

Aproveitamento da escória de aciaria na composição do cimento para produção de mobiliário urbano

Utilization of steel slag in the composition of cement for the production of urban furniture

Pedro Arthur Nascimento de Sales, UFJF

pedroarthur.nascimento@estudante.ufjf.br

Emilly Costa de Oliveira, UFJF

15087607640@estudante.ufjf.br

Maria Eduarda Campos Jacob, UFJF

eduardajacob.maria@estudante.ufjf.br

Número da sessão temática da submissão – [05]

Resumo

Este trabalho revisa a literatura do uso da escória de aciaria em compósitos cimentícios para a fabricação de mobiliário urbano. O objetivo é identificar propriedades técnicas, potenciais aplicações e contribuições para a sustentabilidade. A metodologia inclui análise de estudos de caracterização físico-química e microestrutura. Encontram-se organizadas as normas aplicáveis ao mobiliário urbano em cimento, como acessibilidade e desempenho. Explica-se o conceito de simbiose industrial, integrando siderurgia e construção civil. São discutidas a análise de viabilidade considerando aspectos técnicos, econômicos e sociais da implementação. Benefícios englobam durabilidade, inovação urbana e valorização de resíduos industriais. Desafios abrangem padronização e regulamentação. Conclui-se que os estudos multidisciplinares são necessários para confirmar a viabilidade plena.

Palavras-chave: Escória de aciaria; mobiliário urbano; design sustentável

Abstract

This study reviews the literature on the use of steelmaking slag in cementitious composites for the production of urban furniture. The objective is to identify technical properties, potential applications, and contributions to sustainability. The methodology includes the analysis of studies on physicochemical and microstructural characterization of slag. Applicable standards for cement-based urban furniture, such as accessibility and performance, are organized and discussed. The concept of industrial symbiosis is explained, highlighting the integration between the steel industry and the construction sector. A feasibility analysis is presented, considering technical, economic, and social aspects of implementation. The identified benefits include durability, urban innovation, and the valorization of industrial residues. Challenges involve standardization and regulatory issues. It is concluded that multidisciplinary studies are necessary to confirm the full viability of this approach.

Keywords: Steel slag; Urban Furniture; Eco-design

1. Introdução

O modelo tradicional de economia linear consolidou-se como o principal sistema produtivo adotado globalmente, fundamentado nos paradigmas *extrair–produzir–descartar*. Tal modelo desconsidera a finitude de recursos naturais e energéticos, intensificando a degradação ambiental, pressionando o custo de commodities e contribuindo para oscilações e instabilidades de mercado. Em contraste, a economia circular surge como alternativa sistêmica ao propor novos paradigmas. De acordo com Santos *et al.* (2018): “Este princípio trata do desenvolvimento e implementação de soluções que convertam resíduos em ativos econômicos. Sua aplicação possibilita novas modalidades de geração de renda, contribuindo na redução do volume de capital requerido para a exploração de matéria prima virgem”.

Nesse contexto, o conceito de economia circular aborda a inter-relação dinâmica entre elementos de naturezas distintas dentro de uma estrutura econômica contínua, na qual fluxos materiais e energéticos circulam de forma direta ou indireta entre si (Leontief, 2007). Assim, os processos característicos da circularidade priorizam o aproveitamento e o reaproveitamento de artefatos, subprodutos e insumos industriais ao longo de todo o ciclo de vida, mitigando desperdícios e reduzindo pressões sobre os ecossistemas. Por seu caráter regenerativo e restaurador, a economia circular mostra-se especialmente relevante no enfrentamento dos impactos ambientais, sobretudo aqueles associados à indústria de transformação (Abdalla 2017).

Sob a perspectiva do Design, a discussão sobre circularidade se expande ao considerar o papel dos produtos, sistemas e serviços na geração, transformação e reintrodução de materiais. Para Manzini e Vezzoli (2002), o design orientado por práticas sustentáveis atua como componente estratégico na organização e na logística dos instrumentos aplicados pelas empresas em seus processos projetuais, contribuindo para resultados socialmente valorizados e ambientalmente favoráveis. Nesse sentido, a reincorporação de subprodutos industriais emerge como prática relevante não apenas para a mitigação de impactos ambientais, mas também para o fortalecimento de projetos de design sustentáveis e para a construção de uma economia efetivamente circular.

No caso brasileiro, podemos destacar a siderurgia, responsável por uma expressiva geração de resíduos, como exemplo economia linear que deve ser revista. Dados da Companhia Siderúrgica do Pecém indicam que são produzidos entre 100 kg e 150 kg de escória de aciaria para cada tonelada de aço líquido. Somente nos anos de 2017 e 2018, foram geradas aproximadamente 7 a 10,5 milhões de toneladas desse subproduto, resultante do refino do aço-gusa (CSP 2021). Apesar de seu volume significativo, a escória de aciaria ainda carece de destinações consolidadas e, frequentemente, é acumulada em pátios de estocagem, configurando um passivo ambiental.

2. Objetivos

Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica, projetual e logística da utilização da escória de aciaria como componente agregado ao cimento, visando sua aplicabilidade no mobiliário urbano.

Para isso, busca-se: (i) revisar a literatura sobre escória de aciaria e suas aplicações; (ii) identificar propriedades técnicas relevantes para seu uso em matrizes cimentícias; (iii) analisar potenciais aplicações no mobiliário urbano; e (iv) discutir contribuições para a sustentabilidade e para a implementação de soluções alinhadas à economia circular.

3. Procedimentos Metodológicos

A metodologia aplicada neste artigo é de abordagem exploratória e bibliográfica, analisando a viabilidade da utilização de compósitos a base de cimento com adição de escória de aciaria na produção de móveis urbanos. Para a realização desse estudo, foi feita uma seleção de artigos que investigaram o desempenho mecânico, a durabilidade e os aspectos ambientais da escória como material substitutivo ou complementar ao cimento, identificando os parâmetros técnicos importantes para a aplicação em mobiliário urbano. A partir dessa análise, foi estabelecido critérios de comparação entre as normas de resistência e sustentabilidade obrigatórios para a estruturas de concreto e as demandas de móveis urbanos, como ergonomia, estética e manutenção, permitindo apresentar cenários potenciais de aplicação.

Os estudos utilizados passaram por seleção, levando em consideração os seguintes critérios:

- **Origem dos artigos:** buscando maior confiabilidade, priorizou-se dissertações de pós-graduação (mestrados e doutorados) advindos de instituições de ensino superior bem avaliadas por órgãos federais (como o Ministério da Educação); revistas científicas focadas em pesquisas na área de engenharia, ciência de materiais e domínios relacionados; e trabalhos publicados em eventos reconhecidos nacionalmente e/ou internacionalmente em disciplinas pertinentes ao presente estudo.
- **Experimentos e resultados:** pesquisas que apresentaram resultados experimentais relacionados à resistência mecânica, durabilidade, impacto ambiental e viabilidade econômica foram o foco para sustentar o escopo teórico do presente estudo, tendo em vista que esses pontos são essenciais para as exigências de móveis urbanos.

Logo, as análises feitas desses estudos, consideram resistência à compressão, módulo de elasticidade, absorção de água, durabilidade frente a ciclos de intempéries e desempenho ambiental, especialmente no que se refere à redução da pegada de carbono e ao reaproveitamento de resíduos industriais. Esses dados foram organizados em quadro comparativos, sendo identificadas tendências de comportamento da escória de aciaria em diferentes proporções de substituição no cimento. Com base nessa organização, interpretamos os resultados, levando em consideração as exigências de móveis urbanos presentes nas normas elaboradas pela Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Associação Brasileira de Concursos Públicos (ABCP) e Governo Federal.

4. Referencial Teórico

4.1. Caracterização Microestrutural

A construção civil é um grande consumidor de recursos minerais, de seus próprios resíduos e de subprodutos de outras indústrias. Justamente por este comportamento, o presente trabalho buscará compreender a viabilidade do uso da escória de aciaria como componente no cimento para mobiliário urbano. Para melhor entender as suas possibilidades de uso e manipulação, faz-se necessário adquirir informações sobre a microestrutura. Tal estudo, aliado ao conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas, é um forte aliado para promover melhorias nas condições de aplicação (Polese et al. 2006).

Existem dois principais processos responsáveis pela geração desse subproduto: a fusão e o refino de sucata metálica em fornos elétricos a arco e o refino do ferro-gusa em estado líquido em convertedores a oxigênio. Em ambos os processos tem como objetivo remover materiais e elementos químicos indesejáveis presentes no aço. Para tal, ocorre a adição, principalmente, de cal e magnésio ao processo de fabricação do produto (Rohde et al., 2002; Geyer, 2001). As escórias resultantes desses processos retêm parte da cal livre (CaO) e do periclásio (MgO), sendo a primeira o componente mais relevante no que se refere ao potencial de expansão destrutiva do material. Em contato com a umidade, esses compostos podem sofrer hidratação, provocando expansão volumétrica e comprometendo o desempenho do agregado (Machado, 2000).

O método predominante para a redução do processo de expansão desse material consiste no envelhecimento, ou processo de “cura”, da escória nos pátios de estocagem, no qual o material é submetido à rega com água aquecida ou em temperatura ambiente, visando à hidratação dos elementos instáveis. Esse processo pode apresentar duração variável, oscilando entre três meses e um ano (Rohde et al., 2002).

O estudo de Polese et al. (2006) debruçou-se especificamente sobre dois tipos de escória de aciaria: Linz-Donawitz (LD), resultantes do refino do ferro-gusa; e Electric Arc Furnace (EAF), resultantes dos fornos elétricos a arco. Seu trabalho revelou que, ambos subprodutos provenientes de indústrias brasileiras têm como a maior limitação sua expansibilidade, decorrente da presença de óxidos de cálcio e de magnésio (periclásico) livres. A análise ainda destaca que tais óxidos possuem teores mais elevados na escória de aciaria LD, o que leva a pressupor que esta escória, provavelmente, sofrerá maior expansão que a escória de aciaria EAF. Há medidas para reduzir tal expansibilidade, sendo a mais simples, a exposição prolongada da escória solidificada ao tempo (Polese et al. 2006). Outras substâncias encontradas nos dois tipos de escória de aciaria estudados analisados por Polese et al. (2006) são os sulfatos, que formam pontos de baixa resistência (gesso). Por sua vez, um estudo realizado por Geyer (2001), analisou a viabilidade técnica da utilização da escória de aciaria como agregado no concreto, observando a combinação mais comumente encontrada nos pátios de estocagem brasileiros (FEA e FP). Nele, verificou-se que o uso conjunto das escórias de forno elétrico a arco (FEA) e de forno-panela (FP), resultou em um aumento de aproximadamente 50% na resistência mecânica do concreto quando incorporadas em

proporção de 5% à matriz de cimento Portland, em comparação ao concreto sem adição de escória. Observou-se, ainda, que a utilização exclusiva da escória FP, em teores de até 10%, não comprometeu a qualidade final do concreto no que se refere à sua expansibilidade, e resistência à compressão e tração, mesmo quando empregada escória recém-saída do forno. Esse resultado é relevante, uma vez que, tradicionalmente, esse material necessita de processos de cura que podem variar de três meses a um ano para viabilizar sua aplicação, comprometendo seus potenciais competitivos se comparada com agregado ao cimento convencional.

Embora a escória de aciaria apresente resultados positivos quando utilizada como agregado ao cimento, os processos de cura necessários à sua estabilização comprometem seu potencial competitivo em relação aos agregados convencionais, em razão do tempo requerido para sua aplicação (Geyer, 2001). Ademais, os teores de óxido de ferro (Fe_2O_3) presentes nas escórias do tipo LD podem atingir valores de até 30%, enquanto o limite máximo estabelecido para o cimento Portland é de aproximadamente 3% (Souza, 2016). Diante dessas limitações, vêm sendo desenvolvidas formas mais recentes de resfriamento e estabilização da escória. Dentre essas, destaca-se o processo desenvolvido pela Baosteel Metal Company, no qual a escória ainda em estado quente é lançada em um recipiente rotativo, sendo solidificada e fragmentada em um intervalo de poucos minutos. Nesse processo, o material é submetido à ação conjunta de forças mecânicas e de pequenas esferas, o que promove a redução significativa do teor de cal livre em sua composição, uma vez que, durante a etapa de granulação, ocorre a injeção de água por um período de três a cinco minutos. Adicionalmente, o processo possibilita a separação do metal residual presente na escória, em função das diferenças nos pontos de solidificação de seus constituintes (Souza, 2016).

Estudos posteriores (Dias et al., 2020), utilizando a escória BSSF (*Baosteel Slag Short Flow*), demonstraram o potencial da utilização desse material dentro do processo de confecção do concreto. Nele, foi feita a substituição do cimento portland por finos de escória de aciaria BSSF, onde verificou-se incremento na resistência à compressão e no módulo de elasticidade, e uma redução de água e índice de vazios. Além disso, a escória não apresentou expansão ao frio e expansão ao quente, dentro do limite máximo dentro da norma de 5 mm. Outros estudos que investigaram a fabricação de blocos de concreto com substituição parcial dos agregados naturais do cimento, por escória de aciaria BSSF, verificaram a viabilidade técnica e comprovaram uma melhora na resistência à compressão de 11,3, quando utilizada uma relação de substituição de 60, e menor absorção de água (Benitez et al. 2022).

Ainda na utilização da escória BSSF, Cartaxo (2022) estuda como concretos que utilizem da escória BSSF em substituição a agregados naturais se comportam em ambientes urbanos com classe de agressividade 2, chegando como conclusão que concretos com nível de substituição de 40% e 60% apresentaram ganhos nas propriedades mecânicas, não apresentando prejuízos significativos no quesito durabilidade, e sendo adequados para ambientes urbanos exceto os litorâneos

Embora a adição de escória ao concreto apresente resultados positivos, a heterogeneidade desse material, decorrente de seu processo de geração, torna necessária a avaliação prévia

de suas características antes de sua aplicação, tendo em vista a dificuldade de generalizações em função de sua elevada variabilidade (Moura, 2000).

4.2. Normas para produção de mobiliário urbano

No Brasil, não existem normas específicas somente para mobiliário urbano feitos de cimento. A fabricação e instalação seguem normas gerais da ABNT voltadas mais especificamente para acessibilidade, segurança, desempenho do concreto e mobiliário urbano, mostrando como cada uma influencia o projeto e a execução, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Comparação de normas de sustentabilidade aplicáveis ao mobiliário urbano feitos de cimento.

Comparação de normas de sustentabilidade aplicáveis ao mobiliário urbano feitos de cimento.				
Nome da norma	Instituição responsável	Objetivo principal	Aplicação ao mobiliário urbano	Relação com a sustentabilidade
ABNT NBR 9050: 2020 (Acessibilidade)	ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas	Garantir acessibilidade e usabilidade de espaços e equipamentos urbanos para pessoas com diferentes condições físicas.	Define dimensões, alturas, áreas livres para circulação e ergonomia para bancos, mesas, lixeiras e outros elementos, assegurando conforto e segurança no uso cotidiano.	Promove inclusão e conforto social, reduz barreiras de uso e evita substituições por falhas de ergonomia, prolongando a vida útil do mobiliário.
ABNT NBR 15575 (Desempenho de edificações)	ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas	Estabelecer requisitos mínimos de desempenho (segurança, durabilidade, conforto).	Embora seja voltada a edificações, seus critérios podem ser modificados para móveis urbanos: resistência a cargas de uso, durabilidade a diferentes situações climáticas e segurança de uso.	Foco em vida útil e manutenção reduzida, favorecendo menor consumo de recursos ao longo do ciclo de vida e menor impacto ambiental por substituições precoces.
ABNT NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto)	ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas	Regras de segurança, resistência e desempenho estrutural do concreto.	Orienta dimensionamento e verificação de peças pré-moldadas (bancos, mesas, floreiras), considerando cargas normais de uso e estabilidade contra tombamento.	Evita superdimensionamento (mais cimento do que o necessário), favorecendo o uso eficiente de materiais (sem desperdício) e a integração de adições como escória sem comprometer a segurança.
ABNT NBR 12655 (Concreto — preparo,	ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas	Padronizar fabricação, controle tecnológico e critérios de	Recomenda dosagem, mistura, cura e inspeção de peças; essencial para pré-moldados de mobiliário urbano com qualidade.	Controle adequado reduzindo desperdício, fissuras e quebras; permite rastreabilidade ao incorporar escória de aciaria como adição/substituição parcial do cimento de forma segura.

controle e recebimento)		aceitação do concreto.		
ABNT NBR 7211 (Agregados para concreto)	ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas	Especificar requisitos de qualidade para agregados fundamentais para a qualidade do compósito (areia, brita).	Garante seleção de agregados apropriados (granulometria e pureza), afetando resistência, durabilidade e estética das peças de mobiliário.	Qualidade dos agregados diminui porosidade e absorção, aumentando durabilidade; incentiva uso responsável de agregados locais/reciclados, reduzindo pegada de transporte.
Guias técnicos da ABCP (Boas práticas com cimento)	ABCP - Associação Brasileira de Concursos Públicos	Oferecer recomendações práticas para artefatos feitos em cimento e pré-moldados.	Orientações de traço, compactação, cura, formas e acabamento para peças de uso urbano; inclui notas sobre adições minerais e materiais alternativos.	Incentiva substituição parcial do cimento por materiais como escória, otimização de traços e cura eficiente, reduzindo emissões e ampliando durabilidade (melhor desempenho ambiental).
Manuais do Ministério do Desenvolvimento Regional (diretrizes urbanas)	Governo Federal	Diretrizes para qualificação de espaços urbanos, compras públicas e infraestrutura.	Apoiam especificação técnica, critérios de qualidade e manutenção para mobiliário urbano em projetos públicos, integrando requisitos de desempenho e gestão.	Estimulam economia circular, uso de materiais reciclados e critérios de ciclo de vida em compras públicas, conectando sustentabilidade à prática e escalabilidade institucional.

Fonte: Os autores (2026).

A partir desses dados, considera-se que a adição da escória de aciaria ao cimento representa um exemplo potencial do que é conhecido como Simbiose Industrial, transformando um resíduo siderúrgico de baixo valor comercial em um elemento útil para a construção civil e, neste artigo, para a produção de mobiliário urbano.

4.3. Simbiose Industrial

A simbiose industrial é um dos principais pilares da economia circular, promovendo a integração entre diferentes setores produtivos através do reaproveitamento de resíduos e subprodutos (Chertow, 2000). Essa relação, exemplificada no artigo, entre indústria do aço e o setor da construção, reduz o impacto associado ao descarte da escória e contribui para a diminuição da emissão de carbono do cimento, gerando, assim, benefícios econômicos e sociais, possibilitando soluções urbanas acessíveis e sustentáveis.

A integração entre esses dois setores, abre espaço para alguns cenários práticos de aplicação em cidades que estão em busca de soluções sustentáveis. Essa transformação da escória de aciaria em material para a produção de mobiliário urbano cria um ciclo, onde, o resíduo deixa de ser passivo ambientalmente e passa a ser um elemento de uso coletivo. Essa prática reduz custos de produção e descarte, fortalece políticas públicas relacionadas a economia circular e a gestão eficiente de resíduos. A simbiose industrial se consolida como

estratégia de desenvolvimento sustentável, alinhando interesses econômicos, ambientais e sociais, beneficiando o coletivo.

Embora essa simbiose entre siderúrgica e a construção civil tenha muitas vantagens, ela também enfrenta alguns desafios. As propriedades da escória de aciaria tem variabilidade considerável, resultante de diferentes processos produtivos. Então, é necessário a padronização e muitos ensaios laboratoriais para garantir um desempenho consistente quando for utilizada em conjunto com o cimento. Aliás, a ausência de normas específicas para a produção do mobiliário urbano dificulta a regulamentação e aceitação dessa prática, gerando barreiras institucionais e de mercado. Outra dificuldade importante é a conscientização e engajamento dos agentes públicos e da população, para que seja reconhecido o valor da reutilização de resíduos industriais. A implementação bem-sucedida dessa simbiose depende de investimento em pesquisa, políticas de incentivo e reconhecimento, garantindo que os benefícios sejam concretizados em larga escala. Assim, a simbiose industrial deixa de ser apenas uma alternativa tecnológica e se transforma em um caminho estratégico para alinhar desenvolvimento econômico e responsabilidade socioambiental.

5. Análise de Viabilidade

A utilização da escória de aciaria nos estudos analisados apresenta resultados satisfatórios, evidenciando, sobretudo, o aumento da resistência à compressão, a possibilidade de controle da expansibilidade do material e a redução da absorção de água (Alves et al., 2010; Geyer, 2001; Dias et al. 2020; Benitez et al. 2022), quando comparados aos concretos convencionais sem a adição de escória de aciaria. Ademais, o estudo que se dedicou à fabricação de blocos de concreto com a incorporação da escória de aciaria BSSF demonstrou que os elementos produzidos atendem aos requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 6136, no que se refere à resistência à compressão, à análise dimensional e à absorção de água líquida (Dias et al., 2020).

Conforme demonstrado no tópico 4.1, diversos estudos investigaram a utilização da escória de aciaria como agregado, evidenciando um aumento significativo das resistências à compressão e à tração dos concretos produzidos. Embora esses materiais tenham apresentado índices de vazios e absorção de água variáveis, tais características não comprometeram o desempenho mecânico nem a durabilidade dos concretos quando comparados aos convencionais, configurando-se, assim, como uma vantagem para os setores envolvidos.

Por sua vez, a produção de mobiliário urbano se enquadra na norma ABNT NBR 9062, que estabelece os requisitos aplicáveis ao projeto e à execução de estruturas pré-moldadas de concreto. A referida norma exige o controle da resistência do concreto nas etapas de desforma e manuseio, estabelecendo valores mínimos de 15 MPa para elementos de concreto armado e de 21 MPa para elementos de concreto protendido (ABNT NBR 9062). Nesse contexto, Alves et al. (2010) observaram resistência à compressão de 27 MPa aos três dias de idade, evidenciando o elevado desempenho mecânico do material nas idades iniciais.

Assim, as tecnologias atualmente desenvolvidas no âmbito da utilização da escória BSSF indicam um potencial competitivo promissor, proporcionando melhores condições para o tratamento e a estabilização desse material. Contudo, a escória de aciaria ainda se caracteriza como um material de elevada variabilidade em função de sua origem e do processo de geração (Moura, 2000) o que dificulta, sob diferentes aspectos, a consolidação e a ampliação dessa solução em escala industrial.

A incorporação dessas soluções no âmbito do design implica também a materialização de conceitos de projeto ecológico, como os preconizados pela abordagem *cradle to cradle*, especialmente no que se refere ao retorno de resíduos descartados ao processo produtivo. Tal perspectiva busca a imitação de processos metabólicos naturais, promovendo a reintegração de resíduos às cadeias produtivas e industriais, de forma a reduzir impactos ambientais e favorecer ciclos produtivos mais sustentáveis.

6. Conclusão.

Diante da responsabilidade do designer durante a escolha dos materiais em um projeto, seja de produto ou de sistema, entende-se que a seleção deve considerar o ciclo de vida do material, com ênfase nas etapas de pré-produção e descarte. Nesse contexto, a incorporação da escória de aciaria nesse segmento representa a possibilidade de retirar dos pátios de estocagem quantidades significativas desse resíduo, apresentando-o como uma alternativa alinhada aos conceitos de economia circular, simbiose industrial e sustentabilidade no âmbito do projeto, com potenciais benefícios ambientais e funcionais decorrentes de sua aplicação.

Por fim, destaca-se que são necessários estudos multidisciplinares posteriores para a confirmação da viabilidade do uso da escória de aciaria na produção de elementos de concreto, especialmente no contexto do mobiliário urbano. Visto que, a viabilidade desta aplicação não pode ser determinada de forma conclusiva apenas a partir do presente estudo, sendo indispensável a realização de pesquisas adicionais que contemplem um conjunto mais amplo de normas da ABNT. Bem como, a análise de como tais normativas são efetivamente aplicadas e dos impactos reais que a incorporação da escória de aciaria, em âmbito industrial, poderia acarretar para o ambiente urbano e o meio ambiente no contexto da indústria brasileira.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ALVES, Viviane de Jesus Gomes et al. **Estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de escória de aciaria na fabricação de elementos construtivos visando a inclusão social**. In: 54º IFHP World Congress, Porto Alegre, 2010.

BENITTEZ, Leandro Henrique. **Utilização de escória de aciaria na fabricação de blocos de concreto**. 2020. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

CARTAXO, Fábio de Moraes et al. **Propriedades mecânicas de concretos sustentáveis com incorporação de escória de aciaria BSSF em substituição aos agregados naturais**. Revista Principia, v. 60, n. 4, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6647>. Acesso em: 30 mar. 2026.

CHERTOW, Marian R. INDUSTRIAL SYMBIOSIS: Literature and Taxonomy. **Annual Reviews of Environment and Resources**. v. 25, p. 313-337, nov. 2000.

DIAS, Alisson Rodrigues de Oliveira et al. Efeitos da substituição do cimento Portland por escória de aciaria BSSF nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, 2020.

GEYER, Rejane Maria Tubino. Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto. 2001. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MACHADO, Alexandre Teixeira. **Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria**. 2000. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em:

<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-20022025-113729/>. Acesso em: 31 mar. 2026.

MOURA, Washington Almeida. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

POLESE, Marina de Oliveira et al. Caracterização Microestrutural da Escória de Aciaria. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 444-454, 2006.

ROHDE, Luciana; NÚÑEZ, Washington Peres; CERATTI, Jorge Augusto Pereira. **Escória de aciaria elétrica: uma alternativa aos materiais granulares tradicionais.** *Transportes*, 2003. Disponível em: <https://transportes.anpet.org.br/anpet/article/view/115/99>. Acesso em: 30 de mar. 2026.

SOUZA, Ticiane Vieira de Paula. **Caracterização de escória de conversor a oxigênio obtida no processo BSSF antes e após tratamento hidrometalúrgico.** 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.