
Centro Universitário Evangélico de Goianésia - UNIEGO
Curso de Engenharia Civil

MATHEUS NASCIMENTO HILÁRIO DAMASCENO
MURILO DE JESUS OLIVEIRA

**UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO-NÍQUEL
NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE**

Publicação N° 03

Goianésia - GO
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

DAMASCENO, MATHEUS NASCIMENTO HILÁRIO. OLIVEIRA, MURILO DE JESUS.

Utilização de rejeitos de mineração de ferro-níquel na formulação de argamassa colante, 19P, 297 mm (ENC/UNIEGO, Bacharel, Engenharia Civil, 2025).

ARTIGO – UNIEGO - CENTRO UNIVERSITÁRIO EVANGÉLICO DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| 1. Sustentabilidade | 2. Substituição de agregado |
| 3. Resíduos | 4. Inovação |
| I. ENC/UNIEGO | II. |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DAMASCENO, M. N. H. OLIVEIRA, M. J. Utilização de rejeitos de mineração de ferro-níquel na formulação de argamassa colante. Artigo, Publicação 03 2025/2 Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Evangélico de Goianésia - UNIEGO, Goianésia, GO, 19p. 2025.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Matheus Nascimento Hilário Damasceno, Murilo de Jesus Oliveira.

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Utilização de rejeitos de mineração de ferro-níquel na formulação de argamassa colante

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2025

É concedida ao Centro Universitário Evangélico de Goianésia – UNIEGO a permissão para reproduzircópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode serreproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Matheus Nascimento Hilário Damasceno
Endereço: Rua C, Projeto Barro Alto
CEP 76390-000 – Barro Alto/GO – Brasil

Murilo De Jesus Oliveira
Endereço: Rua 08, Bairro Extrema
CEP 76390-000 – Barro Alto /GO – Brasil

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DO UNIEGO**

Aprovados por:

**Robson de Oliveira Félix, Mestre – UNIEGO
(ORIENTADOR)**

**Igor Cezar Silva Braga, Mestre – UNIEGO
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Eduardo Martins Toledo, Mestre – UNIEGO
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Goianésia - GO
2025**

UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO-NIQUEL NA FORMULAÇÃO DE ARGAMASSA COLANTE

Matheus Nascimento Hilário Damasceno¹, Murilo de Jesus Oliveira², Robson de Oliveira Félix³

¹ Matheus Nascimento Hilário Damasceno / UNIEGO – contatomatheustotal@gmail.com.

² Murilo de Jesus Oliveria / UNIEGO – murilodjo@outlook.com

³ Robson de Oliveira Félix / UNIEGO – robsonfelix.eng2014@hotmail.com

Resumo: O Brasil apresenta grande potencial mineral, especialmente na produção de níquel, cuja extração em Goiás contribui para o desenvolvimento econômico, mas também gera impactos ambientais significativos, como a formação de resíduos industriais, entre eles a escória de ferro-níquel (EFN). Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado miúdo natural por EFN na produção de argamassa colante, avaliando diferentes teores de substituição (0%, 5%, 10% e 15%) para identificar a proporção que proporcionasse o melhor desempenho mecânico. A metodologia incluiu a coleta e preparação da EFN, classificação granulométrica, produção das argamassas, moldagem de 40 corpos de prova e realização de ensaios de aderência por tração direta, conforme as normas ABNT NBR 14081 e NBR 13281. Os resultados demonstraram que o traço de referência (0%) foi o único que atingiu o valor mínimo exigido pela norma para argamassas do tipo AC-I, obtendo resistência média de 0,58 MPa. O traço com 5% de substituição apresentou desempenho intermediário (0,47 MPa), enquanto os teores de 10% e 15% resultaram em reduções mais significativas da resistência à tração, com médias de 0,43 MPa e 0,37 MPa, respectivamente. A análise estatística por regressão linear demonstrou relação diretamente decrescente entre o aumento do teor de EFN e a resistência, indicando que substituições inferiores a 4,78% seriam necessárias para manter a tensão mínima de 0,50 MPa. Conclui-se que, embora a EFN não apresente ganhos mecânicos significativos dentro das proporções avaliadas, possui potencial sustentável e econômico para aplicações específicas na construção civil, sobretudo quando utilizada em teores controlados e em estudos direcionados a propriedades complementares, como durabilidade e desempenho físico-químico.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Substituição de agregado; Resíduos; inovação

Abstract: Brazil holds significant mineral potential, especially in nickel production, whose extraction in the state of Goiás supports economic development but also generates considerable environmental impacts, such as the formation of industrial waste, including ferronickel slag (FNS). This study aimed to analyze the technical feasibility of partially replacing natural fine aggregate with FNS in the production of tile adhesive mortar, evaluating substitution levels of 0%, 5%, 10%, and 15% to determine the proportion that would provide the best mechanical performance. The methodology involved the collection and preparation of FNS, granulometric classification, mortar production, molding of 40 specimens, and direct tensile adhesion tests following ABNT NBR 14081 and NBR 13281 standards. The results showed that the reference mix (0%) was the only one to meet the minimum strength required for AC-I mortars, reaching an average of 0.58 MPa. The 5% replacement mix presented intermediate performance (0.47 MPa), while the 10% and 15% mixes exhibited greater reductions in tensile strength, with averages of 0.43 MPa and 0.37 MPa, respectively. Linear regression analysis revealed a decreasing relationship between increasing FNS content and strength, indicating that substitutions lower than 4.78% would be necessary to maintain the minimum tensile requirement of 0.50 MPa. It is concluded that, although FNS does not provide mechanical improvements within the evaluated proportions, it presents sustainable and economic potential for specific applications in civil construction, especially when used in controlled dosages and in studies focused on complementary properties such as durability and physicochemical performance.

Keywords: Sustainability; Aggregate replacement; Residues Innovation.

INTRODUÇÃO

O Brasil sempre se destacou pela abundância de recursos naturais, desde a exploração do pau-brasil, marco inicial da colonização, até a vastidão da Floresta Amazônica, frequentemente denominada o "pulmão do mundo" [1]. Além de sua rica biodiversidade e extensas reservas de água doce, o país é notório pela riqueza mineral, destacando-se pela presença de importantes jazidas de ferro, níquel e bauxita, fundamentais para a economia global [2].

Essa abundância de recursos confere ao Brasil um papel estratégico no mercado internacional, atendendo à demanda de setores-chave como a construção civil,

siderurgia e indústria tecnológica. Estados como Pará, Minas Gerais e Goiás figuram entre os principais polos de exploração mineral, concentrando uma parcela significativa da produção nacional [3].

Em Goiás, a mineração de níquel desempenha um papel relevante no desenvolvimento local e na melhoria da infraestrutura industrial. O Estado abriga operações de extração e beneficiamento que transformam o minério bruto em insumos essenciais para a fabricação de ligas metálicas de alta resistência, como o níquel-cobre, empregado na marinha, e o níquel-cromo, utilizado em motores aeronáuticos. A qualidade das jazidas goianas, aliada à presença de grandes empresas do setor, consolida o Estado como um dos principais produtores desse minério no Brasil [4].

Apesar da relevância econômica, a mineração também acarreta impactos socioambientais significativos, que podem persistir por décadas. Tanto a mineração subterrânea, quanto a de superfície, demandam recursos não renováveis e contribuem para a degradação ambiental [5]. Entre os principais efeitos negativos estão a poluição e comprometimento de recursos hídricos, a destruição de paisagens e a ameaça à biodiversidade local. Além disso, a atividade mineradora gera elevados níveis de poluição do ar e sonora, afetando a saúde das comunidades vizinhas. Trabalhadores expostos a substâncias tóxicas sem o uso adequado de equipamentos de proteção estão sujeitos a doenças respiratórias graves e até mesmo ao desenvolvimento de câncer [6].

Outro desafio crítico é a geração massiva de resíduos, muitos dos quais não possuem destinação adequada. Isso resulta na formação de pilhas de estocagem e barragens de rejeitos, especialmente de materiais como a EFN (escória do ferro-níquel). A grande quantidade desses resíduos tem levado as mineradoras a buscarem soluções sustentáveis para sua reutilização, embora esse ainda seja um desafio que demanda estudos e investimentos para mitigar impactos a longo prazo [6].

Nesse contexto, destaca-se o município de Barro Alto, em Goiás, onde a Anglo American opera uma das maiores unidades de produção de níquel do país. O processo extractivo envolve a movimentação de grandes volumes de solo e rocha, resultando na geração expressiva de rejeitos, com a escória figurando como um dos principais subprodutos. A produção desse resíduo alcança cerca de 140 t/h (toneladas por hora), demandando soluções eficazes para sua destinação [7].

Para armazená-lo, a Anglo American dispõe de um pátio exclusivo, que em 2020 ocupava uma área de 34,69 ha (hectares), estruturado com bancadas de 10 metros de altura, bermas de mesma largura e inclinação de 30º na face do talude. Até julho de 2020, o espaço utilizado para depósitos era de 1,24 Mm³. A previsão é que essa área continue em operação até 2031, quando atingirá sua capacidade máxima de 14,51 Mm³, ocupando um total de

48,64 hectares. Esse cenário evidencia a necessidade urgente de soluções para o reaproveitamento desses materiais, visando minimizar os impactos ambientais e otimizar a gestão dos resíduos gerados pela mineração [7].

Um dos principais avanços nesse sentido é o investimento da Anglo American, em parceria com a Ecovias do Araguaia, na utilização da EFN em obras de ampliação de rodovias. Esse material tem demonstrado potencial significativo como base para pavimentação, substituindo agregados naturais e contribuindo para a redução da exploração de recursos minerais virgens. Além disso, a Anglo American tem direcionado 10 mil toneladas de EFN para aplicação em pavimentação asfáltica [8].

A crescente preocupação com a sustentabilidade tem impulsionado a busca por alternativas na engenharia civil que minimizem os impactos ambientais sem comprometer a qualidade e a eficiência das construções. Nesse contexto, a reutilização de resíduos industriais tem se mostrado uma estratégia promissora, reduzindo a extração de matérias-primas naturais e promovendo a economia circular [9].

Dessa forma, a incorporação da EFN na produção de argamassas surge como uma alternativa promissora, alinhando-se às estratégias de reaproveitamento de resíduos na construção civil. Assim, explorar essa aplicação representa não apenas um avanço na gestão de resíduos da mineração, mas também um passo significativo em direção a soluções mais sustentáveis para a indústria da construção [8].

A reutilização da EFN como agregado na construção civil pode trazer benefícios significativos ao meio ambiente. Essa prática reduz a extração de recursos naturais não renováveis, como areia e brita, e diminui o acúmulo de resíduos em aterros. Além disso, ao substituir materiais convencionais por um subproduto industrial, contribui para a economia circular, minimiza a degradação ambiental e promove uma gestão mais sustentável dos resíduos gerados pela mineração [8].

Nesse contexto, a revisão das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR

13028 e NBR 13029, liderada pelo Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) em parceria com a Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), acrescenta relevância científica ao tema. Ao atualizar e aprimorar as diretrizes técnicas para a disposição de rejeitos e estéril na mineração, esse processo não apenas reflete as melhores práticas internacionais e os avanços tecnológicos, mas também promove a segurança e a sustentabilidade na gestão de resíduos minerais. Através de discussões abertas e transparentes, a revisão contribui para a construção de um marco regulatório mais robusto, alinhado às demandas ambientais e sociais contemporâneas, servindo como base para pesquisas e inovações na área, como a reutilização de escórias na construção civil [10].

Diante disso, a EFN se apresenta como uma possível alternativa mais barata e ecologicamente responsável aos agregados convencionais. Sua adoção pode resultar em economias significativas para a indústria da construção civil, ao mesmo tempo em que contribui para a preservação do meio ambiente e a valorização de resíduos industriais. Assim, a incorporação de agregados alternativos, como a EFN, representa um passo importante em direção a uma construção civil mais eficiente, econômica e sustentável [11].

O presente estudo tem como objetivo geral analisar a viabilidade técnica e econômica da substituição parcial do agregado miúdo natural por EFN na produção de argamassas. Para isso, foram realizados ensaios com diferentes teores de substituição de areia natural por EFN, com o intuito de identificar à proporção que proporciona o melhor desempenho mecânico.

Complementarmente, o estudo se propõe a investigar as características físico-mecânicas da escória e sua interação com os demais componentes da mistura, permitindo uma compreensão mais aprofundada do seu comportamento dentro da composição. Os resultados obtidos foram comparados com os padrões estabelecidos para argamassas convencionais, com o objetivo de verificar a eficácia e a aplicabilidade da substituição proposta,

contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e eficientes na construção civil.

REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreender o potencial de aplicação da EFN na construção civil, especialmente como componente da argamassa, é necessária uma revisão literária dos principais conceitos relacionados às argamassas, critérios de desempenho normativos e técnicos e estudos que avaliam sua utilização como uma alternativa viável na substituição de agregados naturais.

As argamassas desempenham papel fundamental na construção civil, sendo utilizadas para assentamento, revestimento e acabamento de paredes, pisos e outras estruturas. Trata-se de um material obtido a partir da combinação de um ligante, agregado e água, caracterizado por suas propriedades aglutinantes. Além disso, é possível adicionar componentes específicos à mistura, como adjuvantes ou pozolanas, para potencializar determinadas características da pasta, como resistência, durabilidade ou trabalhabilidade. Cada componente desempenha um papel essencial nas propriedades finais da argamassa, incluindo aderência, resistência mecânica e capacidade de proteção [12].

A argamassa deve ser considerada como parte de um sistema, e não isoladamente como um material. Isso porque sua interação com o substrato e com o ambiente é fundamental para o desempenho global. Entre as funções primordiais da argamassa, destacam-se: impermeabilizar o substrato de aplicação, garantir um bom acabamento ao paramento revestido, absorver as deformações naturais a que uma estrutura está sujeita e regularizar ou proteger mecanicamente substratos constituídos por sistemas de impermeabilização ou isolamento termoacústico [13].

Nesse contexto, os principais componentes da argamassa são os ligantes e os agregados. Os ligantes são produtos utilizados para ligar ou aglomerar outros materiais, como areias e britas. Com o tempo, esses materiais modificam sua estrutura química, contribuindo para o endurecimento da pasta [12]. Os ligantes podem ser

de origem mineral ou orgânica. Os de origem mineral são geralmente fabricados a partir de rochas naturais, compostas por elementos como cálcio, silício, alumínio e ferro. Já os ligantes de origem orgânica são obtidos a partir de substâncias animais ou vegetais. Dentre os ligantes de natureza mineral, encontram-se os principais materiais utilizados nas argamassas, como os ligantes aéreos, que endurecem unicamente com a presença do dióxido de carbono da atmosfera (caso da cal aérea, da argila e do gesso), e os ligantes hidráulicos, que têm a propriedade de endurecer sob a água e resistir à sua ação, como a cal hidráulica e o cimento [12].

No que diz respeito aos agregados, eles exercem uma forte influência no comportamento das argamassas. Fatores como a dureza, a forma dos grãos, a granulometria e a porosidade afetam diretamente o desempenho da argamassa. Além disso, a origem do agregado e o estado de limpeza da areia também são aspectos que podem alterar suas características. Esses fatores são frequentemente mencionados em cadernos de encargos para a seleção de areias adequadas. A areia, por exemplo, funciona como o esqueleto da argamassa, que ganha coesão por meio da ligação dos seus grãos ao ligante. Portanto, a qualidade do agregado é fundamental para o comportamento global da pasta, influenciando sua resistência, durabilidade e trabalhabilidade [12].

A argamassa pode ser classificada de diversas maneiras, de acordo com os critérios adotados. O Quadro 1 apresenta um resumo dessas classificações [13]. Existem duas maneiras mais conhecidas de produção de argamassa: a forma tradicional, em que os materiais são separados e dosados diretamente na obra, e a argamassa industrializada, que é um produto pronto para uso, com todas as medidas para o melhor aproveitamento, necessitando apenas da adição de água no local [14].

As argamassas industrializadas, ou argamassas prontas, apresentam como principal vantagem a homogeneidade, tanto na dosagem quanto na qualidade dos insumos utilizados. Essa padronização reduz a necessidade de ajustes e correções na obra, que muitas vezes são

realizadas sem critério, diminuindo assim a ocorrência de falhas, especialmente em revestimentos de paredes, onde esses problemas costumam ser mais frequentes [15]. Essa praticidade e confiabilidade têm contribuído para a crescente adoção desses produtos na construção civil, especialmente em projetos que demandam maior controle de qualidade e eficiência. O Quadro 1 mostra as diferentes classificações das argamassas.

Quadro 1 - Classificação da Argamassa

Classificação	Tipo de argamassa
Quanto à forma de endurecimento e resistência à umidade	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassas hidráulicas • Argamassas aéreas
Quanto à natureza do aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassas de cimento Portland • Argamassas mistas de cimento e cal • Argamassas de gesso • Argamassas de cal hidráulica e cimento de alvenaria
Quanto a utilização	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassas de assentamento • Argamassas de revestimento • Argamassas de fixação • Argamassas de regularização • Argamassas de recuperação e proteção
Quanto à forma de produção	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassas industrializadas • Argamassas semi-industrializadas • Argamassas feitas em obra • Argamassas alternativas

Fonte: [13]

Essenciais na construção civil, as argamassas possuem uma ampla diversidade e desempenham funções que vão desde a ligação de elementos estruturais até o acabamento das superfícies, influenciando diretamente na durabilidade e no desempenho das edificações. Seu comportamento está relacionado à composição dos

materiais, ao processo de aplicação e às exigências específicas de cada projeto [16].

Considerando sua relevância e aplicação, este estudo tem como foco a argamassa de fixação, mais especificamente a AC (argamassa colante), analisando suas propriedades e desempenho em diferentes condições. A AC é definida como:

Produto industrializado, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos que, quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento [17].

As ACs industrializadas seguem os critérios estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras que regulamentam os requisitos e métodos de ensaio para esses materiais [17]. Estas regulamentações classificam os produtos em três categorias principais — AC-I, AC-II e AC-III — conforme suas propriedades mecânicas e resistência ambiental [18].

A Argamassa Colante Tipo I (AC-I), conforme especificado no documento normativo, é indicada para revestimentos cerâmicos em ambientes internos sem exposição significativa a variações térmicas ou umidade excessiva.

Para aplicações mais exigentes, a legislação técnica vigente [17] define a Argamassa Colante Tipo II (AC-II) como apropriada tanto para ambientes internos quanto externos com variações termo higrométricas moderadas. As diretrizes da ABNT destacam que esta categoria pode ser utilizada em varandas cobertas e paredes externas protegidas.

A categoria de maior desempenho é a Argamassa Colante Tipo III (AC-III). Esta classe apresenta propriedades de aderência superiores, sendo especificada por normas técnicas para áreas com tráfego intenso e condições ambientais severas. A seção 4.7 da norma detalha que este tipo é considerável até para aplicações críticas como fachadas ventiladas em edifícios [17].

O padrão brasileiro ainda estabelece, na seção A [17], os métodos de ensaio para verificação da resistência

de aderência, parâmetro fundamental para garantir a segurança das instalações. A regulamentação técnica [17] enfatiza que a seleção adequada do tipo de AC deve considerar não apenas as características do revestimento, mas também as condições específicas de cada aplicação.

Vários estudos foram realizados para substituir os agregados miúdos em AC por materiais alternativos, visando reduzir o impacto ambiental e os custos de produção. Como exemplo, pesquisas já exploraram o uso de resíduos de construção e demolição, cinzas volantes, pó de mármore e até mesmo vidro moído como substitutos parciais ou totais da areia.

Dentre esses trabalhos, destaca-se uma pesquisa que investigou a aplicação do resíduo de caulim — um subproduto do beneficiamento mineral — como agregado miúdo em ACs. O estudo demonstrou que, embora o resíduo não apresentasse atividade pozolanas significativa, sua composição física (rica em caulinita e mica) permitiu sua utilização em substituição parcial à areia. A argamassa com 25% de resíduo de caulim manteve propriedades mecânicas dentro dos requisitos normativos, mostrando-se uma alternativa viável tanto para a destinação adequada desse resíduo quanto para a redução da extração de areia natural [19].

Outro trabalho relevante demonstrou o potencial do pó de vidro moído como substituto sustentável em ACs. Foram testadas substituições de 10% a 20% tanto do cimento quanto do agregado miúdo, obtendo resultados promissores: a formulação com 10% de pó de vidro no lugar do cimento atingiu 0,8 MPa de aderência à tração, superando o traço convencional (0,7 MPa). Quando utilizado como substituto da areia, o material apresentou desempenho ainda melhor em condições de cura submersa, revelando propriedades especialmente adequadas para ambientes úmidos. O estudo comprovou que, com o devido processamento granulométrico, este resíduo industrial pode ser incorporado à produção de AC sem comprometer suas propriedades mecânicas [20].

Dos diversos resíduos gerados pela siderurgia, as escórias sempre se destacaram como as mais visadas para

processos de recuperação e reciclagem. Entre os principais tipos, cita-se a escória de alto-forno, a escória de aciaria e a EFN, cada uma com características específicas que as tornam materiais de grande interesse industrial [21].

A escória é um subproduto essencial da fundição de metais, composta principalmente por óxidos metálicos, mas podendo conter sulfetos e até metais elementares. Além de remover impurezas durante o processo metalúrgico, ela regula a temperatura de fusão e protege o metal contra oxidação. Antes vista como resíduo, hoje é valorizada por suas múltiplas aplicações, como agregado na construção civil e na recuperação de metais valiosos, tornando-se matéria-prima estratégica para a indústria [22].

Após seu resfriamento e solidificação, apresenta diversas aplicações comerciais e raramente é descartada. Normalmente, ela passa por um novo processamento para a recuperação de eventuais metais remanescentes. Os materiais resultantes desse reprocessamento encontram utilidade em diferentes setores, como na fabricação de cimento, lastro em ferrovias e até como componente de fertilizantes agrícolas. Além dessas aplicações, a escória tem uso consolidado na engenharia civil, onde é frequentemente utilizada para reforço de subleitos e subbases em obras de aterros e pavimentação rodoviária [22].

A EFN é um subproduto industrial resultante do processo de separação do minério de níquel de sua matriz rochosa. Este material é formado durante a fusão em fornos elétricos trifásicos, onde os componentes metálicos são separados dos não-metálicos. Durante o processo, elementos como sílica (SiO_2) e óxido de magnésio (MgO) são granulados através de resfriamento brusco com água, dando origem à escória em sua forma final [23].

A EFN difere das escórias tradicionais de aciaria e alto-forno quanto ao conhecimento científico disponível para aplicações na construção civil. Enquanto estas últimas têm usos bem documentados, a EFN ainda possui pesquisas limitadas, focadas principalmente em seu emprego como agregado para concreto e matéria-prima para pigmentos cerâmicos. Essa escassez de estudos representa tanto um desafio quanto uma oportunidade para

explorar novas aplicações sustentáveis deste subproduto, potencializando a economia circular nos setores metalúrgico e da construção civil [24].

Apesar da lacuna científica existente sobre a EFN em comparação com outros resíduos siderúrgicos mais estudados, há pesquisas emergentes, principalmente em regiões com forte mineração de níquel, que buscam seu reaproveitamento como material de valor agregado, alinhado à economia circular [25].

Este estudo se fundamenta em trabalhos pioneiros que exploram as potencialidades da EFN, servindo tanto como base técnica quanto metodológica.

Um estudo investigou a utilização de EFN como substituto parcial da argila na fabricação de telha cerâmica, visando enfrentar o desafio do esgotamento das jazidas naturais. A pesquisa mostrou que essa substituição não apenas reduz a dependência de argila, diminuindo custos com transporte e prolongando a vida útil dos depósitos existentes, como também pode melhorar as propriedades técnicas dos produtos. Além dos ganhos econômicos e tecnológicos, a proposta contribui para a sustentabilidade da indústria cerâmica regional, ajudando a manter empregos e competitividade das empresas locais [27].

Um estudo conduziu uma análise minuciosa sobre a viabilidade técnica de utilizar EFN como substituto parcial do agregado miúdo na produção de pavers (pavimento intertravado) para passagem de pessoas. Foram testadas quatro formulações: um concreto de referência (usado pela fábrica) e três misturas com substituição de 5%, 10% e 15% de agregado miúdo por escória. As propriedades físicas e mecânicas dos pavers resultantes foram analisadas conforme requisitos normativos. Os resultados demonstraram que a substituição de 10% do agregado miúdo por escória atendeu plenamente aos requisitos, incluindo dimensões, inspeção visual, absorção de água e resistência à compressão. Essa proporção mostrou-se tecnicamente viável, oferecendo uma alternativa sustentável para reduzir o impacto ambiental da escória sem comprometer a qualidade dos pavers. A pesquisa comprova que a incorporação controlada desse

resíduo industrial é uma solução prática e eficaz para a produção de pavimentos intertravados [28].

Esses estudos não apenas evidenciam a viabilidade técnica da EFN, mas também reforçam a necessidade de expandir as pesquisas para otimizar seu uso e reduzir impactos ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa experimental foi conduzida com base nas diretrizes estabelecidas pelas normas técnicas brasileiras [18][28]. As etapas seguiram uma sequência metodológica criteriosa, abrangendo a coleta e preparação dos materiais, a dosagem e mistura das argamassas, a moldagem e cura dos corpos de prova e, por fim, a execução dos ensaios de aderência por tração.

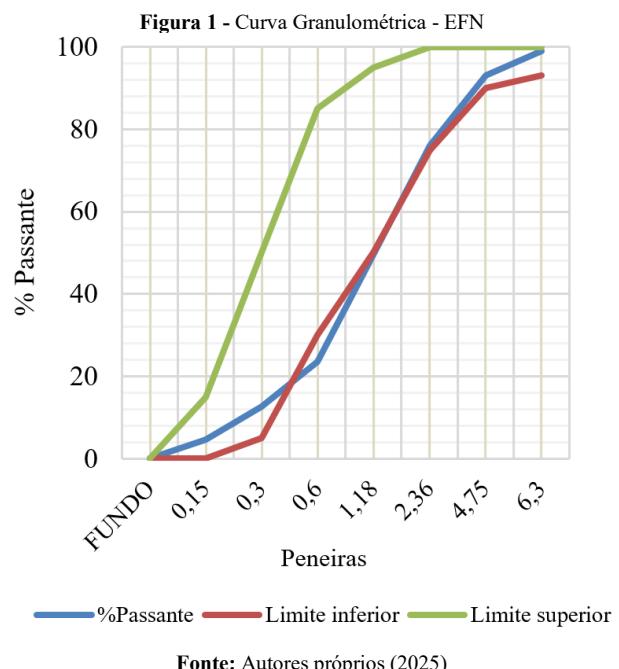
A EFN foi obtida diretamente na unidade da empresa Anglo American, situada no município de Barro Alto, em Goiás. Para preservar suas propriedades fisico-químicas e evitar contaminações, a EFN foi transportada até o laboratório do UNIEGO, em Goianésia, em embalagens adequadas. O material passou por um processo de classificação granulométrica, utilizando peneiras padronizadas em aço inoxidável com aberturas de 6,3 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,30 mm e 0,15mm, conforme diretrizes técnicas [29]. A massa inicial utilizada no ensaio foi de aproximadamente 1000 g, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação Granulométrica - EFN

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Retida (%)	Retida Acum. (%)	Passante Acum. (%)
6,3	10	1,0%	1,0%	99,0%
4,75	60	6,0%	7,0%	93,0%
2,36	169	16,9%	23,9%	76,1%
1,18	265	26,5%	50,5%	49,5%
0,6	260	26,0%	76,5%	23,5%
0,3	96	9,6%	86,1%	13,9%
0,15	90	9,0%	95,1%	4,9%
FUNDO	49	4,9%	100%	-
TOTAL	999	100%	-	-
MF		3,39		

Fonte: Autores próprios 2025

Os dados obtidos foram utilizados para a construção da curva granulométrica da EFN, apresentada na Figura 1, que demonstra a distribuição do material em relação às zonas utilizáveis estabelecidas para agregados miúdos.



Observa-se que a curva granulométrica da EFN permaneceu dentro da faixa utilizável para agregados miúdos, exceto na peneira de 0,6 mm, que ultrapassou em aproximadamente 6,5% o limite utilizável estabelecido. Esse comportamento evidencia a variedade granulométrica presente na escória, conforme Figura 2.



Fonte: Autores próprios (2025)

Essa variedade é resultado das condições de resfriamento e fragmentação do material durante o processo de produção. A heterogeneidade dos grãos indica uma distribuição irregular de partículas, característica comum a subprodutos industriais, mas que ainda assim se mantém próxima dos limites normativos, possibilitando sua utilização como substituto parcial da areia natural em composições cimentícias [24].

Para a formulação da argamassa, foi adotado um traço volumétrico de 1:3 (cimento:areia), prática comum em estudos comparativos. Essa proporção foi recomendada pela equipe técnica do SENAI Vila Canaã, localizado em Goiânia (GO), que a utiliza amplamente em seus ensaios laboratoriais para avaliação de desempenho de argamassas. O cimento utilizado foi do tipo Portland comum CP I.

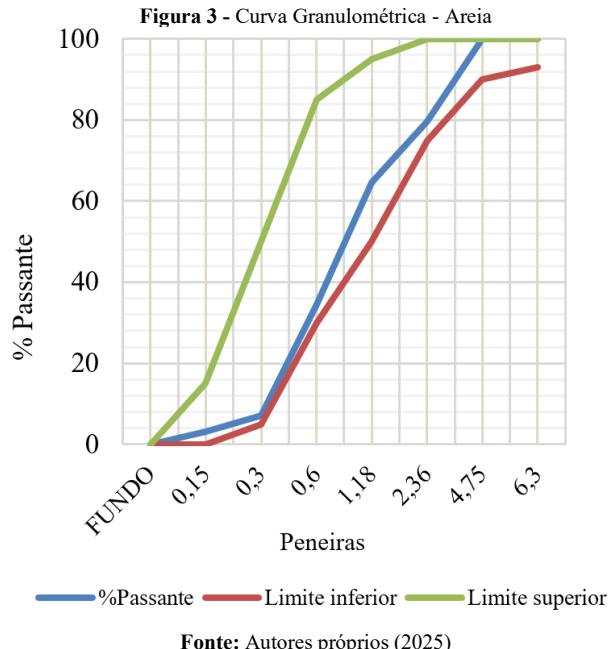
A areia natural utilizada foi proveniente da região de Barro Alto (GO) e passou por processos de lavagem, secagem e classificação, com o objetivo de garantir uma distribuição granulométrica adequada à produção das argamassas. Em seguida, foi realizado o ensaio de análise granulométrica conforme os procedimentos normativos. A massa inicial da amostra foi de aproximadamente 1000 g, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação Granulométrica - Areia

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Retida (%)	Retida Acum. (%)	Passante Acum. (%)
4,75	0	0%	0%	100%
2,36	199,1	20,3%	20,3%	79,7%
1,18	149,3	15,2%	35,5%	64,5%
0,6	293,9	29,9%	65,4%	34,6%
0,3	269,7	27,5%	92,8%	7,2%
0,15	52,0	5,3%	98,1%	1,9%
FUNDO	18,4	1,9%	100%	-
TOTAL	982,4	100%	-	-
MF	3,12			

Fonte: Autores próprios (2025)

Com base nos resultados apresentados, foi elaborada a curva granulométrica da areia natural, conforme Figura 3.



Fonte: Autores próprios (2025)

A partir da análise da curva, observou-se que a areia apresentou distribuição granulométrica dentro dos limites utilizáveis definidos pela norma [34], com módulo de finura igual a 3,12. Essa característica indica um material bem graduado e com boa uniformidade de grãos, assim, a areia foi considerada adequada para uso como agregado miúdo de referência nas misturas avaliadas neste estudo.

Com base nessa caracterização, procedeu-se à etapa de substituição parcial da areia natural pela EFN nas proporções de 5%, 10% e 15% em massa, conforme procedimentos técnicos [30]. Além disso, foi produzido um traço de referência (0%), sem substituição de areia por EFN, utilizado como padrão de comparação para avaliar o comportamento e o desempenho das misturas modificadas.

Foram executadas 10 amostras para cada tratamento, totalizando 40 placas cerâmicas assentadas com as argamassas específicas em 4 blocos de substrato, conforme diretrizes técnicas [18].

As misturas foram realizadas em misturador mecânico, com capacidade de 5 litros e controle de velocidade entre 60 e 140 rpm. A dosagem dos materiais foi feita com balança de precisão digital (capacidade de 10 kg e resolução de 0,1 g), assegurando exatidão na pesagem. O tempo de mistura foi cronometrado com auxílio de

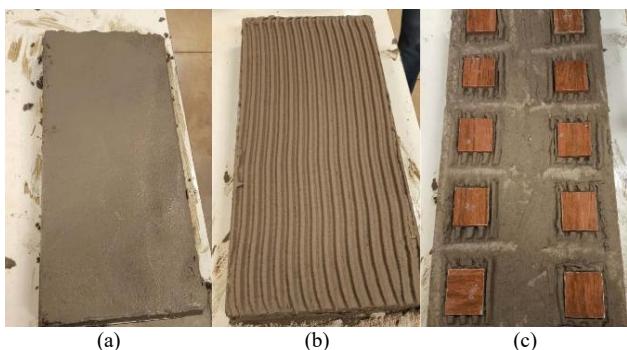
cronômetro digital, a fim de manter uniformidade no preparo das amostras [18].

Com o intuito de padronizar a aplicação da argamassa para os ensaios de aderência, foram moldados blocos de substrato. Estes foram produzidos com concreto de resistência característica à compressão (f_{ck}) de 20 MPa, com dimensões de 25 cm × 50 cm, conforme especificações técnicas [18]. A mistura do concreto foi realizada em betoneira com capacidade de 150 litros. Após a moldagem em formas metálicas, os substratos foram curados por 28 dias em ambiente laboratorial e temperatura ambiente [18].

As placas cerâmicas utilizadas como revestimento possuíam dimensões de 50 mm × 50 mm e foram cortadas manualmente a partir de uma peça de cerâmica esmaltada de 60 cm × 60 cm, utilizando-se um paquímetro de precisão (0,01 mm) para assegurar a padronização exigida pelas normas técnicas [18].

A aplicação da argamassa sobre os substratos foi realizada com desempenadeira metálica dentada, com dentes de 6 mm × 6 mm, a fim de manter espessura uniforme na camada colante, conforme diretrizes técnicas [18]. A argamassa foi aplicada em cordões, conforme ilustrado em (b) da Figura 4, e, após um intervalo de cinco minutos, foram assentadas dez placas cerâmicas em cada bloco de substrato, correspondentes às quatro proporções de substituição. As placas foram posicionadas com espaçamento de aproximadamente 50 mm entre si e 25 mm das bordas, conforme (c) da Figura 4. Cada placa foi submetida a um carregamento com massa-padrão de 2 kg por 30 segundos, respeitando um intervalo máximo de 30 segundos entre a primeira e a última aplicação.

Figura 4 - Montagem dos corpos de Prova



Fonte: Autores próprios (2025)

Após a retirada das massas-padrão, o excesso de argamassa foi removido, preservando-se aproximadamente 1 cm de cordão ao redor de cada placa, conforme (c) da Figura 4. O conjunto argamassa–substrato–revestimento permaneceu em posição horizontal por 24 horas e, em seguida, foi armazenado na vertical por 27 dias em ambiente com temperatura ambiente [18].

No 25º dia, o substrato foi transportado para Goiânia, ao laboratório do SENAI Vila Canaã, onde cada placa recebeu uma pastilha metálica, colada com adesivo específico, garantindo o alinhamento com a superfície cerâmica. Essa etapa corresponde à preparação do material para o ensaio de arrancamento. O ensaio de tração direta foi realizado no 28º dia, utilizando-se o equipamento denominado aderímetro, ilustrado na Figura 5, conforme descrito nas diretrizes técnicas [18]. A carga foi aplicada de forma contínua e controlada, variando entre 200 N/s e 300 N/s, até ocorrer a ruptura da ligação entre a argamassa e a cerâmica [18].

Figura 5 – Aderímetro para ensaio de arrancamento

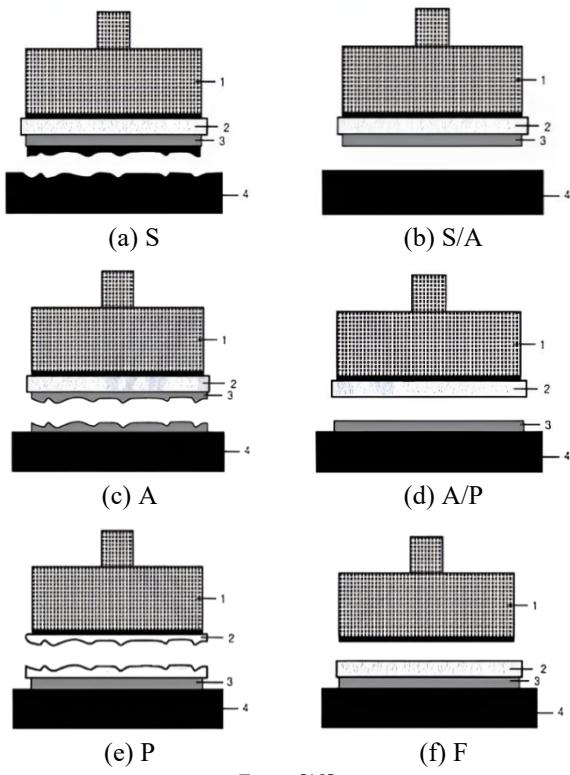


Fonte: Autores próprios (2025)

A força máxima (T) foi registrada no momento da falha, sendo considerada constante a área da placa (2500 mm²). Em seguida, foi realizada a análise visual da superfície de ruptura, classificando-se os tipos observados: ruptura no substrato (S), na interface argamassa/substrato (S/A), na camada de argamassa (A), na interface argamassa/placa cerâmica (A/P), na placa cerâmica (P) ou

falha na colagem da peça metálica (F), conforme ilustrado na Figura 6 [18].

Figura 6 - Análise de Ruptura



Fonte: [18]

A tensão de ruptura (f_t) foi calculada conforme a Equação 1:

$$f_t = \frac{T}{A} \quad (1)$$

onde T representa a força de ruptura em newtons (N), A corresponde à área da placa, e f_t foi expressa em MPa, arredondada para a segunda casa decimal.

Os valores obtidos foram filtrados conforme a Seção 7 da normativa [18]. Para médias superiores ou iguais a 0,30 MPa, foram excluídos os valores com desvio superior a 20% da média; para médias inferiores, foi adotada uma margem de exclusão de 0,06 MPa. Após o descarte, foi calculada a média final, arredondada para a primeira casa decimal.

Os arredondamentos seguiram as diretrizes técnicas [31], e os resultados obtidos permitiram a comparação entre os diferentes teores de substituição de areia por EFN, sob condições experimentais uniformes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma melhor compreensão dos resultados dos ensaios de arrancamento realizados conforme a norma [18], foi sintetizado informações como tensões individuais, os limites de aceitação, os valores descartados e as médias finais de cada traço. Para cada conjunto de resultados, calculou-se inicialmente a média das tensões brutas, a partir da qual foram determinados os limites inferior e superior da faixa de aceitabilidade dos resultados, conforme Equações 2 e 3.

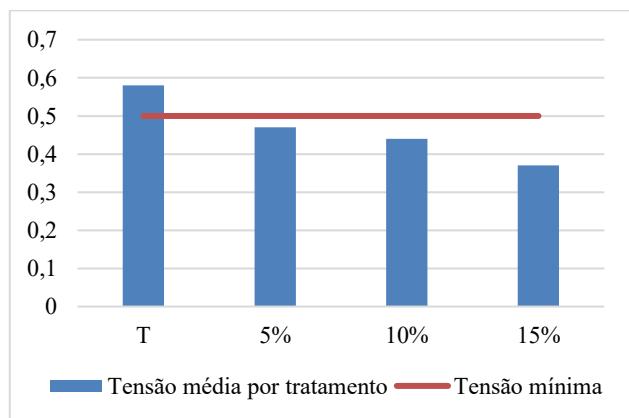
$$L_{inf} = Ruptura (MPa) - 20\% * Ruptura (MPa) \quad (2)$$

$$L_{sup} = Ruptura (MPa) + 20\% * Ruptura (MPa) \quad (3)$$

Após a determinação desses limites, cada valor individual de tensão, foi comparado com o intervalo estabelecido. Os resultados que se encontraram dentro da faixa calculada foram considerados válidos para compor a média final do traço. Por outro lado, valores que ultrapassaram os limites foram desconsiderados, assim como aqueles associados a rupturas inadequadas — casos em que a ruptura ocorreu no substrato (S) (Figura 6a), na placa (P) (Figura 6e) ou por falha de colagem (F) (Figura 6f), situações que impedem a avaliação real da aderência da argamassa [18].

A Figura 7 apresenta um resumo gráfico das tensões finais obtidas para cada traço, permitindo visualizar o desempenho geral antes da análise detalhada dos valores individuais.

Figura 7 - Tensões Finais por Corpo de Prova



Fonte: Autores próprios (2025)

A Tabela 3 descreve os resultados detalhados do ensaio de arrancamento, apresentando a carga de ruptura e tensão de cada corpo de prova dos 4 tratamentos, totalizando 40 amostras. Também é apresentado o tipo de ruptura identificado durante o ensaio, conforme descrito

anteriormente na Figura 6, a média da tensão por tratamento, os limites inferior e superior para definição da faixa de aceitabilidade dos resultados, a média corrigida da tensão e a comparação com a tensão mínima normativa de 0,50MPa.

Tabela 3 - Ensaio de Arrancamento – Resultados

CP	Carga de Ruptura (kgf)	Tensão (MPa)	Ruptura	Média Arrancamentos (MPa)	L_{inf} (MPa)	L_{Sup} (MPa)	Considerar?	Média Final (MPa)	Status
T	1	136	0,54	A	0,57	0,45	Sim	0,58	> 0,50 MPa Aprovado para AC-I
	2	144	0,58						
	3	184	0,74						
	4	146	0,58						
	5	63	0,25						
	6	160	0,64						
	7	141	0,56						
	8	139	0,56						
	9	113	0,45						
	10	194	0,78						
5%	1	120	0,48	A	0,46	0,37	Sim	0,47	< 0,50 MPa Reprovado para AC-I
	2	115	0,46						
	3	132	0,53						
	4	127	0,51						
	5	155	0,62						
	6	105	0,42						
	7	110	0,44						
	8	97	0,39						
	9	140	0,56						
	10	45	0,18						
10%	1	85	0,34	A	0,43	0,34	Sim	0,44	< 0,50 MPa Reprovado para AC-I
	2	125	0,50						
	3	115	0,46						
	4	95	0,38						
	5	105	0,42						
	6	120	0,48						
	7	102	0,41						
	8	112	0,45						
	9	90	0,36						
	10	122	0,49						
15%	1	82	0,33	S/A	0,39	0,32	Sim	0,37	< 0,50 MPa Reprovado para AC-I
	2	86	0,34						
	3	101	0,40						
	4	92	0,37						
	5	114	0,46						
	6	96	0,38						
	7	85	0,34						
	8	130	0,52						
	9	120	0,48						
	10	81	0,32						

Fonte: Autores próprios (2025)

O traço de referência (0% de substituição) foi o único que atingiu o valor mínimo estabelecido pela norma [18] para argamassas do tipo AC-I, que é de 0,5 MPa. A resistência média obtida para este traço foi de 0,58 MPa, após o descarte de quatro resultados que ultrapassaram o limite de desvio permitido pela norma.

Esse resultado superior pode ser atribuído ao fato de que, nas ACs, a capacidade de retenção de água é um fator determinante para o desenvolvimento da aderência. Como a EFN apresenta menor retenção hídrica e tende a repelir parte da água, a AC sem substituição manteve melhores condições de hidratação e formação da matriz cimentícia, favorecendo tanto a coesão interna quanto o ancoramento superficial [35]. A Figura 8 ilustra o substrato após o teste de arrancamento para o traço referência.

Figura 8 - Corpo de Prova do traço de referência (0%)



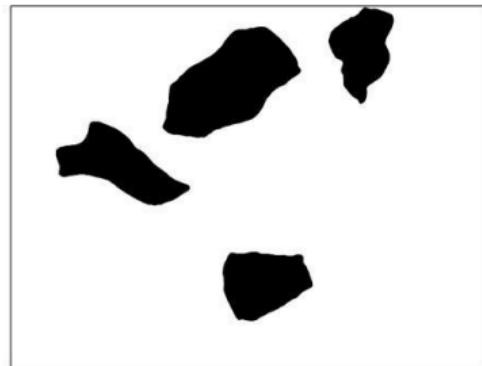
Fonte: Autores próprios (2025)

O traço contendo 5% de substituição de areia por EFN apresentou comportamento intermediário, atingindo 0,47 MPa, valor próximo do mínimo exigido, mas ainda insuficiente para atender plenamente aos requisitos normativos [18]. Em comparação ao traço de referência, esse valor representa uma redução de aproximadamente 19% na resistência de aderência. Esse traço teve quatro resultados descartados, sendo dois por apresentarem

desvios superiores aos limites e outros dois por falhas eventuais relacionadas ao ensaio.

Durante a análise, observou-se que, diferentemente de teores mais elevados, o desempenho reduzido não esteve diretamente relacionado à perda de retenção de água, evidenciado pela ausência de rupturas do tipo S/A. Nesse nível de substituição, a trabalhabilidade ainda foi suficiente para garantir o contato adequado entre a argamassa e o substrato. Assim, a principal limitação parece estar associada à morfologia da escória: um material com partículas irregulares, angulares e de grande variabilidade geométrica [24]. Essa falta de padronização dificulta a acomodação dos grãos e reduz a área efetiva de contato com a base cimentícia, comprometendo a coesão interna e, consequentemente, a resistência de aderência. A Figura 9 ilustra essa heterogeneidade granulométrica em estudo similar com EFN [24].

Figura 9 - Heterogeneidade granulométrica - EFN



Fonte: [24]

Dois resultados descartados no traço com 5% de EFN ocorreram por causas previstas na norma [18]: rompimento da cerâmica (P) e falha na colagem da pastilha metálica (F). Esses casos reforçam a importância de realizar múltiplos pontos de arrancamento por traço, conforme o procedimento normativo, evitando que falhas pontuais comprometam a representatividade do ensaio. Também evidenciam a necessidade de materiais de boa qualidade — cerâmicas com resistência uniforme e adesivos adequados — para minimizar interferências e garantir que o desempenho medido reflete o

comportamento real da argamassa, como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Corpo de Prova 5%



Fonte: Autores próprios (2025)

O traço com 10% de substituição por escória apresentou resistência média de 0,44 MPa, com apenas um resultado descartado por estar fora dos limites estabelecidos. Essa média representa uma redução de 24% em relação ao traço de referência e de 5% em relação ao com menor teor de escória. Das amostras ensaiadas, 7 apresentaram ruptura na camada A e 3 na interface S/A, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Corpo de Prova 10%



Fonte: Autores próprios (2025)

Esse comportamento demonstra que, embora exista uma leve estabilidade na repetitividade dos ensaios, o desempenho mecânico permanece inferior ao valor mínimo, indicando que a adição de escória já provoca uma redução mensurável na capacidade de aderência [18].

Além disso, quando comparado ao traço com 5% de EFN, nota-se um aumento no número de rupturas do tipo S/A, isso ocorre principalmente devido à menor retenção de água, propriedade essencial para garantir a adequada ancoragem inicial ao substrato, que tende a ser prejudicada pela presença crescente de EFN. Dessa forma, o traço com 10% confirma a tendência de queda de desempenho, reforçando que, em teores mais elevados, a escória compromete progressivamente a interação argamassa–substrato.

Já o traço com 15% de escória apresentou o pior desempenho entre todos os analisados, registrando resistência média de 0,37 MPa, valor 36% inferior ao do traço de referência, e tendo dois resultados descartados por desvio além dos limites aceitáveis. Durante os ensaios, observou-se que a ruptura ocorreu majoritariamente na interface argamassa/substrato, conforme ilustrado na Figura 12, indicando que o aumento do teor de escória compromete de forma significativa a capacidade de aderência do sistema.

Figura 12 - Corpo de Prova 15%



Fonte: Autores próprios (2025)

Esse comportamento evidencia que, em proporções elevadas, a escória interfere negativamente na ligação entre a matriz cimentícia e o substrato, reduzindo tanto a coesão interna quanto a eficiência do mecanismo de ancoragem superficial. Tais resultados corroboram estudos anteriores que investigaram o uso de EFN, os quais apontam que teores elevados de escória prejudicam a interação escória–substrato e comprometem o desenvolvimento da resistência mecânica, devido à baixa compatibilidade entre o resíduo e a matriz cimentícia [27].

Para uma classificação matemática do impacto de cada tratamento na variável resistência pelo ensaio de

arrancamento, foi verificado uma análise de regressão (Tabela 4), permitindo a estimativa das respostas e a identificação das tendências de redução de resistência conforme o aumento da incorporação da EFN como substituição parcial da areia natural. Para as regressões analisadas, a linear foi a única que apresentou resultado significativo a 5% de probabilidade, ou seja, um *p-value* menor que 0,05, indicando que a regressão linear é a mais indicada para explicar o comportamento da variação de resistência em relação a variação do teor de EFN presente na argamassa.

Tabela 4 – Análise de Regressão para variável resistência

FV	GL	SQ	QM	F	P-Value	R ²
Linear	1	0,153894	0,153894	78,349	0,000*	96,41%
Quadrática	1	0,001792	0,001792	0,912	0,349	97,54%
Cúbica	1	0,003934	0,003934	2,003	0,169	100%
Resíduo	25	0,049106	0,001964			

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade, FV = Fontes de Variação, GL = Graus de liberdade, SQ = Soma dos quadrados, QM = Quadrado médio, CV = Coeficiente de Variação %

Fonte: Próprios autores, 2025

O coeficiente de determinação foi de R² = 96,41%, descrevendo de forma mais fiel a curvatura observada no comportamento das médias. A Figura 13 ilustra a equação linear encontrada para explicar o comportamento da resistência frente às doses de EFN.

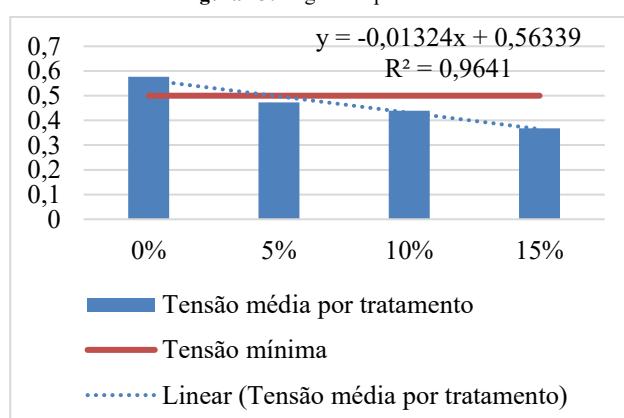
alteração do teor de EFN como substituição à areia, e que valores inferiores a 4,78% de substituição apresentam resultados igual ou superior a 0,50MPa de tensão no ensaio de arrancamento.

CONCLUSÕES

A análise da utilização da EFN como substituição parcial da areia natural permitiu compreender, de forma técnica e estatística, o impacto do material no desempenho da aderência da argamassa. Os resultados mostraram que a resistência medida pelo ensaio de arrancamento apresenta sensibilidade direta ao teor de EFN incorporado, evidenciando que a substituição influí de maneira significativa o comportamento mecânico da matriz cimentícia.

A análise estatística por regressão linear permitiu identificar, de forma objetiva, o ponto ótimo de substituição da areia natural por EFN no contexto deste estudo. O modelo indicou que o teor de 4,78% representa

Figura 13: Regressão para Areia



Fonte: Próprios autores, 2025

Com a regressão linear identificada, é possível verificar a tendência de variação da tensão em função da

o limite no qual a argamassa ainda mantém desempenho compatível com o valor mínimo admissível para o ensaio de arrancamento (0,50 MPa). Esse resultado demonstra que a incorporação da EFN pode ser viável desde que aplicada em níveis muito controlados.

Apesar das limitações observadas, os resultados não descartam o potencial da EFN como material alternativo na construção civil. Seu emprego pode ser mais vantajoso em outras funções, como em estudos voltados à durabilidade, controle de pH, modificação da permeabilidade ou mesmo no desempenho térmico de composições cimentícias.

Assim, conclui-se que a EFN permanece como um insumo promissor, desde que utilizada em contextos que suas características possam ser exploradas de maneira favorável. A continuidade das pesquisas é essencial para ampliar o conhecimento técnico e identificar aplicações onde o material possa contribuir de forma eficaz e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUENO, Eduardo. Brasil, uma história. Leya, 2018.
2. LUZ, Adão Benvindo da, and Fernando Antonio Freitas Lins. "Introdução ao tratamento de minérios." CETEM/MCTIC, 2018.
3. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. Dados IBRAM – Setor Mineral 2024. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/02/DADOS_Setor-Mineral_2024_5FEV2025.pdf Acesso em 20 Fev. 2025.
4. GONZALEZ, Karina Regina. Toxicologia do níquel. Revista intertox de toxicologia risco ambiental e sociedade, v. 9, n. 2, p. 30-54, 2016.
5. PORTELLA, Márcio Oliveira. Efeitos colaterais da mineração no meio ambiente. Revista Brasileira de políticas públicas, v. 5, n. 3, 2015
6. MILANEZ, Bruno. Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação. 2017.
7. ANGLO AMERICAN. Plano Preliminar de Fechamento de Mina – Barro Alto 2020. Disponível em: <https://brasil.angloamerican.com/~media/Files/A/An-glo-American-Group/Brazil/sustentabilidade/plano-de-fechamento-de-mina-de-barro-alto.pdf> Acesso em 22 fev. 25.
8. ANGLO AMERICAN. Notícias 2022. Disponível em: <https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/imprensa/noticias/2022/30-11-22> Acesso em 23 fev. 25.
9. SILVA, Diogo Hilário da; SANTANA, Edjane da Silva; SILVA, Jessica Ferreira Tiburcio; ALMEIDA, Suelane; LIMA, Sandovânia Ferreira de. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL. Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS, 2018. Disponível em: <https://periodicos.grupotiradentes.com/cdgexatas/article/view/5204>. Acesso em: 10 mar. 2025
10. ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13029: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. Rio de Janeiro, 2017.
11. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 13028. Mineração - Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos. Rio de Janeiro.
12. Margalha, Maria Goreti. Argamassas. 2011.
13. RECENA, Fernando Antonio Piazza. Conhecendo argamassa. Editora da PUCRS, 2023.
14. CIRILO, Fabio; MELO, André TS. Comparativo de desempenho ambiental entre argamassa industrializada e argamassa virada em obra. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA. 2018. p. 62-67.
15. LEME, Pedro Henrique Paes. Produtividade em obras: um estudo do processo executivo de argamassa projetada em Belo Horizonte, Minas Gerais. 2015.

16. FIORITO, A. J. S. I. Manual de Argamassas e Revestimentos: estudos e procedimentos de execução. 2ed. São Paulo: PINI, 2010, 232p.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13755: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas. Rio de Janeiro, 2017, p. 3.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081:1-4: Argamassas colantes para assentamento de cerâmica. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
19. OLIVEIRA, Guilherme Costa de et al. Desenvolvimento de argamassa colante utilizando resíduo de caulim. 2016.
20. HESPAÑHOL, Luana Ribeiro; ALEXANDRE, Jonas. Desenvolvimento de argamassa colante com agregado de pó de vidro. 2016.
21. DE SOUZA, Erivelto L.; DE MENDONÇA, Fabrício M.; DOS REIS, Orimar B. PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA ESCÓRIA DE ACIARIA PARA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL POR MEIO DO SEQUESTRO DE CARBONO, 2022.
22. ISIDRO NETO, João et al. Utilização do aço na construção civil. 2021.
23. ANGLO AMERICAN GROUP. Certificações. Disponível em: <https://brasil.angloamerican.com/~/media/Files/A/Anglo-American-Group-v9/Brazil/certificacoes/padro-irma-75-barro-alto-go.pdf>. Acesso em: 23 fev 2025.
24. SANTOS, Graziella Pereira Pires dos. Um estudo sobre a utilização da escória de ferro-níquel em pavimento rodoviário. 2013.
25. DIAS, F. et al. Mineração e produção antiga de estanho no noroeste da Península Ibérica: dados preliminares do sítio de As Muradellas (Baltar, Espanha). 2019.
26. KALLAS, Fabio Pimenta Esper. Valorização da escória gerada na produção de níquel como matéria-prima para produção de telhas cerâmicas. 2015.
27. SILVA, Vitor Pereira et al. Uso de escória de ferro-níquel na fabricação de pavers. 2019.
28. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13281: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.
29. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310-1: peneiras para ensaios – Requisitos e ensaios – Parte 1: Peneiras com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 2010.
30. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
31. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5891: procedimento para arredondamento de numeração decimal. Rio de Janeiro, 2015.
32. Constantino, R. C., Coelho, L. B., Piva, J. H., Wanderlind, A., & Antunes, E. G. P.. (2022). Análise de resistência de aderência de argamassas colantes com diferentes porcentagens de EVA expostas a ciclos higrotérmicos. Matéria (rio De Janeiro), 27(3), e20220092. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0092>
33. CONTENCO. Aderímetro: aparelho para medição de arrancamento de aderência, hidráulico manual – I-3003-H. Contenco, [s.d.]. Disponível em: <https://contenco.com.br/produto/aderimetro-aparelho-para-medicao-de-arrancamento-de-aderencia-hidraulico-manual-i-3003-h/>. Acesso em: 1 jun. 2025
34. ABNT. NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
35. DIAS, L. S. et al. Rejeitos de mineração de quartzo para produção de argamassa colante. In: Portuguese.] In Anais do 22 Congresso brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2016. p. 1-12.