

# AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO PARA EXECUÇÃO DA TAIPA DE PILÃO EM MATO GROSSO DO SUL, BRASIL

Karina Latosinski<sup>1</sup>, Andrea Naguissa Yuba<sup>2</sup>, Aline Ferreira Gisoato<sup>3</sup>, Alexandre Silva de Vargas<sup>4</sup>

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

<sup>1</sup>karina.latosinski@ufms.br, <sup>2</sup>naguissa.yuba@ufms.br, <sup>3</sup>aline.gisoato@ufms.br

<sup>4</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, alexandre.vargas@ufms.br,

**Palavras-chave:** terra, arquitetura de terra, resíduo siderúrgico, sustentabilidade.

## Resumo

Na execução da taipa de pilão, a terra é estabilizada mecanicamente pela compactação, mas também poderá ter propriedades otimizadas com a estabilização química e física. Assim, esse estudo se propõe a verificar a adição de um resíduo, a escória de alto forno (EAF) proveniente da fabricação de ferro gusa, em misturas de terra compactada com baixas concentrações de ativadores alcalinos. A EAF aplicada é um resíduo da produção siderúrgica do município de Corumbá, Mato Grosso do Sul. Assim, o objetivo do trabalho é avaliar o potencial de aplicação da EAF em misturas de terra compactadas em relação à resistência mecânica, teor alcalino e aspecto visual, além de indicar, com base no método da ACV-modular, o impacto de tal ação. Os procedimentos adotados envolvem a caracterização dos materiais, elaboração e experimentação de amostras e relações teóricas quanto à sustentabilidade. A malha experimental foi elaborada com teores identificados na literatura, considerando proporções entre 5, 7, 10, 15 e 25% de escória e 1,3 e 5% dos ativadores hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio. Foram moldados corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 5cm e altura de 10cm avaliados nas idades de 7 e 21 dias para o ensaio de resistência à compressão e acompanhados quanto a formação de eflorescências após a cura em ambiente com temperatura de 30°C. Em relação ao solo base, típico do estado do Mato Grosso do Sul, as formulações testadas foram positivas quanto ao desempenho mecânico, demonstrando o forte potencial de aplicação do resíduo estudado combinado com ativadores. Aos sete dias, enquanto as misturas compostas somente por solo atingiram resistência à compressão de 0,20 MPa, aquelas com escória chegaram a 2,10 MPa, o que pode representar ganhos em produtividade. Com relação ao aspecto visual, foram identificadas alterações no exterior das amostras com leve intensidade.

## 1 INTRODUÇÃO

As altas emissões de carbono impostas pela fabricação de cimento Portland têm impulsionado o desenvolvimento de alternativas menos impactantes para a construção civil. Entre elas, o uso de ligantes geopoliméricos – aluminossilicatos ativados por reagentes fortemente alcalinos - é um potencial (McClellan et al., 2011) embora não exista consenso sobre as vantagens dessa aplicação com relação à sustentabilidade na arquitetura de terra, principalmente pela influência de fatores locais/regionais (Meek; Elchalakani, 2019).

A literatura demonstra a possibilidade de aplicação da ativação alcalina em paredes de terra para tratamentos de superfícies (Elert et al., 2019, 2022) e para a elaboração de blocos ou paredes do mesmo material (Consoli et al., 2022; Gonçalves et al., 2023). Entre os precursores, identificam-se principalmente trabalhos com solo combinado ao caulim (Meek et al., 2020), metacaulim (Felix, 2016), cinza volante (Miranda et al., 2017) e escória de alto forno (EAF) (Toufigh et al., 2022).

EAF é um resíduo da produção siderúrgica geralmente rico em óxido de cálcio que pode variar suas propriedades reativas e de captura de CO<sub>2</sub> conforme as características que envolvem a sua produção (Song et al., 2021). O Estado do Mato Grosso do Sul é o terceiro maior produtor de minério de ferro do Brasil, concentrando 15% das reservas nacionais (Jesus, 2011)

especialmente no município de Corumbá - distante 425 km da capital Campo Grande e local de realização dessa pesquisa. Conseqüentemente, há geração em grandes quantidades do resíduo de EAF no local que necessitam de destinação adequada, em respeito às legislações ambientais.

Esse trabalho busca avaliar, considerando o uso em paredes de taipa de pilão, a viabilidade da adição da EAF quanto à resistência à compressão e os reflexos dessa aplicação para a sustentabilidade, quando comparado ao solo-cimento.

## 2 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

O estudo foi desenvolvido em duas etapas: o plano experimental, composto por caracterização dos materiais, definição e moldagem das amostras, cura, ensaio de resistência à compressão e avaliação estatística, seguido de registro visual das amostras; e a avaliação quanto à sustentabilidade, com a comparação, por avaliação do ciclo de vida AVC modular (ACV-m), entre paredes de taipa de pilão executadas em solo-cimento e a mistura de melhor desempenho neste plano experimental. Tal etapa foi baseada no trabalho de Miranda (2017), que analisa um edifício construído no município de Campo Grande.

### 2.1 Plano experimental

O solo utilizado foi coletado em jazida comercial do município de Campo Grande e armazenado, após secagem em estufa, em local protegido. A EAF foi coletada no município de Corumbá sob aspecto granular e posteriormente cominuída em laboratório no moinho de bolas. A figura 1 apresenta a distribuição granulométrica dos dois materiais por difração de raios laser em solução aquosa no equipamento *Malvern 3000+*.

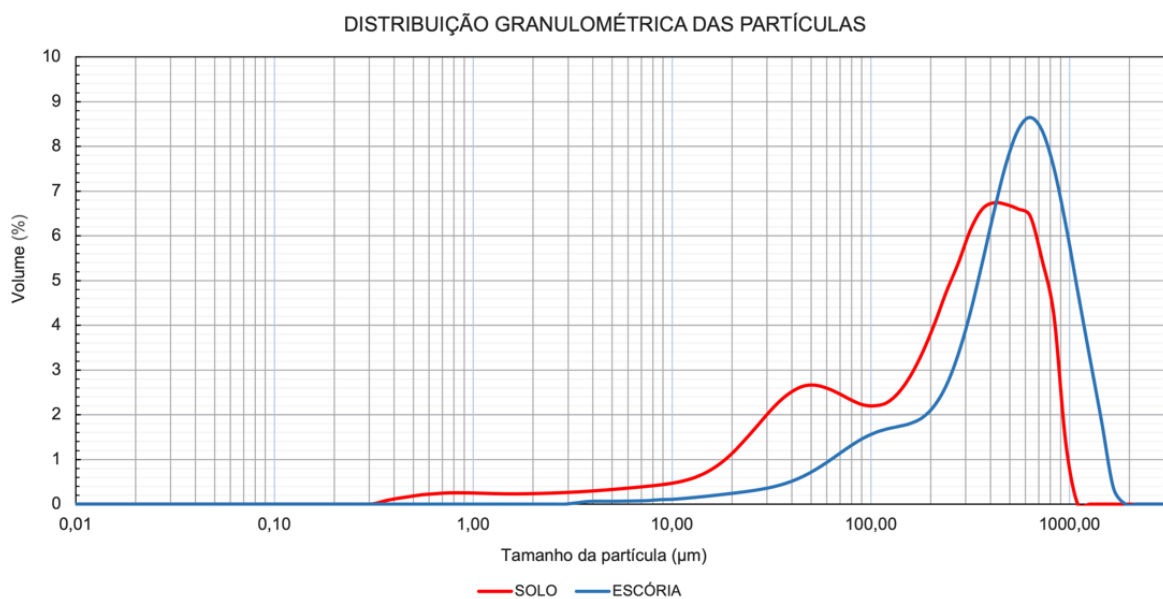


Figura 1. Distribuição granulométrica dos precursores avaliados: solo e escória

Os dois materiais também foram analisados por difração de raios X (DRX), demonstrando no solo picos cristalinos expressivos de quartzo, calcita e hematita; na escória foram encontradas características amorfas, sem formação de picos (Gisoato et al., 2024). A tabela 1 apresenta a caracterização geral do solo e os principais percentuais de óxidos identificados por análise química com fluorescência de raios X (FRX).

Os ativadores empregados foram hidróxido de sódio, NaOH, em lascas, com 96-99% de pureza, diluído em água, e hidróxido de cálcio, Ca(OH)<sub>2</sub> do tipo CH-III. Como procedimento, adotou-se diluir previamente o hidróxido de sódio em água até atingir a temperatura ambiente. A mistura dos componentes foi realizada manualmente com a homogeneização dos itens

secos e posterior adição da água ou solução. O teor de água das misturas foi variável em função do teste de umidade expedito realizado para cada traço conforme Neves et al. (2010).

Tabela 1. Caracterização do solo empregado

Latossolo vermelho - Campo Grande/MS		
Descrição	Resultado	Referência
Massa específica dos grãos do solo	2,7 g/cm <sup>3</sup>	NBR 6458/2017
Classificação granulométrica	Areia 84 %; silte 4 %; argila 12 %	NBR 6502/2002
Limite de liquidez	18%	NBR 6459/2017
Limite de plasticidade	Não plástico	NBR 7180/2016
Quantidade de SiO <sub>2</sub> identificado por FRX	57%	NBR 14656/2023
Quantidade de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> identificado por FRX	27%	NBR 14656/2023

As composições das misturas foram estabelecidas em relação à proporção em massa do solo, conforme tabela 2. Para cada traço, foram moldadas 6 réplicas, sendo adotado molde cilíndrico com diâmetro de 5 cm e 10 cm de altura. A compactação ocorreu com compactador manual, metálico, em três camadas cada uma com 26 golpes.

Tabela 2. Composição das misturas – proporções em massa adotadas

Grupo	Solo (%)	Escória (%)	NaOH (%)	Ca(OH) <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> O (%)
REF	100				5
SE5	100	5			6
SE7	100	7			8
SE10	100	10			8
N5	100		5		6,5
N10	100		10		6,5
SN3E5	100	5	3		6,5
SN3E7	100	7	3		6,5
SN3E10	100	10	3		6,5
SN5E5	100	5	5		6,5
SN5E10	100	10	5		6,5
SN5E15	100	15	5		8
SN5E25	100	25	5		7
SC5N5E5	100	15	5	5	8

A nomenclatura adotada para seguiu o seguinte princípio: letra inicial de identificação do material ou elemento químico predominante seguido do percentual utilizado em relação à massa total de solo da mistura. Assim, adotou-se S para solo, E para EAF, N para hidróxido de sódio e C para hidróxido de cálcio.

As misturas foram avaliadas quanto à resistência mecânica em prensa normalizada aos 7 e 21 dias após a cura em temperatura ambiente (recinto fechado controlado à  $30\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ). A avaliação estatística dos resultados foi realizada no *software* Jamovi, aplicando-se a estatística descritiva e análise de variância dos resultados conforme as composições. Aos 21 dias foi realizado o registo com câmera fotográfica de todos os CPs para monitoramento da formação de eflorescências.

## 2.2 Avaliação do impacto de aplicação da EAF quanto à sustentabilidade

Considerando o mesmo edifício descrito por Miranda (2017), no qual foram empregados indicadores associados ao solo-cimento na proporção de 1:12 (volume), foi aplicada igual sistematização para a mistura SN3E10. A partir da literatura, foram coletados dados para constituir as adaptações ao inventário de ACV, partindo do princípio de que os dois tipos de taipa de pilão avaliados possuem semelhante desempenho e mesma técnica executiva com terra extraída do mesmo local.

A avaliação é de um edifício real, protótipo de habitação social rural, porém os índices calculados são limitados às fases de extração, produção, transporte e construção, não considerando a fase de uso, manutenção e disposição final. As medidas funcionais das paredes e os procedimentos de execução (compactação) são idênticas nos dois estudos, mas foram adaptadas: os materiais envolvidos (incluindo EAF e hidróxido de sódio, excluindo cimento Portland); o consumo de água; o transporte entre municípios; o consumo energético para a moagem da EAF por 5h em moinho de bolas.

No quesito extração e produção da matéria, os dados para adaptação à EAF foram baseados no trabalho de Mello et al. (2015) e, para o hidróxido de sódio na publicação de Castanheira (2008). Respectivamente, com relação ao transporte dos insumos, foi considerado o deslocamento Corumbá/MS-Campo Grande/MS e Votorantim/SP – Campo Grande/MS. As distâncias foram medidas com auxílio do *software Google Maps*.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Resistência à compressão e avaliação visual

Os dados obtidos confirmaram incremento de resistência à compressão nas misturas que empregaram EAF juntamente com ativadores alcalinos, em comparação à referência e ao uso exclusivo de ativadores, conforme figura 2. Quando comparados os ativadores simples 3, 5 e 10% ou combinados de 5%, o uso simples de 3% de NaOH esteve associado aos maiores valores de resistência. A aplicação da escória sem ativadores (SE5, SE7, SE10), bem como o solo sem ligantes (REF) e a combinação em iguais proporções de escória e os ativadores combinados (SC5N5E5) não é viável à aplicação em taipa de pilão aos 21 dias, já que todos os valores são expressivamente inferiores à 1,3 MPa estabelecido pela NBR 17014 (2022) como valor mínimo.

Mesmo não tendo incorporado na malha experimental o percentual de 3% de ativador e solo, pode-se inferir, com base na mistura N10, que somente o ativador e o solo não atingem o igual valor ao obtido com a incorporação de escória na mistura. O maior valor médio obtido aos 21 dias foi do grupo SN3E10 com 3,3 MPa, também foi esse que representou o mais expressivo aumento de resistência à compressão entre 7 e 21 dias, indicando teores favoráveis à reação de ativação, figura 2. As amostras dos grupos SN5 mantiveram-se em valores próximos entre 7 e 21 dias indicando, possivelmente, que essa concentração do ativador é alta para quantidade de Si disponível no precursor, diminuindo a progressão da reação associada à resistência mecânica.

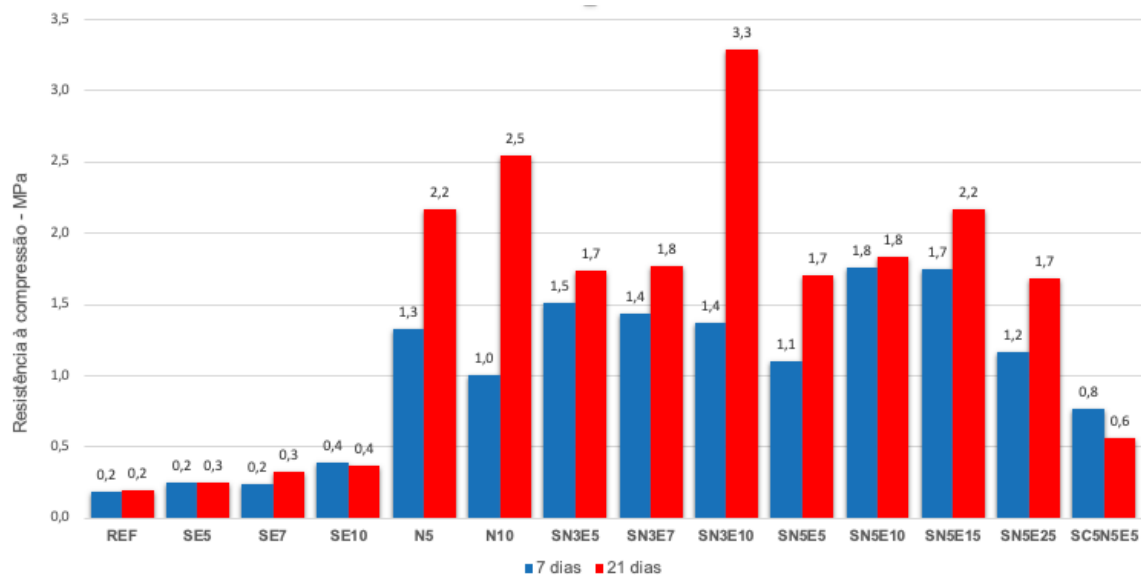


Figura 2. Análise dos valores de resistência à compressão obtidos entre 7 e 21 dias

Quanto a análise geral da incorporação de EAF, o teor de 10% foi mais bem avaliado que 5% dentre as proporções estabelecidas, utilizando maior quantidade de resíduo. Mesmo não sendo identificada uma relação direta no aumento da quantidade de escória e os valores de resistência à compressão, sugere-se que próximos estudos o acompanhem em amostra SN3E15, já que o único teor de 15% de EAF nesse grupo amostral obteve 1,95 MPa. Avaliando assim o aumento do uso do resíduo para um teor baixo de ativador.

A inspeção visual das amostras destacou que a formação de eflorescência acontece desde as idades iniciais, contudo não pode ser relacionada isoladamente ao aumento de EAF, ou a concentração do ativador nas amostras avaliadas, acompanhando outros trabalhos que destacam a forte influência da quantidade de água da mistura (Lermen et al., 2022). A figura 3 indica que na presença de ativadores, a relação percentual de escória/ativador próximo a 3 pode sustentar menor intensidade nas manchas esbranquiçadas, tal como na amostra SN5E15 e SN3E10. Contudo, essa ausência de um padrão claro para a formação de eflorescência pode ser considerada uma desvantagem na avaliação realizada, sendo alvo para futuros estudos.

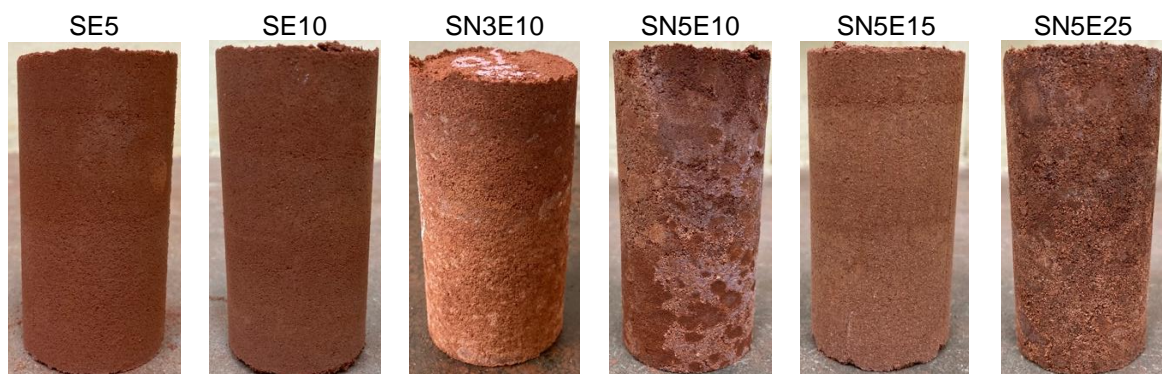


Figura 3. Registro das composições aos 21 dias de cura

Observou-se que, sem o uso de ativadores alcalinos, não houve formação de manchas brancas com 5 e 10% de escória (SE5 e SE10) e que, considerando o pequeno incremento de resistência mecânica nesses dois casos, possivelmente o efeito da EAF seja apenas físico na composição da mistura, sem reatividade com o solo.

### 3.2 ACV-modular

O método ACV-modular considera por padrão os quesitos de emissão de CO<sub>2</sub>, energia incorporada, consumo de água e o consumo de matérias-primas em avaliações por mínimo e máximos indicadores. A comparação entre a parede de solo-cimento e a parede SN3E10, (tabela 3) indica que o uso da EAF implica maior energia incorporada somente na fase de construção – em função da moagem –, mas no processo geral gasta-se menor energia com o uso do resíduo. Por causa da diluição do ativador, há maior consumo de água, porém menor consumo expressivo de matérias-primas.

Tabela 3. Comparativo entre misturas aplicadas em paredes de taipa (adaptado de Miranda, 2017)

Parede taipa de solo-cimento (Miranda, 2017)					
Impacto	Extração	Produção	Transporte	Construção	Total
Emissão de CO <sub>2</sub> incorporada (kgCO <sub>2</sub> )	31,46	1937,63 2190,92	140,22 514,16	8,75	2118,07 2745,29
Energia incorporada (MJ)	160,01	11441,34 12936,93	1847,03 6772,44	861,47	14309,86 20730,85
Consumo de água (L)				2860,09	2860,09
Consumo de matérias-primas: solo e cimento (kg)				62352,36	62352,36
Parede taipa de SN3E10					
Emissão de CO <sub>2</sub> incorporada (kgCO <sub>2</sub> )	22,92	1111,33 1791,40	99,56 1793,69	9,02	1242,83 3617,03
Energia incorporada (MJ)	116,55	1109,36 4699,47	293,26 1639,59	900,90	2420,08 7356,51
Consumo de água (L)				2904,90	2904,90
Consumo de matérias-primas: solo, EAF e NaOH (kg)				48374,33	48374,33

A emissão de CO<sub>2</sub> nos dois casos possui grande variação entre o mínimo e o máximo, evitando avaliações taxativas sobre os produtos, porém o valor mínimo de emissão com uso da escória é potencialmente menor que o mínimo com solo-cimento, o que valoriza a incorporação do resíduo.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação experimental realizada indicou viabilidade na aplicação da EAF juntamente com ativadores alcalinos para taipa de pilão. Até os 21 dias, nas proporções analisadas o uso combinado de NaOH e Ca(OH)<sub>2</sub> não foi tão expressivo quanto o uso simples de NaOH em 3%. Entretanto, análises químicas e morfológicas das amostras são importantes para compreender totalmente os produtos consumidos nas reações e os efeitos dos materiais empregados, como também acompanhá-las em idades mais avançadas e na condição de exposição às intempéries.

Na avaliação do ciclo de vida, mesmo que por método simplificado, percebe-se dificuldade de acesso às informações ligadas às emissões no contexto brasileiro, principalmente com relação aos dados siderúrgicos, que podem variar conforme os procedimentos adotados pela indústria. Desse modo, os valores aplicados não invalidam o método, mas podem distanciarlo da realidade. Principalmente quanto à energia incorporada, sabe-se que os processos de

moagem da escória, além das elevadas temperaturas nos altos fornos, contribuem para a má avaliação da EAF quanto a sustentabilidade. Porém, em comparação com o uso do solo-cimento, a emissão de CO<sub>2</sub> foi diminuída em determinado aspecto.

Nos dois âmbitos desse estudo, a aplicação dos precursores provenientes do estado do Mato Grosso do Sul se mostrou adequada para uso na taipa de pilão quando combinados às baixas concentrações de ativadores alcalinos. Desse modo, destaca-se a potencialidade de materiais locais/regionais, a ampla possibilidade de destinação do resíduo EAF e a possibilidade de diminuição dos custos totais das misturas com o uso de pequenas quantidades de ativadores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castanheira, E. G. (2008). Avaliação do ciclo de vida dos produtos lácteos fabricados em Portugal Continental. Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Consoli, N. C.; Silvano, L.; Lotero, A.; Scheuermann Filho, H.; Moncaleano, C.; Cristelo, N. (2021) Key parameters establishing alkali activation effects on stabilized rammed earth. *Construction and Building Materials*, [s. l.], v. 345, p. 128299, 2022. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128299>
- Da Costa Gonçalves, L. F.; Balestra, C.; Ramirez G. (2023). Evaluation of mechanical, physical and chemical properties of ecological modular soil-alkali activated bricks without portland cement. *Environmental development*, [s. l.], v. 48. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2023.100932>
- Elert, K.; Bel-Anzué, P.; Guillot, L.; Pardo, S. (2019). Performance of alkaline activation for the consolidation of earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage*, [s. l.], v. 39, p. 93–102. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.03.004>
- Elert, K.; Jroundi, F.; Reyes, C.; Gómez, E.; Gulotta, D.; Rodriguez-Navarro, C. (2022). Consolidation of clay-rich earthen building materials: A comparative study at the Alhambra fortress (Spain). *Journal of Building Engineering*, [s. l.], v. 50. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104081>
- Felix, A. (2016). Ativação alcalina de blocos de terra crua. Dissertação de Mestrado. João Pessoa, Paraíba: Universidade Federal da Paraíba.
- Gisoato, A.; Latosinski, K.; Yuba, A. (2024). Aplicação de escória de alto forno em misturas de terra compactada. *Anais... Encontro de Sustentabilidade em Projeto*. Belo Horizonte, MG.
- Jesus, C. A. G. (2011). Ferro/aço. Agência Nacional de Mineração. Disponível em: [https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?idbancoarquivoarquivo=3974](https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?idbancoarquivoarquivo=3974). Acesso em: mar 2024.
- Lemen, R.; Remonetti, T.; Silva R. (2022). Influência da quantidade de água na formação de eflorescência em geopolímeros a base de mataculim. *Matéria*, Rio de Janeiro. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0120>
- Mclellan, B. C.; Williams, R.; Lay, J.; Riessen, A.; Corder, G. (2011) Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 19, n. 9–10, p. 1080–1090. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.02.010>
- Meek, A. H.; Elchalakani, M. (2019). Life cycle assessment of rammed earth made using alkaline activated industrial by-products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, [s. l.], v. 323, n. 1. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012143>
- Meek, A. H.; Beckett, C. T. S.; Elchalakani, M. (2020). Alternative stabilised rammed earth materials incorporating recycled waste and industrial by-products: Durability with and without water repellent. *Construction and Building Materials*, [s. l.], v. 265, p. 120629. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120629>
- Mello, R.; Coelho, F.; Calmon, J. (2015). Avaliação do ciclo de vida de concreto autoadensável com diferentes teores de adição de escória de alto forno. 12º Simpósio de Engenharia de Produção, São Paulo/BR.

Miranda, A. (2017). Análise comparativa de métodos simplificados de ACV aplicado a paredes de edificações (2017). Dissertação de Mestrado. Campo Grande, Brasil: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 170p.

Miranda, T.; Silva, R.; Oliveira, D. (2017). ICEBs stabilised with alkali-activated fly ash as a renewed approach for green building: Exploitation of the masonry mechanical performance. *Construction and Building Materials*, [s. l.], v. 155, p. 65–78. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.045>

NBR 6458 (2017). Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8mm: determinação da massa específica, massa específica aparente e da absorção de água. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 6502 (2002). Solos e rochas: terminologia. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 6459 (2017). Solos: Determinação do limite de liquidez. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 7180 (2016). Solos: Determinação do limite de plasticidade. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 14656 (2023). Cimento Portland e matérias-primas: Análises químicas por espectrometria de raios X - métodos de ensaio. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 17014 (2022). Taipa de pilão: Requisitos, procedimento e controle. Brasil. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Neves, C.; Faria, O. B.; Rotondaro, R.; Cevallos, P. S.; Hoffmann, M. V. (2010). Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>.

Song, Q.; Guo, M.; Wang, L.; Ling, T. (2021). Use of steel slag as sustainable construction materials: A review of accelerated carbonation treatment. *Resources, Conservation and Recycling*, [s. l.], v. 173. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105740>

Toufigh, V.; Ghasemalizadeh, S.; Karamian, M. (2022). Experimental Investigation of Mixture Design and Durability Performance of Alkali-Activated Rammed Earth. *International Journal of Geomechanics*, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 1–15. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0002316](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0002316)

## AUTORES

Karina T. Latosinski, doutoranda em engenharia civil; mestre em engenharia civil; arquiteta e urbanista; docente na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; co-coordenadora do grupo de pesquisa Canteiro Experimental UFMS. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/6842984286617568>

Andrea Naguissa Yuba, doutora em engenharia ambiental; mestre em engenharia civil; arquiteta e urbanista; docente de graduação e pós-graduação da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; fundadora e coordenadora do grupo de pesquisa Canteiro Experimental UFMS desde 2014. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/8074682392931455>

Aline Ferreira Gisoato, acadêmica de engenharia civil, bolsista de iniciação científica.

Alexandre Silva de Vargas, engenheiro civil, mestre e doutor em engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; docente no Departamento de Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria com atuação nos cursos de graduação e pós-graduação.