

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CAROLINA CORRÊA DIAS RODRIGUES
JUCIANE CAMACHO NERY
LARISSA PIMENTEL MAGALHÃES
MATHEUS AUGUSTO ALMEIDA FERREIRA**

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE PESQUISA PARA UTILIZAÇÃO
DE ESCÓRIA DE ACIARIA EM ARGAMASSA POLIMÉRICA**

**VOLTA REDONDA, RJ
2020**

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE PESQUISA PARA UTILIZAÇÃO
DE ESCÓRIA DE ACIARIA EM ARGAMASSA POLIMÉRICA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Alunos: Carolina Corrêa Dias Rodrigues
Juciane Camacho Nery
Larissa Pimentel Magalhães
Matheus Augusto Almeida Ferreira

Orientador: Prof. Msc. Marcus Vinicius Faria de Araújo

Coorientador: Prof. Esp. Marcelo Estevão dos Santos

VOLTA REDONDA, RJ
2020



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: PROPOSTA DE METODOLOGIA DE PESQUISA PARA UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA EM ARGAMASSA POLIMÉRICA.

Elaborado por Carolina Corrêa Dias Rodrigues, Matrícula: 201610177, Juciane Camacho Nery, Matrícula: 201520212, Larissa Pimentel Magalhães, Matrícula: 201610579 e Matheus Augusto Almeida Ferreira, Matrícula: 201810881.

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Civil.

Aprovada em 14 de novembro de 2020.

Banca examinadora

.....
Professor Orientador
Prof. Me. Marcus Vinicius Faria de Araujo, UniFOA

.....
Professor Avaliador
Prof. Dr. Daniel Leão Bandeira de Melo, UniFOA

.....
Professor Avaliador
Prof. Me. Sergio Luiz Taranto dos Reis, UniFOA

A Deus, o princípio de tudo, que nunca nos desamparou. Aos professores que diretamente contribuíram para nossa formação. A nossas famílias por sempre nos apoiarem. E aos futuros pesquisadores que utilizarão os conhecimentos disponíveis nesse trabalho para a concretização do mesmo de forma prática.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por sempre me apoiar e em especial agradeço a minha mãe, por sempre estar me apoiando, pois sem ela eu não seria nada. Agradeço aos meus amigos por serem as pessoas maravilhosas que eu sempre posso contar. Agradeço aos meus professores que me guiaram no meu caminho profissional.

Carolina Corrêa Dias Rodrigues

Agradeço primeiramente a Deus por ter me direcionado a chegar onde estou. Aos meus pais, minha filha e minha irmã pelo apoio incondicional e incentivo a não desistir dos meus sonhos. A esta universidade, meu orientador, e aos meus familiares e amigos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e me fazem hoje vislumbrar um novo horizonte, o meu muito obrigado.

Juciane Camacho Nery

Primeiramente, agradeço a Deus por nunca ter me desamparado e sempre ter me orientado e acompanhado em todos os obstáculos durante esta jornada. Aos meus pais, avó e irmão, por serem a força que me mantém de pé. A todos da minha família por sempre me encorajarem a

seguir em frente. Aos grandes amigos que a vida me deu e que me fortaleceram quando mais precisei. Em especial aos professores Marcelo e Marcus Vinícius por toda atenção e disponibilidade em nos ajudar a realizar esse sonho.

Larissa Pimentel Magalhães

Agradeço a Deus e Seu Filho por, em todos esses anos de estudo, terem caminhado à minha frente. Agradeço a meus pais e minha família que provieram todo o suporte nas grandes e pequenas coisas para que este momento chegasse. Agradeço, também, a todos os professores, que de uma maneira ou de outra, estão representados neste trabalho, principalmente os professores Marcus Vinícius e Marcelo. Por fim, agradeço a todos os amigos e companheiros de jornada, sem os quais esta estrada seria mais sinuosa.

Matheus Augusto Almeida Ferreira

RESUMO

Aciarias LD (*Linz-Donawitz*), em processos siderúrgicos, chegam a gerar 200Kg de escória por tonelada de aço produzida. Normalmente, a escória gerada é beneficiada para o reaproveitamento de metais que são separados do material considerado inservível, no processo siderúrgico. A escória remanescente, em geral, é estocada em pátios para ser comercializada como material de lastro ferroviário ou pavimentação primária de vias. No Brasil, a utilização tanto em lastro ferroviário como em pavimentação primária tem apresentado pequena demanda devido aos custos elevados com transporte e aplicação. Diante desse panorama, o presente trabalho tem o intuito de elucidar quais os procedimentos para elaboração de uma proposta teórica e qual a viabilidade da aplicação da escória de Aciaria *Linz-Donawitz* em argamassas poliméricas de assentamento na Construção Civil. A relevância do presente trabalho consiste no fato da elevada geração de escória de Aciaria LD se contrapor à baixa demanda sendo necessário avaliar novas técnicas capazes de reaproveitar tal resíduo de modo a contribuir para a minimização de impactos socioambientais decorrentes de seu armazenamento. Ao longo do trabalho, é proposta uma argamassa de assentamento com escória de Aciaria LD em sua composição, sugerindo os percentuais de materiais a serem empregados tendo como base a análise de massa de tal resíduo. Seguem as especificações de ensaios de resistência à tração e compressão de corpos de provas, além de testes de solubilização e de lixiviação das amostras que possuem as propriedades adequadas e necessárias ao uso em assentamento. Tem-se, portanto, ao final, um roteiro metodológico para futuros pesquisadores, interessados em por em prática ensaios propostos, os quais elucidarão a viabilidade técnica e econômica do emprego da escória de Aciaria LD em argamassa polimérica de assentamento.

Palavras-chave: Escória de Aciaria; Aciaria LD; metodologia; argamassa polimérica.

ABSTRACT

Linz–Donawitz-steelmaking in steelmaking processes can generate up to 200Kg slag per ton of steel produced. Usually, the generated slag is benefited with the reuse of metals that are separated from the material considered useless to the steelmaking process. The remaining slag is generally stocked in yards to be sold as material for track ballast or primary road paving. In Brazil, the use of both track ballast or primary paving has shown little demand due to the high costs of transportation and its application. Bearing in mind this landscape, the featured thesis has the intention of elucidating what are the procedures for the elaboration of a theoretical proposal and what is the feasibility of applying the slag of Linz–Donawitz-steelmaking in polymeric laying mortar in Civil Construction. The relevance of the featured thesis consists in the fact that the high generation of slag from Linz–Donawitz-steelmaking is opposed to the low demand and it is necessary to evaluate new techniques capable of reusing such waste in order to contribute to the minimization of socio-environmental impacts resulting from its storage. Throughout the thesis, a mortar with slag from Linz–Donawitz-steelmaking in its composition is proposed, suggesting the percentages of materials to be used based on the mass analysis of such residue. Following are the specification of tests of tensile strength and compression of specimens, in addition to solubilization and leaching tests of samples that have the appropriate and necessary properties for use in laying. Therefore, there is at the end, a methodological script for future researchers interested in putting into practice proposed tests, which will elucidate the technical and economic feasibility of using the slag of Linz–Donawitz-steelmaking in polymeric laying mortar.

Keywords: Steel slag; Linz–Donawitz-steelmaking; methodology; polymeric mortar.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química da Escória	21
Tabela 2 - Porcentagens de Materiais na Produção da Argamassa	26
Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aplicação da argamassa polimérica em blocos	17
Figura 2 - Emprego da escória na pavimentação	17
Figura 3 - Depósito de escória na Cidade de Volta Redonda, RJ	18
Figura 4 - Depósito de escória na Cidade de Volta Redonda, RJ	19
Figura 5 - Depósito de escória na Cidade de Volta Redonda, RJ	19
Figura 6 - Agitador Mecânico	28
Figura 7 - Ensaio Granulométrico.....	29
Figura 8 - Estufa.....	30
Figura 9 - Corpos de Prova	32
Figura 10 - Resistência à compressão axial.....	33
Figura 11 - Pesagem do molde de PVC com a argamassa	43
Figura 12 - Mesa para Ensaio de índice de Consistência	45
Figura 13 - Ensaio de resistência à tração	49

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
ISO – Organização Internacional de Normalização
LD – *Linz-Donawitz*
NBR – Norma Brasileira
NM – Norma Mercosul
pH – Potencial Hidrogênio
PRO – Procedimentos
PTFE – Politetrafluoretileno
PVC – Policloreto de Vinila
RJ – Rio de Janeiro
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
ZHE – *Zero-Head Space Extraction Vessel*

LISTA DE ANEXOS

Anexo A - Ensaio de Densidade de Massa	42
Anexo B - Ensaio de Índice de Consistência.....	45
Anexo C - Ensaio de Resistência à Tração na Flexão	48
Anexo D - Ensaio de Solubilização	51
Anexo E - Ensaio de Lixiviação	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema abordado	14
1.2	Justificativa	14
1.3	Estratégias de pesquisa	14
1.4	Estrutura do projeto	15
1.5	Objetivo geral	15
1.5.1	Objetivos específicos	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Argamassa de assentamento	16
2.2	Argamassa polimérica	16
2.3	Escória de aciaria LD	17
2.4	Impactos ambientais	18
3	METODOLOGIA	20
3.1	Método utilizado	20
3.1.1	Composição química do material	20
3.1.2	Comparação com outros materiais	21
3.2	Elaboração de proposta metodológica	21
4	PROPOSTA DE ROTEIRO DE PESQUISA	23
4.1	Crítérios de coleta da amostra de escória	23
4.2	Necessidade de seleção de normas técnicas	24
4.3	Definição dos materiais e métodos	26
4.4	Granulometria	26
4.5	Teor de umidade	29
4.6	Densidade de massa	31
4.7	Índice de consistência	31
4.8	Corpos de prova	31
4.9	Ensaio de resistência à tração na flexão	33
4.10	Ensaio de resistência à compressão axial	33
4.11	Teste de solubilização	34
4.12	Teste de lixiviação	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

7	ANEXOS.....	42
----------	--------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Durante a produção do aço, um dos subprodutos de maior geração e descarte é a escória de aciaria, que, por sua baixa utilização, é armazenada em uma área de proteção ambiental localizada no bairro Brasilândia, na cidade de Volta Redonda, em torno de 50 metros do principal rio da região, o Rio Paraíba do Sul, gerando, ao longo dos anos, pilhas do referido material, o que ocasiona uma preocupação na população da cidade.

1.1 Problema abordado

A geração de escória, aliada à insuficiência de formas de reaproveitamento, tem gerado, ao longo dos anos, pilhas desse material, causando preocupação entre os moradores vizinhos. Assim, surge a questão: “na Construção Civil há empregabilidade com maior demanda e maior valor agregado para tal material do que na pavimentação e lastro ferroviário?”

1.2 Justificativa

Durante a produção do aço a escória de aciaria é um dos subprodutos gerados em maior abundância. Muitas vezes, a finalidade que se dá a tal resíduo ocorre em locais inapropriados, gerando problemas socioambientais decorrentes de tal armazenamento. Por meio desse projeto, buscou-se propor o aproveitamento deste material na fabricação de argamassa polimérica.

1.3 Estratégias de pesquisa

O trabalho apresentado trata-se de uma pesquisa exploratória, no qual, por meio de análises bibliográficas de abordagem quantitativa, buscou-se avaliar a aplicação de escória de Aciaria LD em argamassa de assentamento, assim como sugerir a caracterização, quantidade de material e quais testes e procedimentos necessários para verificação de resistência mecânica.

1.4 Estrutura do projeto

Considerando que todos os dias há o descarte de uma grande quantidade de escória de aciaria, e que a mesma geralmente é aproveitada, com baixo valor agregado, em pavimentação e lastro ferroviário, a finalidade deste projeto é avaliar novas tecnologias de engenharia capazes de aproveitar tal resíduo de modo a contribuir para a minimização de impactos socioambientais.

1.5 Objetivo geral

O presente trabalho tem o intuito de elucidar quais os procedimentos para a elaboração de uma proposta teórica, e de sua viabilidade, do emprego da escória de Aciaria LD na composição de argamassas poliméricas de assentamento na Construção Civil, na busca de um novo destino para tal resíduo, além de propor outras concepções para a fabricação de argamassas.

1.5.1 Objetivos específicos

Este projeto visa especificar os percentuais de uso de escória de Aciaria LD na elaboração de argamassa de modo a orientar ensaios laboratoriais, elencar métodos e materiais a serem adotados para determinação da sua resistência, além de discriminar ensaios de solubilização e de lixiviação de forma a mensurar os potenciais riscos ao meio ambiente na utilização desse resíduo na Construção Civil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A argamassa é imprescindível na Construção Civil, utilizada em diversos serviços, sendo, basicamente, uma mistura formada por aglomerante, agregado e água. Com a demanda por produtos mais sustentáveis e de aplicação mais prática, surgiram as argamassas poliméricas. O presente trabalho propõe uma metodologia para o emprego de escória de Aciaria LD na argamassa polimérica de assentamento.

2.1 Argamassa de assentamento

Segundo Pereira (2018) a argamassa de assentamento, “é uma argamassa utilizada para unir os blocos cerâmicos convencionais ou estruturais diversos”. Esse tipo de argamassa pode ser convencional, dosado e produzido no canteiro de obras, ou industrializado, onde a proporção entre aglomerante e aglomerado já está estabelecida, fazendo-se necessário apenas adição de água.

Além disso, atualmente existe uma versão da argamassa de assentamento comercializada em bisnaga, sendo assim um material mais fácil de ser aplicado, reduzindo não só o tempo de execução do serviço como da mão de obra.

2.2 Argamassa polimérica

A argamassa polimérica começou a ser difundida no Brasil a partir de 2011. Na composição de tal material não há a presença de cimento tampouco de areia, sendo assim considerada ecológica. Com a ausência de cimento não há a emissão de nenhum gás nocivo e compostos orgânicos voláteis. Ademais, Ribeiro (2019) elenca algumas das suas principais características “diferente da argamassa convencional, a polimérica já vem pronta para uso, é um produto de alta resistência à compressão e tração, seca rápido, possui grande desempenho e rendimento superior”. A Figura 1 mostra a aplicação da argamassa polimérica no assentamento de blocos cerâmicos.



Figura 1 - Aplicação da argamassa polimérica em blocos

Fonte: Moreira, Vermelho e Zani (2017)

2.3 Escória de aciaria LD

No Brasil, cerca de 3 milhões de toneladas de escória de aciaria LD são geradas por ano (POLESE *et al.*, 2006, p. 444). Durante a produção do aço, o oxigênio combinado com silício, carbono e outros elementos, gera como subprodutos monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) além da escória. A fração metálica existente neste material é reutilizada no conversor LD. Enquanto isso, a parte não metálica é reaproveitada como na execução de pavimentação e de lastro ferroviário, além de ser comercializada. A Figura 2 mostra o emprego da escória na pavimentação.



Figura 2 - Emprego da escória na pavimentação

Fonte: Diário Popular, 2016

2.4 Impactos ambientais

Com relação aos impactos ambientais gerados pelo segmento da Construção Civil, Agopyan (2013 *apud* Valporto *et al.*, 2016, p. 125) relata:

A indústria da Construção Civil é a mais poluente do planeta, sendo responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria-prima produzida no globo, tendo o cimento representatividade maior que a despesa por alimentos e o gasto para concreto só perde para o de água e no descarte, a referência trata que para cada ser humano, são produzidos 500 quilos de entulho, o que equivale a 3,5 milhões de toneladas por ano.

Por meio desse trabalho busca-se aliviar os impactos ambientais supracitados propondo um novo destino para escória de Aciaria LD na Construção Civil, evitando seu desperdício e descarte incorreto. A seguir, são demonstradas nas Figuras 3, 4 e 5 algumas ilustrações de um depósito de escória de aciaria.



Figura 3 - Depósito de escória na Cidade de Volta Redonda, RJ

Fonte: Hora do Povo, 2018



Figura 4 - Depósito de escória na Cidade de Volta Redonda, RJ

Fonte: Alves e Dias (2019)



Figura 5 - Depósito de escória na Cidade de Volta Redonda, RJ

Fonte: Alves e Dias (2018)

3 METODOLOGIA

Conforme mencionado anteriormente, esse trabalho trata-se de uma pesquisa exploratória, na qual será efetuada uma pesquisa bibliográfica para compreender melhor as características físicas e técnicas da escória de Aciaria LD, assim como as propriedades necessárias para obtenção de uma argamassa polimérica de assentamento adequada. Baseando-se em tais dados e na comparação com estudos de outros materiais, será elaborado um roteiro metodológico para futuros pesquisadores interessados em por em prática os ensaios aqui propostos, os quais elucidarão a viabilidade econômica e técnica do aproveitamento da escória de Aciaria LD na argamassa.

3.1 Método utilizado

Esse trabalho teve como enfoque a proposta de reutilização da escória de Aciaria LD, elaborando novas perspectivas para os estudos de composição de argamassas, fundamentado em um estudo de revisão bibliográfica. Abaixo, os métodos utilizados como fonte de estudos para elaboração desse roteiro.

3.1.1 Composição química do material

De acordo com Ronda Filho (2016, p. 18), “a escória de aciaria LD é de suma importância na etapa de refino do aço por ser um subproduto responsável pela absorção das impurezas”.

A constituição química dos materiais influencia diretamente nas suas propriedades físicas, sendo assim, faz-se necessário entender melhor sua composição a fim de evitar problemas que poderão ocorrer devido ao dimensionamento incorreto dos materiais. A Tabela 1 apresenta a composição química do material a ser adotado, escória de Aciaria LD.

Tabela 1 - Composição Química da Escória

Componente	Composição (%)
CaO	6 - 45
SiO ₂	7 - 16
Al ₂ O ₃	1 - 4
MgO	1 - 9
FeO	8 - 30
MnO	3 - 7
CaO/SiO ₂	0,86 - 2,80

Fonte: GEYER (2001), Adaptado pelos Autores

3.1.2 Comparação com outros materiais

Após o estudo da composição química e das propriedades materiais da escória de Aciaria LD, houve a possibilidade de comparar sua aplicação em argamassa polimérica, com outros materiais já testados e/ou utilizados com tal finalidade. Sendo assim, foi possível analisar o comportamento de uma argamassa convencional e o de uma argamassa polimérica que em sua formulação foi utilizada lama de rejeitos de minério.

A comparação dos referidos materiais deve-se ao fato de que, quando empregada em argamassa polimérica, a lama de rejeitos de minério obteve bons resultados nos testes aos quais foi submetida. Conforme descrito por Nascimento e Machado (2019), na elaboração de uma argamassa polimérica constituída por 70% de lama de rejeitos de minério, foi obtida resistência superior à encontrada na argamassa convencional, além de possuir menor índice de consistência, reduzindo seu tempo de pega.

3.2 Elaboração de proposta metodológica

Levando em consideração os fatores demonstrados acima, foi possível propor uma abordagem metodológica especificando os percentuais de todos os materiais a serem empregados na composição da argamassa polimérica de assentamento, de modo a nortear ensaios laboratoriais. Além disso, elencar materiais e métodos a

serem desenvolvidos para o estabelecimento de corpos de provas e determinação de resistência dos mesmos.

Com isso, foi possível também especificar ensaios de lixiviação e solubilização de forma a oportunizar a mensuração de riscos potenciais ao meio ambiente, no caso de uso desse subproduto no ramo da Construção Civil.

4 PROPOSTA DE ROTEIRO DE PESQUISA

Neste capítulo estão apresentadas as propostas de ensaios a serem executados em caso de estudo em escala de laboratório, verificando assim, a viabilidade ou não do aproveitamento da escória na constituição de argamassa de assentamento.

4.1 Critérios de coleta da amostra de escória

“O objetivo da amostragem é a coleta de uma quantidade representativa de resíduo, visando determinar suas características quanto à classificação, métodos de tratamento, etc” (ABNT – NBR 10007:2004, p. 2).

A escória de aciaria é armazenada em pilhas, geralmente em depósitos a céu aberto, como o localizado no bairro Brasilândia na cidade de Volta Redonda/RJ. O processo de coleta das amostras do material em pilhas, de forma a garantir amostras o mais fiel possível da escória, deve seguir algumas regras, de acordo com DNER (PRO-120:1997, p. 4):

As amostras devem ser obtidas de vários pontos da pilha, dispostos alternadamente de um lado e de outro, desde a crista até a base, perfazendo um total de 400 litros. No caso de haver no local diversas pilhas do mesmo material e procedência, operar separadamente para cada pilha... obtendo amostras que devem ser a seguir reunidas e misturadas.

Além disso, um outro ponto que requer cuidado quando se trata da escória, é o fato da mesma ser um material sujeito a expansibilidade, sendo sua causa esclarecida por Fernandes (2010, p. 23), “o óxido de cálcio total se encontra em teores que variam de 39% a 50% nas escórias de aciaria, por isso se torna o maior responsável por sua expansibilidade, especialmente, a baixas idades”.

Além da grande quantidade de cálcio presente na constituição da escória de aciaria LD, Rohde (2002) relata que a hidratação, a oxidação e a carbonatação também influenciam nesse processo de expansibilidade. O primeiro ocorre no óxido de cálcio livre, no óxido de magnésio reativo, podendo acontecer também no ferro

metálico. Ademais, o processo de carbonatação pode ocorrer no óxido de cálcio e no ferro metálico, sendo este suscetível às ações da corrosão. A combinação dos três processos acima mencionados, provoca uma instabilidade volumétrica na escória, chegando sua expansão a 14% do volume inicial.

Para corrigir a ação da expansibilidade no material, dois métodos podem ser adotados, o primeiro consiste na hidratação a base da molhagem diária e o segundo é o tratamento tradicional onde o produto permanece empilhado até a sua expansão se estabilizar. Considera-se como aceitável a expansão de até 3%. Após testes, Nascimento e Lange (2005) concluíram que tal expansão, foi atingida em torno de 18 dias através do processo de molhagem, enquanto no tratamento normal, em um período de 120 dias, a maioria das escórias alcançou a mesma porcentagem de expansão.

Sendo assim, além de efetuar a coleta da escória da forma correta para obter uma amostra mais fiel possível do material, faz-se necessário o devido tratamento do mesmo de forma a diminuir a expansibilidade, reduzindo assim o risco de deformações. Ademais, tem-se que verificar quais dos dois métodos de tratamento será mais viável para ser adotado, pois a hidratação demanda gasto com consumo de água, enquanto o tratamento normal é um processo bem mais demorado até que sua expansibilidade seja estabilizada.

4.2 Necessidade de seleção de normas técnicas

Como descrito anteriormente, não há a presença de cimento na composição das argamassas poliméricas, sendo esse o principal componente das argamassas convencionais, chamadas de argamassas cimentícias. Porém, ambos tipos de argamassas são submetidos aos mesmos testes e ensaios, buscando assim, sua caracterização e verificar sua confiabilidade. Esta proposta metodológica demonstrará todos os procedimentos a serem executados para análise da viabilidade do emprego da escória de aciaria *Linz-Donawitz* em argamassa polimérica.

O processo de realização de tais testes que se referem a argamassas e a utilização de materiais poliméricos seguirão as especificações de Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) que estabelece quais os procedimentos para a coleta da amostra de escória. O Quadro 1 descreve as normas e procedimentos a serem empregados como orientação para elaboração dos ensaios elencados.

Quadro 1 – Normas e Procedimentos a Serem Empregados

Número	Título
ABNT NBR 10004:2004	Resíduos sólidos – Classificação
ABNT NBR 10005:2004	Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido
ABNT NBR 10006:2004	Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos
ABNT NBR 10007:2004	Amostragem de resíduos sólidos
ABNT NBR 13276:2016	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência
ABNT NBR 13277:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água
ABNT NBR 13278:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado
ABNT NBR 13279:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão
ABNT NBR 13280:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido
ABNT NBR 13281:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos
ABNT NBR 15259:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade
ABNT NBR 15261:2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear)
ABNT NBR 16541:2016	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios
ABNT NBR 16826:2020	Aditivos para argamassas inorgânicas - Definição, classificação e métodos de ensaio
ABNT NBR 6457:2016	Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização
ABNT NBR 7211:2009 Versão Corrigida:2019	Agregados para concreto - Especificação
ABNT NBR 7215:2019	Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos
ABNT NBR NM 248:2003	Agregados - Determinação da composição granulométrica
ABNT NBR ISO 3310- 1:2010	Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico
DNER-PRO 120:1997	Coleta de amostras de agregados

Fonte: Elaborado pelos Autores (2020)

4.3 Definição dos materiais e métodos

Nesse tópico, serão sugeridas as porcentagens dos materiais a serem utilizados para a elaboração da argamassa polimérica de assentamento com escória de Aciaria LD a ser testada nos ensaios a fim de verificar a sua viabilidade ou não.

Embasado nos estudos de Nascimento e Machado (2019) para a elaboração da argamassa serão utilizados os seguintes materiais: 3Kg de escória de Aciaria LD, 800g de *blend* de resina, 20ml de espessante e 450ml de água. A Tabela 2 estabelece os materiais a serem utilizados na produção da argamassa polimérica de assentamento com escória de Aciaria LD, bem como suas porcentagens.

Tabela 2 - Porcentagens de Materiais na Produção da Argamassa

Material	Quantidade	Porcentagem
Escória	3.000g	70,24%
<i>Blend</i> de Resina	800g	18,73%
Espessante	21g	0,49%
Água	450g	10,54%
Total	4.271g	100%

Fonte: Elaborado pelos Autores (2020)

Antes do preparo da argamassa, faz-se necessária a realização do ensaio de granulometria. Após tal preparo, o próximo objetivo será caracterizar o material, iniciando com a elaboração dos corpos de prova além de realizar os ensaios de teor de umidade, densidade de massa, índice de consistência e verificações de resistência.

4.4 Granulometria

Embora os ensaios de granulometria sejam empregados segundo ABNT (NBR NM 248:2003) para solos, BALTAZAR (2001) descreve a necessidade de realização dos mesmos na utilização da escória como matéria prima para garantir a conformidade do material adotado.

Para obter a composição granulométrica da escória, faz-se necessário realizar um experimento onde a partir de uma amostra será possível classificar o material utilizado. Tal classificação será obtida por meio de peneiramento, através de uma série de peneiras com aberturas descritas a seguir. Em ABNT (NBR NM 248:2003) estão estabelecidos os procedimentos assim como os materiais para realização dos ensaios de granulometria.

Os seguintes materiais deverão ser utilizados para a realização do teste por peneiramento:

- Um conjunto de seis peneiras de série normal com diferentes malhas: a primeira de 4,75mm, a segunda de 2,36mm, a terceira de 1,18mm, a quarta de 600 μ m, a quinta de 300 μ m e a última de 150 μ m, além disso, o conjunto deverá possuir tampa e fundo;
- Um recipiente para depositar a amostra;
- Uma balança digital de precisão utilizada para efetuar as medições;
- Amostra do material;
- Um agitador mecânico.

Inicialmente, será efetuada a etapa de pesagem de parte do material, como a amostra e cada uma das seis peneiras a serem utilizadas. Para isso, deve-se zerar a balança de precisão. Em seguida, as peneiras deverão ser pesadas vazias e individualmente. Após a pesagem das peneiras, deverá ser efetuada a pesagem da amostra do material (ABNT – NBR NM 248:2003).

Com todos os materiais pesados, deverá ser montada a torre de peneiras de cima para baixo de forma decrescente, sendo a primeira peneira a de 4,75mm e a última a de 150 μ m, sendo adicionado o fundo por baixo da torre.

Então, a amostra da escória será depositada no topo da torre de peneiras e a mesma será tampada e colocada em um agitador mecânico. O agitador tem a finalidade de fazer a conformação do material, permitindo a segregação dos diferentes tamanhos de grãos da amostra e sua classificação. A Figura 6 mostra a torre de peneiras no agitador mecânico.



Figura 6 - Agitador Mecânico

Fonte: Elaborado pelos Autores (2020)

Terminado o agitação, será analisado o material retido nas peneiras, sendo as mesmas novamente pesadas uma a uma.

Por fim, será comparado o somatório da massa das amostras de antes e de após o peneiramento, através do preenchimento dos dados conforme a Figura 7.

Malha	Peso da Peneira + Fundo	Peso da Peneira + Material Retido	Peso do Material Retido	% Retida	% Acumulada
4,75mm					
2,36mm					
1,18mm					
600µm					
300µm					
150µm					
Fundo					
					-
			Peso Total Retido	% Total Retida	% Total Acumulada

Figura 7 - Ensaio Granulométrico

Fonte: ABNT (NBR 7211:2009), Adaptado pelos Autores (2020)

Após o preenchimento da Figura 7, os resultados deverão ser comparados com a Tabela 3 dos limites da distribuição granulométrica, para sua devida classificação.

Tabela 3 - Limites da distribuição granulométrica

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem em massa retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5mm	0	0	0	0
6,3mm	0	0	0	7
4,75mm	0	0	5	10
2,36mm	0	10	20	25
1,18mm	5	20	30	50
600µm	15	35	55	70
300µm	50	65	85	95
150µm	85	90	95	100

Fonte: ABNT (NBR 7211:2009, p. 5), Adaptada pelos Autores (2020)

4.5 Teor de umidade

O ensaio de teor de umidade é realizado para saber qual a porcentagem de água no material adotado, de forma a obter a correta dosagem de água a ser empregada na mistura.

Para realização de tal teste são necessárias três amostras do material, uma balança de precisão, um dessecador e uma estufa (ilustrada na Figura 8), conforme determina ABNT (NBR 6457:2016).



Figura 8 - Estufa

Fonte: Portal do Agregado (2010)

Inicialmente, as amostras são pesadas, obtendo assim seu peso seco (P_s), em seguida, as mesmas são colocadas na estufa, sem tampa, com temperatura entre 105° e 110°C , até que as mesmas sequem, esse processo pode durar de 16h a 24h. Para atingir a temperatura ambiente, as amostras são levadas ao dessecador (ABNT – NBR 6457:2016).

Por fim, a amostra é novamente pesada obtendo assim o seu peso úmido (P_u). Com tais dados será possível determinar o teor de umidade da escória através da Equação 1.

$$h = \frac{P_u - P_s}{P_s - P} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

- h - Teor de umidade (%)

- P_u – Massa do solo úmido junto com o recipiente (g)
- P – Massa do recipiente (g)
- P_s – Massa do solo seco junto com o recipiente (g)

Por serem utilizadas três amostras, ao efetuar a média do teor de umidade das três, tem-se o teor de umidade do material.

4.6 Densidade de massa

O ensaio para determinar densidade de massa é realizado conforme descrito por ABNT (NBR 13278:2005), com a finalidade de obter a densidade da argamassa para revestimento e para assentamento.

Os materiais, aparelhagens e procedimentos necessários para a realização do ensaio são estabelecidos no Anexo A deste trabalho.

4.7 Índice de consistência

O índice de consistência de uma argamassa está relacionado ao seu tempo de pega, influenciando diretamente na trabalhabilidade do material.

Para estabelecer o índice de consistência será necessária a realização do ensaio descrito por ABNT (NBR 13276: 2016), sendo seus materiais e procedimentos detalhados no Anexo B deste trabalho.

4.8 Corpos de prova

Para efetuar os ensaios de resistência, faz-se necessário o uso de corpos de prova da argamassa a ser testada. Como descrito anteriormente, mesmo a argamassa proposta neste trabalho sendo polimérica, essa deverá ser submetida aos testes

efetuados nas argamassas cimentícias, para garantir suas características. Assim, o processo da moldagem dos corpos de prova deverá seguir os parâmetros estabelecidos por ABNT (NBR 7215:2019).

Faz-se necessária a confecção de quatro corpos de prova para a execução de cada ensaio. A execução da moldagem do corpo de prova é feita logo após a mistura da argamassa, para não perder a trabalhabilidade da argamassa. O processo para preenchimento das formas é feito em quatro camadas de mesma altura, sendo que cada uma delas receberá 30 golpes de forma a eliminar os vazios existentes na mistura.

“Logo após a moldagem, os corpos de prova, ainda nos moldes, devem ser colocados em câmara úmida, onde devem permanecer durante 20h a 24h, com a face superior protegida contra eventual gotejamento”. (ABNT – NBR 7215:2019, p. 8)

Concluída a etapa de cura, os corpos de prova deverão ser submersos em um tanque de água saturada com cal até o momento de sua devida ruptura. A Figura 9 mostra os quatro corpos de prova.

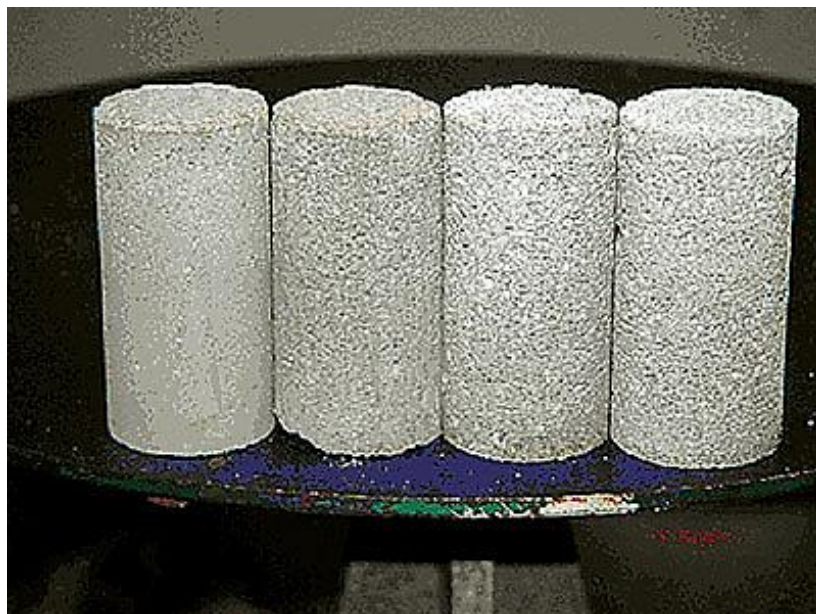


Figura 9 - Corpos de Prova

Fonte: Biff (2002)

4.9 Ensaio de resistência à tração na flexão

Tal ensaio consiste, justamente, em determinar os valores da resistência à tração na flexão, sendo os procedimentos para execução do referido ensaio descritos no Anexo C, embasam-se em ABNT (NBR 13279:2005).

4.10 Ensaio de resistência à compressão axial

Inicialmente, conforme ilustrado pela Figura 10, posicionam-se as metades dos três corpos de prova utilizados no ensaio anterior de tração na flexão no dispositivo que serve de apoio do equipamento necessário ao ensaio, aplicando-se uma carga de 450 a 550 N/s até que ocorram rupturas (ABNT – NBR 13279:2005).



Figura 10 - Resistência à compressão axial

Fonte: Silva (2018)

A resistência à compressão axial será calculada a partir da Equação 2 a seguir:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

Sendo:

- R_c - resistência à compressão (MPa);
- F_c - carga máxima aplicada (N),
- 1600 - área de seção do dispositivo de carga 40mm x 40mm (mm²).

Ainda segundo ABNT (NBR 13279:2005), os procedimentos para os valores médios do ensaio de compressão e, também, para o desvio relativo máximo são semelhantes ao do ensaio de tração na flexão. Difere-se, contudo, o valor máximo do já mencionado desvio, que, neste caso, é de 0,5MPa. O ensaio só é válido se o resultado abranger quatro corpos de prova; em negativa, deverá ser refeito.

4.11 Teste de solubilização

A solubilização é a dissolução das substâncias contidas nos resíduos. O ensaio de solubilização faz-se necessário para caracterização dos resíduos como inertes ou não inertes, seguindo o método constante em ABNT (NBR 10006:2004) e a lista da quantidade de poluentes no material solubilizado, conforme ABNT (NBR 10004:2004). O Anexo D detalha os materiais e procedimentos necessários para a realização do teste.

4.12 Teste de lixiviação

De acordo com ABNT (NBR 10005:2004, p. 1), lixiviação é “o processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator”.

Os ensaios de lixiviação deverão ser executados seguindo ABNT (NBR 10005:2004), tendo também como referências ABNT (NBR 10004:2004) e ABNT (NBR 10007:2004). No Anexo E são estabelecidos todos os procedimentos, materiais e equipamentos para execução do teste.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta uma alternativa de emprego da escória de aciaria na busca por diminuir seus danos socioambientais. Assim, propõem-se uma metodologia, com sua verificação de viabilidade econômica e técnica, do uso dessa escória na fabricação de argamassa polimérica de assentamento no ramo da Construção Civil.

A proposta elaborada considera a inserção de escória de Aciaria LD em argamassa contendo as porcentagens de todos os seus componentes, sendo tal resíduo siderúrgico o de maior percentual. Trata-se, portanto, de um roteiro norteador a futuros projetos que busquem dar continuidade a este estudo. O roteiro contém testes e ensaios para verificar: as características do material, a resistência da nova argamassa, bem como a funcionalidade de sua utilização, além da avaliação dos riscos decorrentes da incorporação de tal produto na Construção Civil.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, Marco Antônio de Moraes. **ALGUNS ENSAIOS COM AGREGADOS PARA CONCRETO**. 2019. Disponível em: <https://www.arsaedificativa.com/2019/08/alguns-ensaios-com-agregados-para.html>. Acesso em: 08 ago. 2020.
- ALVES, Francisco Edson; DIAS, Fernanda. **CSN tenta passar para órgãos públicos montanhas de resíduos**. 2018. O DIA. Disponível em: <https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2018/06/5550695-csn-tenta-passar-para-orgaos-publicos-montanhas-de-residuos.html>. Acesso em: 07 jun. 2020.
- _____. **Justiça Federal reforça necessidade de redução de pilhas de escória em Volta Redonda**. 2019. O DIA. Disponível em: <https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2019/02/5617319-justica-federal-reforca-necessidade-de-reducao-de-pilhas-de-escoria-em-volta-redonda--no-sul-do-estado.html>. Acesso em: 07 jun. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.
- _____. **NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 16 p.
- _____. **NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 3 p.
- _____. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 21 p.
- _____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 2 p.
- _____. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 3 p.
- _____. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 4 p.

- _____ **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 9 p.

- _____ **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 2 p.

- _____ **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 7 p.

- _____ **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 3 p.

- _____ **NBR 15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear).** 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 6 p.

- _____ **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 2 p.

- _____ **NBR 16826: Aditivos para argamassas inorgânicas — Definição, classificação e métodos de ensaio.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 12 p.

- _____ **NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 8 p.

- _____ **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 9 p.

- _____ **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.** 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 12 p.

- _____ **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

- _____ **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT)**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 20 p.
- AZEVEDO, P.S. VALPORTO, M. S. **Gestão do design na identificação dos fatores de impactos ambientais da construção civil**. Disponível em: <https://www.eed.emnuvens.com.br/design/article/view/300/215>. Acesso em: 23 de abr. de 2020.
- BALTAZAR, Rodrigo Pinheiro. **Caracterização do fator expansão de uma escória de aciaria em diferentes processos de cura para uso em pavimentação**. 2001. 76 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- BIFF, Rodrigo T. **Agente Expansor de Argamassas à Base de Escórias de Alumínio**. 2002. Disponível em: <https://www.unesp.br/prope/projtech/Industria/Industr65a.htm>. Acesso em: 31 ago. 2020.
- CONSTRUÇÃO CIVIL TEORIA E PRÁTICA. **Medição do índice de consistência da argamassa utilizando a mesa de consistência (ABNT NBR 13276/2005)**. 2014. Disponível em: <https://construcaocivil.info/medicao-do-indice-de-consistencia-da-argamassa-utilizando-a-mesa-de-consistencia-abnt-nbr-132762005/>. Acesso em: 31 ago. 2020.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **PRO 120: Coleta de amostras de agregados**. Rio de Janeiro, 1997. 5 p.
- DIÁRIO POPULAR. **Escória da Usiminas é usada em projetos de sustentabilidade**. 2016. Disponível em: <http://www.diariopopularmg.com.br/escoria-da-usiminas-e-usada-em-projetos-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 07 jun. 2020.
- FERNANDES, Daniel Pinto. **Estudo de estabilização química, geomecânica e ambiental das escórias de aciaria LD para fins de aplicação como material de lastro ferroviário em vias sinalizadas**. 2010. 142 f. Monografia (Especialização - Curso de Geotecnia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- GEYER, R.M.T. **Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto**. 2001. 187f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre.

- HORA DO POVO. **“Escória” da CSN está poluindo Volta Redonda**. 2018. Disponível em: <https://horadopovo.com.br/escoria-da-csn-esta-poluindo-volta-redonda/>. Acesso em: 07 jun. 2020.

- MOREIRA, André Araújo Amato; VERMELHO, Lázaro Colodette; ZANI, Matheus Carreiro. Estudo da Argamassa Polimérica de Assentamento de Blocos e Tijolos Segundo Aspectos Técnicos, Econômicos, Mercadológicos e de Clima Organizacional. **Espacios**, Vitória, v. 38, n. 53, p. 14-28, 27 jul. 2017. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n53/a17v38n53p14.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2020.

- NASCIMENTO, Flávia Oliveira do; MACHADO, Itala Vivas Fontes Valle. **APROVEITAMENTO DOS REJEITOS DE MINERAÇÃO COMO CONSTITUINTE DE ARGAMASSA POLIMÉRICA**. 2019. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, UniFOA, Volta Redonda, 2019.

- NASCIMENTO, José Flávio do; LANGE, Liséte Celina. Escória de Aciaria - Alternativa Econômica e Ambientalmente Adequada para Obras de Pavimentação e Conservação Rodoviária. **Vias Gerais**: Associação dos Engenheiros do DER/MG, Belo Horizonte, n. 05, p. 37-41, fev. 2005. Mensal. Disponível em: <http://www.assender.com.br/wp-content/uploads/2015/09/escoria-de-aciaria.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

- PEREIRA, Caio. **Argamassa: O que é, principais tipos e propriedades**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/argamassa/>. Acesso em: 23 de abril de 2020.

- POLESE, M. O.; CARREIRO, G. L.; SILVA, M. G.; SILVA, M. R. **Caracterização microestrutural da escória de aciaria**. Revista Matéria, v. 11, n. 4, p. 444-454. 2006.

- PORTAL DO AGREGADO. **Teor de Umidade**. 2010. Disponível em: <http://agregadosnaconstrucao.blogspot.com/2010/04/teor-de-umidade.html>. Acesso em: 31 ago. 2020.

- RIBEIRO, Claudia Ferreira. **4 diferenças entre as argamassas convencionais e as argamassas poliméricas**. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://geocontract.com.br/Post/2320/4-diferencas-entre-as-argamassas-convencionais-e-as-argamassas-polimericas>. Acesso em: 23 de abr. de 2020.

- ROHDE, Luciana. **ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA EM CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS – ESTUDO LABORATORIAL**. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

- RONDA FILHO, Wallace Maurício Maia. **Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Gerados na Aciaria LD**. 2016. 6 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2016.

- SILVA, Danillo de Almeida e. **INFLUÊNCIA DA FORMA DO AGREGADO GRAÚDO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO**. 2018. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/influencia-da-forma>. Acesso em: 31 ago. 2020.

7 ANEXOS

Anexo A - Ensaio de Densidade de Massa

De acordo com a ABNT (NBR 13278:2005) para realização do ensaio de densidade de massa é necessária a utilização da seguinte aparelhagem:

- Uma balança com resolução de 0,1g;
- Um recipiente cilíndrico de PVC a ser utilizado como molde, com capacidade aproximada de 400ml;
- Uma espátula com lâmina com 152mm de comprimento e 13mm de largura, com bordas retas e cabo de madeira;
- Uma régua com comprimento mínimo de 102mm e com espessura entre 1,6mm e 3,2mm;
- Um soquete de material não absorvente,
- Uma colher com comprimento mínimo de 230mm ou uma concha com comprimento mínimo de 100mm.

Separados todos os materiais anteriormente citados, deve-se efetuar a calibração do recipiente, descrita a seguir.

Em primeiro momento, faz-se a calibração do recipiente de PVC, onde o mesmo é pesado, obtendo sua massa (m_v). Com a massa obtida busca-se então descobrir seu volume (v_r), preenchendo o recipiente com água destilada ou desmineralizada com temperatura entre 21°C e 25°C.

Feita a calibração do recipiente, deve-se realizar a preparação da argamassa, e em seguida a mesma deverá ser introduzida no recipiente, utilizando a colher ou concha, formando três camadas com alturas semelhantes. Em cada camada deverá ser realizado 20 golpes com a espátula, sendo que na primeira camada o golpe não deverá bater fortemente no fundo do recipiente, e nas camadas seguintes o golpe deverá ter força para apenas penetrar a superfície da camada abaixo.

Ao final desse processo, aplica-se mais 5 golpes em intervalos regulares na parede externa, dessa vez usando o soquete. No momento em que a espátula foi removida, não devem ficar vazios entre a argamassa e a parede do molde.

Terminados os golpes com o soquete, faz-se necessário realizar o rasamento do recipiente, utilizando a régua faz-se duas passadas ortogonais entre si, em uma movimentação de vai e vem, garantindo que não haja bolhas de ar sob a mesma, processo no qual é nivelado o material ao recipiente.

Feito isso, deve-se pesar e registrar a massa do molde com a argamassa (m_c), conforme demonstrado na Figura 11.



Figura 11 - Pesagem do molde de PVC com a argamassa

Fonte: Alcantara (2019)

Por fim, utiliza-se a Equação 3 para calcular a densidade de massa (A) no estado fresco em Kg/m³.

$$A = \frac{m_c - m_v}{v_r} \quad (3)$$

Anexo B - Ensaio de Índice de Consistência

Primeiramente, tem-se como necessárias as condições ambientais do laboratório, devendo este apresentar a temperatura entre 21°C e 25°C e a umidade relativa do ar entre 55% e 65%, os materiais e a aparelhagem devem permanecer na sala de ensaio por pelo menos 12 horas antes do início dos testes. (ABNT – NBR 13276:2016)

Abaixo estão descritos os aparelhos necessários para a execução do ensaio:

- Mesa para índice de consistência, conforme demonstrada na Figura 12;



Figura 12 - Mesa para Ensaio de índice de Consistência

Fonte: Construção Civil Teórica e Prática (2014)

- Molde tronco cônico;

- Soquete metálico;
- Régua metálica,
- Paquímetro para medições até 300mm.

Assim, inicia-se o ensaio preparando a argamassa. Em seguida, deve-se efetuar a limpeza e secagem do tampo da mesa do ensaio do índice de consistência e a parede do molde troncônico com um pano limpo.

Logo após a preparação da argamassa, o molde troncônico deverá ser preenchido com a mesma em três camadas sucessivas, de alturas aproximadamente iguais, colocando o molde centralizado sobre a mesa para o índice de consistência.

Em cada camada, deve-se aplicar quinze, dez e cinco golpes com o soquete, respectivamente, de maneira a distribuí-las uniformemente. Caso haja necessidade, deve-se completar o volume do molde com mais argamassa.

A próxima etapa a ser executada será a de rasear a argamassa com a régua metálica rente à borda do molde, para remover os excessos, efetuando a limpeza das bordas com um pano seco e limpo.

Em seguida, deve-se retirar o molde verticalmente e acionar a manivela da mesa para índice de consistência, fazendo com que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 segundos uniformemente. Caso seja utilizada uma mesa com acionamento elétrico, deve-se efetuar 30 golpes.

Imediatamente após a última queda da mesa, deve-se efetuar a medição do espalhamento da argamassa com o paquímetro, medindo os três diâmetros, a partir de pontos uniformes no perímetro.

Assim, será possível calcular o índice de consistência da argamassa, que será a média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada para número inteiro. Além disso, será efetuado o registro da relação água/materiais secos utilizada na mistura da argamassa.

Anexo C - Ensaio de Resistência à Tração na Flexão

De acordo com a ABNT (NBR 13279:2005), os instrumentos e aparelhos necessários ao ensaio estão descritos abaixo:

- Moldes prismáticos para corpos de prova de medidas 4cm x 4cm x 16cm;
- Mesa de adensamento por queda;
- Nivelador de camadas;
- Régua metálica;
- Máquina de ensaio de resistência à tração na flexão e de compressão;
- Dispositivos de carga para os ensaios de tração e compressão;
- Cronômetro,
- Utensílios laboratoriais.

Segundo a ABNT (NBR 13279:2005), para realização do ensaio, são necessários três corpos de prova, confeccionados conforme item 4.8, sendo preciso sua permanência por $48h \pm 24h$ nos moldes, em laboratório com temperatura controlada em $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $60 \pm 5\%$. Aos vinte e oito dias, deve-se executar a ruptura dos corpos de prova, aplicando-se carga de $50 \pm 10\text{N/s}$ até ruptura dos mesmos, demonstrado na Figura 13.



Figura 13 - Ensaio de resistência à tração

Fonte: Silva (2018)

A resistência à tração na flexão é calculada através da Equação 4:

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{40^3} \quad (4)$$

Sendo:

- R_f - resistência à tração na flexão (MPa);
- F_c - carga verticalmente aplicada no centro do prisma (N),
- L - distância entre os suportes do dispositivo de carga (mm).

Para um resultado médio, após a determinação da resistência à tração na flexão individual, deve-se determinar um valor médio de tal propriedade para os 3 corpos de prova, arredondando-se o resultado para o mais próximo decimal. A divisão

do valor absoluto entre a resistência à tração na flexão média dos 3 corpos de prova e a resistência do corpo de prova que mais se afaste de valor médio, sendo para mais ou para menos, representa o desvio relativo máximo, e deve ser arredondado para o decimal que mais se aproxime do encontrado. Se o desvio relativo máximo for maior do que 0,3MPa, deve-se determinar novo valor de média, desconsiderando o valor que obteve a maior diferença em números absolutos, como visto acima; deve-se indicar tal valor com um asterisco no documento certificatório. O ensaio apenas é válido se a média considerar, no mínimo, dois corpos de prova, devendo-se ser refeito, em caso contrário.

Anexo D - Ensaio de Solubilização

Segundo a ABNT (NBR 10006:2004), para realização do teste, faz-se necessário os seguintes materiais e equipamentos:

- Amostra do material a ser submetida ao ensaio de solubilização;
- Um agitador;
- Aparelho de filtração para partículas superior ou igual a $0,45\mu\text{m}$;
- Estufa de circulação de ar forçado e exaustão ou estufa a vácuo;
- Medidor de pH;
- Balança com precisão de $\pm 0,01\text{g}$;
- Água destilada e/ou deionizada, isenta de orgânicos;
- Frasco de 1500ml;
- Membrana filtrante com $0,45\mu\text{m}$ de porosidade;
- Filme de PVC,
- Peneira com malha de 9,5mm.

Conforme descrito em ABNT (NBR 10006:2004), deve-se realizar os seguintes procedimentos: a amostra deverá ser submetida à estufa para secagem, com temperatura de até 42°C . Desse material faz-se necessário separar uma porção representativa de base seca com peso de 250 gramas e adicionar no frasco. Em

seguida, acrescentar água deionizada ou destilada de forma a completar 1000ml, submetendo tal amostra a agitação por cinco minutos, cobrindo o frasco com filme de PVC, permanecendo em repouso por sete dias em temperatura de até 25°C. Após esse procedimento, deve-se filtrar a solução, atentando para a porosidade da membrana filtrante que deverá ser de 0,45µm, caracterizando o extrato obtido como extrato solubilizado.

Assim, será possível determinar o pH do referido extrato, após análise, como descrito em ABNT (NBR 10006:2004).

Anexo E - Ensaio de Lixiviação

Conforme estabelecido pela ABNT (NBR 10005:2004), Para a realização dos ensaios, serão necessários os seguintes materiais e equipamentos:

- Agitador de frascos que seja capaz de evitar a sedimentação da amostra durante o processo de agitação;
- Frascos de vidro borossilicato ou politetrafluoretileno;
- Aparelho para medir o pH;
- Aparelho de filtração pressurizado ou a vácuo com filtro de fibra de vidro isento de resinas e com porosidade de 0,6 μ m a 0,8 μ m;
- Extrator ZHE (somente para sólidos voláteis), com o frasco totalmente preenchido pela mistura do líquido extrator e da amostra;
- Centrífuga para líquido que seja mais resistente a filtração;
- Peneira com abertura de 9,5mm;
- Balança com precisão de $\pm 0,01$ g.
- Coletor para o extrato podendo ser frasco de vidro, aço inoxidável, ou PTFE, ou bag em PTFE;
- Agitador magnético;
- Balão volumétrico de 1l;

- Béquer de 500ml;
- Vidro de relógio de 12cm de diâmetro;
- Fita de politetrafluoretileno (PTFE).
- Água destilada, deionizada e isenta de orgânicos para lixiviação de voláteis e não-voláteis, obtida através do processo de ultrapurificação;
- Ácido clorídrico (HCl) p.a., 1,0N;
- Ácido nítrico (HNO₃) p.a., 1,0N;
- Hidróxido de sódio (NaOH) p.a., 1,0N,
- Ácido acético glacial (HOAc) p.a.

Os sólidos são classificados em voláteis e não voláteis, com relação aos ensaios de lixiviação são efetuados testes específicos para cada um dos grupos, sendo estes definidos a seguir.

Lixiviação de não voláteis

Conforme descrito por ABNT (NBR 10005:2004), deve-se fazer a determinação preliminar da amostra, a fim de avaliar o tamanho das partículas do material. A amostra deverá passar pela peneira de malha de 9,5mm. Caso os grãos não passem na peneira, deverão ser triturados para atender aos requisitos da norma.

Inicialmente, deve-se pesar 100g de amostra preparada transferindo tal material para o frasco de lixiviação.

Em conformidade com a ABNT (NBR 1005:2004), a solução de extração a ser utilizada, será determinada como descrito abaixo:

- a) Reduzir o tamanho dos grãos para uma medida menor ou igual a 9mm, transferindo 5,0g para um béquer;
- b) Acrescentar 96,5ml de água deionizada, cobrindo com o vidro de relógio e, através do agitador magnético, agitar intensamente por 5 minutos;
- c) Medir o pH. Adicionar a solução de extração nº 1, caso o pH seja menor ou igual a 5,0;
- d) Caso o pH seja maior que 5,0, acrescentar 3,5ml de HCl 1,0 N, homogeneizar a solução, cobrindo com o vidro de relógio e aquecer a 50°C por um período de 10 min,
- e) Deixar a solução esfriar e medir novamente o pH. Utilizar a solução de extração nº 1, se o pH for menor que 5,0. Caso o pH seja maior que 5,0 utilizar a solução de extração nº2.

Após determinação da extração de solução a ser utilizada, o frasco deverá ser fechado a fim de evitar vazamentos, utilizando fita de PTFE. O frasco deverá ser mantido sob agitação durante (18 ± 2) horas à temperatura de até 25°C com uma rotação de (30 ± 2) rpm no agitador rotatório.

Recomenda-se a abertura do frasco nos intervalos de 15 minutos, 30 minutos e 1 hora de agitação, pois poderá ocorrer aumento de pressão interna, devido a característica de alguns materiais.

Após esse procedimento, a amostra deverá ser filtrada, podendo fazer a troca do filtro, caso haja necessidade. Esse material filtrado denomina-se extrato lixiviado, e deverá ser verificado o seu pH.

Lixiviação de voláteis

Para a lixiviação de sólidos voláteis, a solução de extração deverá ser feita seguindo os seguintes passos: “Colocar água destilada, deionizada e isenta de orgânicos, adicionando 5,7ml de ácido acético glacial e acrescentar 64,3ml de NaOH 1,0N. Completar o volume a 1l. O pH deverá ser de $4,93 \pm 0,05$ (ABNT – NBR 10005:2004), utilizando o extrator para sólidos voláteis do tipo ZHE, sendo possível através dele determinar a capacidade de transferência de substâncias do material para o meio.

Em seguida, o extrato lixiviado deverá ser coletado, atentando para que não haja abertura do aparelho até o término do procedimento.

De acordo com ABNT (NBR 10005:2004), o pistão do ZHE deverá ser colocado no corpo do extrator, colocando o filtro e o suporte de tela no flange superior, transferindo de forma rápida 25g do material sólido preparado para o extrator ZHE, atentando para o resfriamento a 4°C antes de triturá-lo. Em seguida, deve-se vedar bem, e colocar o extrator na posição vertical com a entrada/saída de gás na parte inferior. A solução de extração deverá ser adicionada até a borda do frasco extrator, fechando o mesmo sem que haja bolha de ar, liberando a pressão de gás sobre o pistão utilizando o flange superior para abrir a válvula de líquidos.

Logo após, deve-se aplicar uma pressão de 7KPa a 70 KPa, com a válvula de líquidos de entrada e saída aberta, fechando a válvula do flange quando observar a saída de líquido pelo flange. Caso o pistão não se mova, aumentar a pressão com intervalos de 70KPa, não ultrapassando 345KPa. Deve-se verificar se não há vazamentos, desconectando a linha de gás de pressurização, girando o extrator por duas ou três vezes. Após a verificação, acoplar novamente a linha de gás de pressurização, aplicando uma pressão de 35KPa a 70KPa. Em seguida, desconectar, novamente, a linha de gás de pressurização por uma hora, certificando-se de que a pressão se manteve e não houve nenhum vazamento. O extrator deverá ser colocado no agitador por 30 ± 2 rpm por 18 ± 2 h, mantendo a temperatura ambiente em torno de 23° C, durante o processo de agitação (ABNT – NBR 10005:2004).

Após finalizar esse período, deve-se observar se houve algum vazamento, que poderá ser verificado caso a pressão tenha sido alterada. Em caso de vazamento, deverá ser refeito o procedimento a partir da instalação do filtro e o suporte de tela no flange. Caso não haja alteração na pressão, encaixar a linha de gás de pressurização, abrindo a conexão do flange e pressurizando o pistão, a fim de que haja a separação do material líquido e sólido. Após esse procedimento, desconsiderar os primeiros 5ml de material retirado do extrator, iniciando a coleta do material filtrado com seringa de vidro ou bag de PTFE, retirando assim o extrato lixiviado para análise, como descrito por ABNT (NBR 10005:2004).