*, 2017; BEHNOOD, 2018).

De acordo com Behnood (2018), no âmbito específico das camadas de pavimentos, a estabilização química oferece uma série de benefícios significativos. Dentre eles, ressaltam-se o aumento da resistência ao cisalhamento e à compressão, estabilidade volumétrica, redução do índice de plasticidade, diminuição das deformações e o incremento do módulo de resiliência. Além disso, a técnica confere maior desempenho do material estabilizado sob condições ambientais adversas, como em ciclos de gelo e degelo, erosão superficial e exposição prolongada a intempéries.

Durante a produção de peças cerâmicas, especialmente porcelanatos polidos, uma das etapas fundamentais é o polimento superficial, responsável por conferir maior brilho e qualidade estética ao produto final. Essa operação é realizada com a utilização de água, que facilita o processo abrasivo e retira partículas das superfícies cerâmicas. O material resultante desse processo, denominado resíduo do polimento de porcelanato (RPP), é composto por fragmentos de cerâmica e do abrasivo empregado (SOUSA *et al.*, 2022).

O manejo inadequado desse resíduo constitui um problema ambiental relevante. O RPP é normalmente descartado em aterros industriais, o que exige grandes áreas de



disposição e representa um passivo ambiental considerável. Sua elevada geração diária impõe desafios às indústrias, tanto pelo custo de armazenamento quanto pelo risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas. Além disso, o resíduo, quando seco, pode ser facilmente transportado pelo vento, causando impactos sobre a vegetação (BREITENBACH, 2013). No contexto brasileiro, essa preocupação é ainda mais expressiva: o país é o terceiro maior produtor mundial de revestimentos cerâmicos, com uma produção de 1.048,6 milhões de m² em 2021, o que resulta em uma geração estimada de aproximadamente 74 mil toneladas de RPP por ano (ANFACER, 2022; Matos *et al.*, 2018).

A composição química e mineralógica do RPP reflete os constituintes originais tanto da massa cerâmica quanto do material abrasivo utilizado no processo de polimento. A massa porcelânica é tradicionalmente obtida a partir da mistura de argilas, feldspatos, quartzo e caulins, cada um com funções específicas no desempenho do produto final. As argilas conferem plasticidade à mistura, permitindo sua moldagem e prensagem; os feldspatos atuam como fundentes, promovendo a densificação durante a queima; o quartzo contribui como material inerte e de preenchimento, reduzindo custos e minimizando a retração na secagem; e os caulins auxiliam na vitrificação e na resistência mecânica das peças, além de conferir coloração mais clara ao revestimento (KAYACI, 2021).

Por sua vez, o material abrasivo utilizado no polimento é constituído predominantemente por carbeto de silício (SiC), que é aglutinado por uma matriz cimentícia à base de cloreto magnésiano. Essa combinação busca otimizar a eficiência da abrasão, promovendo a remoção controlada de partículas sem comprometer a integridade das peças (BREITENBACH, 2013). Como resultado, o RPP apresenta uma composição química rica em sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃), além de conter quantidades significativas de magnésio, provenientes da matriz abrasiva, e outros óxidos fundentes oriundos da massa porcelânica (MEDEIROS *et al.*, 2021).

De acordo com Souza (2007), do ponto de vista mineralógico, as principais fases cristalinas identificadas no RPP são mulita, quartzo e carbeto de silício. A mulita e o quartzo originam-se diretamente da massa cerâmica, enquanto o carbeto de silício provém do abrasivo utilizado no processo de polimento. Essa composição confere ao resíduo características potencialmente pozolânicas, tornando-o um material de interesse para aplicações na engenharia civil.



Diversos estudos têm buscado comprovar essa atividade pozolânica por meio de ensaios laboratoriais específicos, como testes de condutividade elétrica, consumo de hidróxido de cálcio (MEDEIROS *et al.*, 2021), análises de resistência mecânica e termogravimétricas em materiais cimentícios contendo RPP (JACOBY e PELISSER, 2015; MATOS *et al.*, 2018). Os resultados obtidos indicam que a incorporação do resíduo favorece as reações de hidratação dos compostos cimentantes, contribuindo para o aumento da resistência, da densificação da matriz e da durabilidade dos materiais. Assim, o resíduo do polimento de porcelanato demonstra grande potencial como aditivo mineral ativo, podendo ser utilizado de forma vantajosa na estabilização química de solos em misturas com cal ou cimento, representando uma alternativa técnica e ambientalmente sustentável para o setor da construção civil.

O estudo de Silva (2022) avaliou uma areia eólica obtida em Natal e constatou seu alto potencial de liquefação, especialmente em baixas compacidades. Realizando estabilização com cal e resíduo do polimento de porcelanato (RPP), o autor observou melhorias na resistência mecânica, devido ao melhor empacotamento das partículas e à formação de ligações pozolânicas e carbonáticas. As misturas estabilizadas apresentaram comportamento mais coeso, maior resistência e menor geração de poropressões, alterando o mecanismo de liquefação de fluxo para mobilidade cíclica. A combinação de 3% de cal e 5% de RPP já foi suficiente para reduzir substancialmente o risco de liquefação, demonstrando a eficácia da estabilização química.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão realizada, constatou-se que a estabilização química de solos com a incorporação do resíduo do polimento de porcelanato (RPP) representa uma alternativa promissora tanto sob o ponto de vista técnico quanto ambiental. O RPP, composto majoritariamente por sílica, alumina e carvão de silício, apresenta características pozolânicas capazes de reagir com a cal ou o cimento, promovendo a formação de compostos cimentantes que melhoram significativamente o desempenho mecânico e a durabilidade dos solos tratados. Além de reduzir a plasticidade e aumentar a resistência ao cisalhamento e à compressão, essa estabilização contribui para maior estabilidade volumétrica e menor suscetibilidade a deformações permanentes.

Os estudos analisados demonstram que o uso combinado de cal e RPP proporciona resultados expressivos na melhoria das propriedades geotécnicas dos solos, incluindo o



aumento do módulo de resiliência e a mitigação do potencial de liquefação, como evidenciado no caso da areia eólica de Natal. Nessas condições, a adição de baixos teores de cal e de RPP foi suficiente para reduzir de forma significativa a geração de poropressões, evidenciando a eficiência da estabilização química na prevenção de instabilidades em solos arenosos de baixa compactidade.

Além dos benefícios técnicos, a utilização do RPP na estabilização de solos oferece uma alternativa ambientalmente sustentável para a destinação desse resíduo, cuja geração em larga escala representa um problema crescente no setor cerâmico brasileiro. A incorporação do RPP em obras de pavimentação e infraestrutura possibilita não apenas o aproveitamento de um subproduto industrial, mas também a redução do consumo de materiais convencionais e do impacto ambiental associado ao descarte inadequado.

REFERÊNCIAS

AMHADI, T. S.; ASSAF, G. J. **OVERVIEW OF SOIL STABILIZATION METHODS IN ROAD CONSTRUCTION**. Sustainable Civil Infrastructures, p. 21-33, 28 out. 2018. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-01911-2_3.

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. Setor de cerâmica. **PANORAMA 2022: PRODUÇÃO BRASILEIRA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/>>.

BEHNOOD, A. **SOIL AND CLAY STABILIZATION WITH CALCIUM- AND NON-CALCIUM-BASED ADDITIVES: A STATE-OF-THE-ART REVIEW OF CHALLENGES, APPROACHES AND TECHNIQUES**. Transportation Geotechnics, v. 17, p. 14-32, dez. 2018.

BISWAL, D. R.; SAHOO, U. C.; DASH, S. R. **FATIGUE CHARACTERISTICS OF CEMENT-STABILIZED GRANULAR LATERITIC SOILS**. Journal Of Transportation Engineering, Part B: Pavements, v. 146, n. 1, mar. 2020. American Society of Civil Engineers (ASCE). <http://dx.doi.org/10.1061/jpeodx.0000147>.

BISWAL, D. R.; SAHOO, U. C.; DASH, S. R. **MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CEMENT STABILISED GRANULAR LATERITIC**



SOILS FOR USE AS STRUCTURAL LAYER OF PAVEMENT. Road Materials and Pavement Design, v. 21, n. 5, p. 1201-1223. Informa UK Limited. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2018.1545687>.

BREITENBACH, S. B. DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA PARA RESTAURAÇÃO UTILIZANDO RESÍDUO DO POLIMENTO DO PORCELANATO. Tese de doutorado do Programa de Pós- Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

FIROOZI, A. A.; OLGUN, C. G.; FIROOZI, A. A.; BAGHINI, M. S. FUNDAMENTALS OF SOIL STABILIZATION. INTERNATIONAL JOURNAL OF GEO-ENGINEERING, v. 8, n. 1, dez. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>.

HALL, M.R.; NAJIM, K.B.; DEHDEZI, P. Keikhaei. SOIL STABILISATION AND EARTH CONSTRUCTION: MATERIALS, PROPERTIES AND TECHNIQUES. Modern Earth Buildings, n. 9, p. 222-255, 2012. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9780857096166.2.222>.

JACOBY, P. C.; PELISSER, F. POZZOLANIC EFFECT OF PORCELAIN POLISHING RESIDUE IN PORTLAND CEMENT. Journal of Cleaner Production, v. 100, p. 84–88, 2015.

KAYACI, K. THE USE OF PERLITE AS FLUX IN THE PRODUCTION OF PORCELAIN STONEWARE TILES. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, v. 60, n. 5, p. 283–290, 2021.

MATOS, P. R.; PRUDÊNCIO, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; PELISSER, F.; GLEIZE, P. J. P. USE OF PORCELAIN POLISHING RESIDUE AS A SUPPLEMENTARY CIMENTITIOUS MATERIAL IN SELF-COMPACTING CONCRETE. Construction and Building Materials, v. 193, p. 623–630, 2018.

MEDEIROS, A. G.; GURGEL, M. T.; SILVA, W. G.; OLIVEIRA, M. P.; FERREIRA, R. L. S.; LIMA, F. J. N. EVALUATION OF THE MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF ECO-EFFICIENT CONCRETES PRODUCED WITH PORCELAIN POLISHING AND SCHEELITE WASTES. Construction and Building Materials, v. 296, p. 123719, 2021.



PORTELINHA, F. H. M.; LIMA, D. C.; FONTES, M. P. F.; CARVALHO, C. A. B. **MODIFICATION OF A LATERITIC SOIL WITH LIME AND CEMENT: AN ECONOMICAL ALTERNATIVE FOR FLEXIBLE PAVEMENT LAYERS**, 35(1), p. 51-63. Soils and Rocks, 2012, São Paulo. DOI: <http://dx.doi.org/10.28927/sr.351051>.

SENGUL, T.; AKRAY, N.; VITOSOGLU, Y. **INVESTIGATING THE EFFECTS OF STABILIZATION CARRIED OUT USING FLY ASH AND POLYPROPYLENE FIBER ON THE PROPERTIES OF HIGHWAY CLAY SOILS**. Construction And Building Materials, v. 400, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132590>.

SILVA, J. D. Jales. **SUSCETIBILIDADE À LIQUEFAÇÃO DINÂMICA DE UMA AREIA EÓLICA PURA E ESTABILIZADA COM RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO E CAL**. 2023. 277 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2023.

SOUSA, I. V.; JARAMILLO NIEVES, L. J.; DAL-BÓ, A. G.; BERNARDIN, A. M. **VALORIZATION OF PORCELAIN TILE POLISHING RESIDUE IN THE PRODUCTION OF CELLULAR CERAMICS**. Cleaner Engineering and Technology, v. 6, p. 100381, 2022.

SOUZA, P. A. B. F. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO PLÁSTICO, MECÂNICO, MICROESTRUTURAL E TÉRMICO DO CONCRETO PRODUZIDO COM RESÍDUO DE PORCELANATO**. 2007. 232 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2007.

