

ANÁLISE DE APLICAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF STEEL WORK IN THE PRODUCTION OF CONCRETE BLOCKS FOR PAVING

Loriellem Vieira da Silva Tosta¹

Clarisse Pereira Pacheco²

RESUMO: As questões ambientais têm estado cada vez mais em pauta na atualidade, a necessidade de minimizar impactos ambientais gerados pelos processos produtivos é imprescindível. É notório que muitos processos geram co-produtos capazes de serem reutilizados em novos processos, o que pode vir a contribuir com uma economia circular mais eficiente. Este é o caso da escória de aciaria BFG, originária do processo de produção do aço, esta possui grande potencial para utilização em pavimentação. Sendo assim propõe-se neste artigo a utilização da escória de aciaria em substituição parcial a areia, na produção de concreto para bloco de pavimentação, sendo que para tal análise foram realizadas pesquisas bibliográficas e ensaios de granulometria, densidade e absorção dos agregados (areia, brita e escória) e compressão e absorção do concreto em laboratório, considerando as proporções de 0, 50 e 75%, para o traço 1:0,83:1,35:0,36 (cimento: areia: brita: relação água/cimento). A partir da análise dos ensaios notou-se que a utilização do resíduo é viável considerando a resistência a compressão obtida, sendo que até com a maior dosagem (75% de escória) o concreto obteve resistência ≥ 35 Mpa, valor mínimo segundo a norma ABNT NBR 9781:2013, porém no critério absorção conforme a dosagem de escória aumentou houve mais absorção de água, não atendendo a norma ($\leq 7\%$). Contudo, evidenciou-se que a escória de aciaria BFG, não prejudicou a trabalhabilidade do concreto, obteve resistência satisfatória e possui grande potencial de aproveitamento, porém estudos futuros serão necessários a fim de minimizar o índice de absorção do concreto.

Palavras-Chave: co-produto; eficiente; resistência.

ABSTRACT: *Environmental issues have been increasingly prominent in contemporary discussions, and the need to minimize environmental impacts generated by production processes is essential. It is evident that many processes produce by-products capable of being reused in new processes, which can contribute to a more efficient circular economy. This is the case with Basic Oxygen Furnace (BFG) slag, originating from the steel production process, which has great potential for use in pavement. Therefore, this article proposes the use of BFG slag as a partial replacement for sand in the production of concrete for pavement blocks. To analyze this, bibliographic research and tests on the particle size distribution, density, and absorption of aggregates (sand, gravel, and slag) were conducted. Laboratory tests on compression and absorption of concrete*

¹ Centro Universitário Salesiano – UniSales (Loriellem.tosta@souunisales.com.br)

² Centro Universitário Salesiano – UniSales (cpacheco@salesiano.br)

were also performed, considering proportions of 0, 50, and 75% for the mix ratio 1:0.83:1.35:0.36 (cement: sand: gravel: water/cement ratio).

From the analysis of the tests, it was noted that the use of the residue is feasible considering the compression strength obtained. Even with the highest dosage (75% slag), the concrete achieved a strength of ≥ 35 MPa, which is the minimum value according to the ABNT NBR 9781:2013 standard. However, concerning absorption criteria, as the slag dosage increased, there was more water absorption, not meeting the standard ($\leq 7\%$). Nevertheless, it was evident that BOF slag did not adversely affect the workability of the concrete, achieved satisfactory strength, and has great potential for utilization. However, further studies will be necessary to minimize the concrete absorption rate.

Keywords: *Byproduct; Efficient; Resistance.*

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente discussão sobre os impactos ambientais gerados pelos processos produtivos em geral, o descarte apropriado de resíduos tem sido um desafio para as indústrias, com isso a reutilização desses resíduos tem se tornado uma alternativa viável, como é o caso de diversas indústrias do ramo de siderurgia, já que os processos de fabricação do aço em sua maioria geram subprodutos.

Sabe-se que o Brasil é um grande produtor de aço e conseqüentemente gera uma grande quantidade de resíduos derivados do processo de produção, um deles é o resíduo de aciaria (escória).

A produção média de escória LD (LinzDonawitz), é de cerca de 120 a 140 kg de escória por tonelada de aço (Benquerer, 2000; Geyer, 2001), podendo chegar até 200 kg/t de aço produzido (Das et al., 2007). Com isso a escória de aciaria LD (LinzDonawitz), passou a ser comercializada, por possuir um grande potencial de aplicação, principalmente para pavimentação asfáltica, porém esta mesma forma de pavimentação é fonte de diversos impactos ambientais.

Segundo Almeida (2005) o asfalto gera o aumento do estoque de calor e o aumento da possibilidade de enchentes devido a impermeabilização do solo, gerando assim a possível formação de um microclima no local. Considerando então as informações ditas anteriormente, este artigo tem por objetivo geral comprovar a viabilidade técnica da aplicação da escória de aciaria já tratada ao concreto destinado a fabricação de blocos de concreto para pavimentação.

E por objetivos específicos têm-se de analisar as propriedades do resíduo de aciaria e definir a porcentagem a ser adicionada; definir o traço para o concreto e realizar ensaios em laboratório de caracterização dos materiais agregados (granulometria, massa específica e unitária), absorção de água e resistência à compressão do concreto, comparando os resultados com a Norma da ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para Pavimentação.

Tem-se então como problema desta pesquisa a comprovação da viabilidade técnica da adição do resíduo ao concreto, para fins de produção de bloco para pavimentação, tendo assim como hipótese que é uma aplicação viável e sustentável para o resíduo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo tem por objetivo apresentar o referencial teórico da pesquisa onde fundamenta-se o estudo com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos já publicados. De forma a evidenciar no campo do conhecimento na definição do conceito, dimensões e elementos, bem como a aplicação de modelos ou tipologias relacionados a aplicação de resíduos em concreto.

2.1 ESCÓRIA DE ACIARIA

Segundo o Instituto Aço Brasil (2022), a produção de aço no Brasil no ano de 2022 foi de aproximadamente 34,6 milhões de toneladas, sendo que o Brasil ocupa o 9º lugar na produção mundial do aço. Considerando estes dados, estima-se que para cada tonelada de aço líquido processado são gerados de 100 kg a 150 kg de escória de aciaria, de acordo com a Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP, 2021).

A escória de aciaria é um subproduto resultante do processo de refino do ferro-gusa, que é transportado à Aciaria LD ainda em estado líquido. O processo LD consiste num processo de produção de aço através da afinação de gusa líquida por um jato de oxigênio puro. Este processo foi industrializado, em 1952-1953, nas aciarias austríacas de Linz e Donawitz, o que explica o nome pelo qual é conhecido.

De acordo com a classificação da NBR 10004 (ABNT, 2004), a escória de aciaria BFG é categorizada como um resíduo sólido não inerte, pertencente à classe IIA. Isso implica que essa escória não é considerada perigosa para fins de uso, podendo inclusive apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Para que a escória possa ser utilizada na pavimentação por exemplo, deve passar por uma estabilização de, no mínimo, seis meses para se tornar menos reativo quimicamente (Silva, 2011). As escórias de aciaria, após serem estabilizadas, são reaproveitadas em obra de infraestrutura rodoviária, estabilização de bases e sub-bases, lastro de ferrovias e outros (Pacheco, 2006).

A maneira mais comum de beneficiamento da escória, embora menos eficiente, é realizada da seguinte forma: a escória é transportada ainda em estado líquido, com temperatura de 1.400 °C a 1.700 °C, para o pátio de escória, onde é basculada em baias para seu processamento e beneficiamento. Para ser beneficiada, a escória precisa ser resfriada. O método utilizado no resfriamento influencia diretamente nas características físicas distintas que o material apresentará. O resfriamento pode ser ao ar, por pelletização ou brusco com água. Após resfriada, a escória passa por processos de britagem, classificação e recuperação magnética. O ferro recuperado é reutilizado na aciaria na produção de aço, sendo novamente classificado como sucata (Geyer, 2001). O restante da escória, com menor propriedade metálica, é separado, classificado e armazenado em pátios a céu aberto para ser curado pelo tempo mínimo de seis meses e, então, comercializado (Faria, 2007).

Como dito anteriormente a escória de aciaria é armazenada em pátios e com isso gera aproximadamente um custo de US\$20 a US\$30 por tonelada de resíduo armazenado (Silva, 2013). Além do problema econômico estas pilhas de escória armazenada em pátios abertos colabora também com a dispersão de partículas, gerando poluição do ar, ocasionando um em um problema ambiental, tanto que em 2019 foi assinado o

Termo de Compromisso Ambiental (TCA) por siderúrgicas do estado do Espírito Santo e o governo estadual, visando minimizar a dispersão das partículas no ar através de diversas medidas como a instalação de barreiras de vento, que são grandes estruturas com telas, com objetivo de minimizarem a dispersão de partículas pelo ar (IEMA,2018). Nota-se então que a destinação apropriada para a escória de aciaria é de benefício econômico e socioambiental, considerando ainda que uma grande vantagem da utilização de agregado reciclado, além do ganho ambiental, é a economia gerada no canteiro de obra, visto que normalmente os agregados reciclados possuem preços muito inferiores aos dos agregados naturais (Santos, 2007).

2.1.1 Aplicação de escória de aciaria

A finitude da vida útil de qualquer produto é uma realidade inescapável, já que todos os produtos, eventualmente, se tornarão resíduos. Diante desse fato, a minimização da geração de resíduos e a prática da reutilização de materiais, seja através da sua aplicação em diferentes contextos, da reciclagem ou da transformação em subprodutos, emergem como alternativas essenciais para promover e consolidar o desenvolvimento sustentável (Jhon, 2000).

Conforme destacado por Hendriks et al. (2000), a incorporação de resíduos na indústria da construção é uma prática reconhecida, alinhada com as tendências globais de sustentabilidade. Nesse contexto, a reutilização de resíduos provenientes da indústria siderúrgica na construção civil se configura como uma abordagem vantajosa em termos de sustentabilidade. Essa prática emerge como uma alternativa eficaz para mitigar a degradação ambiental, o que está alinhado com as metas de sustentabilidade estabelecidas em nível mundial (Hendriks et al., 2000).

A utilização de escória de aciaria LD como adição em blocos de concreto para pavimentação tem se mostrado uma alternativa promissora. Neste capítulo, evidenciam-se as vantagens dessa aplicação, destacando a influência da escória nas propriedades mecânicas e durabilidade dos blocos. Além disso, conspirar-se-á à sustentabilidade e impacto ambiental dessa prática, embasados em estudos científicos (Benititez,2020).

Primeiramente, é importante ressaltar que a adição de escória de aciaria LD nos blocos de concreto para pavimentação pode melhorar significativamente suas propriedades mecânicas. Conforme destacado por Masuero (2001), a incorporação adequada desse resíduo pode aumentar a resistência à compressão e à flexão dos blocos, tornando-os mais adequados para suportar as cargas do tráfego e prolongando sua vida útil.

Além dos benefícios mecânicos, a utilização da escória de aciaria LD em blocos de concreto para pavimentação também contribui para a melhoria da durabilidade desses elementos. Estudos realizados por Gonçalves (2000) evidenciam que a adição de escória reduz a permeabilidade do concreto, diminuindo a intrusão de água e substâncias agressivas, como cloretos, que podem causar a deterioração dos blocos e reduzir sua vida útil.

A aplicação de escória de aciaria LD em blocos de concreto para pavimentação também apresenta benefícios sustentáveis. Segundo pesquisa de Hoppe Filho (2002), a utilização desse resíduo como substituto parcial de cimento reduz a quantidade de clínquer necessário, principal componente associado à emissão de gases de efeito

estufa na produção do material. Assim, essa prática contribui para a redução de carbono na indústria da construção.

Além dos aspectos relacionados à sustentabilidade, a utilização da escória de aciaria LD em blocos de concreto para pavimentação também proporciona uma alternativa de gestão de resíduos. Estudos de Hoppe Filho (2002) ressaltam ainda que a incorporação desse subproduto na produção de blocos de concreto permite a redução do volume de escória descartada em aterros, promovendo a economia de espaço e minimizando potenciais impactos ambientais associados ao seu descarte inadequado.

Além disso, Sezer & Gulderen (2015) estudaram o uso da escória de aciaria como agregado no concreto. Como resultado do estudo verificaram que as misturas contendo escória de aciaria como agregado fino e grosso simultaneamente segregaram. Já as misturas, com 7 dias de cura, contendo apenas a substituição como agregado fino, tiveram resistência à flexão variando de 4,19 a 2,84 MPa.

Da Silva et al., (2016) utilizando escórias de aciaria como agregado em pavers (bloco de pavimentação) de concreto para pavimentação encontraram valores de resistência à flexão superiores a 10 MPa, para todas as idades de cura testadas.

Em resumo, a aplicação da escória de aciaria LD em blocos de concreto para pavimentação pode oferecer vantagens significativas em termos de propriedades mecânicas, durabilidade, sustentabilidade e gestão de resíduos. Essa prática é respaldada por estudos científicos que comprovam seus benefícios e contribuições para a indústria da construção civil, como o estudo realizado por Ceccatto (2003).

2.2 BLOCO DE PAVIMENTAÇÃO

Bloco de concreto de pavimentação é um material amplamente utilizado na construção civil devido à sua durabilidade e versatilidade. Essa solução tem sido objeto de diversos estudos e pesquisas, que evidenciam seus benefícios em termos de desempenho e sustentabilidade. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (1999), os blocos de concreto possuem alta resistência à compressão, o que os torna ideais para suportar cargas elevadas em pavimentos. Além disso, esses materiais são capazes de resistir a intempéries, variações de temperatura e ações mecânicas (Carvalho, 1998).

Adicionalmente, os blocos de concreto de pavimentação oferecem vantagens em termos de manutenção e facilidade de instalação. Segundo os estudos Fioritti (2007), esses blocos possuem uma superfície regular e encaixes precisos, o que facilita sua montagem e garante uma pavimentação uniforme. Além disso, eles permitem a realização de intervenções localizadas, caso seja necessário reparar ou substituir algum bloco danificado (Carvalho, 1998).

Outro aspecto relevante a ser considerado é a sustentabilidade proporcionada pelos blocos de concreto de pavimentação. Conforme apontado por Pimentel (2018), esses materiais podem ser produzidos com agregados reciclados, diminuindo a demanda por recursos naturais e contribuindo para a redução de resíduos. Além disso, eles podem ser facilmente reaproveitados ou reciclados no final de sua vida útil.

Em termos estéticos, os blocos de concreto de pavimentação também oferecem uma ampla variedade de opções de design. Diversos estudos, como o de Fernandes

(2013), enfatizam que esses blocos podem ser produzidos em diferentes formas, cores e texturas, permitindo a criação de espaços urbanos personalizados e esteticamente agradáveis.

Quanto aos requisitos técnicos de resistência a compressão de acordo com a NBR 9781:2013 os valores mínimos exigidos para tráfego leve de veículos é de 35 MPa, já para veículos pesados e especiais é de no mínimo 50 MPa (ABNT, 2013).

No que tange às vantagens, Bittencourt (2012) ressalta que a utilização de pavimentos intertravados apresenta ganhos em comparação com outras técnicas de pavimentação. Estas vantagens incluem um menor consumo de energia, maior uniformidade dimensional, facilidade de estocagem das peças, a ausência de derivados de petróleo em sua composição, a capacidade de permitir o tráfego imediatamente após a instalação, sua adaptação a diversos tipos de locais, uma notável capacidade estrutural, uma aparência estética de excelência, alta resistência e uma série de outros benefícios (Bittencourt, 2012).

2.2.1 Norma ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para Pavimentação

A Norma ABNT NBR 9781:2013 - Peças de concreto para Pavimentação é um documento essencial para orientar a produção e utilização de peças de concreto no contexto da pavimentação. Esta norma estabelece os requisitos técnicos mínimos que garantem a qualidade e segurança das peças utilizadas nesse tipo de aplicação. Segundo Silva (2018), a norma possui diretrizes claras para o projeto, produção, inspeção e controle de qualidade das peças de concreto utilizadas na pavimentação.

No que diz respeito ao projeto das peças, a Norma ABNT NBR 9781:2013 é abrangente e detalhada. Conforme destacado por Marques et al. (2019), a norma fornece critérios para o dimensionamento das peças, levando em consideração aspectos como resistência à compressão, geometria, espaçamento entre as peças e resistência ao desgaste. Esses critérios são fundamentais para garantir a funcionalidade e durabilidade do pavimento.

Além do projeto, a norma também aborda os requisitos para a produção das peças de concreto. Conforme mencionado por Castro et al. (2020), a norma estabelece diretrizes para a seleção dos materiais, processo de mistura, adição de aditivos, moldagem, cura e acabamento das peças. Essas orientações visam assegurar a qualidade e uniformidade das peças fabricadas.

A inspeção e o controle de qualidade são aspectos cruciais da Norma ABNT NBR 9781:2013. Segundo Araújo et al. (2021), a norma estabelece os procedimentos para a inspeção visual das peças, verificando aspectos como dimensões, acabamento superficial, presença de fissuras e outros defeitos. Além disso, a norma também define critérios para a realização de ensaios de resistência e durabilidade das peças.

A Norma é de extrema importância para garantir a qualidade e a segurança das peças de concreto utilizadas na pavimentação. Conforme enfatizado por Santos (2017), o cumprimento desta norma contribui para a redução de anomalias e falhas no pavimento, além de proporcionar maior vida útil e desempenho adequado.

2.3 APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE ACIARIA EM BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO

A aplicação de resíduos de aciaria em blocos de concreto para pavimentação tem se mostrado uma alternativa promissora para a redução de impactos ambientais e o aproveitamento de subprodutos da indústria siderúrgica. Diversos estudos têm investigado os efeitos desses resíduos na produção de blocos de concreto, demonstrando benefícios tanto em termos de desempenho técnico quanto ambiental (Benítez, 2020).

De acordo com Hoppe Filho (2002), a adição de resíduos de aciaria nos blocos de concreto pode melhorar suas propriedades mecânicas, como resistência à compressão e absorção de água. Esses resíduos, geralmente na forma de escória de alto-forno, possuem características que contribuem para o aumento da resistência e durabilidade das peças de pavimentação.

Além dos aspectos técnicos, a utilização de resíduos de aciaria em blocos de concreto para pavimentação apresenta benefícios ambientais significativos. Segundo Gonçalves (2005), essa prática contribui para a redução do consumo de matéria-prima natural, diminuição da quantidade de resíduos destinados a aterros e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Esses aspectos estão alinhados com princípios de sustentabilidade e economia circular.

É importante ressaltar que a utilização de resíduos de aciaria em blocos de concreto requer cuidados quanto à seleção adequada dos materiais e dosagens. Conforme destacado por Oliveira (2019), é fundamental garantir a compatibilidade entre os resíduos e o cimento utilizado, bem como estabelecer proporções adequadas para evitar impactos negativos nas propriedades dos blocos.

Pesquisas têm sido realizadas para aprimorar as técnicas de incorporação dos resíduos de aciaria nos blocos de concreto, visando maximizar seus benefícios. Estudos, como o de Souza (2021), têm investigado a influência de diferentes proporções de resíduos na produção de blocos, avaliando parâmetros como resistência mecânica, absorção de água e durabilidade.

A aplicação de resíduos de aciaria em blocos de concreto para pavimentação representa uma estratégia sustentável e economicamente viável. A pesquisa contínua e a adoção de normas técnicas, como a ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para Pavimentação, contribuem para o desenvolvimento e a padronização dessa prática, garantindo a qualidade e segurança dos blocos produzidos.

3. METODOLOGIA

Para comprovação da viabilidade técnica de aplicação do resíduo de aciaria BFG ao concreto realizou-se a caracterização dos materiais e ensaios em laboratório. As amostras utilizadas foram fornecidas por uma indústria siderúrgica localizada na região do município da Serra – ES.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

O primeiro passo para caracterização foi a coleta do resíduo de aciaria BFG, em uma siderúrgica localizada na cidade Serra – ES, e a compra dos demais materiais (areia, brita e cimento CP – V).

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova foram o resíduo de aciaria BFG, cimento Portland CP V-ARI, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água.

3.1.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo que foi utilizado para a produção dos corpos de prova foi areia proveniente de rio lavada, comercializada na região da Grande Vitória/ES. Para definição da granulometria, massa unitária e massa específica, foram utilizadas as normas da ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação, ABNT NBR NM 26 –Agregados – Amostragem, ABNT NBR NM 27 Agregados- Redução Amostra, ABNT NBR NM 248 - Agregados: Determinação da composição granulométrica; NBR 16972- Agregados: Determinação da massa unitária e do índice de vazios e NBR 16916 - Agregado miúdo: Determinação da densidade e da absorção de água.

3.1.1.1 Determinação da composição granulométrica

A determinação da composição granulométrica se deu a partir da utilização de uma amostra de 300 g de areia fina, conforme imagem 1, considerando a NBR NM 26 de coleta correta do Agregado, e em seguida, essa amostra foi ser seca em estufa, segundo a NBR NM 27, só então a amostra foi colocada na primeira peneira da série e agitada manualmente até passar todo o material pela malha metálica, conforme imagem 2.

Repetiu-se o processo com cada uma das demais peneiras da série em ordem crescente até chegar à última. Ao final do ensaio, realizou-se a pesagem individual do material, em cada peneira e foram registrados os valores obtidos.

O valor de amostra retida é foi transformado em percentual, para que fosse encontrado o módulo de finura, a partir da soma das porcentagens retidas acumuladas das peneiras da série normal divididas por 100, conforme a tabela 3.

Os materiais utilizados para desenvolver o ensaio foram: balança analítica de precisão, jogo de peneiras granulométricas (4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15 (mm) e fundo) e recipientes cilíndrico metálico; Pá ou concha; Estufa.

Imagem 1 – Pesagem inicial do agregado



Fonte: Autor,2023.

Imagem 2 – Agregado passado nas peneiras



Fonte: Autor,2023.

3.1.1.2 Determinação da massa unitária

Para determinação da massa unitária, conforme a NBR NM 248, foi necessário a princípio considerar a massa solta onde lançou-se a amostra, através de concha ou pá, a uma altura de 10 a 12cm do topo do recipiente até preenchê-lo completamente conforme a imagem 3, e alisou-se a sua superfície com régua, pesando em seguida e registrando o valor, nesta etapa utilizou-se três amostras. Após isto, repetiu-se o procedimento, porém dessa vez o material foi compactado através de golpes de haste nas camadas, pesando a cada amostra e registrando cada valor obtido, a fim de se obter a massa unitária do material compactado, nesta etapa também foram utilizadas três amostras.

Ao final do ensaio com os valores registrados, calculou-se a massa unitária, o valor da massa do agregado é a diferença entre a massa total (agregado + recipiente (pesado conforme a imagem 4)) e a tara do recipiente, previamente determinado pelo laboratorista.

Os resultados individuais de cada ensaio não apresentaram desvios maiores que 1% em relação à média e a massa unitária é dada em kg/dm^3 , com aproximação de 0,01 Kg/dm^3 .

Imagem 3 – Agregado despejado no recipiente



Fonte: Autor,2023.

Imagem 4 – Pesagem do agregado miúdo



Fonte: Autor,2023.

3.1.1.4 Determinação da densidade

Para a realização do ensaio de densidade utilizou-se como base a ABNT NBR 16916. Neste ensaio foi necessário 500g da amostra de agregado, que foi colocado no frasco Chapman com adição de água até a marca de 200ml, conforme as imagens 5. Moveu-se então o frasco de forma a eliminar as bolhas de ar.

Para o cálculo da densidade utilizou-se a Equação 1:

$$\rho_s = \frac{mA}{V - V_a} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

ρ_s – É a densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

mA – É a massa da amostra seca em estufa a 105°C , expressa em gramas (g);

V – É o volume do frasco calibrado, em centímetros cúbicos (cm^3);

V_a – É o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com seguinte equação 2, expresso em centímetros cúbicos (cm^3);

Imagem 5 – Recipiente com agregado miúdo e água



Fonte: Autor, 2023.

3.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na produção do concreto, foi a Brita 0 (malha de 12 mm), que é de origem de rochas de granito e sua comercialização é feita na região da Grande Vitória/ES.

Realizou-se os ensaios de granulometria, massa unitária e massa específica de acordo com as normas da ABNT NBR NM 248 - Agregados: Determinação da composição granulométrica; NBR 16972- Agregados: Determinação da massa unitária e do índice de vazios e NBR 16917 - Agregado graúdo: Determinação da densidade e da absorção de água.

3.1.1.1 Determinação da composição granulométrica

O ensaio para definição da composição do agregado graúdo segue o mesmo processo realizado na determinação do agregado miúdo, conforme as imagens das pesagens (imagem 7 e 8), porém usou-se 1 kg de agregado e jogo de peneiras diferenciadas, sendo elas: 25; 19; 12,5; 9,5; 6,3; 4,75 (mm) e fundo, tendo resultados detalhados na Tabela 3.

Os materiais que foram utilizados para desenvolver o ensaio foram: balança analítica de precisão, jogo de peneiras granulométricas e recipientes.

Imagem 7 – Pesagem



Fonte: Autor, 2023.

Imagem 8 – Agregado nas peneiras



Fonte: Autor, 2023.

3.1.2 Determinação da massa unitária

O ensaio para definição da massa unitária do agregado graúdo segue o mesmo processo realizado na determinação do agregado miúdo, conforme Imagens 9 e 10, sem a necessidade de alisar sua superfície com régua.

Pesou-se então todo o material. O valor da massa do agregado é a diferença entre a massa total (agregado + recipiente) e a tara do recipiente, previamente determinado pelo laboratorista.

Os resultados individuais de cada ensaio não apresentaram desvios maiores que 1% em relação à média e a massa unitária é dada em kg/dm^3 , com aproximação de 0,01 Kg/dm^3 . Os materiais que foram utilizados para desenvolver o ensaio foram: Balança; recipiente cilíndrico metálico; Pá ou concha; Estufa.

Imagem 9 – Processo de despejo do agregado



Fonte: Autor,2023.

Imagem 10 – Pesagem do agregado graúdo



Fonte: Autor,2023.

3.1.1.4 Determinação da densidade e absorção de água

Para realização do ensaio foram utilizados 2 kg de agregado graúdo seco, a amostra foi lavada sobre a peneira 4,75 mm, após este procedimento imergiu-se o agregado em água, à temperatura ambiente, por um período de 48 h.

A amostra então foi espalhada sobre a bancada e seca superficialmente, conforme imagem 11, sendo que após esse processo determinou-se a massa da amostra na condição saturada superfície seca e registrou-se o valor obtido, com aproximação de 1 g.

O material foi então colocado no recipiente e imerso completamente em água potável, conforme imagem 12.

Após secar a amostra até constância de massa, tornou-se possível determinar, em sequência, a massa do agregado seco.

Para o cálculo da massa específica aplicou-se as fórmulas adotadas no agregado miúdo.

Os materiais que foram utilizados para desenvolver o ensaio foram: Balança; Frasco com tampa; Molde tronco - cônico; haste de compactação; Estufa; Bandejas metálicas; Peneiras; Espátula de aço.

Imagem 11 – Secagem superficial do agregado



Fonte: Autor,2023.

Imagem 12 – Processo de pesagem do agregado



Fonte: Autor,2023.

3.1.3 Resíduo de aciaria BFG

Para o resíduo realizou-se os ensaios de determinação da composição granulométrica, determinação da massa unitária e determinação da densidade e absorção de água, considerando que o resíduo será aplicado em substituição parcial ao agregado miúdo. Aplicou-se as normas da ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação, ABNT NBR NM 26 –Agregados – Amostragem, ABNT NBR NM 27 Agregados- Redução Amostra, ABNT NBR NM 248 - Agregados: Determinação da composição granulométrica (conforme imagem 15); NBR 16972- Agregados: Determinação da massa unitária e do índice de vazios e NBR 16916 - Agregado miúdo: Determinação da densidade e da absorção de água (imagens 13 e 14).

Imagem 13 – Utensílios para ensaio



Fonte: Autor,2023.

Imagem 14 – Ensaio de densidade



Fonte: Autor,2023.

Imagem 15 – Peneiramento do resíduo



Fonte: Autor,2023.

3.2 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS DO CONCRETO

O traço do concreto adotado foi determinado seguindo um estudo previamente realizado por Maltez (2017) que segue a seguinte proporção: 1:0,83:1,35:0,36 (cimento: areia: brita: relação água/cimento).

Para definição das diferentes proporções de escória (0%, 50% e 75%), optou-se por não realizar a substituição em 100% da areia pela escória, considerando que nos estudos de Maltez (2017) houve diminuição da resistência. Com isso, foram produzidas 3 amostras, para cada traço, conforme as imagens 16 e 17, seguindo a orientação da Norma ABNT NBR 9781:2013 (Peças de concreto para Pavimentação) para cada traço com dimensões de 20x10x 6 cm.

Definiu-se então o consumo esperado para composição dos traços, conforme a Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 – Consumo de materiais

Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Resíduo de Aciaria BFG		Brita (Kg)	água (ml)
			Kg	%		
1	2,76	2,28	0	0	3,72	960
2	2,76	1,14	1,14	50	3,72	960
3	2,76	0,57	1,71	75	3,72	960

Legenda:	
Traço 1	0% de escoria
Traço 2	50% de escoria
Traço 3	75% de escoria

Fonte: Autor (2023)

Imagem 16 – Blocos desmoldados



Fonte: Autor,2023.

Imagem 17 – Identificação dos traços



Fonte: Autor,2023.

3.3 ENSAIOS DO CONCRETO

3.3.1 Ensaio de resistência a compressão

A realização do ensaio se deu com a utilização de corpos de prova saturados em água a $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ (duas amostras para cada proporção de escoria), por no mínimo 24 h

antes do ensaio, o carregamento foi feito continuamente, com velocidade de 550 kPa/s, com variação de mais ou menos 200 kPa/s, conforme a imagem 18 e 19. O carregamento prosseguiu até a ruptura completa da peça (2 amostras para cada traço), conforme a imagens 20.

A resistência à compressão da peça, expressa em megapascals (MPa), foi obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados(mm²) multiplicando-se o resultado pelo fator p, função da altura da peça, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Fator multiplicativo p

Espessura nominal da peça (mm)	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: Norma NBR 9781

A determinação da resistência à compressão estimada se dá pela Equação 6:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (fp - fpi)^2}{n-1}} \text{ (Equação 6)}$$

Onde:

fp – É a resistência média das peças, expressa em megapascals (Mpa);

fpi – É a resistência individual das peças, expressa em megapascals (Mpa);

fpk, est – É a resistência características estimada à compressão, expressa em megapascals (Mpa);

n – É o número de peças da amostra;

s – É o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (Mpa);

Imagem 18 – Equipamento para o ensaio



Fonte: Autor,2023.

Imagem 19 – Carga sendo aplicada



Fonte: Autor,2023.

Imagem 20 – Blocos após rompimento



Fonte: Autor,2023.

3.3.2 Ensaio de absorção de água

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

Utilizando uma escova o pó do corpo de prova foi removido e após isto os corpos de prova foram imersos em água por 24 h.

Passadas as 24 h, foram pesados individualmente cada corpo de prova na condição saturada com superfície seca, que é obtida removendo a água superficial visível com um pano úmido.

Para a secagem levou-se os corpos de prova saturados à estufa, conforme a imagem 21, com temperatura a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, mantendo esta condição por 24 h. Foram então pesados individualmente cada corpo de prova na condição seco em estufa. Repetiu-se este procedimento a cada 2 h, até que em duas determinações sucessivas, obtivesse então a massa seca (m_1).

Para o cálculo de absorção de água **tem**-se a Equação 5:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \text{ (Equação 5)}$$

Onde:

A – É a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m_1 – É a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 – É a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

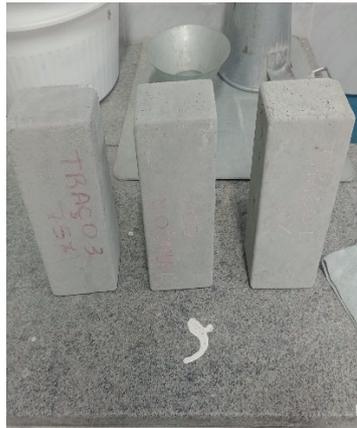
Após serem colocados para esfriar conforme a imagem 22, durante três horas, três blocos foram rompidos (uma de cada proporção de escória), que podem ser identificados na imagem 23.

Imagem 21 – Bloco na estufa



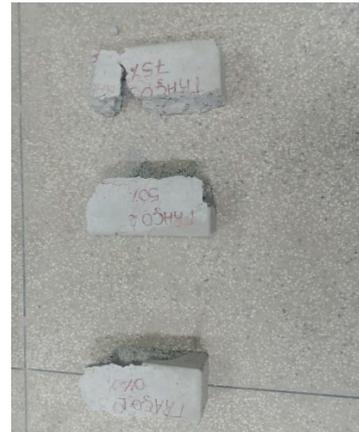
Fonte: Autor,2023.

Imagem 22 – Blocos esfriando para rompimento



Fonte: Autor,2023.

Imagem 23 – Blocos rompidos



Fonte: Autor,2023.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 GRANULOMETRIA

Para o ensaio de granulometria dos agregados miúdo, grão e escória de aciaria BFG, foram consideradas duas amostras para cada, de forma a obter a média retida por peneira e média acumulada. Com isso para o agregado miúdo obtiveram -se os resultados da tabela 3, abaixo:

Tabela 3 - Resultados do ensaio de granulometria - Agregado miúdo

PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA(g)		1ª AMOSTRA % RETIDA	2ª AMOSTRA % RETIDA	% MÉDIA RETIDA	% MÉDIA ACUMULADA
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2				
4,75	0	0	0	0	0	0
2,36	4,7	7,03	2	2	2	2
1,18	46,1	48,52	16	16	16	18
0,6	81,2	94,52	28	32	30	48
0,3	98,2	92,46	34	31	32	80
0,15	61,9	49,45	21	17	19	99
FUNDO	0,74	5,56	0	2	1	100
TOTAL	292,84	297,54	100	100		

Fonte: Autor (2023)

Já para o agregado Graúdo, obteve-se os resultados expressos na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de granulometria - Agregado graúdo

PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA(g)		1ª AMOSTRA % RETIDA	2ª AMOSTRA % RETIDA	% MÉDIA RETIDA	% MÉDIA ACUMULADA
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2				
25	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
12,5	17,94	4,2	2	0	1	1
9,5	12,31	13,16	12	13	13	14
6,3	58,75	61,05	59	61	60	74
4,75	15,73	15,30	16	15	16	89
2,36	0	0	0	0	0	89
1,18	0	0	0	0	0	89
0,6	0	0	0	0	0	89
0,3	0	0	0	0	0	89
0,15	0	0	0	0	0	89
FUNDO	11,41	10,07	11	10	11	100
TOTAL	999,94	1000	99,99	100		

Fonte: Autor (2023)

Considerando os mesmos métodos dos agregados anteriores, para a escória de aciaria BFG, obteve-se os resultados da tabela 5, abaixo:



Tabela 5 - Resultados do ensaio de granulometria – Resíduo de Aciaria BFG

PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA(g)		1ª AMOSTRA % RETIDA	2ª AMOSTRA % RETIDA	% MÉDIA RETIDA	% MÉDIA ACUMULADA
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2				
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0
2,36	8,1	8,3	3	3	3	3
1,18	48,4	47,7	16	16	16	19
0,6	82,3	81,3	27	27	27	46
0,3	98,7	96,9	33	32	33	79
0,15	62,1	64,7	21	22	21	100
FUNDO	0,3	0,5	0	0	0	100
TOTAL	299,9	299,4	100	100		

Fonte: Autor (2023)

Conforme módulo de finura obtido para os agregados e a dimensão máxima, citados na tabela 6 a seguir, é possível determinar que a areia atende a faixa do índice de finura referente a areia média que é de 2,20 a 2,90, na faixa da Zona ótima, já o agregado graúdo atende as especificações para graduação de brita 0, enquanto a escória de aciaria BFG, em critérios de caracterização física, é equivalente a areia fina de 1,55 a 2,20 Na faixa da Zona utilizável.

Tabela 6 – Comparação de resultados obtidos dos agregados

Variáveis dos agregados	Agregado		
	Areia	Escoria	Brita
Módulo de finura	2,43	2,07	6,04
Dimensão Máxima (mm)	2,36	2,36	12,5
Massa específica (g/cm ³)	2,67	2,56	2,61
Massa unitária (kg/dm ³)	1,59	–	1,39

Fonte: Autor (2023)

Com os demais resultados obtidos, de massa específica e unitária se tornou possível mensurar o consumo de materiais a serem utilizados no traço previamente determinado, seguindo estudos já realizados conforme expresso no item 3.2 deste artigo.

4.3 ENSAIO CONCRETO

Para os ensaios do concreto, de compressão e absorção, foram produzidas três amostras referente a cada traço considerando as dosagens de 0%, 50% e 75%, conforme mencionado no item 3.2, com isso foram encontrados os resultados a seguir.

4.3.2 Ensaio de Compressão

Realizou-se o ensaio de compressão após 7 dias de cura, com as amostras saturadas, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 8 – Resistência à compressão

Traço	Percentuais de escória de aciaria (%)	Resistência à compressão (Mpa)
		Condição saturada
1	0%	44,17
2	50%	45,82
3	75%	37,39

Fonte: Autor (2023)

Legenda:

Traço 1 0% de escoria

Traço 2 50% de escoria

Traço 3 75% de escoria

Evidenciou-se que com o aumento da proporção de escória em relação ao agregado miúdo, de 50% para 75% houve perda de resistência, sendo uma diferença de 6,28 Mpa, porém mesmo com a evidente diminuição o concreto continuou tendo resultado satisfatório em relação a norma, que exige resistência mínima de 35 Mpa.

4.3.1 Ensaio de Absorção

A partir do ensaio de absorção, obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 8 – Índice de absorção

	Proporção de escória (%)	Absorção (%)
Traço 1	0	6,05
Traço 2	50	9,03
Traço 3	75	10,4

Fonte: Autor (2023)

Legenda:

Traço 1	0% de escoria
Traço 2	50% de escoria
Traço 3	75% de escoria

Evidenciou-se que conforme a dosagem de escoria aumentou, houve também maior absorção de água, com isso o resultado não foi satisfatório considerando que segundo a norma o índice aceitável é menor que 7%, porém é justificável tendo em vista o fato de a escória apresentar porosidade e absorção de água mais elevados do que os agregados naturais.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da análise dos resultados, em comparação aos estudo de Maltez (2017) evidenciou-se que há potencial de aproveitamento da escoria de aciaria para fins de pavimentação, em substituição parcial do agregado miúdo, porém conforme a dosagem de escoria aumentou a resistência diminuiu, sendo que ainda segundo Maltez (2017) dentre as dosagens estudadas pelo mesmo (0%,30%,70% e 100%) a que obteve melhor resultado foi a de 30%, em contra partida segundo este estudo de cada dosagem adotada (0%, 50% e 75%), o traço 2 em que a dosagem foi de 50% de adição de escória de aciaria, obtiveram-se os resultados mais satisfatórios, tendo uma resistência acima da exigida pela norma (35 Mpa) e acima da resistência do concreto convencional. Contudo com o aumento da dosagem para 75%, houve evidente mudança no concreto que sofreu diminuição da resistência a compressão, apesar de alcançar a resistência mínima exigida pela norma (35 Mpa), também se evidenciou que a trabalhabilidade foi reduzida e a amostra ao ser rompida apresentou maior esfarelamento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir, conforme a hipótese deste estudo, que a escória de aciaria se configura como uma alternativa viável, para ser empregada como agregado na fabricação de blocos de concreto para pavimentação. Isso se deve ao fato de que ela assegurou um desempenho mecânico das peças produzidas com eficiência, apresentando resistência à compressão superior ao limite mínimo estabelecido pelas normas, tornando-a adequada para o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais. Sugere-se repetir os ensaios e buscar possíveis aditivos que contribuam

com a diminuição de percentual de absorção dos blocos, em que a adição de escória de aciaria, e que possam colaborar para que não haja perda de resistência com o aumento de proporção de escória adicionada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me capacitar para enfrentar todas as dificuldades encontradas, a minha família por todo apoio, durante todos os anos de graduação, que não me deixaram desistir. A minha orientadora Clarisse Pacheco por despertar o melhor de mim, sempre me incentivando a ir mais longe, em momentos em que eu duvidava do meu potencial. Por fim a todos os meus amigos e professores deixo também um agradecimento especial, por esses anos de parceria.

Toda honra e toda glória a Deus.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 9781. Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 16972: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 16917: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 9781/2013. **Peças de Concreto para pavimentação**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSESSORIA DE IMPRENSA INSTITUTO AÇO BRASIL. **Aço Brasil confirma ano favorável para o setor em 2022**. Instituto Aço Brasil, [S. l.], p. 1, 30 nov. 2022.

Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/noticia/aco-brasil-confirma-ano-favoravel-para-o-setor-em2022/#:~:text=O%20consumo%20aparente%20de%20a%C3%A7o,34%2C6%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas>. Acesso em: 3 abr. 2023.

BALBO, Jose Tadeu. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. 669 p.

BCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Construção de Pavimentos de Blocos de Concreto**. São Paulo, 1999.

- BAOSTEEL. **Energy conservation and environmental protection. Xangai: Companhia de Engenharia e Tecnologia da Baosteel Ltda.**, 2015. Disponível em: http://bsee.baosteel.com/english/tech5_6.htm. Acesso em: 15 maio 2019.
- CARVALHO, Marcos D. **Associação Brasileira de Cimento Portland – Estudo Técnico – Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto.** São Paulo, 1998.
- BENITTEZ, Leandro Henrique. **Utilização de escória de aciaria na fabricação de blocos de concreto.** Repositório Institucional UFSCar, São Carlos - SP, p. 1-103, 29 abr. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12909?show=full>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- COSME, R. L.; TEIXEIRA, J. E. S. L.; CALMON, J. L.; **Construction and Building Materials**, Sept 30, 2016, Vol.122, p.556(11).
- CSP – COMPANHIA SIDERÚRGICA DO PECÉM. **Co-produtos: escória de aciaria e alto-forno. São Gonçalo do Amarante: Companhia Siderúrgica do Pecém, 2021.** Disponível em: <https://www.cspecem.com/pt-br/produtos/co-produtos/>. Acesso em: 5 mai. 2023.
- FARIA, Ricardo Andrade Fernandes. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas e da durabilidade de concretos com escória de aciaria elétrica (eaf) como agregado graúdo.** Curso de Mestrado em Engenharia Civil UFG, Goiás, p. 1-146, 17 out. 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/lorie/Pictures/dissertacao%20ricardo.pdf>. Acesso em: 16 maio 2023.
- FERNANDES, I. **Blocos e Pavers. Produção e Controle de Qualidade.** São Paulo. 2013.
- FIORITTI, C. F. **Pavimentos Intertravados de Concreto Utilizando Resíduos de Pneu como Material Alternativo.** 2007. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- GEYER, R. M. T. **Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto.** Porto Alegre, RS. 2001. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1508/000300433.pdf?sequence=1&locale=pt_BR. Acesso em: 25 abr. 2023.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed.3 reimp. São Paulo: Atlas, 2019. 173 p.
- Gonçalves, J. P. (2000) **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos.** Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - 96 Porto Alegre-RS, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PPGEC/UFRGS, 135 p.

Gonçalves, J. P. (2005) **Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental e contendo argila calcinada e areia artificial**. Tese (Doutorado) – Rio de Janeiro - RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, 273 p.

HIP, Heat Island Group. **Cool Pavements**. In: HIP. heatland.lbl.gov. [S. l.] 28 set. 2022. Disponível em: Acesso em 15 de jun 2023.

Hoppe Filho, J. (2002), **Efeitos da adição de cal hidratada sobre a permeabilidade ao oxigênio e absorção capilar de concreto com altos teores de adições minerais**. **Dissertação (Mestrado)** – Santa Maria-RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 204 p.

PACHECO, L. C. D. **O estudo da escória de aciaria como agregado siderúrgico para uso em lastro ferroviário**. Niterói, RJ. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense. Disponível em: http://www.poscivil.uff.br/sites/default/files/dissertacao_tese/dissertadef.pdf <http://www.poscivil.uff.br/sites/default/files/dissertacao_tese/dissertadef.pdf> . Acesso: 03 mai 2023.

PIMENTEL, Lia Lorena; PISSOLATO JUNIOR, Osvaldo; JACINTHO, Ana Elisabete Paganelli Guimarães de; MARTINS, Heline Laura de Sousa. **Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas**. Revista Matéria, v. 23, n. 1, 2018 Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rmat/v23n1/1517-7076-rmat-S1517-076201700010305.pdf>.

MALTEZ, Nathália Gonçalves et al. **POTENCIALIDADE DO USO DA ESCÓRIA DE ACIARIA NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO**. 69ª Reunião Anual da SBPC, Belo Horizonte/MG, p. 1-4, 22 jul. 2017.

MASUERO, A.B. **Estabilização das Escória de Aciaria Elétrica com Vistas a sua Utilização como Substituição ao Cimento**. Porto Alegre, 2001. 264 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Metalurgia e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, F.S. et al. **Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd**. *Scientia Agricola*, v.64, p.506-512, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000500008> . Acesso em: 18 mai. 2023.

SILVA, V. C.; PEREIRA, A. F. **Estudo dos Aspectos de Avaliação do Ciclo de Vida para Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais de Aciaria**. Congresso Internacional Interdisciplinar em Sociais e Humanidades, II, 2013, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 2013. p. 01-17.

SILVA, M. J. **Elementos de concreto para pavimentação produzidos com agregados de escória de aciaria**. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais,

Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/74227176-Mateus-justino-da-silva-elementos-de-concretopara-pavimentacao-produzidos-com-agregados-de-escoria-de-aciaria-dissertacao-demestrado.html>. Acesso em: 15 jun. 2023

SILVA, Luciana Carolina Botelho da; PEREIRA, Rayane Nogueira Ferreira. Volta Redonda: **CSN E A MONTANHA DE ESCÓRIA: O Caso do Descarte de Resíduos Siderúrgicos à Margem do Rio Paraíba do Sul em Volta Redonda**. Revista Episteme Transversalis, 2020, p. 278-301.