



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO -
UEMASUL
CENTRO DE CIÊNCIA HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

PEDRO HENRIQUE CUTRIM SEREJO

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE ACIARIA NA
FABRICAÇÃO DE CONCRETO PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Açailândia- MA

2025

PEDRO HENRIQUE CUTRIM SEREJO

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE ACIARIA NA
FABRICAÇÃO DE CONCRETO PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, campus Açailândia, como requisito para elaboração do trabalho de conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Lucio Meneses Nascimento

Açailândia- MA

2025

S483r

Serejo, Pedro Henrique Cutrim

Reaproveitamento de resíduos industriais de aciaria na fabricação de concreto para uso na construção civil / Pedro Henrique Cutrim Serejo. – Açailândia: UEMASUL, 2025.
29 f. : il.

Artigo (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Lucio Meneses Nascimento.

1. Sustentabilidade. 2. Resíduos siderúrgicos. 3. Resistência à compressão. I. Título.

CDU 691.322

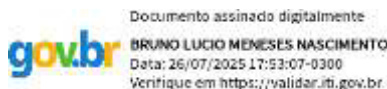
PEDRO HENRIQUE CUTRIM SEREJO

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE ACIARIA NA
FABRICAÇÃO DE CONCRETO PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em 17/07/2025.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Bruno Lucio Meneses Nascimento (Orientador)

Doutor em Engenharia Civil (Ênfase em Saneamento Ambiental)

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão- UEMASUL

Profa. Ma. Andréa Ferraz Silva Pereira

Mestra em Ciência dos Materiais

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão- UEMASUL

Prof. Esp. Mario Silva de Lucena

Especialista em Pavimentação e restaurações rodoviária

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão- UEMASUL

Reaproveitamento de resíduos industriais de aciaria na fabricação de concreto para uso na construção civil

Reuse of industrial steelmaking waste in the production of concrete for use in civil construction

Pedro Henrique Cutrim Serejo¹; Bruno Lucio Meneses Nascimento².

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras, Açailândia/MA, Brasil. Email: pedroserejo.20200007045@uemasul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2686-6120>

² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras, Açailândia/MA, Brasil. Email: bruno.nascimento@uemasul.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7196-6502>

RESUMO

Este trabalho investigou a viabilidade do reaproveitamento de resíduos industriais de aciaria — especificamente carepa e escória — como substituintes parciais do cimento na fabricação de concreto para uso na construção civil. Foram realizados ensaios laboratoriais para caracterização dos agregados e definição do traço ideal, com base em normas técnicas brasileiras. Os resíduos foram incorporados em diferentes proporções (8%, 12% e 20%) e avaliados quanto à resistência à compressão em diferentes idades (7, 21 e 28 dias), além da absorção por capilaridade e análise do teste t. Apesar de apresentarem comportamento dentro dos padrões normativos em algumas fases, os resultados demonstraram que as substituições de cimento por carepa e escória não atingiram os valores esperados de resistência, indicando necessidade de ajustes nas proporções ou de novos tratamentos dos resíduos. Ainda assim, o estudo contribui o estudo apresenta uma contribuição para o avanço de soluções sustentáveis no setor da construção civil, reforçando a importância do controle tecnológico e da pesquisa contínua no uso de materiais alternativos.

Palavras-chave: Sustentabilidade, resíduos siderúrgicos, resistência à compressão.

ABSTRACT

This study investigated the potential for reusing industrial steel mill waste —

specifically scale and slag — as partial substitutes for cement in the manufacture of concrete for use in civil construction. Laboratory tests were performed to characterize the aggregates and define the ideal mix, based on Brazilian technical standards. The waste was incorporated in different proportions (8%, 12%, and 20%) and evaluated for resistance to variation at different ages (7, 21, and 28 days), in addition to capillary absorption and analysis of the t-test. Despite presenting behavior within the normative standards in some phases, the results demonstrated that the replacement of cement by scale and slag did not achieve the expected resistance values, requiring adjustments in the situations or new waste treatments. Even so, the study contributes significantly to the advancement of sustainable solutions in the civil construction sector, reinforcing the importance of technological control and continuous research in the use of alternative materials.

Keywords: Sustainability, steel waste, resistance to improvement.

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos na construção civil é um problema significativo, agravado pelo seu mau gerenciamento. Esse cenário resulta em um elevado desperdício de materiais, com resíduos sendo descartados de forma irregular ou clandestina, o que pode ocasionar sérios danos ambientais, como a contaminação do solo e presença de entulhos no ambiente. Além disso, as atividades associadas à construção civil são responsáveis pelo alto consumo de recursos naturais como extração de minérios, calcário, argila entre outros, e o desperdício em obras contribui ainda mais para o aumento da quantidade de resíduos gerados.

De acordo com Barros e Fucale (2016), é ressaltado que a implementação de soluções que visam o uso dos resíduos como agregados na produção de concreto se tornando uma alternativa promissora para reduzir o impacto ambiental, promovendo uma gestão mais sustentável dos materiais e a redução do acúmulo de dejetos por meio de seu reaproveitamento.

A indústria metalúrgica tem intensificado seus esforços para valorizar seus resíduos, convertendo-os em matérias-primas para outros segmentos. Por meio de processos cada vez mais eficientes, subprodutos como o sulfato ferroso são obtidos, demonstrando o potencial de transformação desses materiais em produtos de alto valor agregado. Devido aos avanços nas pesquisas e tecnologias, uma parcela significativa dos resíduos gerados pelas siderúrgicas já encontra aplicação em novos processos produtivos, contribuindo para a redução do impacto ambiental e a otimização dos recursos (Freitas, 2018).

Sibucks *et al.* (2019) destacam a necessidade crescente de desenvolver novas tecnologias que incentivem o reaproveitamento de resíduos gerados por diversos setores,

incluindo o industrial e comercial, por exemplo. Os autores argumentam que a reutilização desses resíduos representa uma oportunidade para as empresas não apenas reduzirem os custos associados ao descarte, como também gerarão lucro a partir de materiais que, de outra forma, seriam descartados. Além disso, a reutilização contribui para a mitigação de impactos ambientais e para a redução da emissão de CO₂ do setor da construção.

O setor siderúrgico se sobressai entre os setores industriais com grande potencial para a reutilização de resíduos, particularmente no processo de aciaria, que produz resíduos como a escória (Sibucks *et al.*, 2019). Esses materiais, além de outros subprodutos industriais, oferecem um grande potencial para a fabricação de novos produtos e a busca por alternativas sustentáveis. No setor da construção civil, esses resíduos podem ser integrados a materiais como o concreto, auxiliando na diminuição do descarte em aterros, na economia de recursos naturais e na redução do impacto ambiental. Essa ação demonstra o compromisso do setor com modelos de produção mais eficazes e sustentáveis.

Conforme Ornelas (2017), a aplicação de escória de alto-forno aprimora as características do concreto fresco, melhorando sua coesão e fluidez graças à distribuição mais homogênea de partículas, que diminuem a absorção de água. Em sua forma endurecida, contribui na maior durabilidade e resistência, particularmente em ambientes adversos, graças à diminuição da porosidade e à criação de fases hidratadas mais estáveis. Ademais, a incorporação deste resíduo siderúrgico no concreto favorece a sustentabilidade, diminuindo o uso de cimento Portland e a emissão de carbono na indústria da construção, sem comprometer na eficácia mecânica.

A carepa de aço configura-se como um dos principais rejeitos da indústria siderúrgica. Devido ao seu elevado teor de ferro e por ser classificada como um resíduo não inerte, não inflamável, não reativo, não tóxico e não patogênico, apresentando um alto potencial de reaproveitamento em aplicações na construção civil (PEREIRA *et al.*, 2021). Sua implementação como aditivo não apenas proporciona uma nova fonte de recursos para o setor, mas também tem um papel fundamental na diminuição de impactos e na melhoria da sustentabilidade ambiental.

As siderúrgicas buscam o desenvolvimento sustentável e aplicam tecnologia na área da construção civil com finalidade de utilizar os resíduos siderúrgicos buscando alternativas de novos materiais que tendem a reduzir a extração de recursos naturais (Pagio *et al.*, 2022). Através de pesquisas e investimentos em inovação, o setor siderúrgico demonstra seu compromisso com a sustentabilidade e a busca por soluções mais eficientes e ecologicamente corretas.

O setor da construção civil enfrenta o desafio de minimizar seu impacto ambiental, buscando soluções que reduzam o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos. Nesse contexto, objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade da substituição parcial do cimento no concreto, por meio da realização do ensaio de compressão axial e teste de capilaridade, para entender se essa alternativa sustentável seria capaz de atingir a resistência mecânica ideal exigida para aplicações estruturais.

2 METODOLOGIA

A produção dos corpos de prova cilíndricos seguiu as diretrizes estabelecidas pelas normas brasileiras NBR 5739:2018 (Ensaio de compressão axial), NBR 5738:2015 (Preparo, moldagem e cura) e NBR 9838:2015 (revisão da antiga NBR 9738:2005). Primeiramente, preparou-se os materiais empregados na substituição parcial do cimento: a carepa de laminação e escória de alto-forno, ambos originários de processos da indústria siderúrgica.

O estudo propõe a avaliação do desempenho do concreto com diferentes proporções de substituição do cimento por esses resíduos, utilizando o cimento CP-II-Z como base. As proporções de substituição adotadas foram de 0% (referência), 8%, 12% e 20%, tanto para a carepa quanto para a escória de alto-forno.

2.1 – Análises dos agregados

Para o correto estabelecimento do traço de concreto, foi realizada uma avaliação prévia e detalhada das características dos agregados utilizados. Esse processo seguiu rigorosamente os procedimentos estabelecidos nas normas técnicas vigentes: ABNT NBR NM 45:2006 (Determinação da massa unitária e do volume vazio), ABNT NBR 9776:1987 (Determinação da massa específica e absorção de agregados miúdos) e ABNT NBR 17054:2022 (Requisitos para caracterização de agregados destinados ao concreto). A caracterização adequada dos agregados foi fundamental para garantir a precisão do traço e a qualidade do concreto produzido.

2.1.1 – Massa unitária

Inicialmente, foi realizada a análise da massa unitária do agregado graúdo, considerando duas condições: solta e compactada. O ensaio seguiu as orientações da norma técnica ABNT NBR NM 45:2006..

O procedimento teve início com a pesagem do recipiente cilíndrico vazio. Em seguida, foi realizado o ensaio na condição compactada, no qual o agregado foi depositado no recipiente a

partir da altura especificada pela norma, permitindo o adensamento natural por queda. A cada camada adicionada, o material foi compactado com o uso de uma haste metálica, aplicando-se 25 golpes uniformemente distribuídos sobre a superfície. Após o enchimento completo, o excesso de material foi cuidadosamente removido para nivelar a superfície, e o conjunto foi novamente pesado (Figura 1), registrando-se o valor obtido.



Figura 1: Recipiente cilíndrico com brita.

Fonte: Autor (2025).

Quanto à determinação da massa unitária do agregado miúdo, foi adotado o mesmo procedimento utilizado na condição solta, com a devida coleta e registro dos dados de pesagem.

Foi utilizada a fórmula descrita na norma para calcular e determinar a massa unitária dos materiais.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

ρ_{ap} - é a massa unitária do agregado, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

m_{ar} - é a massa do recipiente com o agregado, expressa em quilogramas (kg);

m_r - é a massa do recipiente vazio, expressa em quilogramas (kg);

V - é o volume do recipiente, expresso em metros cúbicos (m^3);

2.1.2 – Massa específica do agregado miúdo

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi feita de acordo com a norma NBR 9776:1987, empregando o recipiente de Chapman (Figura 2).

O processo começou com a pesagem de 500 g de agregado miúdo seco, que havia sido previamente preparado em estufa. Posteriormente, esse componente foi adicionado ao frasco de Chapman (Figura 3), que já possuía um volume conhecido de água destilada. Depois de adicionar o agregado, o frasco foi enchido com água até alcançar a marca registrada no seu pescoço. Em seguida, o conjunto foi meticulosamente agitado para assegurar a saída do ar retido entre as partículas, garantindo assim a exatidão na medição do volume deslocado.



Figura 2: Frasco de Chapman com água destilada até a marcação.

Fonte: Autor (2025).



Figura 3: Utilização do frasco de Chapman.

Fonte: Autor (2025).

Os resultados coletados foram utilizados para a determinação de valores na equação 2, estabelecida pela norma.

$$\gamma \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Massa de areia seca}}{\text{leitura no frasco} - \text{volume inicial}} \quad (2)$$

2.1.3 – Massa específica do agregado graúdo

O cálculo da massa específica do agregado graúdo foi feito conforme os procedimentos definidos na norma NBR 16917:2021. Primeiramente, uma amostra representativa do agregado separados pelo processo de quarteamento da amostra foi seca até alcançar uma massa fixa. Depois de arrefecer até a temperatura ambiente, esta amostra foi pesada, registrando sua massa seca.

Depois, o material foi completamente lavado, sendo posteriormente imerso em água potável e mantido nessa condição pelo menos por 24 horas, para assegurar que todos os poros do agregado estivessem completamente preenchidos. Depois desse intervalo, o agregado foi removido da água e colocado numa peneira de 4,75 mm para drenar o excesso de água.

Foi feita a pesagem da amostra com o agregado na condição Saturado com superfície seca (Figura 4), anotando-se a massa correspondente. Posteriormente, o mesmo material foi novamente mergulhado em água destilada (Figura 5) e pesado enquanto submerso, usando uma

balança com suporte apropriado para essa medição. Depois disso, o agregado foi seco novamente em estufa até atingir uma massa constante, para determinar a massa seca final.



Figura 4: Agregado na condição saturado com superfície seca.

Fonte: Autor (2025)



Figura 5: Cesto submerso.

Fonte: Autor (2025).

Com as massas coletadas - seca, saturada com superfície seca e submersa - conseguimos determinar a massa específica real, aparente e na condição SSS, seguindo as fórmulas propostas pela norma. Para assegurar a exatidão dos resultados e um conjunto de dados mais completo, o teste foi realizado com uma segunda amostra, onde a média dos valores obtidos nas duas determinações foi considerada.

2.1.4 - Granulometria dos agregados

Posteriormente, foi realizado o ensaio de granulometria dos agregados graúdo e miúdo, com o objetivo de obter dados essenciais para a determinação do traço do concreto. O procedimento foi conduzido conforme os critérios estabelecidos pela norma NBR 17054:2022, garantindo a padronização e confiabilidade dos resultados.

Ambos os tipos de agregados foram submetidos ao peneiramento manual (Figura 6), utilizando peneiras padronizadas com aberturas decrescentes, conforme exigido pela norma. Através desse processo, foi possível calcular as porcentagens retidas em cada peneira e, a partir desses valores, determinar a granulometria característica de cada material.

Com base nos resultados obtidos, foram calculados os respectivos módulos de finura, parâmetro fundamental para a caracterização do agregado e para a definição da proporção entre os materiais no traço de concreto. Esses dados serão aplicados diretamente na composição da mistura, contribuindo para o desempenho e a uniformidade do concreto produzido.



Figura 6: Ensaio de granulometria.

Fonte: Autor (2025).

Para determinação do módulo de finura (MF), foram utilizados os dados obtidos por meio do ensaio e substituídos na fórmula descrita na norma.

$$MF = (\Sigma \text{ acumulada } \%) / 100 \quad (3)$$

2.2 – Dimensionamentos do traço

Com base na análise minuciosa dos resultados obtidos nos ensaios de massa unitária, massa específica e granulometria dos agregados, foi possível definir com precisão o traço ideal da mistura. Esses dados permitiram ajustar as proporções entre os componentes do concreto, assegurando o equilíbrio necessário entre resistência mecânica, trabalhabilidade e compacidade. A correta caracterização dos agregados garantiu um melhor aproveitamento dos materiais, contribuindo para a otimização do desempenho do concreto no estado fresco e endurecido.

Antes, foi preciso calcular os volumes de materiais necessários para a fabricação do concreto, incluindo as quantidades de cimento, areia e brita. Esses cálculos se basearam em um traço previamente estabelecido e foram ajustados de acordo com a densidade dos materiais e o volume total pretendido, assegurando a exatidão na dosagem e a eficácia na utilização dos insumos.

O cimento foi o primeiro material a ter sua quantidade estabelecida, sendo seu consumo determinado através da Fórmula 4. Esta fórmula possibilitou uma estimativa precisa da quantidade de cimento requerida para a fabricação de um traço de concreto, levando em conta o volume total da mistura, a proporção água/cimento e as informações coletadas nas fases anteriores de caracterização dos materiais.

(4)

$$Cc = \frac{Ca}{a/c}$$

Cc: Consumo de cimento

Ca: Consumo de água

a/c: Fator água/cimento.

Após a finalização dos cálculos referentes à quantidade de cimento, procedeu-se com a determinação da quantidade de brita 0. Para isso, foi empregada a Fórmula 5, conforme os parâmetros estabelecidos para o traço de concreto.

$$Cb = Vb * \gamma_b \quad (5)$$

V_b = volume da brita

γ_b = massa específica compactada

Para obter o consumo de areia, inicialmente deve-se calcular o volume necessário utilizando a Fórmula 6. Com esse valor em mãos, aplica-se a Fórmula 7 para determinar o consumo final de areia, de acordo com as proporções do traço estabelecido.

$$V_{areia} = 1 - \left(\frac{m_{cimento}}{\gamma_{cimento}} + \frac{m_{brita}}{\gamma_{brita}} + \frac{m_{brita}}{\gamma_{brita}} \right) \quad (6)$$

$$C_{areia} = V_{areia} \cdot \gamma_{areia} \quad (7)$$

A rigorosa observância às normas técnicas garantiu a obtenção de dados confiáveis sobre as propriedades físicas dos agregados, como a granulometria e a massa específica. A identificação e quantificação dessas características foram essenciais, pois forneceram a base técnica para a definição precisa e otimizada do traço de concreto.

O concreto foi dimensionado com uma resistência esperada de 25 Mpa e a resistência média a compressão foi definida pela Fórmula 8.

$$F_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (8)$$

F_{cj} : Resistência média do concreto à compressão.

S_d : desvio padrão da resistência à compressão

O fator água/cimento utilizado, 0,45, foi determinado com base na gráfica de resistência estabelecida por Rodrigues (1998). Esse valor foi identificado a partir da atribuição da resistência desejada nas retas presentes no gráfico.

2.3 – Fabricações dos corpos de prova

A modelagem do concreto foi realizada utilizando moldes de corpos de prova 100 x 200 mm, provenientes da Franco Engenharia. O material foi separado e depositado para cada tratamento, onde todo o material foi misturado com um auxílio de uma betoneira (Figura 7) com finalidade de ter uma massa uniforme.



Figura 7: Uso da betoneira para mistura dos materiais.

Fonte: Autor (2025).

O concreto foi submetido ao teste de abatimento (Figura 8) para confirmar se sua consistência estava dentro da faixa adotada de 70 ± 10 mm (Figura 9). Após o teste, o material foi conduzido até os moldes, previamente lubrificadas com óleo de soja nas áreas de contato, com o objetivo de simplificar o processo de desmoldarem após a cura (Figura 10).



Figura 8: *Slump Test*.

Fonte: Autor (2025)



Figura 9: Resultados do *Slump test*.

Fonte: Autor (2025).



Figura 10: Concreto nos moldes de corpo de prova.

Fonte: Autor (2025).

2.4 – Coletas de dados

Após 24 horas de secagem, os corpos de prova foram retirados dos moldes e levados a um tanque de cura. Seis corpos de prova foram destinados ao ensaio de compressão, a ser realizado aos 7, 21 e 28 dias, correspondentes às diferentes fases do processo de cura. Para cada tratamento, serão necessários, no mínimo, dois corpos de prova moldados.

Durante os dias de rompimento, o ensaio de análise será realizado conforme os padrões estabelecidos pela norma NBR 5739:2018. Durante o procedimento, o corpo de prova cilíndrico ficará posicionado no centro do eixo da máquina, garantindo o controle e a precisão na aplicação da carga. A partir desse posicionamento, será início do deslocamento do mecanismo para o

rompimento para a determinação da resistência a compressão.



Figura 11: Corpo de prova posicionado para ensaio.

Fonte: Autor (2025).

A realização dos ensaios de ruptura dos corpos de prova para a coleta dos resultados de resistência à compressão foi conduzida em parceria com a empresa Franco Engenharia. As datas foram predefinidas e alinhadas conforme o cronograma estabelecido.

O teste de capilaridade foi conduzido com amostras que continham variados percentuais de substituição por escória, garantindo que pelo menos uma amostra para cada porcentagem avaliada fosse incluída. O tratamento passou pela fase de secagem do material e pesada, logo, cada amostra foi colocada em contato direto com uma lâmina de 5 mm de espessura de água. A supervisão do ensaio obedeceu aos processos definidos pela norma NBR 9779:2012. O cálculo para determinação da capilaridade seguiu a Fórmula 9.

$$C = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{S} \quad (9)$$

C = Absorção de água por capilaridade, expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm^2).

M_{sat} = Massa saturada do corpo de prova em um determinado tempo de imersão, ou seja, a massa do corpo de prova após o período em que uma de suas faces ficou em contato com a água, expressa em gramas (g).

M_{sec} = Massa seca do corpo de prova, obtida após a secagem em estufa até constância de massa, expressa em gramas (g).

S = Área da seção transversal do corpo de prova que está em contato com a água, expressa em centímetros quadrados (cm^2).

Por fim, foi realizada uma análise estatística utilizando o teste t para amostras independentes no *software* Jamovi, com o objetivo de verificar se houve diferença significativa entre os resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova. A análise contemplou apenas os tratamentos que utilizaram resíduos em sua composição, permitindo uma melhor visualização e comparação dos efeitos desses materiais no desempenho mecânico do concreto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos testes conduzidos, foi possível identificar as propriedades dos materiais utilizados, possibilitando a análise do comportamento do concreto e a obtenção de conclusões pertinentes sobre sua performance. Com a realização dos ensaios de massa unitária chegamos aos resultados de massa compactada e solta dos agregados dessa forma tendo a base de resultados.

O teste foi realizado em um recipiente cilíndrico com volume de 7539,822 cm³, onde utilizou-se três amostras para obter uma média de valores com relação a massa compactada da brita valores descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados massa da brita 0 compactada

AMOSTRA 1	16420 g
AMOSTRA 2	16460 g
AMOSTRA 3	16460 g
MÉDIA	16446,333 g

Fonte: Autor (2025).

Dessa forma, seguindo a Fórmula I, foi obtido um valor de 1,5306 g/cm³, sendo esse o valor da massa unitária compactada da brita 0. Logo, ao concluir os resultados da compactada foi realizado o teste da massa da brita solta como descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da massa da brita solta

AMOSTRA 1	16300 g
AMOSTRA 2	16150 g
AMOSTRA 3	15880 g
MÉDIA	16053,333 g

Fonte: Autor (2025).

Com essa base de resultados o valor da massa unitária solta da brita foi de 1,493 g/cm³. O próximo resultado foi a massa específica do agregado miúdo, obtido por meio do ensaio de Chapman onde substituído os valores na Fórmula II foi possível chegar a um valor de 2,645 g/cm³. Finalizando essa análise foi iniciado a o ensaio da massa especifica do gráudo.

Tabela 3: Dados e resultados do ensaio de massa especifica da brita

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2
Peso do cesto (P1)	145,2 g	145,2 g
Peso do cesto + agregado ao ar (P2)	1145,2 g	1145,2 g
Peso do agregado seco (P3 = P2 - P1)	1000 g	1000 g
Peso do cesto imerso (P4)	135,3 g	135,3 g
Peso do cesto + agregado imerso (P5)	770,9 g	772,3 g
Peso do agregado imerso (P6 = P5 - P4)	635,6 g	637 g
Volume deslocado (P7 = P3 ÷ P6)	364,4 g	363 g
Densidade (P8 = P3 ÷ P7 × 1000)	2742,90 kg/m ³	2754,98 kg/m ³

Fonte: Autor (2025)

Obtendo uma média de massa especifica do agregado gráudo de 2748,95 kg/m³. Posteriormente, foi realizado o ensaio de granulometria para ambos os agregados, gráudo e miúdo. A análise permitiu a determinação das curvas granulométricas, as quais servirão como base para a definição do traço de concreto.

Tabela 4: Dados de peneiramento dos agregados miúdo.

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g) - Amostra 1	Massa retida (g) - Amostra 2	Massa retida (%) - Amostra 1	Massa retida (%) - Amostra 2	Média (%)	Acumulada (%)
9,5	0	0	0	0	0	0

6,3	0	0	0	0	0	0
4,75	0	0,2	0	0,05%	0,025	0,025
2,36	4,4	4,7	1,10%	1,19%	1,143	1,164
1,18	15,5	14,9	3,88%	3,68%	3,779	4,946
0,6	56,6	55,9	14,41%	14,02%	14,217	19,063
0,3	166,8	161,7	42,94%	40,55%	41,746	60,809
0,15	156,6	162,3	38,19%	39,20%	38,693	99,502
Fundo	9,5	9,8	2,39%	2,21%	2,297	99,987
Total	388,8	388,7	100 %	100 %	100	281,863

Fonte: Autor (2025)

Logo, com a base de dados conseguimos determinar o módulo de finura do agregado miúdo através da Fórmula III. Substituindo os valores se chegou a um valor de 2,8186 esse sendo o valor do módulo de finura da areia. Logo o mesmo foi feito com os agregados graúdos usando suas peneiras específicas.

Tabela 5: Dados de peneiramento dos agregados graúdo.

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g) - Amostra 1	Massa retida (g) - Amostra 2	Massa retida (%) - Amostra 1	Massa retida (%) - Amostra 2	Média (%)	Acumulada (%)
12,5	3,2	6,1	0,21%	0,50%	0,308	0,308
9,5	93,5	88,4	6,20%	5,44%	5,824	6,153
6,3	884,2	859,5	58,03%	52,39%	55,21	64,363
4,75	400	400,4	26,24%	26,50%	26,369	91,119
2,36	103,7	138,5	9,32%	9,33%	9,325	99,437
1,18	0	0	0	0	0	100
0,6	0	0	0	0	0	100
0,3	0	0	0	0	0	100
0,15	0	0	0	0	0	100
Fundo	7,2	9,2	0,48%	0,61%	0,549	100
Total	1491,7	1491,1	100 %	100 %	100	100

Fonte: Autor (2025)

O módulo de finura do agregado graúdo foi de 5,967 usando os dados na mesma

fórmula. Com base nos valores obtidos, foi possível calcular o Módulo de Finura (MF), que resultou em 2,8186, para os miúdos e 5,967 para o gráudo, indicando um agregado de granulometria média. Esse valor está dentro da faixa adequada para o uso em concretos convencionais, contribuindo para uma boa trabalhabilidade, compactidade e eficiência na dosagem dos materiais.

Com base na análise meticulosa dos dados de massa unitária, massa específica e granulometria dos agregados, foi possível determinar com precisão o traço ideal para a mistura, garantindo as proporções adequadas de cada componente para alcançar as propriedades desejadas do material final, como resistência e trabalhabilidade.

Após toda base dados consolidados foi dimensionado o traço, inicialmente foi calculado os coeficientes dos concretos, onde o Fck estabelecido é de 25 Mpa, um abatimento de 70 ± 10 mm, com desvio de padrão (Sd) usado foi o de controle usual, sendo 5,5, dessa forma usando a Fórmula 8, foi aferido um Fcj de 34,075 Mpa e uma fator água/cimento de 0,45.

Após a consolidação das informações para os cálculos de consumo, começou a determinação da quantidade de cada material usado no traço de concreto. Foi determinado o consumo de cimento pela Fórmula 4, sendo o consumo de água de 200 L/m³, chegando a um valor de 4,66 kg/m³ de cimento. Logo foi calculado a brita usando a Fórmula 5 sendo obtido um valor de 1183,15 Kg/m³ e areia foi possível pela Fórmula 6, chegando a 617,2 kg/m³ o seu consumo.

Dessa forma foi possível determinar o traço, com toda a base para o cálculo.

$$\frac{421,05}{421,05} : \frac{617,25}{421,05} : \frac{1183,15}{421,05} : \frac{200}{421,05} = 1: 1,466: 2,81: 0,475$$

Com isso obtemos o traço do concreto e iniciar a produção.

Depois de toda a base de cálculo, foi separado cada tratamento e quantidade e material, após essa fase de pesagem dos elementos para a composição dos traços, sendo substituídas as porcentagens de resíduos no cimento.

Com a fabricação e esperado do tempo de cura, os corpos de prova com substituição por escoria de alto forno e carepa foram pesados nos respectivos dias de cura seguindo o que foi estabelecido metodologicamente. Dessa forma foi possível aferir os resultados ao longo do processo com descrito nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Resultado em MPa dos tratamentos com Escória

Resultados compressão - (Escoria) Mpa			
	8%	12%	20%

Cp4 -e	12,09893	15,99456	15,99456	7 dias
Cp5 -e	16,55643	15,99456	15,99456	
Cp6 -e	15,44518	16,00704	16,56891	21 dias
Cp7 -e	15,72611	16,28798	16,84985	
Cp8 -e	17,13078	17,69265	18,25452	28 dias
Cp9 -e	17,41172	17,97359	18,53546	

Fonte: Autor (2025)

Tabela 7: Resultado em Mpa dos tratamentos com Carepa

Resultados compressão - (Carepa) Mpa				
	8%	12%	20%	
Cp4 -ca	15,08231	14,88255	17,15488	7 dias
Cp5 -ca	14,27076	10,45024	14,4608	
Cp6 -ca	16,44322	18,55324	16,83026	21 dias
Cp7 -ca	21,51227	20,26374	18,05383	
Cp8 -ca	22,66092	19,21497	18,14122	28 dias
Cp9 -ca	19,8642	26,5189	20,11391	

Fonte: Autor (2025)

Tabela 8: Resultado em Mpa dos tratamentos sem adição

Resultados compressão - Sem adição		
	0%	
Cp1 - AS	17,6	7 dias
Cp5 - AS	23,1	
Cp3 - AS	20,71	21 dias
Cp4 - AS	26,26	
Cp5 - AS	31,64	28 dias
Cp6 - AS	22,66	

Fonte: Autor (2025)

A adição das porcentagens de escória e carepa, em substituição parcial ao cimento, não atingiu os resultados esperados em termos de desempenho, em comparação aos dados dos tratamentos sem adição (Tabela 8) é notável uma diferença entre os tratamentos que contém adição de resíduos com as devidas porcentagens de substituição do cimento.

A análise da absorção capilar dos corpos de prova foi conduzida conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 9779:2012. Antes do ensaio, os corpos de prova contendo escória foram secos em estufa (Tabela 9), e em seguida foram monitorados quanto à

absorção por capilaridade ao longo do tempo (Tabela 10). Ao final do ensaio, os corpos de prova foram seccionados para medir a profundidade de penetração da água no concreto.

Tabela 9: Massa dos tratamentos de escoria seco em estufa

Massa seca dos corpos de prova (l scória)			
TRATAMENTOS	8%	12%	20%
CP1 -E	3765	3905	3615
CP2 -E	3760	3925	3540
CP3- E	3770	3875	3435

Tabela 10: Resultados do acompanhamento do ensaio de capilaridade (g)

Tempo	Cps	8%	12%	20%
3h	Cp 9 - e	3800	3835	3640
	Cp 8 - e	3790	3860	3535
	Cp 7 - e	3805	3910	3785
6h	Cp 9 - e	3805	3945	3645
	Cp 8 - e	3790	3960	3665
	Cp 7 - e	3810	3915	3790
12h	Cp 9 - e	3830	3835	3650
	Cp 8 - e	3815	3875	3670
	Cp 7 - e	3820	3930	3795
24h	Cp 9 - e	3835	3650	3840
	Cp 8 - e	3825	3955	3675
	Cp 7 - e	3790	3970	3795
48h	Cp 9 - e	3840	3650	3840
	Cp 8 - e	3830	3955	3675
	Cp 7 - e	3790	3970	3805
48h	Cp 9 - e	3840	3655	3840
	Cp 8 - e	3830	3955	3680
	Cp 7 - e	3790	3975	3805

Fonte: Autor (2025)

Os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade, conforme a NBR 9779:2012, indicaram que a substituição de 8% apresentou os menores índices de absorção em todos os tempos avaliados como descrito na Tabela 11, demonstrando menor porosidade e melhor desempenho quanto à penetração de água. Por outro lado, o teor de 20% resultou nos maiores valores, sugerindo maior permeabilidade do concreto. Já os corpos de prova com 12% mostraram comportamento intermediário. Esses dados indicam que teores mais baixos de substituição são mais eficazes na preservação da durabilidade do material.

Tabela 11: Resultados da capilaridade (g/cm²)

Tempo	Cps	8%	12%	20%
3h	Cp 9 - e	0,4456327986	0,1909854851	0,3183091418
	Cp 8 - e	0,3819709702	0,1273236567	0,1273236567
	Cp 7 - e	0,4456327986	0,4456327986	4,456327986
6h	Cp 9 - e	0,5092946269	1,591545709	0,3819709702
	Cp 8 - e	0,3819709702	1,400560224	1,591545709
	Cp 7 - e	0,5092946269	0,5092946269	4,519989814
12h	Cp 9 - e	0,8276037688	0,1909854851	0,4456327986
	Cp 8 - e	0,700280112	0,3183091418	1,655207538
	Cp 7 - e	0,6366182837	0,700280112	4,583651642
24h	Cp 9 - e	0,8912655971	1,909854851	2,864782277
	Cp 8 - e	0,8276037688	1,336898396	1,718869366
	Cp 7 - e	0,2546473135	0,4456327986	4,583651642
48h	Cp 9 - e	0,9549274255	1,145912911	2,864782277
	Cp 8 - e	0,8912655971	1,336898396	1,718869366
	Cp 7 - e	0,2546473135	1,209574739	4,710975299
72h	Cp 9 - e	0,9549274255	1,209574739	2,864782277
	Cp 8 - e	0,8912655971	1,336898396	1,782531194
	Cp 7 - e	0,2546473135	1,273236567	4,710975299

Fonte: Autor (2025)

Como é possível notar com base no deslocamento da água nos corpos de prova (Tabela 12), é possível afirmar que a porosidade dos tratamentos com 20% de substituição resultou em maiores valores de absorção de água. Isso contrasta com a substituição de 8%, que apresentou os menores índices em todos os tempos avaliados, demonstrando menor porosidade e melhor desempenho contra a penetração de água. Os corpos de prova com 12% exibiram um comportamento intermediário. Esses resultados indicam que teores mais baixos de substituição são mais eficazes para preservar a durabilidade do material.

Tabela 12: Distância em centímetros do deslocamento da água nos corpos de provas de escoria através do teste de capilaridade

Cps	8%	12%	20%
Cp 9 - e	6	6,5	6,5
Cp 8 - e	4,5	7	7
Cp 7 - e	7	6	9,5

Fonte: Autor (2025)

O estudo de Cavalli (2021) demonstrou que a substituição parcial do cimento por escória contribuiu para uma redução na absorção de água. Isso sugere que a escória, sob as condições daquele estudo, teve a diminuição sua porosidade capilar. Por outro lado, na análise dos tratamentos (8%, 12% e 20%), observou-se que o aumento do teor de adição pareceu intensificar a absorção em algumas amostras. Essa diferença ressalta que o efeito das adições depende intrinsecamente do tipo de material empregado. Algumas adições podem, por sua natureza, introduzir mais poros ou criar caminhos mais eficientes para a água, resultando em maior absorção.

De modo geral, ambos os conjuntos de dados confirmam que o tempo e a composição do material são fatores cruciais que influenciam o comportamento capilar, sendo essa compreensão fundamental para o avanço de materiais na construção civil.

Como forma de visualizar melhor os resultados obtidos no teste de compressão, foi realizado uma análise estatística do teste t pelo software Jamovi, como forma de verificar se houve ou não diferença significava entre os tratamentos com uso de escoria e carepa.

Tabela 13: Dados estatísticos do teste t

Comparação	Estatística t	gl	p	Diferença média	Erro-padrão da diferença
7 dias	1.573*	10	0.147	2.577	1.639
21 dias	0.741	10	0.476	1.656	2.235
28 dias	0.482	10	0.641	0.426	0.885

Fonte: Autor (2025)

É possível observar que os tratamentos com 8 % de resíduos na substituição do cimento (Tabela 9) apresentaram um comportamento com indícios de não homogeneidade nos resultados, especialmente no grupo C, conforme indicado pelo teste de Levene. No entanto, os valores de p obtidos em todos os testes foram superiores a 0,05, o que indica que não há diferença estatisticamente significativa entre os resultados de resistência à compressão axial das amostras contendo escória e carepa. Assim, embora haja variações nas médias, essas diferenças não podem ser consideradas significativas do ponto de vista estatístico.

Tabela 10: Estatísticas descritivas de cada grupo

Grupo	N	Média	Mediana	Desvio-padrão	Erro-padrão
7 dias Carepa	6	18,3	18,2	3,52	1,435
7 dias Escória	6	15,7	16,1	1,936	0,79
21 dias Carepa	6	16,2	16,4	2,4	0,98
21 dias Escória	6	14,6	14,6	0,921	0,376
28 dias Carepa	6	17,6	17,6	0,766	0,313
28 dias Escória	6	17	17	1,11	0,453

Fonte: Autor (2025)

Nos três tratamentos avaliados, os valores de p foram superiores a 0,05 (C = 0,147; D = 0,476; E = 0,641), indicando ausência de diferença estatisticamente significativa entre os grupos que utilizaram carepa e escória como substituintes parciais no traço de concreto. Mesmo com médias levemente superiores nas amostras com carepa, os intervalos de confiança demonstram sobreposição. Esses resultados podem ser visualizados melhores nos Gráficos 1, Gráfico 2, Gráfico 3, que reforçam que as variações não são suficientes para apontar uma distinção significativa.

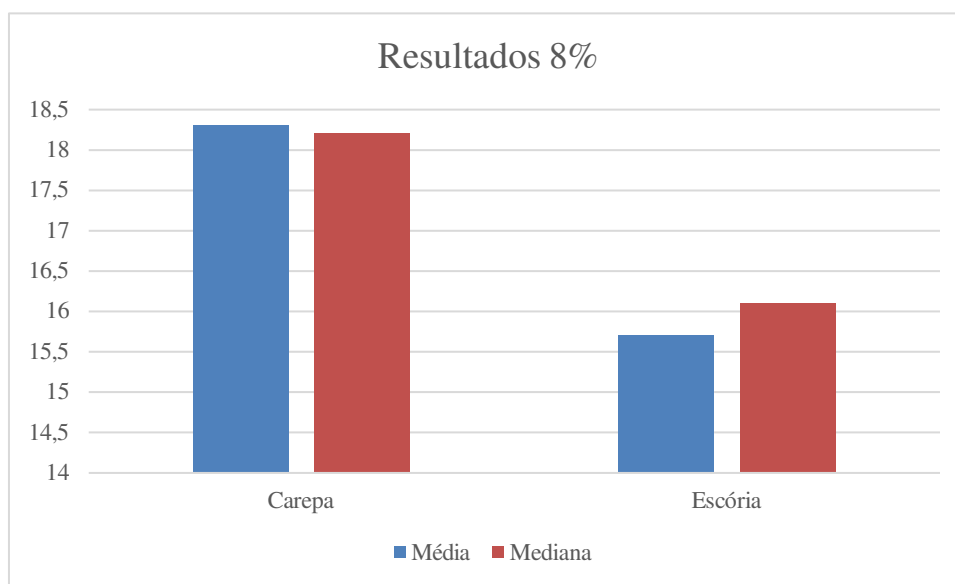


Gráfico 1: Média e mediana 8% de resíduos. Fonte: Autor (2025)

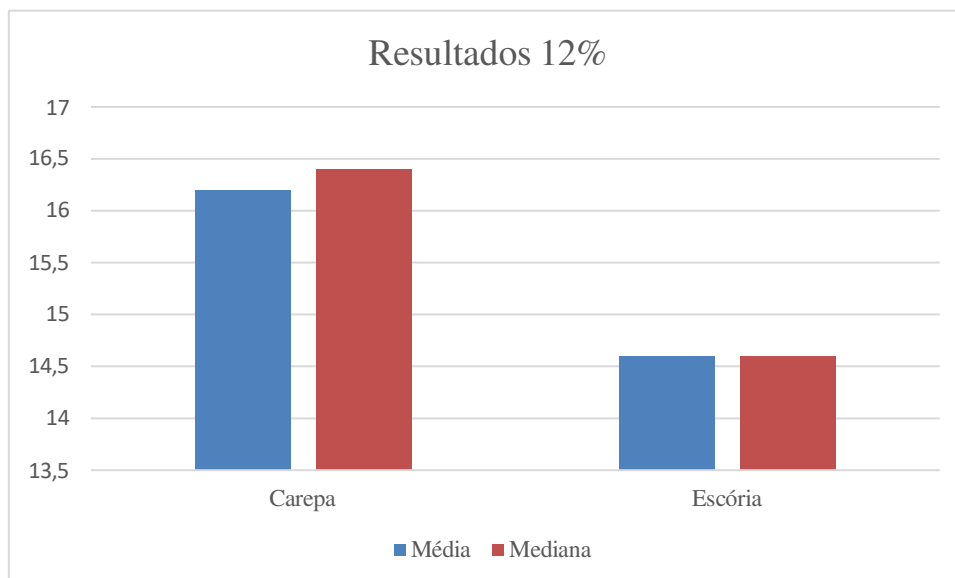


Gráfico 2: Média e mediana 12% de resíduos. Fonte: Autor (2025)

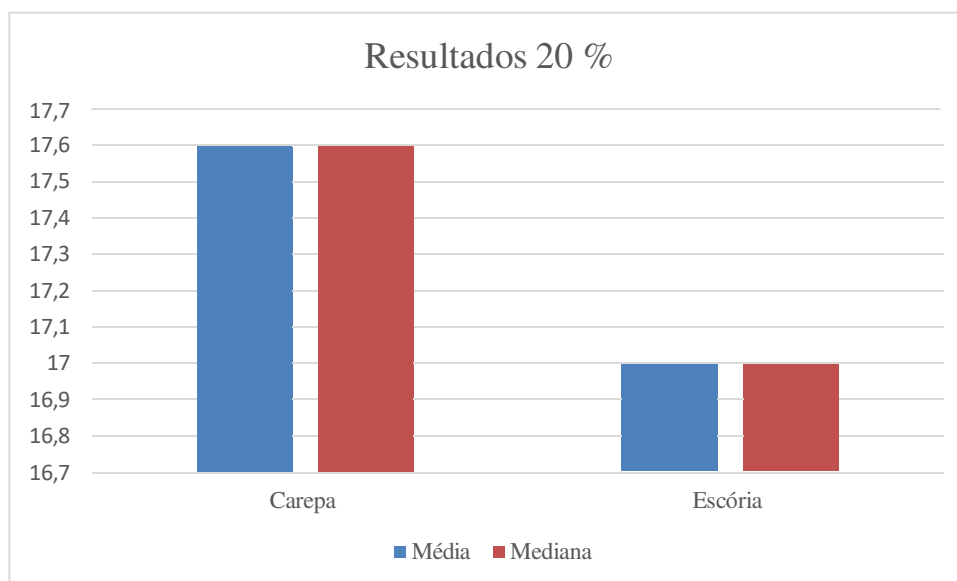


Gráfico 3: Média e mediana 20 % de resíduos. Fonte: Autor (2025)

Esses achados sugerem que, do ponto de vista estatístico, a substituição do cimento por carepa ou escória não gerou diferenças relevantes na resistência à compressão axial dos corpos de prova, ao menos dentro do intervalo e das condições analisadas.

5 - Conclusão

Por meio de ensaios laboratoriais, foram avaliados parâmetros fundamentais para determinação do traço, como massa unitária, massa específica e granulometria, seguindo as normas técnicas vigentes. Os resultados obtidos permitiram calcular o consumo de cimento,

água, areia e brita, estabelecendo um traço, em peso, de 1:1,466:2,81:0,475 (cimento:areia:brita:água).

Os ensaios de compressão realizados nos corpos de prova aos 7, 21 e 28 dias indicaram que as substituições de cimento por escória e carepa não alcançaram os resultados esperados em termos de resistência à compressão. Isso sugere a necessidade de ajustes nas proporções ou a investigação de métodos alternativos para incorporar esses materiais, garantindo que as propriedades mecânicas do concreto não sejam comprometidas.

Em síntese, o trabalho proporcionou uma base sólida para o controle tecnológico dos materiais e a dosagem adequada do concreto. No entanto, os resultados destacam a importância de estudos complementares para otimizar o uso de substitutos do cimento, visando melhorar o desempenho do concreto sem perder de vista a sustentabilidade e a eficiência dos materiais.

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739:2018. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738:2015. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778:2005. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 67:1998 – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16917:2021 – Agregado graúdo: determinação da massa específica e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 17054:2022 – Agregados – Requisitos para caracterização de agregados destinados ao concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9776:1987 – Agregado miúdo: determinação da massa específica e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9779:2012 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BARROS, Emilia; FUCALE, Stela. O uso de resíduos da construção civil como agregados na produção de concreto. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 2, n. 1, 2016.

BONFIM, Walter Batista; CARVALHO, Igor Mazon; DE PAULA, Heber Martins. USO DE LAMA RESIDUAL DE CONCRETO COMO SUBSTITUTO DA CAL HIDRATADA PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO. *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 15, n. 2, p. 75-87, 2019.

CAVALLI, Edriele. Estudo do uso de escória alto-forno no efeito autocicatrizante em concretos.

DE LIMA CARVALHO, Dieury et al. Avaliação da adição do resíduo lama de cal, proveniente da indústria de papel, em massa cerâmica. *Cerâmica Industrial*, v. 27, n. 1, p. 1-12, 2022.

DE ORNELAS, Daniela Pereira. VIABILIDADE DO USO DE ESCÓRIA DE ALTO FORNO NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM CONCRETO USINADO. **Repositório de Trabalhos de Conclusão de Curso**, 2021.

ECKERT, Camila Lopes. Obtenção de mistura cimentícia a partir de escória de fundição e resíduo da indústria de celulose. 2019.

SOUZA, Romário Silva et al. Desempenho de argamassas produzidas com a incorporação de resíduo de lama de cal da indústria de celulose. In: 73º Congresso Anual da ABM. 2018.

GEYER, Rejane Maria Tubino. Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto. 2001.

SILVA, Michael Lima et al. Estudo das propriedades do concreto utilizando escória de fundição visando sua aplicação na construção civil como substituo de agregado miúdo. *Engenharia no Século XXI Volume 12*, p. 7.

Instituto Aço Brasil. Relatório de Sustentabilidade. 2012. Rio de Janeiro, 2012. 95 p.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia Telles. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. *Revista em agronegócio e meio ambiente*, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008.

PEREIRA, Fernanda Macedo; VERNEY, José Carlos Krause de; LENZ, Denise Maria. Avaliação do emprego de carepa de aço como agregado miúdo em concreto. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 64, p. 463-469, 2011.

PAGIO, Mariana Zani et al. Caracterização de resíduos siderúrgicos visando à aplicação em matrizes cimentícias. *Ambiente Construído*, v. 22, p. 167-186, 2022.