

Vanessa Cristine Silva

**ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DE USO DA ESCÓRIA DE ACIARIA  
COMO MATÉRIA-PRIMA ALTERNATIVA NA PRODUÇÃO DE PISOS  
INTERTRAVADOS**

Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG  
2015

Vanessa Cristine Silva

**ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DE USO DA ESCÓRIA DE ACIARIA  
COMO MATÉRIA-PRIMA ALTERNATIVA NA PRODUÇÃO DE PISOS  
INTERTRAVADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Área de Concentração: Bens Culturais, Tecnologia e Território.

Linha de pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andréa Franco Pereira.

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Cabaleiro Cortizo.

Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG

2015

#### FICHA CATALOGRÁFICA

S588	<p>Silva, Vanessa Cristine. Análise da potencialidade de uso da escória de aciaria como matéria-prima alternativa na produção de pisos intertravados [manuscrito] / Vanessa Cristine Silva. - 2015. 157f. : il.</p> <p>Orientador: Andréa Franco Pereira. Coorientador: Eduardo Cabaleiro Cortizo.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.</p> <p>1. Escória - Teses. 2. Resíduos industriais - Teses. 3. Pisos - Teses. 4. Matérias-primas - Teses. 5. Desenvolvimento sustentável – Teses. 6. Arquitetura e tecnologia - Teses. I. Pereira, Andréa Franco. II. Cortizo, Eduardo Cabaleiro. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.</p> <p>CDD 363.7</p>
------	---

Ficha catalográfica: Biblioteca Raffaello Berti, Escola de Arquitetura/UFMG

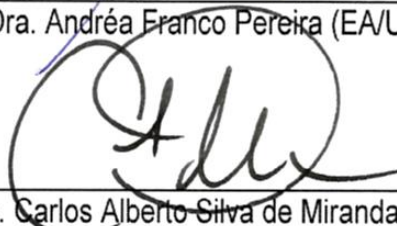
**Vanessa Cristine Silva**


“Análise da potencialidade de uso da escória de aciaria como matéria-prima alternativa na produção de pisos intertravados”

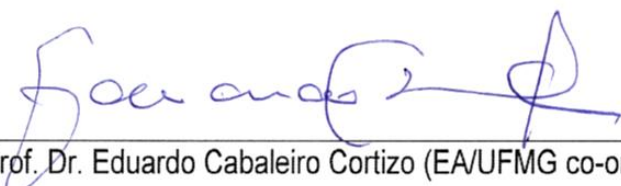
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais

Comissão Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Andréa Franco Pereira (EA/UFMG orientadora)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Carlos Alberto Silva de Miranda (UEMG)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco (EE/UFMG)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eduardo Cabaleiro Cortizo (EA/UFMG co-orientador)

Belo Horizonte, 23 de setembro de 2015.

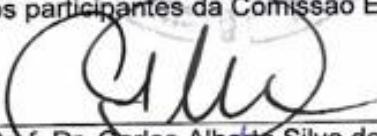
ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DA ALUNA Vanessa Cristine Silva nº de matrícula 2013667854 DO CURSO DE MESTRADO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL DA ESCOLA DE ARQUITETURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Aos vinte e três dias do mês de setembro do ano de dois mil e quinze, às quatorze horas, na sala 200 da Escola de Arquitetura, situada à Rua Paraíba, número seiscentos e noventa e sete, bairro Funcionários, na cidade de Belo Horizonte, reuniu-se a Comissão Examinadora de Dissertação para julgar o trabalho "Análise da potencialidade de uso da escória de aciaria como matéria-prima alternativa na produção de pisos intertravados" requisito final para a obtenção do grau de Mestre, na área de concentração "Bens Culturais, Tecnologia e Território". Abrindo a sessão, a orientadora professora doutora Andréa Franco Pereira após expor as Normas Regulamentares do Trabalho Final pediu para a aluna iniciar a apresentação do seu trabalho. Seguiu-se arguição pelos examinadores com a respectiva defesa da candidata. Logo após a comissão reuniu-se, sem a presença da mestranda e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado:

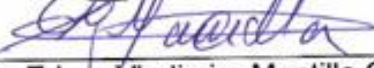
- Aprovação  
 Aprovação com solicitação das revisões constantes nesta ata, no prazo de 30 dias  
 Reprovação

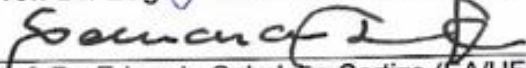
O resultado final foi comunicado publicamente a candidata pela Presidente da Comissão.

Nada mais havendo a tratar, a Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. Carlos Alberto Silva de Miranda (UEMG)

  
Prof. Dr. Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco (EE/UFGM)

  
Prof. Dr. Eduardo Cabaleiro Cortizo (EA/UFGM co-orientador)


Ciente:

  
Vanessa Cristine Silva

Atesto que as alterações exigidas serão cumpridas.

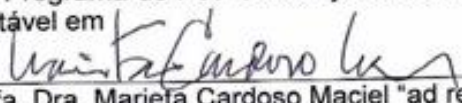
Belo Horizonte, 23 de setembro de 2015

Orientadora:

  
Profa. Dra. Andréa Franco Pereira (EA/UFGM)

Homologado pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação do curso de Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável em

Coordenadora:

  
Profa. Dra. Marieta Cardoso Maciel "ad referendum"



*As futuras gerações...*

*“O propósito da nossa vida é acrescentar valor a vida das pessoas desta geração e da geração seguinte. Richard Buckminster Fuller – Designer para habitação de grandes catástrofes ambientais”.*

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho. Poderia dizer que tive a sorte de conviver com pessoas incríveis que estiveram sempre presentes nos momentos mais difíceis, sempre me fortalecendo e encorajando. Menciono algumas pessoas, que sem sua orientação não teria realizado esse desafio.*

*Agradeço a Deus, primeiramente, por toda minha existência.*

*O meu agradecimento eterno ao único ser sublime que me ensinou o maior valor da vida – o amor incondicional à minha mãe “Magda” (in memoriam).*

*Ao meu pai Mauro Newton pelo incentivo aos estudos em toda minha vida, o maior legado que se pode deixar aos filhos.*

*A minha querida Tia Marília, por todo carinho e força.*

*Ao Prof. Eduardo Cabaleiro pela co-orientação e por sua disponibilidade, atenção, amizade e carinho.*

*A Prof.<sup>a</sup> Andréa pela orientação durante este trabalho.*

*A Prof.<sup>a</sup> Maria Teresa Paulino Aguilari da Escola de Engenharia (UFMG) por sua sempre disponibilidade.*

*A Prof.<sup>a</sup> Adriana Guerra Gumieri do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da UFMG pelo apoio.*

*Aos Professores convidados para a banca: Prof. Carlos Alberto (UEMG) e Prof. Edgar Mantilla.*

*A Victória M. de León Grego pela atenção, dedicação e carinho durante todo o curso.*

*Agradeço aos colegas do mestrado por compartilhar o conhecimento durante o curso e pelo proveitoso convívio.*

*A todas as empresas participantes da pesquisa.*

*A todos os amigos meus sinceros agradecimentos.*

*“Perdoem a cara amarrada  
Perdoem a falta de abraço  
Perdoem a falta de espaço  
Os dias eram assim  
Perdoem por tantos perigos  
Perdoem a falta de abrigo  
Perdoem a falta de amigos  
Os dias eram assim  
Perdoem a falta de folhas  
Perdoem a falta de ar  
Perdoem a falta de escolha  
Os dias eram assim*

*E quando passarem a limpo  
E quando cortarem os laços  
E quando soltarem os cintos  
Façam a festa por mim  
Quando lavarem a mágoa  
Quando lavarem a alma  
Quando lavarem a água  
Lavem os olhos por mim  
Quando brotarem as flores  
Quando crescerem as matas  
Quando colherem os frutos  
Digam o gosto pra mim.”*

*Aos nossos filhos – Ivan Lins*

## RESUMO

O fio condutor desta pesquisa é analisar a potencialidade de uso da *escória de aciaria* para a produção de pisos intertravados. Para compreensão deste estudo é apresentada uma investigação de campo com o intuito de aprofundar os conhecimentos sobre a importância da utilização deste co-produto como matéria-prima alternativa em novos produtos e, sobretudo, de promover o desenvolvimento sustentável como mudança de paradigma através de sua incorporação na produção de *pisos intertravados*. A metodologia envolve pesquisa de campo, baseada numa investigação realizada através de três etapas: a primeira é a observação direta da cadeia produtiva do aço situada nas regiões do Vale do Aço e do Vale do Paraopeba, e nas indústrias de pisos intertravados no município de Pedro Leopoldo em Minas Gerais; a segunda análise se refere a uma entrevista semi-estruturada e por fim a terceira fase demonstra os resultados obtidos na aplicação de um questionário eletrônico direcionado para dois tipos de públicos: os especialistas em co-produtos das siderúrgicas e os fabricantes de piso intertravado. A interpretação dos resultados do trabalho demonstra o potencial de utilização deste co-produto siderúrgico como elemento substituto parcial dos agregados naturais brita e areia para a produção de pisos intertravados. Dando continuidade à pesquisa, sugere-se vislumbrar a possibilidade de pesquisas futuras, abrangendo outros tipos de aplicação para a *escória de aciaria* contribuindo para a sustentabilidade do ambiente construído. Garantir a viabilidade da matéria-prima *escória de aciaria* em novos produtos é uma tarefa complexa que necessita de conhecimentos multidisciplinares. É nesse sentido, que se fomenta o exercício da pesquisa multidisciplinar, visto que um número crescente de publicações tem abordado o tema resíduo *escória de aciaria* em diversos campos do conhecimento.

**Palavras-chave:** Escória de aciaria. Piso intertravado. Sustentabilidade.

## ABSTRATY

The main focus of this research is to analyze the potentiality to use *steel slag* in the production of *interlocked floors*. Aiming at the understanding of this study a field research is presented in order to deepen the knowledge on the importance of using this co-product as alternative raw material in new products and, above all, to promote sustainable development as a paradigm shift through its incorporation in the production of interlocked floors. The methodology involves field research, based on research carried out through three steps: the first one is the direct observation of the steel production chain located in the regions of Vale do Aço and Vale do Paraopeba, and interlocked flooring industries in the city of Pedro Leopoldo, Minas Gerais; the second analysis refers to a semi-structured interview and finally the third stage demonstrates the results achieved in the implementation of an electronic questionnaire directed to two types of audiences: experts in the co-products mills and manufacturers of interlocked floor. The interpretation of the results of this work demonstrates the potential to use this steel co-product as partial substitute element of natural aggregates gravel and sand for the production of interlocked floors. Following to this research it is suggested to glimpse into the possibility of future surveys, covering other types of application for *steel slag*, contributing to the sustainability in built environments. Ensuring the viability of use of steelmaking slag raw materials into new products is a complex task that requires multidisciplinary knowledge. In this sense, it is highly recommended the exercise of multidisciplinary research, given the fact that a growing number of publications have addressed the subject *steel slag residue* in several fields of knowledge.

**Keywords:** Steel slag. Interlocked floor. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

01 Diagrama esquemático da estrutura da dissertação .....	30
02 Criação de produtos à base de escória de aciaria.....	33
03 Parque produtor de aço no Brasil. ....	34
04 Convertedores do tipo de forno LD da aciaria .....	37
05 Eco-eficiência no processo de produção do aço .....	39
06 Fenômenos da expansibilidade do uso da escória de aciaria.....	48
07 Agrosílico plus – fertilizante da Harsco Metals Minerais, Timóteo/Minas Gerais.....	49
08 Blocos com escória de aciaria, Golfo Pérsico, Iran.....	50
09 Sala de raio x .....	54
10 Pavimentação intertravada – Vila Germânica em Blumenau Santa Catarina .....	56
11 Sistema construtivo de intertravamento. ....	57
12 Exemplo de peças de concreto tipo I.....	58
13 Exemplo de peças de concreto tipo II.....	59
14 Exemplo de peças de concreto tipo III .....	59
15 Exemplo de peças de concreto tipo IV .....	59
16 Execução do piso intertravado: 1 – nivelamento e compactação do subleito; 2- instalação das contenções, nivelamento da base; 3 – espalhamento e nivelamento da areia de assentamento; 4- colocação das peças de concreto; 5 – rejuntamento e compactação final; 6 – limpeza e liberação ao tráfego .....	63
17 Assentamento de piso intertravado mecanizado na Alemanha .....	64
18 Pavieco instalado no supermercado Verdemar – Nova Lima – Minas Gerais.....	67
19 (a) Fabricação dos bloquetes; (b) maturação dos bloquetes; (c) preparação de base e sub-base; (d) assentamento dos bloquetes .....	68
20 (a) Término de assentamento; (b) rejunte betuminoso; (c) finalização da pavimentação.....	69
21 Mapa das regiões apresentando a cadeia produtiva da pesquisa. ....	73
22 Vista geral da planta industrial da Usiminas em Ipatinga Minas Gerais.....	74

23	Representação esquemática de uma elevação da planta industrial da aciaria .....	75
24	Despejo de escória de aciaria líquida no pátio 2 .....	76
25	Resfriamento da escória de aciaria no pátio 2.....	76
26	Amostra de escória de aciaria fornecida do pátio 2.....	77
27	Depósito de escória de aciaria no pátio 3 .....	78
28	Produção de vitrocerâmicas com escória de aciaria da Usiminas .....	79
29	Agregado siderúrgico Usiminas aplicado em lastro ferroviário.....	80
30	Peneira para separação da escória de aciaria bruta.....	82
31	Britador da escória de aciaria .....	82
32	Correia magnética para remover a parte metálica da escória de aciaria.....	83
33	Pisos intertravados instalados no Chevrolet Hall – Belo Horizonte MG .....	86
34	Assentamento de pisos intertravados avenida Augusto de Lima – Belo Horizonte Minas Gerais.....	87
35	Dosagem de materiais.....	87
36	Painel eletrônico na sala de controle de dosagem de materiais.....	88
37	Central dosadora e misturadora de materiais automática da Uni-Stein.....	89
38	Prensagem dos pisos intertravados .....	89
39	Recolhimento de resíduos de produção .....	90
40	Paletização dos pisos intertravados .....	90
41	Pátio de estocagem de pisos intertravados .....	91
42	Ensaio de granulometria .....	91
43	Ensaio de resistência à compressão .....	91
44	Ensaio de resistência à abrasão.....	91
45	Prensa hidráulica de pisos .....	92
46	Resíduo de produção .....	92

47	Piso de rejeito de minério de ferro - Construcom.....	93
48	Pátio 3 de armazenamento de escória de aciaria – Ipatinga Minas Gerais.....	110

## LISTA DE TABELAS

01 Produção de aço x geração de resíduos e co-produtos .....	36
02 Geração de escória de aciaria conforme os tipos de fornos.....	36
03 Composição química das escórias siderúrgicas.....	40
04 Tabela de relação da resistência x tráfego x espessura do piso intertravado.....	62
05 Comparação de custo do piso intertravado ecológico .....	69
06 Propriedades químicas dos agregados siderúrgicos Usiminas .....	79
07 Composição da escória de aciaria em processos distintos da Usiminas.....	80
08 Relação de dosagem para a mistura de piso intertravado nas dimensões: 20mm x 10 mm x 6mm.....	94
09 Composição física e química das escórias de alto forno e aciaria de acordo com os especialistas em co-produtos .....	114
10 Geração anual de escória de aciaria.....	115

## LISTA DE QUADROS

01 Propriedades físicas e mecânicas das escórias de aciaria .....	42
02 Panorama geral das possíveis aplicações de escória de alto forno, escória de aciaria e escória de aciaria forno panela .....	47
03 Amostras das escórias de aciaria em suas fases de beneficiamento, coletadas no pátio industrial da Silifértil e sua destinação .....	84
04 Resultados dos Especialistas em co-produtos – 1ª fase do questionário eletrônico .....	100
05 Propriedades das escórias de alto forno e aciaria apresentada pelos especialistas em co-produtos .....	113
06 Propriedades dos materiais .....	113
07 O consumidor para as escórias de aciaria .....	116
08 Desafios, perspectivas e oportunidades na busca de inovação .....	116
09 Produtos a serem criados com a escória de aciaria.....	117

## LISTA DE GRÁFICOS

01 Escória de alto forno: 9,5 milhões em 2012 – (a) geração; (b) aplicação .....	38
02 Escória de aciaria: 3,5 milhões em 2014 – (a) geração; (b) aplicação .....	38
03 Representação das respostas do questionário eletrônico para os especialistas em co- produtos .....	99
04 Representação das respostas do questionário eletrônico para os fabricantes de piso intertravado .....	105
05 Panorama das respostas enviadas pelas empresas participantes na pesquisa .....	108

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABM	Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A.C.	Antes de cristo
AF	Alto Forno
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASIC	Agregado Siderúrgico Inerte para a Construção
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for testing and materials
BOF	Basic Oxygen Furnace
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEFET/MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COSIPA	Companhia Siderúrgica Paulista
CPD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CST	Companhia Siderúrgica de Tubarão
D.C	Depois de cristo
DER / MG	Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais
EAF	Electric arc furnace
EGAF	Escória granulada de alto forno
EVA	Etileno-acetato de Vinila
FEA	Forno elétrico à arco
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
FP	Forno Panela
GBC	Green Building Council Brasil
IABr	Instituto do Aço do Brasil
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
ICP	Interlocking Concrete Pavement Institute
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial

ISIJ	The Iron and Steel Institute of Japan
ISO	Internacional Organization for Standardization
JIS	Japanese Industrial Standards
LD	Linz - Donawitz process
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira
NKK	Nippon Kaiji Kyokai
OH	Open Heart
SEMD	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e do Desenvolvimento
Sustentável	
TISCO	Taiyan Iron & Steel Company
USP	Universidade de São Paulo
USIMINAS	Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais
VMB	Vallourec Mannesman Tubes do Brasil
WSA	World Steel Association
WWF	World Wild Life Foundation

## LISTAS DE SÍMBOLOS (FÓRMULAS E EQUIVALÊNCIA DE UNIDADES)

Al	Alumínio
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de alumínio (alumina)
BaSO <sub>4</sub>	Barita
C	Carbono
°C	Grau Celsius
Ca	Cálcio
CaF <sub>2</sub>	Fluoreto de cálcio (fórmula do sal)
CaO	Óxido de cálcio
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
cm	Centímetros
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
CO	monóxido de carbono
CP III	Cimento Portland com escória de alto forno
CPV-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
Cr	cromo
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de cromo
C <sub>2</sub> S	Silicato bicálcio - Belita
C <sub>3</sub> S	Silicato tricálcio – Alita
US\$	Dólar (moeda Americana)
Fck	Resistência Característica do concreto à compressão
Fe	Ferro
FeO	Óxido de ferro
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematita
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Magnesita
Kg	Quilograma
Km	Quilômetro
K <sub>2</sub> O	Óxido de potássio
MgO	Óxido de magnésio
mm	milímetro
MnO	Óxido de manganês
Mo	Molibdênio
MPa	Mega pascal

m	metros
Na <sub>2</sub> O	Óxido de sódio
Ni	níquel
Ph	Potencial hidrogeniônico (potencial de hidrogênio)
SRI	Índice de refletância solar
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Óxido de fósforo
R\$	Real (moeda brasileira)
S	Enxofre
Si	Silício
SO <sub>3</sub>	Trióxido de enxofre
SiO <sub>2</sub>	Óxido de silício (sílica)
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de titânio
T	Tonelada
Ton.	Tonelada
T/ ano	Tonelada por ano
Unid.	Unidade
US\$	Dólar (moeda Americana)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>1.1 Problemática</b> .....	<b>24</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>25</b>
1.2.1 <i>Geral</i> .....	25
1.2.2 <i>Específicos</i> .....	25
<b>1.3 Motivação</b> .....	<b>26</b>
<b>1.4 Justificativa</b> .....	<b>26</b>
<b>1.5 Indicação da metodologia</b> .....	<b>27</b>
<b>1.6 Estrutura da dissertação</b> .....	<b>29</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>31</b>
<b>2.1 Sustentabilidade e reciclagem no aproveitamento da escória de aciaria</b> .....	<b>31</b>
2.1.1 <i>Contexto atual da crise</i> .....	31
2.1.2 <i>A indústria do aço</i> .....	34
2.1.3 <i>Reciclagem da escória de aciaria</i> .....	35
2.1.3.1 <i>Geração da escória de aciaria</i> .....	35
2.1.3.2 <i>Fatores a serem considerados na reciclagem da escória</i> .....	39
2.1.4 <i>Aplicação da escória de aciaria como matéria-prima alternativa</i> .....	46
2.1.4.1 <i>Uso da escória de aciaria na construção civil</i> .....	52
<b>2.2 Pavimento intertravado uma alternativa sustentável na economia de recursos</b> .....	<b>55</b>
2.2.1 <i>Breve contexto histórico</i> .....	55
2.2.2 <i>Projetos e normas</i> .....	57
2.2.2.1 <i>Especificação de projeto</i> .....	57
2.2.2.2 <i>Análise de dimensionamento</i> .....	58
2.2.3 <i>Fatores a serem considerados no uso do piso intertravado para a sustentabilidade</i> .....	60
2.2.4 <i>A produção de pavimentos intertravados com o uso de materiais alternativos</i> .....	64
2.2.4.1 <i>A produção de pisos intertravados com escória de aciaria</i> .....	68
<b>3 INVESTIGAÇÃO EM CAMPO</b> .....	<b>70</b>
<b>3.1 Observações diretas</b> .....	<b>71</b>
3.1.1 <i>Visita técnica à Usiminas</i> .....	73
3.1.2 <i>Visita técnica à Silifértil Ambiental</i> .....	81
3.1.3 <i>Visita técnica à Indústria de pisos intertravados Uni-Stein</i> .....	86
3.1.4 <i>Visita técnica à Indústria de artefatos Construcom</i> .....	92
<b>3.2 Entrevista semi-estruturada</b> .....	<b>95</b>
3.2.1 <i>Análise dos resultados</i> .....	96
<b>3.3 Questionários eletrônicos</b> .....	<b>96</b>
3.3.1 <i>Construção dos questionários</i> .....	96
3.3.2 <i>Especialistas em escória de aciaria das usinas siderúrgicas – 1ª fase</i> .....	97
3.3.2.1 <i>Critérios para as alternativas de respostas</i> .....	97
3.3.2.2 <i>Análise dos resultados</i> .....	98
3.3.3 <i>Empresas fabricantes de pisos intertravados – 2ª fase</i> .....	104
3.3.3.1 <i>Critérios para as alternativas de respostas</i> .....	104
3.3.3.2 <i>Análise dos resultados</i> .....	105

<b>4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>108</b>
<b>4.1 Discussão dos resultados conforme as visitas técnicas .....</b>	<b>109</b>
<b>4.2 Discussão dos resultados conforme a entrevista semi-estruturada.....</b>	<b>112</b>
<b>4.3 Discussão dos resultados conforme aos questionários eletrônicos .....</b>	<b>112</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>120</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>132</b>
<b>APÊNDICE A Resultados obtidos de pisos intertravados com escória de alto forno e escória de aciaria produzidos pela Construcom .....</b>	<b>132</b>
<b>APÊNDICE B Roteiro da entrevista semi-estruturada da empresa Uni-Stein .....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE C Listas de empresas de aço .....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE D Questionário eletrônico dos especialistas em co-produtos siderúrgicos 1ª fase .....</b>	<b>138</b>
<b>APÊNDICE E Solicitações de respostas para as empresas de aço enviado pela assessoria do Instituto Aço Brasil .....</b>	<b>140</b>
<b>APÊNDICE F Justificativa de não preenchimento – empresa de aço 1ª fase .....</b>	<b>141</b>
<b>APÊNDICE G Listas de fabricantes de pisos intertravados .....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE H Questionário eletrônico dos fabricantes de pisos intertravados.....</b>	<b>144</b>
<b>APÊNDICE I Justificativa de não preenchimento do questionário 2ª fase.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXO A Declaração de visita técnica à Usiminas.....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXO B Atestado de visita técnica à Silifértil.....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO C Informação Estratégica FIEMIG .....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO D Deliberação Normativa COPAM N° 195.....</b>	<b>153</b>

## 1 INTRODUÇÃO

*Qual é o preço da industrialização?* Esta pergunta fomenta a inovação da economia para impulsionar o progresso. O setor siderúrgico experimenta um momento único. Atualmente, o resultado de altos investimentos em novas tecnologias visa estimular a sua capacidade de inovação.

O aço é o principal produto da siderurgia, e suas aplicações estão presentes nas indústrias de base, como: construção civil, transportes, construção naval, equipamentos e máquinas. Nesse sentido a indústria apresenta uma demanda insustentável na sua produção, a exemplo da China, com um excesso de oferta, hoje, de aproximadamente 40% da produção mundial deste metal (IABR, 2013).

O crescimento desordenado de grupos siderúrgicos e a expansão de suas usinas dão à siderurgia um destaque incomum, criando um ambiente de alta competitividade. Diante disso, o cenário internacional é marcado pela crescente produção do aço e, conseqüentemente, pelo aumento de geração de seus resíduos. A elevação de custos das matérias-primas, a elevação de custos de disposição de resíduos em aterros, a preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, têm estimulado a busca por alternativas mais sustentáveis para o reaproveitamento de resíduos.

A mudança de paradigma reside na incorporação dos resíduos industriais como matérias-primas em novos produtos, implicando numa atitude de respeito e reconhecimento para o desenvolvimento sustentável da sociedade. Entretanto, cabe ressaltar a necessidade do amparo do conhecimento científico para que a preservação dos recursos naturais se torne específica e preciosa e, não somente respeitada.

O conceito de desenvolvimento sustentável pressupõe na imposição de limites do consumo de recursos para a produção de bens, ou seja, os recursos naturais podem se esgotar e, no futuro a humanidade pagará o preço por isso. Por outro lado, quanto mais alto for o índice de reaproveitamento pela reciclagem dos resíduos nas indústrias siderúrgicas, maiores serão os ganhos ambientais.

Para tanto, esse tema remonta a discussão deste trabalho, no intuito de minimizar a degradação ambiental, através da reciclagem e da reutilização de resíduos. Neste estudo, será abordada a *escória de aciaria*, que é gerada nos processos siderúrgicos, especificamente na fase de refino (aciaria), tanto para usinas integradas ou semi-integradas.

Sendo assim, a pesquisa pretende analisar a potencialidade de uso da *escória de aciaria* como matéria-prima alternativa em *pisos intertravados*. Não obstante, o trabalho servirá para proporcionar um maior conhecimento acerca do assunto, a fim de se formular análises mais precisas ou criar hipóteses que possam ser pesquisadas futuramente.

### **1.1 Problemática**

Todas as atividades industriais geram um impacto no meio ambiente. No caso do setor siderúrgico, envolve grandes volumes de recursos naturais e energia, levando à diminuição da qualidade de vida e comprometimento das futuras gerações. A problemática reside na geração de resíduos na fabricação do aço. Os impactos no ambiente acontecem nas várias fases do processo, desde o transporte, manuseio e preparação da matéria-prima, passando por sua transformação em produtos finais, até a destinação que se dá aos diversos resíduos que resultam dessas várias etapas de produção.

Uma usina siderúrgica integrada a coque é capaz de gerar cerca de 700 kg de resíduos por tonelada de aço líquido. Estimando uma produção de 700 milhões de toneladas de aço por ano, a geração anual de resíduos é da ordem de meio bilhão de toneladas. Segundo dados do Relatório de sustentabilidade do Instituto do Aço Brasil, em 2013, as maiores empresas siderúrgicas do Brasil produziram 19,2 milhões de toneladas de resíduos e co-produtos no ano anterior, sendo 70% reaproveitadas internamente nos pátios das empresas ou vendidas para terceiros. Desse montante, cabe ressaltar que 60% representam os agregados siderúrgicos, denominados escórias, gerados nos processos de fabricação do ferro gusa e na fase de refino do aço, o alto forno e aciaria, respectivamente. De escórias de aciaria, no Brasil, é gerado um volume aproximado de 150 kg/t de aço, nas usinas siderúrgicas. O ciclo do aço é o ciclo da vida [...] 6,6 milhões de toneladas do co-produto escória siderúrgica usada na fabricação de cimento, são suficientes para construir 48 pontes Rio – Niterói (RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE IABR, 2013).

Desse modo, fica evidente que diante da disputa competitiva de mercado, não caberia que as empresas negligenciem seus rejeitos industriais e nem a sua ineficiência da gestão de seus processos ambientais, pois no momento atual, a reciclagem dos co-produtos torna-se uma premissa nas mudanças de paradigmas na produção de bens de consumo para a sociedade.

Nesse contexto, para a formulação da questão norteadora, parte-se do pressuposto que a reciclagem representa melhoria de desempenho e competitividade no mercado, e contribui como valor agregado ao produto final, estabelecendo uma conexão entre a evolução tecnológica e a minimização da degradação ambiental. Esta pesquisa teve duas perguntas de partida, listadas a seguir:

- i. *Como viabilizar o uso da escória de aciaria siderúrgica em novos produtos?*
- ii. *É possível utilizar a escória de aciaria na produção de pisos intertravados?*

A leitura desse cenário despertou uma reflexão sobre uma análise das usinas siderúrgicas visando o desenvolvimento de novos produtos a partir da *escória de aciaria*. Pretende-se verificar a possibilidade de permitir a utilização deste co-produto na produção de piso intertravado, como objetivo geral desta dissertação.

## **1.2 Objetivos:**

### *1.2.1 Objetivo geral*

- i. Analisar o potencial de uso da *escória de aciaria* como matéria-prima na produção de *pisos intertravados*.

### *1.2.2 Objetivos específicos*

- i. Difundir as vantagens técnicas e ambientais de uso da *escória de aciaria* em novos produtos.
- ii. Divulgar o uso da *escória* em novos produtos para projetistas de arquitetura e design.
- iii. Fundamentar o uso da *escória de aciaria* como substituto aos recursos naturais não renováveis.

### **1.3 Motivação**

A motivação para esta pesquisa surgiu da realidade vivenciada por esta pesquisadora durante sua observação do processo siderúrgico em uma usina integrada, onde permaneceu por alguns anos, e de sua ansiedade pela investigação do conteúdo de sua monografia intitulada: “*Subsídios para a Inserção do Design como Estratégia para agregar valor ao Resíduo de Siderúrgica*”, defendida em 2011. Foi intenção desta pesquisadora, dar continuidade, no mestrado, à busca de respostas para novos questionamentos sobre o tema. Todavia, no decorrer do texto produzido, foi possível encontrar argumentos que fundamentam esta investigação.

### **Justificativa**

Ressalta-se a importância do tema desta dissertação, face à extensão e potencialidade de inovação no uso da matéria-prima escória, em novas tecnologias de produção, e pelo fato de existirem poucos estudos científicos que abordem este tema no campo da arquitetura e design. O levantamento dos tipos de pesquisa utilizados, a bibliografia documental e a pesquisa exploratória, pertinentes ao tema, confirmam a utilização desta matéria-prima em novos produtos, em uma dada situação específica de mercado. Neste cenário, a indústria da construção civil é o setor que abrange esta tecnologia no reaproveitamento deste resíduo siderúrgico. E, como a humanidade vive em um complexo processo de mudanças fomentadas pela industrialização, a abordagem deste tema trata da reciclagem como instrumento para a transformação, e contribui para incentivar o trabalho com novos materiais. Surge uma nova tendência de que, no futuro, trabalhar matérias-primas alternativas procede, quando se pensa no avanço do desenvolvimento sustentável, em diversos campos de atuação.

Desse modo, a construção civil é o segmento com a maior propensão de absorver o desenvolvimento de tecnologias para novos produtos produzidos com resíduos industriais, em virtude de possuir um elevado volume de produção, o que possibilita o consumo de grandes quantidades desta matéria-prima. Para tanto os resultados da pesquisa mostraram ser viável o uso da *escória de aciaria* como matéria-prima alternativa em pisos intertravados e também, apontam potencialidades de inovação, como os benefícios da reciclagem na redução de custos do processo de produção, contribuindo na importância de agregar valor ao produto.

#### 1.4 Indicação da metodologia

O procedimento metodológico adotado na pesquisa utiliza uma abordagem qualitativa. Esse tipo de pesquisa procura viabilizar a formulação de cada etapa do trabalho a partir da revisão bibliográfica e desenvolver novos conhecimentos através dos dados coletado em campo.

Esta dissertação foi desenvolvida em três etapas: a primeira constitui de uma revisão bibliográfica a partir de autores que reportam o tema abordado, que pretendeu elaborar um referencial teórico para fornecer fundamentos para a análise da investigação de campo e informações coletadas, além de dar suporte às entrevistas e questionários eletrônicos.

Na segunda etapa da pesquisa é realizada a investigação de campo para a coleta de dados através da observação direta (informações obtidas por quatro visitas técnicas). A primeira visita foi realizada na Usina Siderúrgica – Usiminas em Ipatinga, Minas Gerais, com o intuito de conhecer a origem da matéria-prima *escória de aciaria*, onde e como é gerada, sua quantidade e suas características como co-produto para a inserção na composição de novos produtos. O primeiro contato foi através de uma solicitação de visita técnica em Ipatinga através de correio eletrônico ao departamento de meio ambiente da empresa em Belo Horizonte, que destinou essa comunicação para o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento na planta industrial, localizada no vale do aço.

Após essa etapa foi realizada uma visita guiada a Usiminas, onde foi possível compreender o processo de geração da *escória de aciaria* e a estrutura do CPD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas. Neste momento, surgiu à oportunidade de conhecer alguns pesquisadores, técnicos de operação de aciaria e outros colaboradores, o que possibilitou maior integração com a equipe da organização. No cenário local, a investigação ocorreu por observação direta do processo de geração de *escória de aciaria*. O material relativo às informações deu-se por arquivo pessoal da empresa de acesso disponível ao público externo, bem como fotografias e publicações realizadas por meio de artigos, revistas internacionais.

A segunda visita ocorreu no município de São Joaquim de Bicas, na empresa Silifétil ambiental, cujo objetivo foi de acompanhar o processo de beneficiamento da *escória de aciaria*, sua britagem, a separação da parte metálica e a classificação dos agregados siderúrgicos.

As primeiras informações da empresa foram realizadas através do contato por telefone de seus diretores para o agendamento da visita. Durante a visita foi possível registrar as etapas do beneficiamento, com fotografias e a observação direta. No final foi cedido à autora amostras de escórias com diferentes granulometrias de todos os processos de tratamento do resíduo siderúrgico, incluindo o produto final da empresa, o fertilizante para a agricultura.

A próxima visita é direcionada para a indústria de piso intertravado, com o objetivo de conhecer o processo de fabricação do piso convencional comercializado no mercado. O contato inicial foi realizado através da BLOCOBRASIL – Associação Brasileira da Indústria de Bloco de Concreto, no estado de São Paulo, via telefone, que recomendou uma visita à indústria Uni-Stein – pisos intertravados localizada em Pedro Leopoldo, Minas Gerais.

Na etapa seguinte foi realizado o contato por telefone ao Gerente de produção da Uni-Stein, o engenheiro civil José Eli Goulart, para realização da visita guiada. Durante a visita, realizou-se a observação direta no pátio industrial da empresa, onde foi possível inteirar-se de um sistema integrado computadorizado para a fabricação de *pisos intertravados* convencionais. A análise envolveu desde a etapa do processo produtivo, o recebimento da matéria-prima na indústria até o produto ser disponibilizado para o consumidor final.

A última visita, ainda em Pedro Leopoldo, se refere à indústria de artefatos de concreto Construcom, com o objetivo de conhecer o processo de produção de piso intertravado com resíduos industriais. O contato inicial se deu por telefone com o gerente de produção Sidney Souza que conduziu a visita. Foram apresentados os produtos nos quais, foram inseridos resíduos industriais (resíduo de minério de ferro, escória de alto forno e *escória de aciaria*).

A terceira etapa da pesquisa constitui de uma entrevista semi-estruturada na empresa Uni-Stein, durante a visita realizada na planta industrial, com o gerente de produção Goulart. O procedimento de aplicação do questionário foi de forma livre, seguindo um roteiro de questões abertas, que será explicado na investigação em campo.

E a última etapa da pesquisa refere-se à aplicação de um questionário desenvolvido através de um formulário online na plataforma Google Docs e o mesmo enviado por e-mail, estruturado em duas fases: primeiramente para os especialistas em co-produtos das usinas siderúrgicas da região sudeste do País, e na segunda fase para os fabricantes de *piso intertravados*.

Desde modo foram enviados setenta e um (71) questionários, onde vinte e dois (22) foram respondidos. Os resultados serão apresentados nos capítulos três e quatro desta pesquisa.

Após a coleta dos dados de campo, foram feitas as análises e interpretações, onde se pretende fundamentar se a hipótese central da pesquisa “é possível utilizar a *escória de aciaria* na produção de *pisos intertravados*”, é verdadeira.

### **1.5 Estrutura da dissertação**

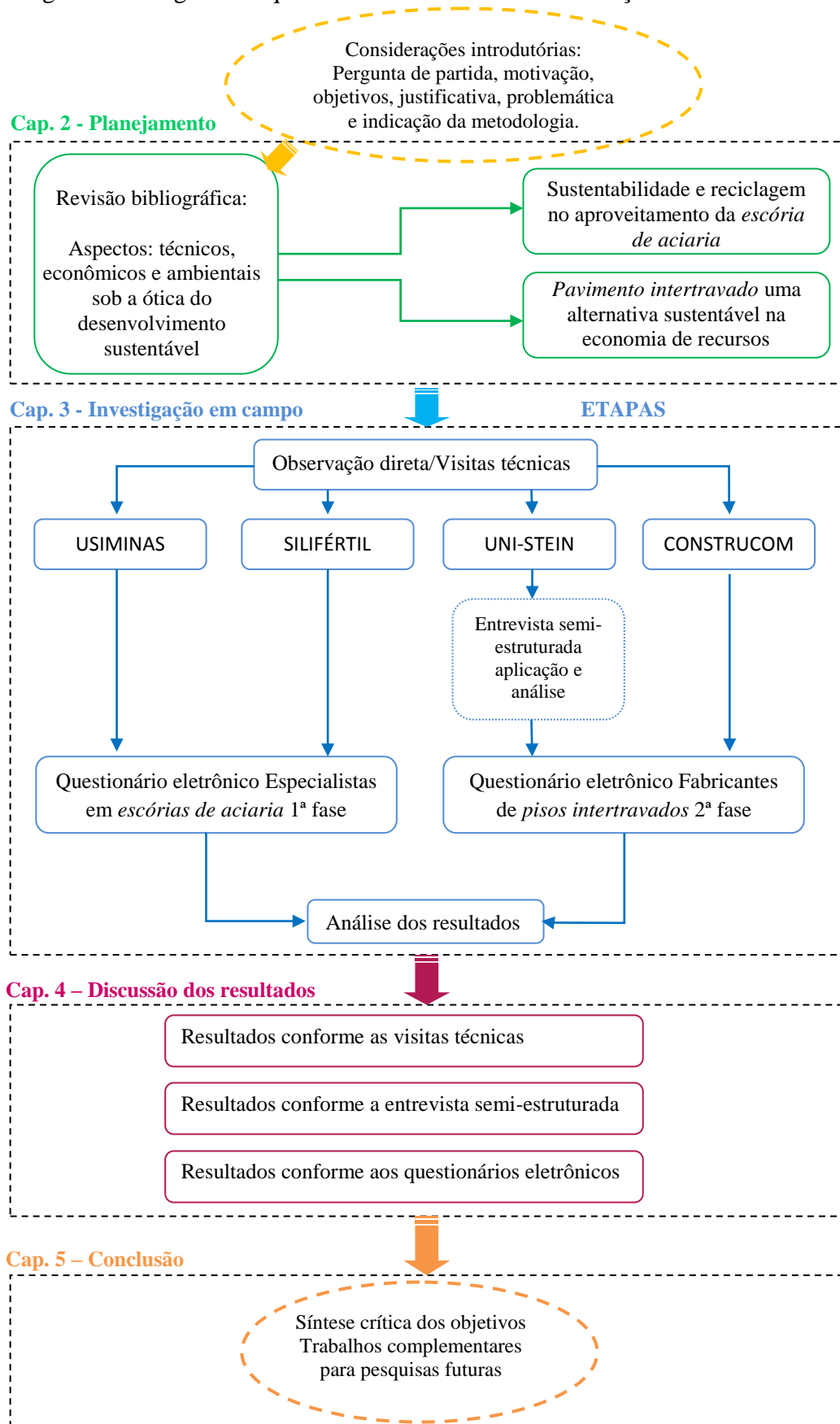
O presente trabalho está organizado em três capítulos, além das considerações introdutórias que revelam o desenvolvimento da pesquisa e a conclusão. No capítulo II, apresentam-se os conceitos e práticas do estudo bibliográfico da *escória de aciaria* e *pisos intertravados* com o intuito de orientar o leitor sobre a análise da investigação, dialogando com os autores que abordam o tema proposto, sendo divididas em duas partes: em primeiro lugar o objetivo é demonstrar a reciclagem no reaproveitamento da *escória de aciaria* e sua importância como matéria-prima alternativa em novos produtos, apresentando suas características e composições, na segunda parte o objetivo é apresentar ao leitor a utilização do sistema construtivo de pavimentação intertravada como recurso na busca da sustentabilidade aplicada ao ambiente construído, demonstrando suas vantagens técnicas, ambientais e econômicas.

O terceiro capítulo apresenta o detalhamento da metodologia utilizada e os procedimentos para a coleta de dados. O capítulo IV apresenta as interpretações dos resultados da coleta de campo, as visitas técnicas, a entrevista semi-estruturada e os questionários eletrônicos.

Na conclusão é realizada uma retomada dos pontos de discussão acerca do objeto de estudo através de uma síntese crítica dos objetivos.

A figura 01 apresenta um diagrama esquemático da estruturação do desenvolvimento da pesquisa.

Figura 01- Diagrama esquemático da estrutura da dissertação



Fonte: Elaborado pela autora, 2015.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A reciclagem da escória de aço é a mola propulsora deste trabalho, pois apresenta o processo de transformação deste resíduo siderúrgico em novos produtos. Desse modo, a revisão bibliográfica busca compor subsídios que abrangem aspectos técnicos, econômicos e ambientais para melhor conhecimento da *escória de aciaria* como matéria-prima alternativa em *pisos intertravados* pautados, sob a ótica do desenvolvimento sustentável. Apresenta-se a seguir os tópicos que serão abordados neste capítulo.

### 2.1 Sustentabilidade e reciclagem no aproveitamento da escória de aciaria

A contextualização no discurso do desenvolvimento sustentável busca destacar a inclusão da reciclagem, tema abordado neste trabalho. Mas, na realidade, o modelo de desenvolvimento adotado atualmente enfrenta uma crise iminente e necessita de uma alternativa urgente, porque destrói a base da própria sobrevivência. Ainda o que se vê é pouco ou nenhum impacto na prática; é necessário aumentar as exigências de posturas éticas e ações sustentáveis por parte de toda a sociedade.

#### 2.1.1 Contexto atual da crise

A mudança paradigmática da prática da sustentabilidade está cada vez mais disseminada nos dias de hoje. A humanidade, nos últimos séculos, assiste ao fortalecimento de uma ordem econômica impulsionada pela revolução científico-tecnológica que dinamiza a economia e cria novos produtos expandindo o mercado. Por outro lado, o comportamento dessa sociedade consumista tem mostrado preocupação com o meio ambiente.

O início do século XX, principalmente após a 2ª guerra mundial, foi marcado por debates que colocava em evidência a preocupação com os aspectos ambientais, o aumento populacional, fome e escassez de recursos naturais. Surge, assim, na sociedade civil entre os anos de 1970 a 1980, uma rede organizada de associações, movimentos, grupos e instituições, articulada com lideranças empresariais e governos. Tais Ong's têm organizado suas atuações com focos em áreas específicas, tais como a social, a do meio ambiente e a educacional. Particularmente, a criação de organizações como a Anistia Internacional e o WWF (World Wild Life Foundation) deram mais forças àquelas entidades e seus movimentos conseguindo, em 1972,

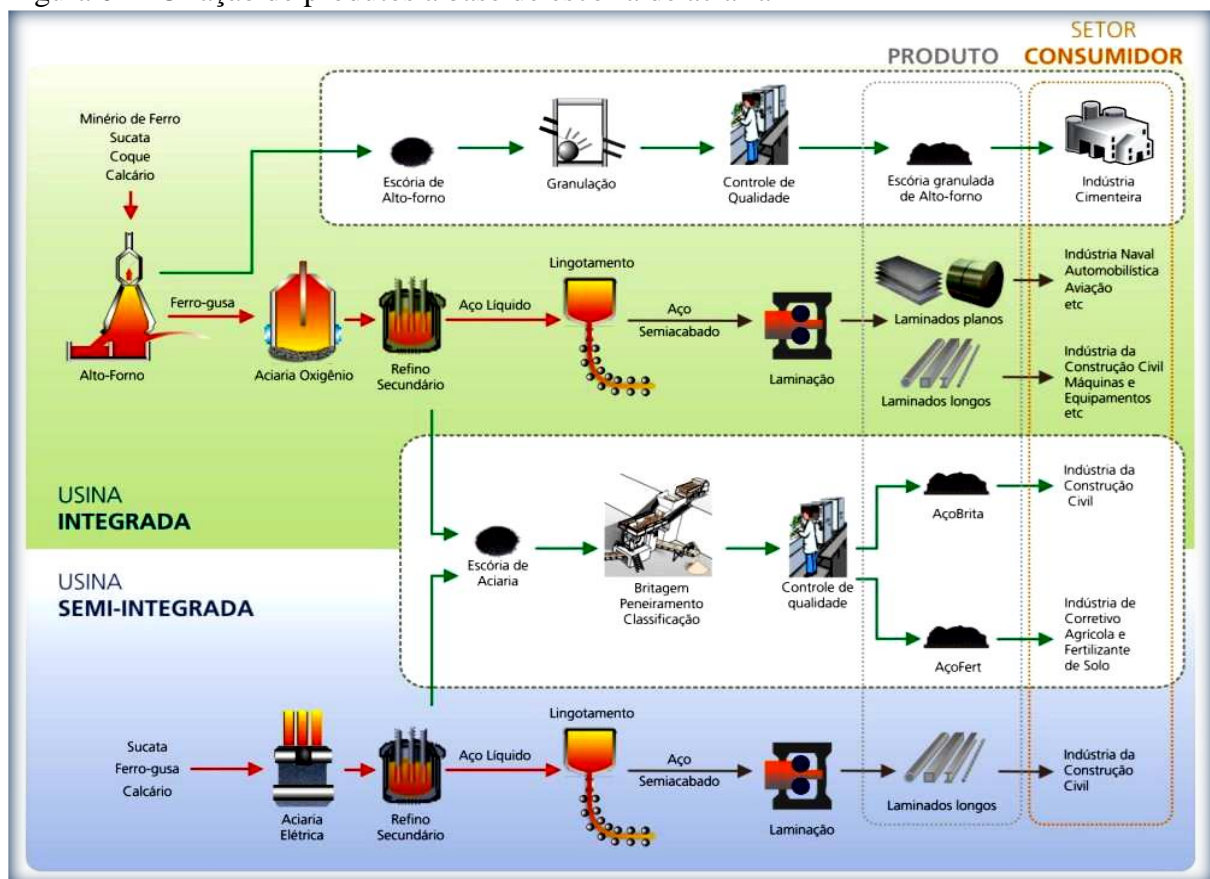
realizar a Conferência de Estocolmo, o primeiro grande evento mundial a tratar da questão da sustentabilidade. Um marco desse movimento de conscientização aconteceu em 1987, na Conferência Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas. Nesse encontro, foi estabelecida a referência para o conceito de sustentabilidade. A humanidade permanece inadequada para lidar com uma evolução tecnológica cada vez mais rápida. Um desafio importante para as nações é de gerenciar os recursos naturais e contribuir para a redução da pobreza, mantendo o sistema de vida ecológico (BRUNDTLAND *et al*, 2012).

No apogeu da história das discussões e práticas em sustentabilidade ocorreu, em 1992, no Rio de Janeiro, Brasil, a realização da maior conferência sobre o assunto: a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD). Durante a Eco'92, a participação de líderes mundiais serviu de palco para a celebração de diversos acordos internacionais, destacando as Convenções do Clima e da Biodiversidade, além da agenda 21. A partir de então, as questões ambientais tomaram ainda mais valor, resultando em acordos com o Protocolo de Kyoto cujo objetivo é diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa na atmosfera (KING *et al*, 2006).

A indústria siderúrgica é base do desenvolvimento industrial de um país; entretanto ela cria problemas ambientais como a contaminação da água, do solo e do ar, dentro e fora das usinas, inicialmente desde a extração do minério de ferro até o produto final. As vítimas dessa poluição são os trabalhadores das usinas e os moradores da região. Diante disso, uma nação para ser desenvolvida terá que aprender a produzir sem destruir o meio ambiente, ou seja, a natureza tem a sua ordem no sistema e, se este equilíbrio for quebrado, as consequências serão graves para a humanidade. Antigamente, grande parte dos resíduos siderúrgicos era depositada sem a menor preocupação com a contaminação do solo. Hoje, descobriu-se o valor comercial deles e, então, os resíduos são reciclados ou vendidos. Quando não tem valor agregado deverão ser tratados para ficar em contato com o solo. Dentro dessa ótica, a reciclagem de resíduos é fundamental para uma sociedade apoiada no desenvolvimento sustentável, capaz de satisfazer as necessidades presentes sem comprometer a capacidade de sobrevivência de gerações futuras. Portanto, estudos voltados para reciclagem ou reutilização dos resíduos representam uma alternativa de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas.

Segundo o Instituto Aço Brasil (2014), neste processo de mudança de paradigma, a indústria do aço está empenhada em aumentar o caminho para o aproveitamento das escórias durante a produção do aço. A escassez de recursos naturais e de energia tem levado as siderúrgicas, juntamente com outras organizações, a desafios tecnológicos importantes para melhorar e aumentar a reciclagem deste co-produto. Enquanto no passado os processos de produção de aço foram projetados exclusivamente para a produção de qualidades específicas de ferro e aço, hoje o objetivo das siderúrgicas é desenvolver processos para a produção de escórias de alta qualidade, de acordo com as exigências do mercado. Na figura 02, apresentam-se novas tecnologias que têm sido investigadas, a fim de alcançar a meta de desperdício zero. Por outro lado, a utilização sustentável das escórias contribui para a economia dos recursos naturais e a redução de emissões de CO<sub>2</sub>.

Figura 02 - Criação de produtos a base de escória de aciaria



Fonte: CERQUEIRA, 2014.

Importante ressaltar que, atualmente, as indústrias da construção civil e de corretivo agrícola e fertilizante do solo são os que mais têm possibilidades de aproveitamento de grandes quantidades deste co-produto siderúrgico, devido ao significativo volume de recursos materiais e energéticos necessários à movimentação do setor.

### 2.1.2 A indústria do aço

Segundo o Relatório de sustentabilidade do Instituto Aço Brasil, o parque produtor de aço no Brasil está instalado em 10 estados, conforme mostra na figura 03, com maior concentração na região sudeste, compreendida por Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Esta região responde por 94% da produção do aço do país e nela estão localizadas todas as seis grandes usinas integradas a coque, além de seis das sete que operam à base de carvão vegetal. O setor possui, atualmente, capacidade instalada para fabricar mais de 47 milhões de toneladas de aço por ano e um parque produtor que conta com 29 usinas, sendo 14 integradas - operam todas as fases do processo de produção do aço: preparação, redução (o minério de ferro é reduzido a partir do coque e da introdução de combustíveis fundentes produzindo ferro-gusa nos altos fornos), e 15 semi-integradas - sua composição é de sucata proveniente de desperdícios de aço, materiais de construção, maquinaria, veículo, ou aço recuperado do processo de produção. Todas de grande porte, controladas por onze diferentes grupos empresariais. (RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE IABR, 2014)

Figura 03 - parque produtor de aço no Brasil



Fonte: CERQUEIRA, 2014.

O cenário industrial siderúrgico, no momento, vive sob o impacto da depressão econômica do país, conforme disposto no site do Instituto Aço Brasil; as vendas de aço tiveram queda de 5,3% no primeiro trimestre de 2015.

A siderurgia opera com um terço de ociosidade na capacidade instalada, em decorrência do excesso de aço no mundo e da perda de competitividade das exportações. O agravante é a entrada de aço estrangeiro no país, em 2015, principalmente da China em 3,7 milhões de toneladas de bens da indústria de autopeças e automóveis (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015).

Para tanto, a parceria entre empresas e universidades seria um estímulo para aumentar o crescimento industrial e econômico de um país e buscar ideias inovadoras para a produção de novas tecnologias como estratégia para elevar a capacidade da competitividade.

### 2.1.3 *Reciclagem da escória de aciaria*

A revisão da literatura pertinente ao tema tem o aporte de vários autores no que tange à aplicação do uso deste co-produto<sup>1</sup>, como por exemplo, Kiessling (1978), trabalho no qual define Escória de aço como sendo “soluções formadas por óxidos de metais, sulfetos e fluoretos parcialmente ou completamente líquidos, menos densos e insolúveis que o aço líquido nas temperaturas de fabricação”.

#### 2.1.3.1 *Geração da escória de aciaria*

Escórias são produtos resultantes de processos industriais destinados a obter, em primeiro lugar, gusa e, em segundo lugar, o aço. Na siderurgia são produzidas a escória de alto forno, a escória de aciaria LD, forno elétrico FEA e a do forno panela. As escórias são essenciais para o refino do aço, pois são responsáveis pela absorção dos elementos indesejáveis à formulação do aço. Na fase de redução, no alto forno, o minério é exposto a temperaturas elevadas e as impurezas contidas na carga são separadas do metal fundido e removido sob a forma de escória (ARAÚJO, 1967).

A *escória de aciaria* é gerada nos processos siderúrgicos especificamente na fase de refino, tanto para as usinas integradas ou semi-integradas. A cada tonelada de aço produzido, geram-se de 70 a 170 kg de escória.

---

<sup>1</sup> Segundo a ISO 14040, co-produtos são quaisquer dois ou mais produtos provenientes da mesma unidade produtiva ou sistema de produto. Os co-produtos do aço são utilizados como matéria-prima ou fonte de energia na própria atividade produtora ou em atividades/processos de terceiros (ISO 14040, p.9.2006).

No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Siderurgia, IBS, a produção de aço deve alcançar 60 milhões de toneladas de aço nos próximos anos, ou seja, haverá um acréscimo de produção de 25 milhões de toneladas de aço por ano. A tabela 01 apresenta a relação da produção do aço e a geração de seus co-produtos até 2009 e a previsão para o ano de 2016.

Tabela 01 - produção do aço x geração de resíduos e co-produtos (unid. Tonelada)

Período	Produção de aço	Geração de:			
		Escória	Lamas	Fino e pós	Outros
2008	33,7	13	1,5	2,6	2,2
2009	26,5	10,1	1	2,4	3,3
2016	77	29,2	3,4	5,9	7,3

Fonte: Relatório de sustentabilidade IABr, 2014 (adaptada pela autora, 2014).

Este acréscimo de produção acarretará uma geração adicional anual de aproximadamente três milhões de toneladas de *escória de aciaria*, tornando-se assim imprescindível o desenvolvimento de novos mercados. Entretanto, hoje após seu beneficiamento e controle de qualidade, a *escória de aciaria* passa a ser classificada como agregado siderúrgico, podendo ser aplicada em lastros ferroviários, sub-bases, bases e capas asfálticas de pavimentos rodoviários, estradas vicinais, gabiões, rip-rap, corretivos e fertilizantes de solo (IABR, 2015).

A tabela 02 apresenta a geração de *escórias de aciaria* até 2009 e a previsão para 2016.

Tabela 02 - Geração escoria de aciaria conforme os tipos de fornos (unid. Tonelada)

Período	Produção de aço	Geração de		
		Escória de aciaria	Escória LD	Escória FEA
2008	33,7	4,7	3,4	1,3
2009	26,5	3,7	2,4	1,3
2016	77,0	10,7	7,7	3,0

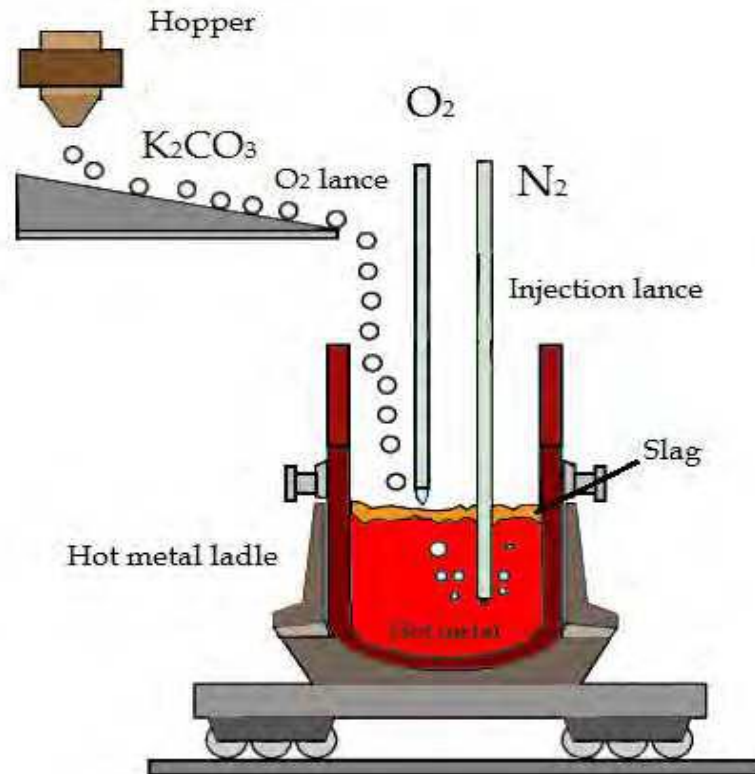
Fonte: Relatório de sustentabilidade IABr, 2014 (adaptada pela autora, 2014).

Cabe ressaltar que existem três processos para a fase de refino do aço, o mais usado no mundo é realizado através do forno com injeção de oxigênio (Linz Donawitz – LD<sup>2</sup> ou Basic Oxygen Furnace – BOF), o forno elétrico a arco (Electric Arc Furnace - FEA), denominado de arco voltaico onde é gerado por uma corrente elétrica OH (Open Heart) que utiliza o forno Siemens-Martin (RIZZO, 2005).

<sup>2</sup> Em novembro de 1952 foi iniciada a operação de uma aciaria com capacidade de 250.000 t/ano e um convertedor de 30 toneladas na cidade de Lins, Áustria. Em 1953 uma planta com capacidade similar entrou em operação na cidade de Donawitz, que iniciaram este processo. Assim o termo LD, foi estabelecido em homenagem às duas cidades austríacas, Lins e Donawitz (RIZZO, 2005, p. 79).

A figura 04 apresenta o processo de fabricação de aço na fase de refino.

Figura 04 - Convertedores do tipo de forno LD



Fonte: BRANCA; COLLA, 2012.

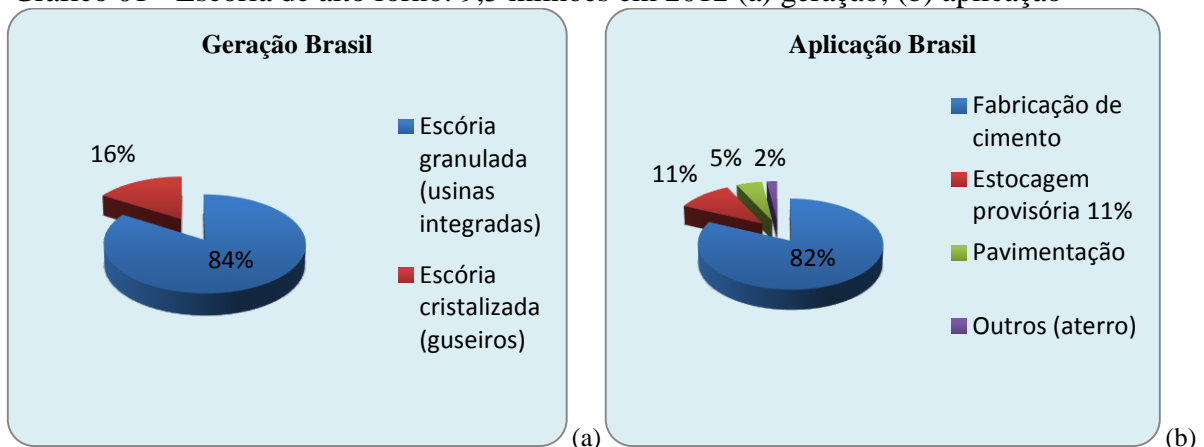
A escória de forno-panela é outro resíduo da fase de refino do aço que, em alguns casos, entra nas estatísticas como *escória de aciaria*, mas que, em função de características próprias, deve ser tratada de forma independente das demais escórias. Sua geração é da ordem de 10 a 40 kg por tonelada de aço, o que é um volume apreciável. Por apresentar características diferentes, não deve ser misturada com a *escória de aciaria*, tanto por razões técnicas quanto legais, pois a legislação proíbe a mistura de resíduos com características diferentes. Uma característica importante da escória de forno-panela é sua instabilidade dimensional durante o resfriamento, o que a torna bastante pulverulenta, fato que dificulta o seu manuseio (JAPAN INDUSTRIAL STANDARDS - JIS A 5015, 1992).

Hoje, na Europa, 20 milhões de toneladas de escória siderúrgica são produzidas durante o ano, incluindo a *escória de aciaria* BOF e escória de alto forno (gerada no processo de redução).

Este resíduo, chamado de co-produto gerado nas principais siderúrgicas da Europa é beneficiado em plantas industriais para a produção de agregados e misturas em conformidades com normas e padrões europeus (MOTZ *et al*, 2013).

O Brasil é um país em desenvolvimento, possuidor de matérias-primas, fator excepcional para o pólo industrial siderúrgico que, na produção do aço gera 13 milhões de toneladas de escória de aço, tanto para o alto forno e aciaria. Disseminar e ampliar o uso da escória como substituto aos recursos naturais não renováveis também é um dos objetivos do Instituto do aço Brasil, de forma ambientalmente sustentável, socialmente responsável e economicamente viável. No gráfico 01, apresentam-se o panorama de geração e aplicação das escórias de alto forno das usinas siderúrgicas no Brasil. Total de 9,5 milhões de toneladas no ano de 2012.

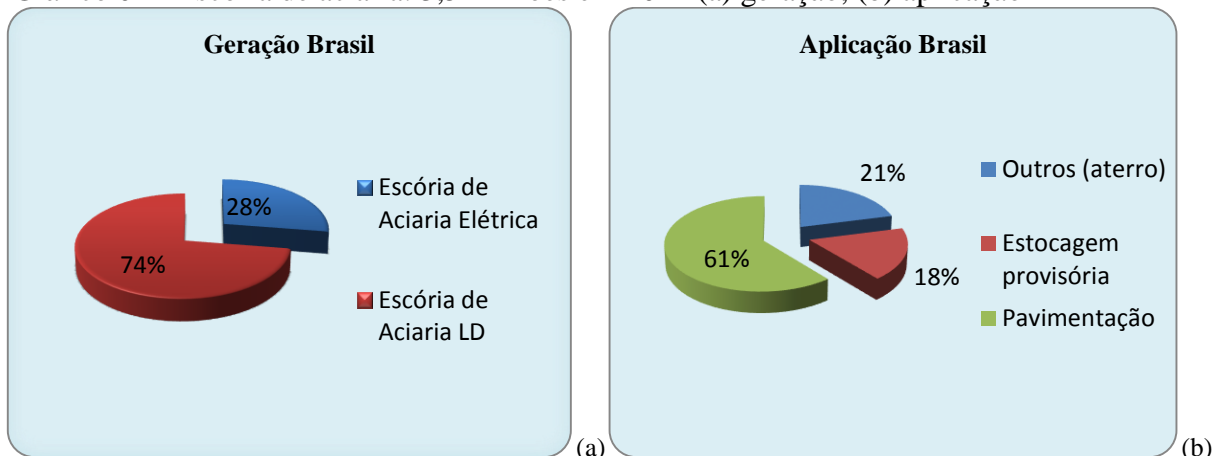
Gráfico 01 - Escória de alto forno: 9,5 milhões em 2012 (a) geração; (b) aplicação



Fonte: CERQUEIRA, 2014, (adaptado pela autora, 2015).

O gráfico 02 mostra o panorama de geração e aplicação das *escórias de aciaria*.

Gráfico 02 - Escória de aciaria: 3,5 milhões em 2014 (a) geração; (b) aplicação



Fonte: CERQUEIRA, 2014, (adaptada pela autora, 2015).

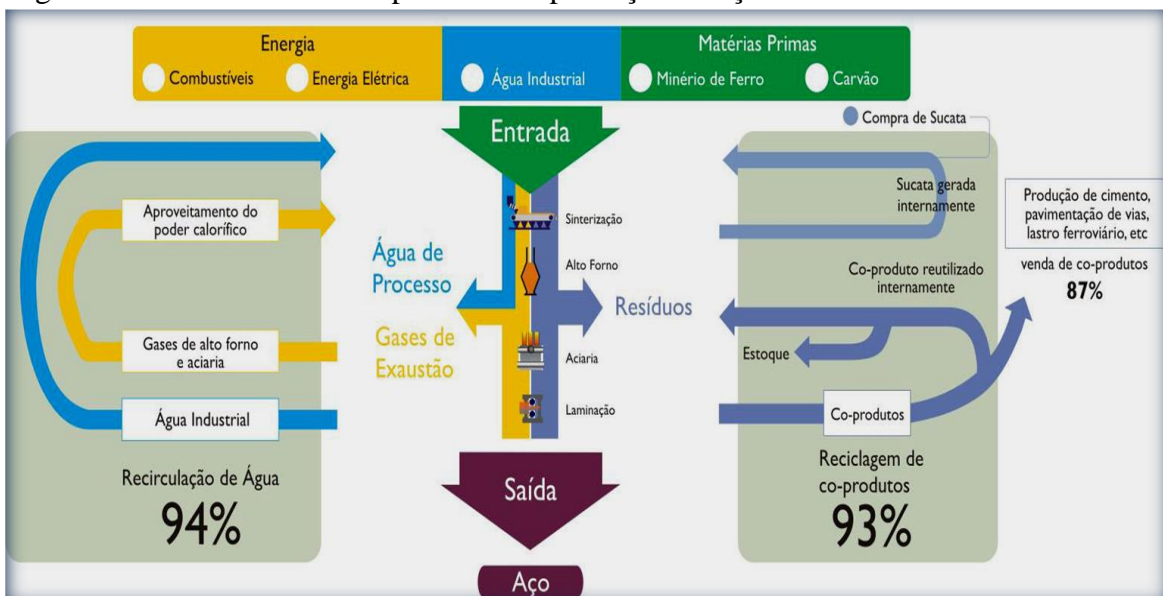
### 2.1.3.2 Fatores a serem considerados na reciclagem da escória de aciaria

Para a reutilização e reciclagem de resíduos como material efetivo, a maioria deles, muitas vezes, necessita de extensivas operações de separação de contaminantes. Estes processos, inevitavelmente, consomem energia e produzem seus próprios efeitos ambientais. Estes efeitos são, por vezes, diferentes qualitativa e quantitativamente dos efeitos do produto primário processado. Portanto, é necessário fazer uma avaliação compreensiva dos prováveis efeitos ambientais trazidos pelo processo primário e pela rota de reciclagem antes da implementação de algum tipo de reciclagem.

A Diretiva Européia sobre Resíduos inclui a escória siderúrgica não processada na lista de resíduos, porém a escória tratada é considerada produto - não é considerada resíduo; para o Canadá e os Estados Unidos a escória siderúrgica e outros materiais, antes designados como resíduos sólidos, já são classificados como co-produtos. Em nenhum dos países pesquisados, as escórias são classificadas como resíduo perigoso ou não passível de reciclagem (RAMOS, 2008).

Um sistema para gerenciar resíduos industriais deve prever todo o ciclo do processo, conforme demonstra a figura 05. Os efluentes, emissões e resíduos são tratados para serem reciclados ou reaproveitados ao máximo.

Figura 05 - Eco-eficiência no processo de produção do aço



Fonte: CERQUEIRA, 2014.

i. *caracterização físico-química das escórias siderúrgicas*

Para Geyer (2001), a caracterização das escórias siderúrgicas é um importante passo para a sua reciclagem, pois determina o fator que condiciona a seleção dos potenciais de aplicação. A escória consiste basicamente de óxido de cálcio, óxido de magnésio, óxido de silício e óxido de alumínio ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{AlO}_3$ ), óxidos de ferro e traços de outros elementos. A escória de alto forno difere quimicamente da *escória de aciaria* principalmente no que diz respeito ao teor de ferro contido.

Portanto, será apresentada na tabela 03 a porcentagem dos elementos químicos das escórias.

Tabela 03 - Composição química das escórias siderúrgicas de aciaria

Componentes	Aciaria		Escórias	Alto Forno %
	Forno Elétrico %	LD %	Forno Panela %	
CaO	30 a 35	6 a 45	45 a 55	42
SiO <sub>2</sub>	15 a 20	7 a 16	20 a 25	34
MgO	8 a 12	1 a 9	8 a 12	6
MnO	3 a 6	3 a 7	3 a 9	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 a 9	1 a 4	0,5 a 3,5	14
FeO	25 a 35	8 a 30		-
CaO livre	-	0 a 8		-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	1 a 6		-
S	-	0,13		-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,35		-
I = CaO/SiO <sub>2</sub>	1,75 a 2,00	0,86 a 2,8	2,2 a 2,25	1,23
SO <sub>3</sub>	-	0,5		-

Fonte: GUMIER1, 2002; GEYER, 2001 (adaptada pela autora, 2015).

Origem primária dos principais componentes da *escória de aciaria*.

CaO	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ cal</li> <li>✓ dolomita</li> <li>✓ cálcio aluminatos</li> <li>✓ refratários (dolomita)</li> </ul>
MgO	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ dolomita</li> <li>✓ magnésia adicionada</li> <li>✓ Refratários (magnesianos e dolomita)</li> </ul>
SiO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Oxidação do Si do gusa e sucata</li> <li>✓ produto da desoxidação</li> <li>✓ areia</li> <li>✓ refratários (alta alumina e sílico aluminosos)</li> </ul>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ oxidação do Al da sucata</li> <li>✓ produto da desoxidação</li> <li>✓ Adição de Al</li> <li>✓ Cálcio aluminatos</li> <li>✓ Bauxita (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) adicionada</li> <li>✓ Refratários com Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> </ul>
CaF <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Produto da oxidação</li> </ul>
FeO	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ sucata metálica</li> <li>✓ Areia do pátio de sucata</li> <li>✓ Produto da oxidação</li> </ul>
MnO	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ sucata metálica</li> <li>✓ Desoxidação do aço</li> <li>✓ Produto da oxidação</li> </ul>

A utilização de *escórias de aciaria* está totalmente condicionada às características físicas, mecânicas, químicas, ambientais e mineralógicas que estes materiais apresentam. Entretanto, o reaproveitamento destes resíduos precisa estar balizado por pesquisas e regulamentações que venham a monitorar e minimizar este fenômeno buscando, dessa maneira, a adequação e a aplicação dos mesmos de acordo com suas características e propriedades. O quadro 01 apresenta as propriedades físicas e mecânicas das *escórias de aciaria*.

Quadro 01 - Propriedades físicas e mecânicas das *escórias de aciaria*

Propriedades	Características	Aplicações correspondentes
Massa específica do grão	Partículas angulares interligadas	Concreto/asfalto/lastro
Absorção de água	Teor de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel	Fertilizantes/uso agrônômico
Atrito	Resistência a derrapagem	Concreto/asfalto
Resistência ao descascamento	-	Concreto/asfalto
Alta estabilidade	Inércia	Base de estradas/preparo do terreno
Resistência à deformação	Compressão	Concreto/asfalto/lastro/bases de estrada
Durabilidade	Resistência ao intemperismo	Concreto/asfalto/lastro/bases de estrada
Índice de umidade	Retenção de umidade	Concreto/asfalto
Hidraulicidade	Endurecimento da reação com água	Cimento/asfalto
Coloração	Cinza	Geral
Índice de abrasão	Drenagem livre	Lastro/bases de estrada/preparo de terreno
Basicidade	CaO Contido	Cimento/uso agrônômico

Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

## ii. Aspecto ambiental – Regulamentações e normas

Num processo de reaproveitamento de um resíduo sólido ser bem sucedido, existem várias etapas que devem ser cumpridas para assegurar de forma sistematizada o seu uso comum e proporcionar os meios necessários ao desenvolvimento tecnológico.

No que se refere ao uso da escória ainda não existe legislação. Para fins deste trabalho, limitou-se a apresentar somente a legislação aplicada aos resíduos sólidos.

Portanto a análise ambiental baseia-se principalmente no risco da utilização dos resíduos provocarem impacto direto ao meio ambiente como, por exemplo, a poluição do ar, a contaminação do subsolo e da água por lixiviação<sup>3</sup> ou arraste, dessorção<sup>4</sup> em meio líquido de elementos poluentes tais como metais pesados ou substâncias tóxicas para o meio ambiente.

A ABNT publicou, em 31 de Maio de 2004, a nova série de normas técnicas para a definição e classificação de resíduos sólidos industriais (ABNT, 2004a; ABNT, 2004b; ABNT, 2004c). Estas normas caracterizam tais resíduos, no estado sólido e semi-sólido, como resultado de atividades industriais como, por exemplo, a siderurgia na produção do aço. A maneira de se determinar a classificação de um resíduo é feita através de ensaios de lixiviação e solubilização que, segundo as normas, exigem uma moagem do material.

Em conformidade com as prescrições das Normas de classificação da série NBR, a *escória de aciaria* é classificada como resíduo: **Classe II B – Não Perigoso – Inerte**<sup>5</sup>.

Ressalta-se a importância do conhecimento da deliberação normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM nº 195, de 03 de abril de 2014 nesta pesquisa. Esta norma estabelece as exigências de prestação periódica de informações sobre a *escória de aciaria*, beneficiada ou não. A partir desta publicação os responsáveis pela geração e pelo recebimento da *escória de aciaria* e, que repassam esse resíduo a terceiros para ser utilizado ou beneficiado, ou ainda para uso próprio passam a ter obrigações conforme diretrizes definidas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável – SEMAD.

Os anexos C e D apresentam as exigências da norma (*Deliberação Normativa - COPAM Nº 195, 03 de abril de 2014*).

---

<sup>3</sup> NBR 10005 – Lixiviação de resíduos (ABNT, 2004), caracterizam ou definem os resíduos como perigosos quando, apresentarem valores de poluentes no extrato lixiviado em concentração superior aos padrões constantes na listagem nº 07 anexa à norma.

<sup>4</sup>Dessorção térmica é um processo físico de separação que envolve energia térmica para aquecimento do resíduo até que haja a sua descontaminação. É uma tecnologia de recuperação em favor da sustentabilidade, que usa energia térmica proveniente do biogás produzido no aterro para separar fisicamente compostos voláteis do solo visando à descontaminação do mesmo para ser reutilizado. Disponível em: <<http://www.essencis.com.br/tratamento-e-destinação-de-resíduos/tdu>> . Acesso em: 20 fev. 2014.

<sup>5</sup> A Norma NBR 10004 considera quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

### iii. Viabilidade técnica e econômica

No estudo de Diniz (2009), a viabilidade técnica e econômica da utilização do resíduo sólido de siderurgia, *escória de aciaria*, como subproduto ou, ainda, como matéria-prima em processos de construção civil está condicionada, também, ao custo de reciclagem, que deve ser igual ou inferior ao custo total para descartá-lo adequadamente.

Também no aspecto econômico este resíduo ocupa grandes áreas de estocagem das usinas, ao custo de U\$5 a U\$20 por tonelada de resíduo depositado (DINIZ, 2009).

Enfatiza-se desse modo, que a relevância para a reciclagem da *escória de aciaria* pode envolver as seguintes ações, conforme o aporte dos autores citados:

- a) contribuição para o meio ambiente conforme (Geyer, 2001);
  - ✓ redução da extração da matéria-prima natural e ao mesmo tempo contabilizar custos ambientais que se economizam com obras de proteção ambiental e recuperação de áreas degradadas;
- b) diferencial produtivo (Cerqueira, 2014);
  - ✓ produção de novos materiais de base tecnológica com redução de custo
- c) desenvolvimento e sustentabilidade do processo industrial siderúrgico (Cerqueira, 2014);
  - ✓ deve-se considerar a adoção de rotas de reaproveitamento dos co-produtos pelo setor siderúrgico que privilegiem o conceito de “disposição zero de resíduos”, ou seja, o reaproveitamento total dos co-produtos gerados;
  - ✓ Desenvolver centros de reciclagem dentro das usinas que possibilitem a reciclagem das escórias;
  - ✓ Buscar parcerias com centros de reciclagem estrategicamente posicionados e buscar inovação em soluções conjuntas para se obter melhores resultados;

- ✓ Buscar parceiros localizados junto às usinas para processarem todo o co-produto a ser reciclado, desde a fase de deposição da escória líquida para resfriamento até a classificação e separação da granulometria;
- d) disponibilização de oportunidades (Cerqueira, 2014);
- ✓ privilegiar a busca de aplicações com maior valor agregado, a fim de aumentar o raio de alcance entre o produtor e o mercado consumidor;
- e) benefícios diretos para os arranjos produtivos locais (Cerqueira, 2014);
- ✓ beneficiamento e aplicabilidade no desenvolvimento tecnológico da região;
  - ✓ o uso da escória seria ideal para a sua utilização em áreas próximas às siderúrgicas, pois apresentam um custo inferior à brita;
  - ✓ distância de até 80 km das usinas para pavimentação rodoviária;
  - ✓ distância de até 150 km para a utilização em lastro ferroviário;
- f) sociedade e comércio (Cerqueira, 2014);
- ✓ redução do consumo de energia;
  - ✓ levantamento dos nichos de mercado existentes para as aplicações identificadas;

iv. *Expansibilidade volumétrica – fator de limitação de uso*

Nas *escórias de aciaria*, o fenômeno da expansão é decorrente da oxidação e da corrosão do alto teor de ferro metálico que fica retido no sopro ou no vazamento do aço líquido, ou seja, pequenas partículas metálicas são incorporadas durante o sopro de oxigênio ou mesmo durante o vazamento e permanecem presentes na composição da escória, mesmo após todo o processo de separação magnética que ocorre nos pátios de beneficiamento das siderúrgicas.

Para GEYER (2001), o principal fator limitante da reutilização das *escórias de aciaria* é exatamente a cal livre que permanece como parte de sua matéria-prima que ainda não reagiu.

Para tanto, neutralizar a ação desta cal ou ainda eliminá-la da escória de forma econômica e identificar um ensaio que permita avaliar o aspecto estabilidade volumétrica deste co-produto, é um desafio a ser vencido para o melhor aproveitamento deste resíduo. A figura 06 mostra este fenômeno.

Figura 06 - Fenômenos da expansibilidade do uso da escória de aciaria



Fonte: MANCIO, 2001.

#### 2.1.4 Aplicação da escória de aciaria como matéria-prima

No contexto histórico da humanidade, a geração de escória é tão antiga quanto à produção de ferro, pois data de 2000 AC. No século 350 DC, surge o primeiro relato de seu uso com o filósofo grego Aristóteles, que apontou a utilização da escória como medicamento curativo de feridas. No apogeu das guerras dos séculos XIV e XV, a Alemanha utilizava escória de ferro para fazer bolas de canhão. A história do uso da escória de ferro também reporta ao tempo do império Romano, cerca de 2000 anos atrás, pela sua aplicação na construção de base das estradas. Em 1652, na Inglaterra, começaram a ser aplicadas as escórias nas estradas; inicia-se, desde então, uma nova era para o uso da escória, as descobertas de suas propriedades químicas e físicas indicam a sua aplicabilidade para trabalhos de técnicas de construção. Relatos afirmam que até o ano 1880, blocos de escória eram confeccionados, em uso geral, para a pavimentação das ruas na Europa e nos Estados Unidos (EUROSLAG, 2015) <sup>6</sup>.

No Brasil em 1980, no estado do Espírito Santo, iniciaram a aplicação deste material em vias e pavimentos. Atualmente, as principais aplicações da *escória de aciaria* é para pavimentação, lastro ferroviário, agricultura e construção civil. No quadro 02, pode-se obter hoje uma visão geral das possíveis aplicações das escórias siderúrgicas do Alto Forno AF, Aciaria e Forno Panela FP.

<sup>6</sup> Euroslag – é uma associação europeia de organizações e empresas preocupadas com todos os aspectos da fabricação e utilização de produtos de escória de aço.

Quadro 02 - Panorama geral das possíveis aplicações da escória de Alto Forno, Aciaria e Forno Panela

(continua)

Possibilidades de Aplicação						
Segmento industrial	Usos	Escória			Escórias não beneficiadas	Escórias beneficiadas
		Alto forno	Aciaria	Forno Panela		
Construção pesada	Asfalto	√	√			√
Construção civil	Cimento portland	√	√	√		√
Construção civil	Cimento sem clinquer	√				√
Construção civil	Aterro		√	√	√	
Construção civil	Lã mineral	√	√			
Construção civil	Lastro ferroviário		√		√	
Construção pesada	Bases de estrada	√	√	√		√
Siderurgia	Reciclagem p/ forno		√		√	√
Construção pesada	Drenos rodoviários	√	√		√	√
Construção civil	Cobrimento de pátios	√	√	√	√	√
Agricultura	Corretivo agrícola	√	√	√		√
Construção civil	Rip rap		√	√		√
Construção pesada	Tratamento anti pó		√	√	√	
Construção civil	Jateamento estruturas			√	√	√
Construção civil	Gabiões		√	√	√	√
Saneamento	Berços de rios		√	√	√	√
Saneamento	Tratamento águas		√	√	√	√
Construção civil e pesada	Proteção de talude		√	√		√
Construção civil e pesada	Meio-fio	√	√	√		√
Construção civil e pesada	Piso de concreto	√	√	√		√
Construção civil e pesada	Pré-moldados	√	√	√		√
Construção pesada	Manilhas e tubos	√	√	√		√
Agricultura	Substituto do calcário		√			√
Siderurgia	Minério de ferro		√		√	
Siderurgia	Clínquer	√			√	√

Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

(continuação)

(conclusão)

Possibilidades de Aplicação						
Segmento industrial	Usos	Escória			Escórias não beneficiadas	Escórias beneficiadas
		Alto forno	Aciaria	Forno Panela		
Construção civil	Vitrocerâmica	√	√	√		√
Construção civil	Porcelanato	√	√	√		√
Construção civil	Vidro	√				√
Construção civil	Argamassa	√	√	√		√
Construção civil	Tijolo de solo-cimento		√	√		√
Construção civil	Agregado para construção		√	√		
Saneamento	Recifes artificiais		√	√	√	√
Construção pesada	Agregado para barreira		√		√	√
Química	Produção de biocombustível	√	√		√	√
Construção pesada	Perfis New jersey	√	√			√
Construção civil e pesada	Argamassa de gesso			√		√
Química	Creme dental				√	√
Construção civil	Fabricação de telhas	√		√	√	
Construção civil	Espuma vítrea	√			√	√
Química	Imobilizador do cromo	√			√	√
Construção civil e pesada	Redução de aterramento	√			√	√
Siderurgia	Recuperação de teores metálicos		√		√	√
Construção civil e pesada	Concreto	√	√			√

Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

i. *Uso na agricultura como fertilizante*

O primeiro experimento do uso da escória como fertilizante agrícola foi em 1859, na Estação de Rothamsted, na Inglaterra, conduzida pela sugestão do agrônomo e químico alemão Justius Von Liebig. Entretanto, foi no Japão que o uso da *escória de aciaria* como fertilizante foi regulamentado e, assim, determinou-se que este produto produzido para a agricultura é potencialmente composto de minerais que controlam a acidez do solo, auxiliam no controle de pragas e melhoram a qualidade do produto. Também, na China, a siderúrgica Taiyuan Iron & Steel (TISCO) fabricou um produto de *escória de aciaria* rico em silicato de cálcio que tem apresentado resultados positivos para a agricultura. Tal tecnologia é fator relevante para as regiões chinesas, visto que dados estatísticos revelam que 50 milhões de hectares são insuficientes em silício no seu solo e este sofre com os efeitos da chuva ácida nas explorações de mineração e carvão (HARSCO, 2014).

Cabe ressaltar que, hoje, no Brasil, existem três empresas que utilizam a matéria-prima escória para agricultura: a Harsco Metals Minerais, multinacional americana, instalada em vários estados brasileiros, principalmente na região sudeste; a Silifértil, empresa nacional, localizada em Minas Gerais, no município de São Joaquim de Bicas e a PHI, empresa nacional localizada nos estados de Minas Gerais, município de Cláudio e no Rio de Janeiro.

Na figura 07, segue a estocagem do produto fertilizante da Harsco Metals Minerais, o Agrosilício Plus, ensacado na quantidade de 50 Kg e comercializado em todo território nacional.

Figura 07 - Agrosilício Plus, fertilizante da Harsco Metals Minerais, Timóteo/MG.



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

ii. *Barreiras para dissipação de ondas marítimas*

Segundo a argumentação de Tanabe e Nakada (2003, p 18-27), com a *escória de aciaria* é possível conceber blocos para serem utilizados para dissipar energia das ondas marítimas, obtendo uma forma de barreira única contra as marés. Antes eram utilizados blocos de pedra natural que não possuíam formas padronizadas não permitindo, assim, um melhor arranjo entre elas e fazendo com que, em um curto espaço de tempo, a força do mar vencesse estas barreiras artificiais. Diante deste fato, a execução da barreira com a escória siderúrgica não só obtém um elemento de peso, como também de maior resistência ao impacto. A figura 08 apresenta os blocos também denominados de quebra-mares produzidos com matéria-prima de *escória de aciaria* que foram instalados na costa do Golfo Pérsico na cidade de Esfahan, Iran em 2010.

Figura 08 - Blocos com escória, Golfo pérsico, Iran



Fonte: M.H. JOULAZADEH; F. JOULAZADEH, 2010.

iii. *Recifes tetrápodes*

Takahashi e Yabuta (2002), do Centro de Tecnologia da NKK, Siderúrgica japonesa, introduziram inovação na sua pesquisa para a aplicação da *escória de aciaria*. Esta nova tecnologia consiste na confecção de blocos de escória ou recifes artificiais marítimos, com o objetivo de promover a biodiversidade e o desenvolvimento sustentável para o território japonês. O experimento realizado permitiu investigar o efeito de blocos de escória no cultivo da biodiversidade marinha. Em novembro de 1997, foram introduzidos blocos de *escória de aciaria* no fundo do mar da costa da cidade de Hiroshima e, em 1998, pôde-se identificar o crescimento de plantas marinhas e de peixes ao redor dos blocos. Percebeu-se que a superfície dos blocos feita com escória é porosa e composta por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), a mesma substância que compõe os recifes. Este fato promove a ampliação da quantidade de espécies

de plantas e animais marinhos nos blocos e em suas proximidades. As cavidades presentes nos blocos, devido à porosidade e ao pH neutro do material que não agride ao meio ambiente, são consideradas uma das causas do desenvolvimento a que se chegou. O crescimento de plantas marinhas em blocos de escória foi comparado ao do bloco de granito e ao de concreto, com as mesmas dimensões e no mesmo local. Os blocos de escória apresentaram maior crescimento de plantas marinhas em sua superfície.

Isawa (2013) constatou o efeito positivo do óxido de ferro presente na *escória de aciaria* como regulador do equilíbrio da água do mar, contribuindo para a biodiversidade com o aumento de algas e corais, através dos blocos de escória instalados na costa marítima japonesa. O importante desenvolvimento desta barreira é prevenir as grandes catástrofes.

No Brasil, a ArcelorMittal Tubarão, no Estado do Espírito Santo, desenvolveu uma parceria com o Instituto Ecos para a inserção de recifes em forma de pirâmides. O projeto conta com a participação da comunidade local e seu intuito é o de gerar ações de educação ambiental e oportunidade de trabalho para os habitantes do Município de Serra, na costa capixaba (ARCELORMITTAL, 2014).

#### iv. *Produção de biodiesel*

Kashiwaya *et al*, (2007), comprovaram a possibilidade da *escória de aciaria* LD, como catalisador de produção de biodiesel. No estudo apresentado ao ISIJ Internacional, intitulado “*Catalytic Effect of Slags on the Formation of Biodiesel Fuel*”, o experimento do aquecimento térmico da escória a 1000°C, no período de 24 horas resultou no potencial de elevação de teor do éster metílico em 56% de ácido graxo, que consiste no principal componente do biodiesel.

#### v. *Tratamento de águas residuárias*

Ramakrishna *et al*, (1997), estudaram em escala de laboratório a aplicação da *escória de aciaria* para remoção de coloração provocada por tintas em águas residuárias. Justifica-se a utilização da *escória de aciaria* como substituta do carvão ativado no processo de absorção das impurezas iônicas pelo fato de suas partículas possuírem alta porosidade, grande área superficial e elevada variedade de tamanhos.

vi. *Perfis New Jersey*

Em sua pesquisa de mestrado, Pacheco (2012) comprova a indicação da escória ao perfil new jersey, atribuindo sua boa característica mecânica ao impacto no uso de barreiras de segurança. Este tipo de produto é usado para isolar os veículos no fluxo de tráfego, com objetivo de minimizar o impacto, através da angulação na base do perfil.

Apresenta-se a seguir a aplicação da *escória de aciaria* no segmento industrial da construção civil, foco deste estudo.

2.1.4.1 *Uso da escória na construção civil*

No início do século XIX, com o advento da industrialização e do avanço tecnológico, as indústrias passaram a produzir mais, gerando grandes quantidades de escórias. Sendo assim, surgiu a necessidade de encontrar novas aplicações, tais como: o uso da escória como agregado para concreto e principalmente na produção de cimento. Então, a partir desta época, a escória passa a ser chamada na Europa e nos Estados Unidos como subproduto e não mais resíduo (Silveira *et al*, 2004).

i. *Uso para a fabricação de lã mineral.*

A indústria de lã mineral está, cada vez mais, absorvendo matéria-prima alternativa em seus produtos. Atualmente, em sua composição, ela utiliza rocha vulcânica, (entre elas o basalto e o calcário), juntamente com a *escória de aciaria* na proporção de 97%. Durante a fabricação da lã, a rocha e a escória siderúrgica (aciaria e alto forno) são fundidas em forno aquecido a 1500°C, que são transformados em filamentos aglutinantes, tais como amido e cal, que permitem a fabricação de produtos leves, flexíveis e até muito rígidos, dependendo do grau de compactação (INSPECTAPEDIA, 2014).

A Baosteel, uma das maiores siderúrgicas da China, é classificada entre as 100 maiores empresas verde, em função da reciclagem de seus co-produtos. Em 2011, essa usina criou a primeira empresa mineral na China, utilizando como matéria-prima a *escória de aciaria* para a produção do material de isolamento térmico à prova de fogo (BAOSTEEL, 2014) <sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Disponível em: [http://www.baosteel.com/group\\_en/contents/2863/39896.html](http://www.baosteel.com/group_en/contents/2863/39896.html). Acesso em 06 abr. 2014.

ii. *Uso para fabricação do cimento*

Vários estudos comprovam a utilização de *escória de aciaria* na fabricação do clínquer<sup>8</sup> para a produção de cimento, como matéria-prima em substituição ao calcário. Esta aplicação, além de reduzir o consumo de recursos naturais, reduz a emissão de gás do efeito estufa na produção do cimento. Assim como a escória LD, a escória de forno elétrico é muito aplicada no uso de fabricação do cimento, gerando economia na extração de recursos naturais e melhora na qualidade do produto final. Faria (2007) afirmou que misturas de escórias de aciaria elétrica adicionadas ao clínquer do cimento Portland elevam a resistência, comparada à do cimento sem escória. Já Geyer (2001) verificou que adições de até 10% de *escória de aciaria* elétrica ao cimento Portland, causam melhorias nas propriedades do concreto produzido com este material (resistência à compressão, carbonatação e ataque por cloretos).

iii. *Utilização em materiais cerâmicos*

Diversos trabalhos abordam a incorporação de *escória de aciaria* em materiais cerâmicos. Para Lobato (2014), a utilização de escórias nas massas cerâmicas se deve ao fato de esse possuir a função de fundente, conferindo um aumento da resistência dos materiais cerâmicos. Foi observado que, ao incorporar 30% de *escória de aciaria*, 50% de filito e 20% de argila, o material cerâmico final apresentou boa resistência mecânica.

Nas análises de Bennedth *et al*, (2012), foram processadas possibilidades da matéria-prima em revestimento cerâmico, utilizando argila mineral, caulinite e *escória de aciaria* na gama de 0 – 100% em peso. Os resultados obtidos mostraram que as amostras contendo de 20 a 60 % em peso de *escória de aciaria* têm boas propriedades para revestimento cerâmico. Os testes mecânicos confirmaram a alta qualidade deste produto e seu uso para pisos cerâmicos.

iv. *Uso na fabricação de tijolo de solo-cimento*

No ano de 2004, em Taiwan, sudoeste da China, foi realizado o experimento do uso combinado de argila com escória siderúrgica para a produção de tijolos. As propriedades avaliadas no produto foram: absorção de água, resistência à compressão e alterações

---

<sup>8</sup> Clíquer Portland: Produto constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas (NBR 11578, 1997).

dimensionais pela secagem das peças. Foram feitas várias formulações utilizando de 0 a 30% de agregado de escória na mistura com argila. Os resultados obtidos nos tijolos, no ensaio de compressão, indicam que eles satisfazem aos critérios das respectivas normas do país (LOBATO, 2014).

v. *Uso Isolamento de Radiações.*

Em situação em que haja blindagens de radiações, por exemplo, em hospitais, o agregado siderúrgico A.S.I.C. satisfaz às exigências de barreiras de proteção nas salas radioativas, substituindo o barite<sup>9</sup>, de uso comum nas paredes (PACHECO, 2012).

A figura 09 representa o ambiente onde o agregado é aplicado.

Figura 09 - Sala de raios-X



Fonte: PACHECO, 2012.

vi. *Uso na fabricação de pisos intertravados*

Segundo o experimento de Fonseca *et al*, (2010), o projeto de substituição parcial na ordem de 25%, 50% e 75% da brita zero pela *escória de aciaria* em *pisos intertravados* foi realizado, tendo como referência o ensaio de compressão confeccionado através de um corpo de prova cilíndrico, sendo comprovada a eficácia da utilização da *escória de aciaria* quanto à sua resistência mecânica.

Na próxima subseção será apresentada a revisão sobre as características do piso intertravado, objeto de estudo desta pesquisa.

<sup>9</sup> Barita (BaSO<sub>4</sub>) ou sulfato de bário, segundo (Klein e Dutrow, 2007) é bem conhecida por sua grande variedade de cores e formas cristalinas tabulares. Sua dureza varia de 3 e 3,5 Mohs. O nome barite tem origem do grego “barus” que significa pesado. Seus principais produtores estão na China (3.600 mil ton), Estados Unidos (670 mil ton) e no Marrocos (250 mil ton.).

## **2.2 Pavimento Intertravado uma alternativa sustentável na economia de recursos**

A busca por eficiência energética, mudança climática e redução de emissões de gases do efeito estufa passaram a fazer parte do vocabulário das organizações mundiais nos últimos anos. *Mas até que ponto o discurso e a prática sustentável dessas organizações evoluíram de forma consistente?* Entretanto, para que haja desenvolvimento sustentável, pressupõe-se a necessidade do equilíbrio ecológico com a inclusão de um benefício social e da viabilidade econômica. Dentro desta perspectiva, a utilização do pavimento intertravado poderá estimular a conscientização e servir de incentivo à adoção de ações para garantir a sustentabilidade no ambiente construído, incorporando conceitos de qualidade ambiental e inovação tecnológica. Neste tópico do trabalho, o propósito é de contribuir para que profissionais de diversos segmentos tenham conhecimento desse sistema construtivo e que por ele se interessem, atribuindo novos estudos para suas aplicações.

Os avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas buscam por inovações em produtos ecologicamente corretos. Este fato se justifica na incorporação de técnicas sustentáveis para a construção civil. No Brasil, os pavimentos intertravados, conhecidos como “*pavers*”, são aplicados atualmente em larga escala em todas as regiões do País pelo seu aspecto estético que proporciona no ambiente construído e, como contribuição na redução do escoamento de águas devido ao seu sistema de intertravamento.

### *2.2.1 Breve contexto histórico*

A origem do pavimento intertravado é referida na Mesopotâmia há quase 5.000 anos A.C. e muito utilizado na Itália desde 2.000 A.C. Todavia, foi logo após a segunda guerra mundial que os pisos passaram a ser produzidos em grande escala, principalmente na Alemanha, tomando grande impulso na década de 70, quando chegaram ao Brasil. Hoje os países em desenvolvimento lideram o uso de intertravados em pavimentação como: Costa Rica, Colômbia, Nicarágua e com grande uso nas estradas no estado de São Paulo, Brasil.

Smith (2012) argumenta que, desde 2009 nos Estados Unidos e Canadá, a utilização de pavimentos intertravados cresce de 15 a 20% ao ano, devido aos regulamentos nacionais, estaduais e municipais que exigem a redução de poluição e do escoamento de águas pluviais em vias urbanas.

Este sistema construtivo tem sido adotado em várias regiões desérticas e semi-áridas, como grande parte da Califórnia, Nevada, Arizona e Texas com o intuito de armazenar água subterrânea, e abastecer futuramente reservatórios móveis, rios e poços artesianos.

No Brasil, este consumo tem sido registrado pela Associação Brasileira de Cimento Portland como um dos mais expressivos dos produtos pré-moldados. Programas de urbanização em diversas cidades, como o Rio “Cidade e Favela” já assentaram mais de um milhão de metros quadrados na área urbana. A pavimentação na cidade irá contribuir não só com a amenização do clima urbano, mas também com a melhoria da qualidade de vida de sua população.

Em 2008, na cidade de Blumenau, Santa Catarina, a Secretaria de Planejamento Urbano lançou a cartilha que institui o programa “Calçadas de Blumenau” que recomenda a especificação de *piso intertravado* como material rígido e firme, estável e antiderrapante sob qualquer condição, tendo em vista a necessidade de reestruturação de diversos passeios públicos e a adoção de uma pavimentação ecológica como uma das diretrizes de revitalização desses locais, uma vez que desempenham papel fundamental no ambiente construído (BLUMENAU, 2008). A figura 10 exemplifica um modelo de assentamento de piso intertravado em Blumenau, Santa Catarina.

Figura 10 - Pavimentação de intertravados - Vila Germânica em Blumenau SC

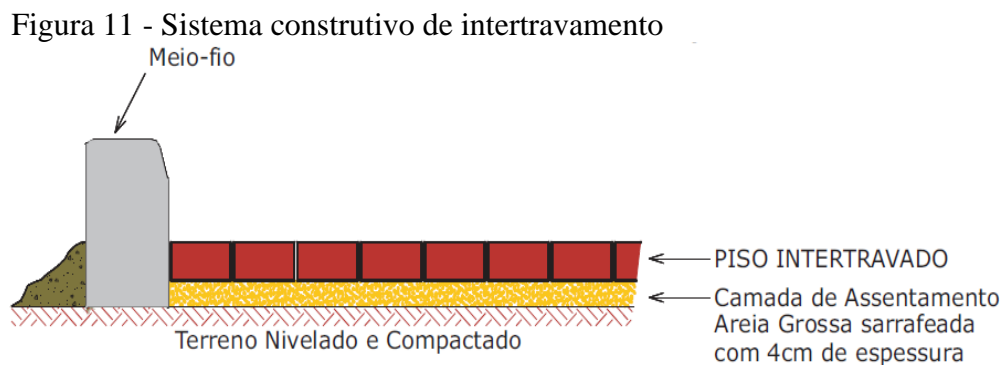


Fonte: Acervo particular da autora, 2010.

### 2.2.2 Projetos e Normas.

A norma NBR 9781(2013) define pavimento intertravado como pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas a uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças, são preenchidas por material de rejuntamento. O intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção.

O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação de seus vizinhos. Para tanto, as condições necessárias para este sistemas são: a contenção lateral e a junta preenchida com areia. A figura 11 apresenta uma representação do sistema de intertravamento.



Fonte: T&A Blocos e Pisos, 2004.

Na argumentação de Burak (2002), a espessura da camada de areia é 10% da camada total do pavimento não compromete sua função estrutural. Os critérios de desempenho do sistema de intertravamento devem ser atendidos pela execução da obra destas camadas, e na especificação do tipo de areia a ser aplicada.

#### 2.2.2.1 Especificação de projeto

Conforme disposto norma NBR 15953 (2011), elaborado pelo comitê de estudos de pavimentação intertravada, atribui-se as seguintes responsabilidades para o projeto executivo das peças de concreto em pavimentação intertravada. O projeto deverá no mínimo:

- ✓ Estabelecer as premissas em função das condições de implantação, utilização do pavimento e interferência em geral;

- ✓ Avaliar as condições e características do leito;
- ✓ Estimar condições de carregamento quanto ao tipo de solicitação, se móvel ou estática, frequência, magnitude e configuração à qual o pavimento estará sujeito;
- ✓ Especificar ou compatibilizar o sistema de drenagem quando necessário;
- ✓ Especificar a estrutura de fundação do pavimento, com espessura, declividade, grau de compactação e materiais utilizados em cada camada;
- ✓ Especificar o sistema de contenção do pavimento, considerando as condições necessárias para o intertravamento das peças de concreto;
- ✓ Definir as peças de concreto utilizadas na camada de revestimento, considerando as especificações da NBR 9781(2013);
- ✓ Definir o padrão de assentamento das peças de concreto, detalhando o alinhamento de partida, pontos de interseção e interferências;
- ✓ Executar o detalhamento de paginação para o caso de projetos arquitetônicos e paisagísticos específicos.

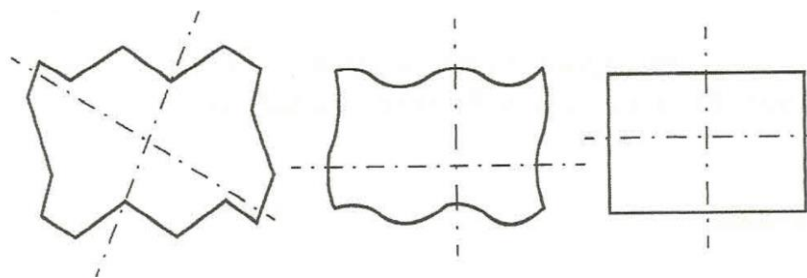
#### 2.2.2.2 Análise do dimensionamento do pavimennto intertravado

Conforme determina a NBR 9781 (2013), revisada em julho de 2013, as peças podem ser produzidas de vários tamanhos considerando os requisitos específicos para cada modelo. As figuras de 12 a 15 mostram os formatos apresentado na norma.

##### Tipo I

As peças de concreto com formato retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatros lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe.

Figura 12 - Exemplo de peças de concreto tipo I

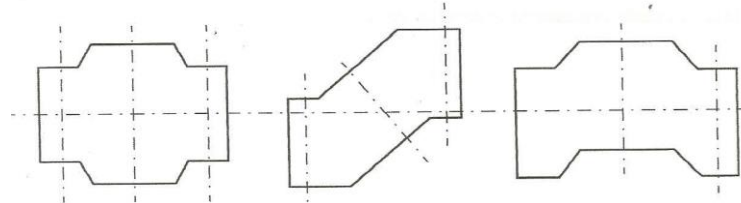


Fonte: ABNT. NBR 9781, 2013, p. 20.

### Tipo II

As peças de concreto com formato único, diferente do retangular e que só podem ser assentadas em fileiras.

Figura 13 - Exemplo de peças de concreto tipo II

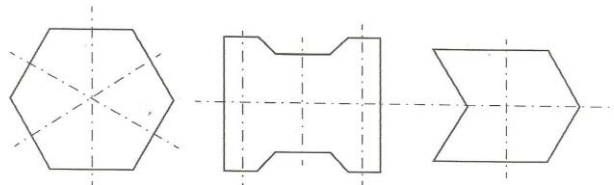


Fonte: ABNT. NBR 9781, 2013, p. 20.

### Tipo III

As peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triédros com peso superior a 4 Kg.

Figura 14 - Exemplo de peças de concreto tipo III

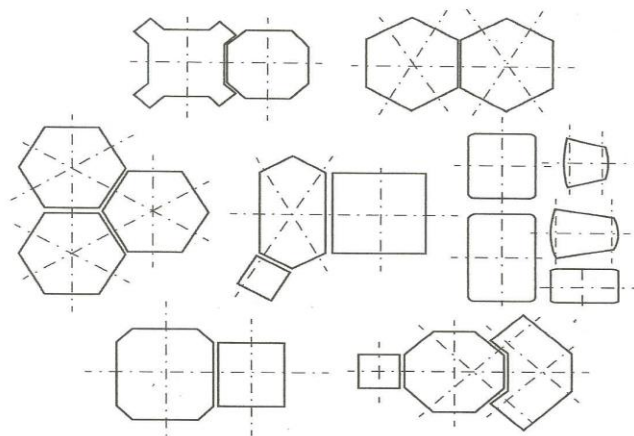


Fonte: ABNT. NBR 9781, 2013, p.21.

### Tipo IV

Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

Figura 15 - Exemplo de peças de concreto tipo IV



Fonte: ABNT. NBR 9781, 2013, p. 21.

### 2.2.3 Fatores a serem considerados no uso do *piso intertravado* para a sustentabilidade

O *piso intertravado* é uma alternativa para obter a pontuação das certificações AQUA – Alta Qualidade Ambiental da USP e no LEED® – Leadership in Energy e Building Council Brasil (GBC Brasil). Essas certificações são baseadas em atributos que geram créditos que comprovam sua eficiência ambiental para o ambiente construído. O Interlocking Concrete Insitute Pavement (ICPI)<sup>10</sup> – cita, na Techn Spec nº 16/2014, tais atributos, que podem ganhar pontos no LEED® sob locais sustentáveis e recursos de materiais, contribuindo com benefícios para a melhoria de vida. Verificam-se então os seguintes fatores a serem considerados:

- i. Taxa de permeabilidade em 100% do índice pluviométrico
  - ✓ Viabiliza um sistema construtivo capaz de armazenar e tratar de forma eficaz o escoamento de águas pluviais. A estrutura deste sistema de pavimentação intertravada proporciona uma base e sub-base para a armazenamento de água.
  - ✓ Conservação do ambiente construído e redução das superfícies impermeáveis, aumentando a utilização do local e da edificação.
  - ✓ Promove a sobrevivência das árvores fornecendo o ar e a água às raízes.
  - ✓ Diminui o risco da água salgada nas zonas costeiras.
  - ✓ Reduz os custos de projeto de drenagem com a diminuição de redes de esgotos pluviais.
  
- ii. Conforto térmico

É importante destacar que a causa principal da ilha de calor urbano nos grandes centros é a modificação da superfície terrestre pelo desenvolvimento urbano com materiais que retêm o calor. No entanto, como os centros populacionais crescem desordenadamente, percebe-se que a tendência é cada vez maior de áreas construídas trazendo o aumento correspondente de temperatura.

---

<sup>10</sup> O Interlocking Concrete Paving Institute (ICPI), fundado em 1993, é a associação comercial com sede nos Estados Unidos e Canadá, que representam a indústria de pavimento de concreto. ICPI é considerada uma associação líder no desenvolvimento de informações técnicas para profissionais de design e empresas no mundo.

Estudos do Interlocking Concrete Paving Institute (ICPI) mostram que o efeito de ilha de calor é responsável por cinco a dez por cento do pico de demanda de energia elétrica para edifícios nas grandes cidades. O índice de refletância solar (SRI)<sup>11</sup> do *piso intertravado* fica abaixo de 29% , que representa perda de calor, valor adequado para a diminuição do efeito das ilhas de calor nos grandes centros urbanos.

### iii. Vida útil prolongada

Cabe ressaltar que estudos realizados pelo ICPI revelaram que *pavimentos intertravados* têm vida na média de 29 anos. Ademais, irão reduzir os custos de manutenção e estender o ciclo de substituição das peças.

### iv. Resistência

É de fato conhecido que as elevadas resistências à compressão, à abrasão e a ação de agentes agressivos, proporcionam grande durabilidade ao pavimento. Entretanto, estudos revelam que a resistência à compressão das peças está na faixa de 25 a 55 MPa. Em diversos países onde o sistema é aplicado.

A publicação de Fernandes (2013), traz recomendações específicas para executar os ensaios de resistência, que não estão explícitos na norma NBR 9781, e que podem interferir nos resultados de produção. Tais recomendações obedecem uma sequência de procedimentos, que vão desde a inspeção dos equipamentos, materiais, amostras e execução dos ensaios. Para determinar a resistência característica de *piso intertravado* deve-se levar em conta os desvios ou erros ocorridos no processo de produção, ou seja utilizar o cálculo do  $f_{pk}$ , obtido pela expressão:

$$f_{pk} = f_{pj} - t \cdot S_d^{12}$$

O ensaio de abrasão do *piso intertravado* é facultativo e prevê uma simulação das condições de desgaste às quais o *piso* estará submetido na sua aplicação prática. (Fernandes, p. 151, 2013).

<sup>11</sup> Refletância solar (SRI) - É a relação entre o fluxo luminoso incidente sobre a superfície e o fluxo luminoso refletido. A refletância é comumente fornecida em valores de porcentagem.

<sup>12</sup> Onde:  $f_{pk}$  = resistência característica do *piso*;  $f_{pj}$  = resistência média do lote ensaiado;  $t$  = coeficiente de confiabilidade “student” relativo ao número de testemunhos,  $S_d$  = desvio padrão da amostra. (Fernandes, p. 151, 2013).

A tabela 04, mostra a relação da resistência x tráfego x espessura da peça.

Tabela 04 - Tabela de relação da resistência x tráfego x espessura do piso intertravado

Tráfego	Resistência	Espessura (cm)
Leve	concreto 35 Mpa	6 - pedestres, passeios, até veículos leves
médio	concreto 35 Mpa	6 ou 8 - caminhões de até 3 eixos
pesado	concreto 35 Mpa	6 ou 8 - carretas até 6 eixos
especial	concreto 50 Mpa	8 ou 10 - pátio de containers

Fonte: Interlocking Concrete Paving Institute (ICP) – adaptada pela autora, 2015.

#### v. Redução da poluição

No que se refere ao acúmulo de neve nos países norte-americanos e ao norte da Europa, o gelo poderá ser reduzido devido ao uso do pavimento intertravado provocando o derretimento mais rápido e a infiltração na superfície.

Pode-se aplicar um material fotocatalítico (dióxido de titânio -  $TiO_2$  – que dá a cor branca) na superfície das peças de pavimento para reduzir a poluição. Na construção civil, o cimento branco tem na sua constituição o material dióxido de titânio.

#### vi. Facilidade de manutenção

A possibilidade de remoção parcial ou total do pavimento pode ser feita de forma rápida e sem quebra ou perda de blocos removidos; desse modo, este sistema permite facilitar as operações de reparos, incluindo as instalações de canalização subterrâneas e as correções de eventuais recalques. Além disso, os pavimentos poderão ser reaproveitados em outro ambiente.

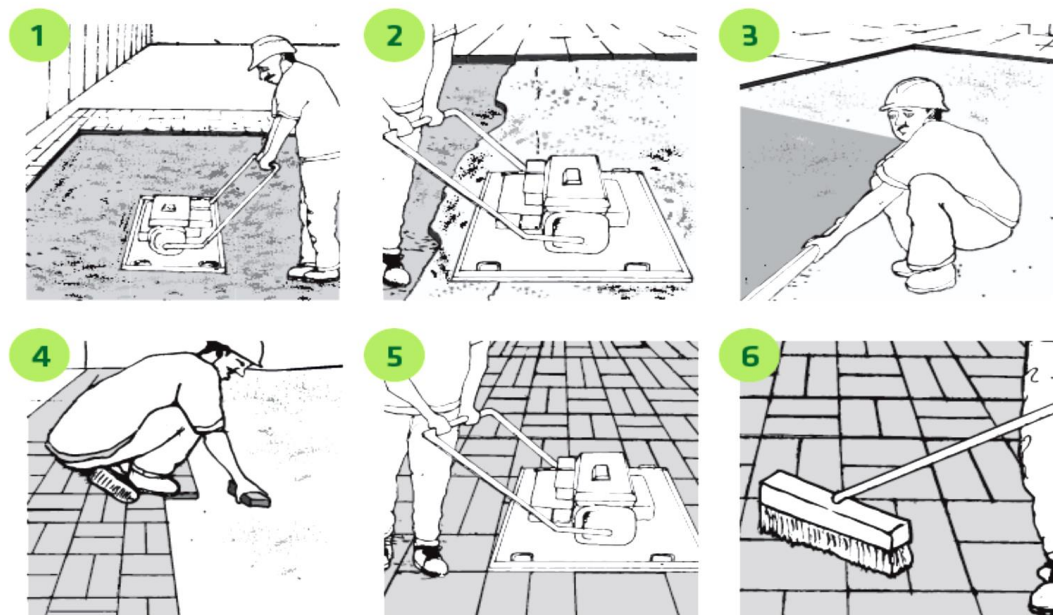
#### vii. Segurança

Uma característica das peças intertravadas é sua superfície antiderrapante, proporcionando maior aderência e segurança em trechos com rampas íngremes ou com curvas sinuosas, principalmente quando a área estiver molhada. Além disto, é compatível com as normas de acessibilidade urbana para as pessoas com deficiência, pois as peças coloridas podem servir de vias de condução.

### viii. Facilidade de execução

A adoção deste método construtivo de pavimentação permite facilitar sua execução com a utilização de mão-de-obra não especializada e também será desnecessário o uso de ferramentas especiais para o assentamento das peças. Para tanto, pretende-se contribuir com a boa prática da sustentabilidade ao que tange à geração de várias frentes de trabalho em regiões onde haja a disponibilidade da matéria-prima. Não havendo necessidade de acabamento superficial, o pavimento poderá ser liberado logo após o assentamento dos blocos, permitindo uma economia de tempo de construção e ganho para os usuários. A figura 16 representa o sistema construtivo convencional do *piso intertravado* por etapas.

Figura 16 - Execução do piso intertravado: 1 – nivelamento e compactação do subleito; 2 – instalação das contenções, nivelamento e compactação da base; 3 – espalhamento e nivelamento da areia de assentamento; 4 – colocação das peças de concreto; 5 – rejuntamento e compactação final; 6 – limpeza e liberação ao tráfego.



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2014.

No entanto, no que se refere a sua execução, é importante ressaltar que em alguns países como a Alemanha já se utiliza um equipamento para assentar os pisos de forma simplificada. A máquina possui uma cabine para o operador, um motor a diesel e uma garra hidráulica que conta com ajustes de posicionamento para selecionar uma camada de blocos do palete e colocar no piso. A garra conta com recursos para deslocar os blocos e colocá-los na posição correta. Estima-se produzir cerca de 800m<sup>2</sup> por turno com uma equipe de três pessoas.

A figura 17 demonstra o equipamento de assentamento de piso na Alemanha.

Figura 17 - Assentamento de piso intertravado mecanizado na Alemanha



Fonte: MARCHIONI; SILVA, 2011.

Atualmente os Blocos Intertravados de Concreto são utilizados em larga escala para pavimentações dentre as quais se destacam:

- ✓ Passeios públicos, estradas, terminais de portos e aeroportos;
- ✓ Vias urbanas: ruas, avenidas;
- ✓ Pontos de ônibus, praças, parques e jardins;
- ✓ Estradas, estacionamentos e pátios com manobras;
- ✓ Pisos em áreas industriais, galpões, depósito de mercadoria;
- ✓ Faixas demarcatórias e de sinalização;
- ✓ Pisos rurais como currais e bebedouros;
- ✓ Postos de gasolina, áreas de exposições e feiras, e ainda na possibilidade de assentamento em rampas íngremes.

#### *2.2.4 A produção de pavimentos intertravados com o uso de materiais alternativos*

O objetivo deste tópico neste trabalho é investigar a existência da formação de uma cadeia ambientalmente sustentável através de resíduos advindos da indústria. De fato, a utilização de resíduos em novos produtos representa uma melhoria na vida das pessoas. Sob este prisma, as pesquisas envolvendo as indústrias de pavimentos intertravados têm-se propagado por todo o mundo, com o intuito de trazer benefícios para o meio ambiente através da reciclagem. A necessidade e a consciência de um mundo com ações sustentáveis é um caminho a seguir e a indústria de pisos ecologicamente responsável poderia ser explorada e trazer bons resultados.

i. *Pisos intertravados* com copolímero de etileno-acetato de vinila - EVA<sup>13</sup>

Em seu experimento, Lyra (2007), estudou a possibilidade de substituir em até 50% do volume de areia na composição de pisos intertravados pelo resíduo de EVA moído e no pó de pedra com o resíduo EVA em pó. A contribuição de sua pesquisa indicou para a diminuição do consumo de areia e a reciclagem e destinação dos resíduos de EVA. Os resultados apontaram que o uso do EVA moído apresenta maior eficiência no uso do resíduo, pois permitiu uma maior quantidade na mistura em torno de 27%, ao contrário do pó de EVA, que apresentou baixa resistência e menor aproveitamento do resíduo. Desse modo, a viabilidade técnica com a incorporação do EVA moído foi comprovada, desde que sua aplicação seja para pavimentação de calçadas e passeios públicos.

ii. *Pisos intertravados* com resíduos de construção civil e fibras de aço

No programa experimental de sua pesquisa, Santos (2014), avaliou a influência dos resíduos de construção com fibras de aço para a produção de *pisos intertravados*. Os ensaios de caracterização dos materiais, conforme prescreve a norma NBR 9781:2013, comprovam a viabilidade da produção dos *pisos intertravados* com esses resíduos considerando os resultados satisfatórios de resistência à compressão e à abrasão. Este trabalho apresenta uma contribuição científica de forma ambientalmente adequada proporcionando benefícios para a sociedade de ordem social e econômica.

iii. *Pisos intertravados* com resíduos de recauchutagem de pneus

O trabalho de Fioriti, Ino e Kasaki (2007), destaca a importância da reciclagem do resíduo de recauchutagem que gera uma grande quantidade, sendo necessária a sua redução como contribuição ao meio ambiente. Os procedimentos avaliados foram os ensaios à compressão, absorção e resistência ao impacto que apresentaram uma baixa resistência à compressão; entretanto os pisos demonstraram uma elevada capacidade de absorção de energia. Portanto o resultado final do experimento indicou a possibilidade da utilização dos resíduos de borracha para pavimentação intertravada apenas para as sobrecargas leves.

---

<sup>13</sup>O Copolímero de Etileno-Acetato de Vinila é um material usado em larga escala pela indústria de calçados, para a confecção de palmilhas, solados e entre solas. Segundo a Cartilha Materiais – Solados e Palmilhas de Montagem, distribuída pela Associação Brasileira das Indústrias de Calçados (2002, p. 61), o material possui vantagens como leveza, flexibilidade, cores intensas, além de proporcionar conforto aos usuários.

iv. *Pisos intertravados* com resíduos de retífica de cerâmica

Esta proposta realizada por Carvalho (2013) teve o objetivo de utilizar o resíduo de retífica de placas cerâmicas de revestimento de peças pré-moldadas de concreto para uso em pavimento intertravado, substituindo a dosagem parcial da areia e do cimento nas porcentagens de 5% a 30% na massa. Conforme relatado pelo autor, os resultados atenderam aos requisitos da norma brasileira podendo-se afirmar que sobre, o ponto de vista técnico, a incorporação de resíduos de revestimentos cerâmicos é uma boa alternativa para a produção de *pisos intertravados*.

v. *Pisos intertravados* com resíduos de mineração

A reciclagem de rejeitos de minérios na produção de *piso intertravado* contribui para a sustentabilidade no piso que foi patenteado em 2010 com o nome de *paviéco*, inspirado no peixe pacu, espécie da bacia do rio São Francisco e instalado no estacionamento e passeio do supermercado Verdemar, localizado em Nova Lima – Minas Gerais. O *paviéco* é produzido por rejeitos de mineração sedimentados nos cursos d’água em barragens e rios da região de Macacos, São Sebastião de Águas Claras, Minas Gerais. A Bacia Viva, empresa idealizadora do projeto, já forneceu o piso para 3,7 mil metros quadrados na rua Monte Vista, no Bairro Jardim Canadá e, também, o Instituto Kairós em Macacos.

Cabe ressaltar que a composição das peças intertravadas convencionais ou com material alternativo permite atender às necessidades dos projetos de pavimentação admitindo adequações e transformações no ambiente construído. Ademais agregam valores estéticos inegáveis em função de sua forma, cor, textura e imagem, a área deixa de ser superficial para se tornar uma inovação estética. Portanto, torna-se oportuno apreciar sobre o design de superfície e sua relação com o tema deste estudo, tendo em vista que no segmento de arquitetura e design, utiliza-se esta técnica na aplicação de revestimentos em paredes e pisos e elementos de vedação, como por exemplo: os cobogós. A adesão do termo no Brasil surgiu na década de 80, após estudos da designer Renata Rubim nos Estados Unidos. Segundo a pesquisadora a expressão “Design de superfície” é a tradução de Surface Design, usada na língua inglesa, que diz respeito ao tratamento dado à superfície de um produto, seja cor, textura e sensação tátil. A ênfase de uso desta técnica consiste na criação de imagens bidimensionais, projetadas para geração de padrões, que se desenvolvem de maneira contínua sobre superfícies de revestimentos (RUBIM, 2010).

A característica do design de superfície reside numa metodologia projetual de atividade técnica e criativa pelo enfoque da construção de módulos padronizados e projetados especificamente para a constituição de soluções estéticas, simbólicas e funcionais adequadas às diferentes necessidades. O módulo consiste numa unidade padrão de desenho, seguindo as determinadas proporções como um elemento fixo de uma estrutura. Sob um viés estrutural a superfície arquitetônica pode incorporar elementos de modabilidade, cujas formas de representação, modulam-se por meio de uma repetição de operações reprodutivas da simetria (RUTSCHILING, 2008).

A percepção visual das formas reflete uma estratégia em absorver conceitos de organismos vivos (peixes) em conjunção com fundamentos matemáticos e geométricos notados ou não de maneira organizada, estruturada e ritmada. Como aplicação do design de superfície no campo da arquitetura, apresenta-se a figura 18, como exemplo desta técnica na pavimentação intertravada do supermercado Verdemar em Nova Lima / Minas Gerais.

Figura 18 - *Pavieco* instalado no supermercado Verdemar - Nova Lima - MG



Fonte: Revista ecológico, 2010.

Neste trabalho do pavieco observa-se a presença do design de superfície como gerador de significados. Para tanto, conclui-se a necessidade da abordagem deste tema por equipes multidisciplinares para possibilitar sua aplicação em quaisquer tipos de superfícies, valorizando não somente aspectos técnicos como também de estabelecer a formação da cultura.

#### 2.2.4.1 A produção de pisos intertravados com escória de aciaria

Este projeto realizado em 2010, pela ArcelorMittal na unidade em Juiz de Fora/MG, comprovou que a utilização da *escória de aciaria* na fabricação de *pisos intertravados* sextavados foi economicamente viável, ambientalmente correta e está inserida no contexto da sustentabilidade oferecendo vantagens de custo em relação aos disponíveis no mercado. Foram fabricadas 1.500 unidades, numa área de 131m<sup>2</sup> no entorno das instalações industriais na usina, onde se realizou a avaliação do comportamento dos pisos frente aos fatores físicos (como a compressão pelo tráfego de veículos pesados no local), fatores climáticos (como chuva e temperatura) e ambientais (solubilização e lixiviação). O *piso intertravado* sextavado oferece benefícios para projetos e usuários: é 25% mais barato que outros pisos tradicionais, evita consumo de recursos naturais não renováveis (areia e brita) e tem maior permeabilidade, flexibilidade, resistência à compressão e característica antiderrapante. Portanto, a fabricação dos *pisos intertravados* é mais uma alternativa para as empresas do ramo siderúrgico transformar seus resíduos, gerados nos processos produtivos, em co-produtos. Desta forma, possibilita a reutilização e reciclagem diminuindo, assim, a possibilidade de geração de passivos ambientais. A figura 19 apresenta as etapas de execução deste projeto na usina em Juiz de Fora Minas Gerais em 2010.

Figura 19- (a) fabricação dos bloquetes; (b) maturação dos bloquetes; (c) preparação de base e sub-base; (d) assentamento dos bloquetes



Fonte: ARCELORMITTAL, 2010.

Na figura 20, apresentam-se as etapas de finalização do piso na usina em Juiz de Fora, MG.

Figura 20 - (a) término do assentamento; (b) rejunte betuminoso; (c) finalização da pavimentação



Fonte: ARCELORMITTAL, 2010

Pode-se observar, na tabela 05, que a fabricação dos *pisos intertravados com escória de aciaria* apresenta a possibilidade de uma economia viável em relação ao custo de produção com o mesmo produto utilizando a areia e brita natural.

Tabela 05 - Comparação de custo do piso intertravado ecológico

Tipos de Pavimentação	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Valor (R\$)
Concreto (fck=25 Mpa)	1	R\$ 44,00
Asfalto	1	R\$ 34,44
Piso intertravado convencional	1	R\$ 28,00
Piso intertravado com escória	1	R\$ 21,00

Fonte: ARCELORMITTAL, adaptada pela autora 2015.

A seguir, no capítulo 3, apresenta-se metodologia empregada neste trabalho para a investigação em campo.

### 3 INVESTIGAÇÃO DE CAMPO

Neste capítulo é traçado o percurso metodológico da pesquisa, caracterizando os trâmites da investigação, o perfil dos entrevistados e as etapas de análise dos dados. Apresenta-se uma investigação em campo cujo propósito é alargar a perspectiva de análise, travar conhecimento com o campo e revelar respostas à problemática em questão (QUIVY; VAN CAMPENHOUDT, 2005).

Sendo assim, a construção desta investigação requer a retomada da pergunta de partida como fio condutor da pesquisa “*Como viabilizar o uso da escória de aciaria siderúrgica em novos produtos?*”. Desse modo, a principal hipótese desta pesquisa é formulada da seguinte maneira.

“É possível reaproveitar resíduo da *escória aciaria* em *pisos intertravados*”, visto que, o estudo bibliográfico revelou que o campo de aplicação da *escória de aciaria* siderúrgica deverá ser explorado no segmento da indústria de artefatos implicando o estudo da cadeia produtiva da *escória de aciaria*, o seu beneficiamento e uso na indústria de pavimentação intertravada.

As variáveis apresentadas nesta pesquisa advinda da pergunta de partida são: (a) o reaproveitamento da *escória de aciaria*; (b) a viabilidade de seu uso em *pisos intertravados*.

No âmbito dessa pesquisa de campo, enfatiza-se o emprego de métodos qualitativos, em razão do tipo de problema tratado: observação, entrevista semi-estruturada e aplicação de questionários eletrônicos. Apresentam-se, a seguir, os instrumentos utilizados em cada atividade de campo.

- ✓ Observação direta em visitas técnicas

Nas visitas técnicas, utilizou-se a técnica da observação direta não-participante. Neste caso, o pesquisador apenas presencia o fato, mas não participa dele, limita-se ao papel de espectador. No ponto de vista científico, esta técnica proporciona ao investigador identificar e obter provas a respeito de objetivos sobre os quais os indivíduos não têm conhecimento do processo dentro do contexto da descoberta de campo (MARCONI, 2008).

- ✓ entrevista semi-estruturada na empresa Uni-Stein fabricante de *pisos intertravados*.

Com o intuito de confrontar as informações obtidas na revisão bibliográfica foram elaboradas questões aplicadas, durante a visita técnica, para o responsável pela produção da empresa. Segundo Manzini (2003), uma das características da entrevista semi-estruturada é a utilização de um roteiro elaborado sobre o qual formulamos questões abertas relativas ao assunto, podendo fazer de forma mais livre e as respostas não estão condicionadas a uma padronização de alternativas.

- ✓ Questionários eletrônicos

Para a realização desta etapa foram elaboradas questões relacionadas às variáveis da pesquisa: *escória de aciaria* e *piso intertravado*. Com isso, o questionário foi direcionado para dois tipos de públicos: os especialistas em co-produtos das usinas siderúrgicas e as empresas fabricantes de *piso intertravado*, ambos localizados na região sudeste do País.

Os instrumentos apresentados foram relevantes, tanto para a coleta de dados na observação como na interpretação e análises de dados. Por meio desses, pode-se ter um ponto de vista sobre a realidade da qual se destina esta investigação.

### **3.1 Observações diretas**

Para efeito desta pesquisa, foi empregado o método qualitativo por meio da observação direta não-participante em quatro empresas que se situam nas seguintes regiões: Vale do Aço - Usiminas, Pedro Leopoldo – Uni-stein e Construcom e São Joaquim de Bicas - Silifértil no estado de Minas Gerais. Nesta seção, será apresentado o estudo realizado por meio de visitas técnicas realizadas nos meses de janeiro, fevereiro e maio de 2015.

Cabe aqui descrever uma breve contextualização das regiões industriais investigadas na fase de campo. Primeiramente, a denominada região metropolitana do Vale do Aço é composta pelos municípios de Timóteo, Coronel Fabriciano, Santana do Paraíso e Ipatinga, e é considerada a segunda maior aglomeração urbana de Minas Gerais depois da região metropolitana de Belo Horizonte. Este conjunto urbano se desenvolveu a partir das implantações da siderúrgica Acesita (hoje Aperam), em Timóteo e a Usiminas em Ipatinga.

Localizada na Bacia do Rio Doce, a região do Vale do Aço é composta do Parque Estadual do Rio Doce, uma área reservada do bioma da Mata Atlântica que necessita de estudos de questões relacionadas à ótica da sustentabilidade. Além do maior pólo siderúrgico de País, podem-se observar diversas atividades econômicas altamente impactantes para o meio ambiente como a mineração, indústria de celulose, reflorestamento apresentado pela monocultura de eucaliptos e pela forte presença da pecuária. Diversos problemas são observados devido ao rápido crescimento urbano sem planejamento, dentre eles: a precariedade da via de ligação terrestre em função do seu trajeto (inúmeras curvas e pistas estreitas e mal conservadas), o impacto das chuvas na região e, principalmente, a geração de resíduos sólidos industriais.

O município de Pedro Leopoldo está situado no vetor norte da região metropolitana de Belo Horizonte, compreendendo outras cidades, dentre elas: Santa Luzia, Vespasiano, Lagoa Santa, Jaboticatubas, São José da Lapa, Matozinhos e Capim Branco. Pode-se argumentar que o seu desenvolvimento é notoriamente extrativista e industrial devido aos recursos de calcário e areia de que dispõe, produzindo, inclusive, grande parte do cimento fabricado no país. Observa-se a intensificação dos impactos ambientais e áreas degradadas provenientes dos empreendimentos e pelo próprio pólo de inovação tecnológica apresentado pelas indústrias locais.

No Vale do Paraopeba, encontra-se São Joaquim de Bicas, o terceiro município observado, que sedia a empresa Silifértil, a beneficiadora da escória de aciaria. Localizado no vetor oeste da região metropolitana de Belo Horizonte, compõem esta região as cidades de Betim, Igarapé, Brumadinho, Mário Campos, Sarzedo e Juatuba. Permite identificar uma grande área voltada para a agropecuária, e, em segundo plano, a mineração da Mina do Córrego do Feijão em Brumadinho.

A trajetória da visita indica que o reaproveitamento de resíduos sólidos ainda é ineficiente, também aponta a preocupação dos rejeitos da atividade do abatimento do gado na região do Córrego do Feijão. Verifica-se, no entanto, a necessidade da recomposição da vegetação nas pilhas de resíduos de pedras expostos no ambiente. Para efeito do processo da cadeia industrial desta pesquisa, apresenta-se na figura 21, o mapa com as empresas observadas.

Figura 21 - Mapa das regiões apresentando a cadeia produtiva da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora com base no GOOGLE MAPS, 2015.

### 3.1.1 Visita técnica à Usiminas

O primeiro passo da pesquisa de campo consiste na visita técnica à Usina Siderúrgica USIMINAS, localizada no município de Ipatinga (a 217 km de Belo Horizonte), na região do Vale do Aço, em janeiro de 2015, com duração de um dia.

A Usiminas assim denominada - Usina Siderúrgica de Minas Gerais - possui uma área total de 10,5 milhões de metros quadrados com uma produção anual de aço líquido em 6,1 milhões de toneladas<sup>14</sup> que são transformados em laminados planos revestidos e não revestidos. Seu processo de fabricação é integrado a coque, ou seja, à transformação do minério de ferro em aço, reunindo as três principais etapas do processo siderúrgico: redução, refino e conformação mecânica. Sua planta é constituída de 3 altos-fornos, 2 aciarias, 1 laminação de tiras a quente, 1 laminação de chapas grossas e 2 laminações a frio. A figura 22 apresenta uma vista geral da planta em Ipatinga.

<sup>14</sup> Disponível em: [www.usiminas.com.br](http://www.usiminas.com.br), em 06 de maio de 2015.

Figura 22 - Vista geral da planta industrial da Usiminas em Ipatinga - Minas Gerais



Fonte: INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015.

As atividades desenvolvidas durante esta visita tiveram o objetivo de conhecer o processo de geração e destinação da escória de refino do aço. Foi elaborado um roteiro com a equipe técnica do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento liderados pelos pesquisadores Pacheco e Quintela, que são apresentados a seguir:

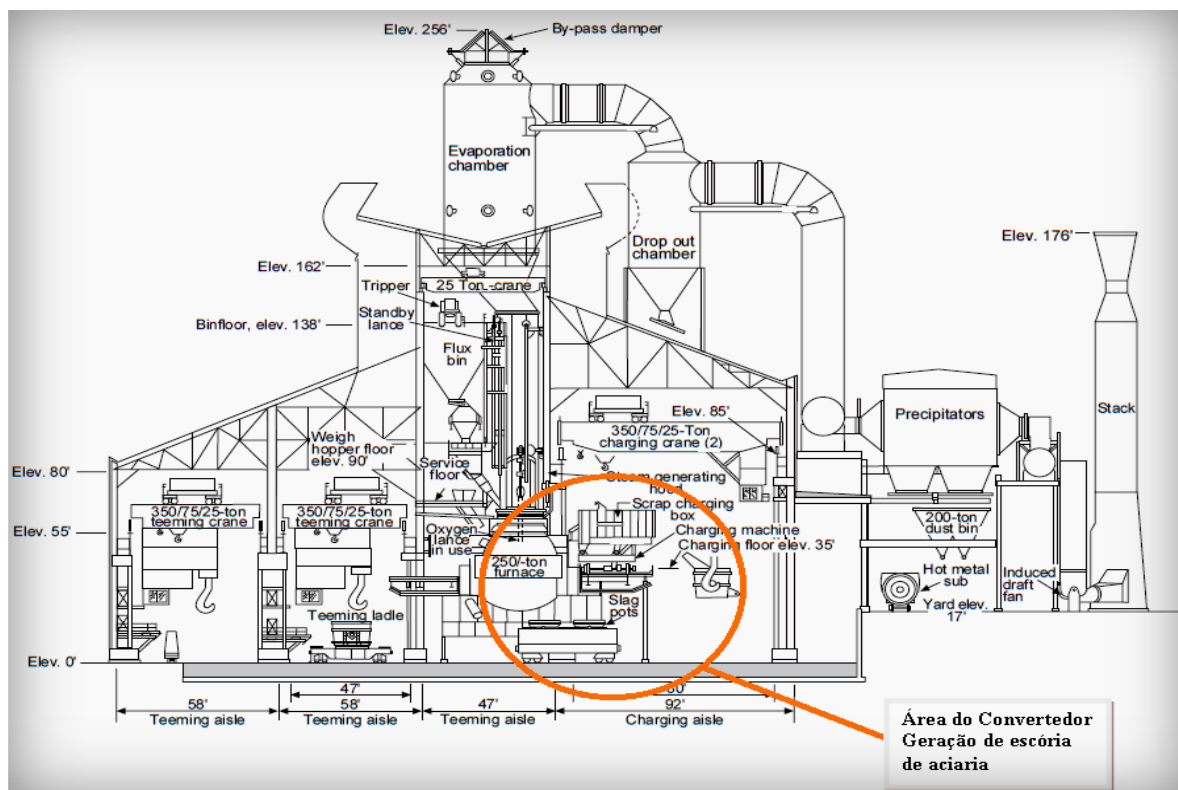
- i. Planta industrial da aciaria incluindo a área operacional do convertedor, a sala do centro de controle e os pátios de recebimento da escória líquida de aciaria e forno panela.
- ii. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas incluindo seus laboratórios e instalações.
- iii. Entrevistas com o grupo de pesquisadores sobre os produtos desenvolvidos com a escória de aciaria.
- iv. Apresentação das características da *escória de aciaria* da Usiminas.

O início da visita ocorreu na planta industrial da aciaria 02, onde foi acompanhado o processo de produção do aço do forno conversor a oxigênio LD, que tem como principal matéria-prima o gusa líquido.

O ferro gusa proveniente do alto forno é transferido através do carro torpedeiro para a aciaria para ser transformado em aço. O material líquido, em conjunto com a sucata metálica, é transportado em recipientes chamados de panela de gusa através das pontes rolantes, onde é basculado para outro recipiente denominado convertedor. Em seguida, é realizada a injeção de oxigênio por meio de lança refratária no gusa líquido provocando uma elevação na temperatura de aproximadamente 1700 °C. Os gases resultantes do processo são queimados logo na saída do equipamento e os resíduos indesejáveis são eliminados pela escória. Este processo foi acompanhado pelos operadores e técnicos da aciaria em atividade de trabalho no dia da visita. No final foi entregue a autora uma declaração de visita técnica, conforme disposto no Anexo A.

A figura 23 apresenta uma elevação esquemática da aciaria siderúrgica.

Figura 23 - Representação esquemática de uma elevação da planta industrial da aciaria



Fonte: MILLER *et al*, 1998, p.480 (adaptada pela autora, 2015).

No final do processo de refino, o aço líquido segue para a etapa do refino secundário, responsável pelas características de ajustes na sua composição química, ao mesmo tempo em que a escória é vazada para um pote específico. Conforme relatado pelo grupo de técnicos da aciaria, o índice de geração de escória é da ordem de 100 kg/t de aço líquido produzido.

Na seqüência de operações do pátio 02, no convertedor da aciaria, foi acompanhado o despejo da escória líquida com temperatura de 1700 graus nas baias de resfriamento, conforme mostra a figura 24.

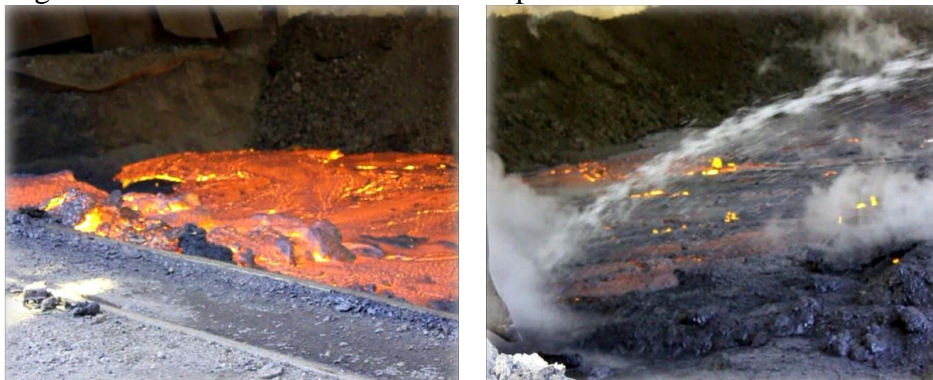
Figura 24 - Despejo da escória líquida no pátio 02



Fonte: Arquivo particular da Usiminas, 2015.

Entretanto, ainda no pátio 02, a *escória de aciaria* deve ser imediatamente submetida ao processo de resfriamento após o despejo. Esse procedimento é realizado através da aspersão de jatos de água moderada, para que não ocorra explosão na reação da água com o líquido em alta temperatura. Este método requer uma quantidade de tempo de dois dias para esfriar e encaminhar a escória solidificada para o pátio 03 de armazenamento. A figura 25 apresenta este fenômeno.

Figura 25 - Resfriamento da escória no pátio 02



Fonte: Arquivo particular da Usiminas, 2015.

Em seguida, a escória já solidificada em vários tamanhos é transportada por caminhões para o pátio 03 de armazenamento e processamento pela empresa contratada Harsco, para que seja retirada a parte metálica da escória e devolvida ao forno da siderúrgica. Este processo de transporte da escória ocorre várias vezes ao dia totalizando uma geração de 60 a 80 mil toneladas por mês na siderúrgica.

A figura 26 apresenta uma amostra da *escória de aciaria* LD da Usiminas retirada durante este processo de resfriamento. Devido ao emprego de altas temperaturas, a referida amostra não possui nenhuma substância orgânica.

Figura 26 - Amostra de escória de aciaria fornecida do pátio 02



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

Segundo a norma japonesa Japan Industrial Standards JIS (1992), a cura é a reação com ar e água da *escória de aciaria* solidificada e submetida à moagem e que tem por finalidade estabilizar a sua expansão. Este procedimento consiste no tratamento de uma estabilização química através da hidratação e carbonatação de substâncias expansíveis, como a cal livre da escória com água e ar. Ocorre, não somente no Brasil, mas em diversos países, um processo de cura lento onde a escória produzida é estocada em pilhas nos pátios a céu aberto, sendo seu principal controle o tempo de estocagem que pode variar de seis meses a dois anos. Este processo é certamente inviável para as siderúrgicas, para a comunidade local e para o meio ambiente; haja vista o enorme volume de escória produzido, o que demanda uma área considerável de estocagem ocupando uma área de reserva ambiental. O pátio 03 de armazenamento a céu aberto no canteiro da contratada procede de um passivo ambiental acumulado de dois milhões de toneladas de *escória de aciaria* à espera de novas aplicações para seu uso visto que, hoje, este pátio poderia ser uma área de preservação do parque estadual do Rio Doce. Diante da instabilidade volumétrica da *escória de aciaria*, o seu uso fica limitado para novas possibilidades de novos produtos sendo necessário o seu beneficiamento. Percebe-se uma carência de estudos e pesquisas para combater este fenômeno. Verificam-se, portanto, através da figura 27, as pilhas de escórias depositadas.

Figura 27 - Depósito de *escória de aciaria* no pátio 3



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

Para tanto, a *escória de aciaria* é submetida aos três processos de beneficiamento:

- i. Solidificação e resfriamento da escória fundida quente.
- ii. Esmagamento e tratamento de separação magnética da escória para recuperar o ferro metálico.
- iii. Britagem e classificação da escória para ajuste de tamanho de grão para fabricar o produto de escória e tratamento do envelhecimento.

O segundo momento procede à visita ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, CPD, um dos maiores e mais equipados do país, com aproximadamente 200 colaboradores dentre pesquisadores, técnicos e operadores de laboratório que são responsáveis pelos projetos siderúrgicos da Usiminas como, por exemplo: os aços de alta resistência, estudos de matérias-primas, os resíduos de todo o processo de fabricação de aço de uma usina integrada a coque, melhoria nos processos e o meio ambiente. Foram apresentados os produtos de *escória de aciaria* realizados nos laboratórios do Centro de Pesquisa, dentre os quais, os blocos de alvenaria, meio-fio, e a vitrocerâmica<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Por meio da consulta pública ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) via internet foi possível localizar a patente PI 0005482-8 A, intitulada “Processo para obtenção de vidro negro e vitrocerâmica escura a partir de escória de aciaria”, dos autores Eduardo Bellini Ferreira, Edgar Dutra Zanotto e Catia Fredericci do da Universidade Federal de São Carlos em parceria com Luis Augusto Marconi Scudeller da Usiminas. Os experimentos realizados neste trabalho comprovam o uso da escória de aciaria para desenvolvimento de vidros e vitrocerâmica, considerando suas propriedades superiores às cerâmicas convencionais. Na sua composição de 0% de escória, 35% de areia e 5% de (óxido de sódio - Na<sub>2</sub>O), (após fusão a 1350°C), são possíveis produzir placas de vidros e vitrocerâmicas para utilização como revestimento em construção civil.

No laboratório do Centro de Pesquisa foi possível observar uma pequena amostra da vitrocerâmica com *escória de aciaria*. O vidro obtido do experimento apresenta coloração escura, negra brilhante, com elevada resistência mecânica e à abrasão e, também, de peso leve. Por isso, a utilização deste material com escória é ideal para revestimentos arquitetônicos, competindo com os porcelanatos, pastilhas e pisos auto-sustentáveis. A figura 28 apresenta os tipos produzidos neste experimento.

Figura 28 - Produção de vitrocerâmicas com *escória de aciaria* da Usiminas



Fonte: SCUDELLER; FERREIRA, ZANOTTO, 2002.

Atualmente, a Usiminas produz e comercializa o agregado siderúrgico de *escória de aciaria* britado e processado para uso de base e sub-base de rodovias, aterros, proteção de taludes e também apresenta bom resultado em lastro de ferrovia, por não apresentar forma linear como a brita. Sua estrutura vesicular e seu peso específico proporcionam consistência para assentar os dormentes. Suas faixas granulométricas são classificadas segundo a norma NBR 7211/2005 – agregado para concreto, de acordo com as seguintes especificações: (a) agregado 0: < 9,54 mm; agregado 1: > 9,54 mm - < 38,10 mm; agregado 2: > 38,10 mm - < 76,20 mm. Sua densidade aparente  $\approx 1,8$  g/cm, em média. A tabela 06, mostra sua composição química.

Tabela 06 - Propriedades químicas dos agregados siderúrgicos Usiminas<sup>16</sup>

Elementos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	S
%	17 – 25	3 – 13	20 – 30	5 -15	12 – 35	7 – 10	0,5 - 3

Fonte: Arquivo particular da Usiminas, 2015.

<sup>16</sup> Nomenclatura dos compostos químicos tabela 06: óxido de silício – sílica (SiO<sub>2</sub>), óxido de alumínio – alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de manganês (MnO), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), enxofre (S).

A figura 29 apresenta o agregado siderúrgico Usiminas e sua aplicação em lastro ferroviário e pavimentação de estradas, principalmente nos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Figura 29 - Agregado siderúrgico Usiminas aplicado em lastro ferroviário



Fonte: Arquivo particular da Usiminas. 2015.

A tabela 07 apresenta as características da escória gerada na Usiminas. Entretanto, deve-se levar em consideração que a escória de aciaria é um resíduo industrial e sua composição química não é bem definida apresentando variações de diferentes processos de fabricação de uma mesma aciaria.

Tabela 07 - Composição da *escória de aciaria* em processos de refino distintos da Usiminas<sup>17</sup>

Ca	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
37,50	8,40	8,70	2,10	29,30	28,20	10,60	6,40	1,90	0,70
38,70	8,20	10,30	3,90	20,10	15,80	11,20	5,40	1,70	0,50

Fonte: Arquivo particular da Usiminas, 2015.

Na terceira etapa da visita, foi realizada uma discussão com os pesquisadores sobre as possíveis aplicações da *escória de aciaria* em novos produtos incluindo o design como elemento de concepção. Nesta pesquisa, o produto *piso intertravado* é sugerido como estudo.

<sup>17</sup> Nomenclatura dos compostos químicos tabela 07: cálcio (Ca), óxido de magnésio (MgO), óxido de silício – sílica (SiO<sub>2</sub>), óxido de alumínio – alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ferro (Fe), óxido de ferro (FeO), óxido de manganês (MnO), óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>).

### 3.1.2 Visita técnica a Silifértil Ambiental

Foi realizada a observação através da visita à planta industrial da empresa Silifértil, localizada no município de São Joaquim de Bicas, MG, em fevereiro de 2015, com duração de um dia. A realização desta pesquisa ocorreu com a visita ao pátio industrial acompanhada dos responsáveis pela empresa. A Silifértil é uma empresa nacional que tem como objetivo reutilizar os resíduos da Siderúrgica Vallourec & Mannesmann Tubes do Brasil, situada na avenida Olinto Meireles, Barreiro, Belo Horizonte, MG. Conforme o relato de seus proprietários, Wilson Piau e Antônio Piau, no escopo dos serviços contratados pela siderúrgica, as atividades iniciam-se a partir do despejo da escória líquida do forno convertedor LD da V&M do Brasil. Após o resfriamento, o material sólido é transportado em carreta basculante pela Silifértil da usina do Barreiro até o pátio de beneficiamento em São Joaquim de Bicas. Segundo Piau, é importante ressaltar que a Silifértil conseguiu terminar com um passivo de escória de aciaria da Vallourec & Mannesmann do Brasil acumulado durante 50 anos, contribuindo para sustentabilidade ambiental de forma correta.

Para fins desta pesquisa, o objetivo foi conhecer o processo de beneficiamento das *escórias de aciaria* desde o recebimento do material, a britagem, a separação magnética e o peneiramento das escórias. Realizou-se a observação incluindo registros fotográficos e também foram coletadas amostras de escórias de todos os estágios do processo.

Para o entendimento do processo industrial, a visita começou na área de recebimento do material. Toda rota de transporte de qualquer resíduo é realizada por um modal rodoviário na sua maioria por caminhões. Segundo relato, chega uma média de nove carretas basculantes com capacidade de 28 toneladas de resíduo industrial da V&M Tubes no pátio da empresa em São Joaquim de Bicas por dia, totalizando no mês um montante de 7560 toneladas de co-produtos. A *escória de aciaria* bruta de diversos tamanhos é basculada numa peneira de fração de 4,8 mm a 7,6 cm. O material que fica retido na peneira conforme mostra na figura 30 é, transportado para um britador para a moagem. A fração de escória que transpassa a grelha é conduzida por uma correia transportadora até o separador magnético para que seja produzido o material com óxido de ferro e o não metálico. A quantidade de ferro recuperado é de aproximadamente de 3% do montante processado. O material, sucata metálica, é devolvido aos fornos da siderúrgica.

Figura 30 - Peneira para separação da *escória de aciaria* bruta



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

A faixa granulométrica de tamanho maior é conduzida até um britador de mandíbula para a redução de tamanho. Esse equipamento é utilizado para fazer a britagem primária em blocos de elevadas dimensões e com grandes variações, como as rochas e materiais reciclados. O produto final da britagem é conduzido novamente ao separador magnético para a retirada do material metálico. A figura 31 mostra a britagem na planta de beneficiamento.

Figura 31 - Britador da *escória de aciaria*



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

A fração de escória que fica retida no alimentador da planta de processamento é posicionada no entorno de um guindaste equipado com eletroímã e esfera metálica para boleamento<sup>18</sup> da escória. A escória remanescente (não metálica) é então realimentada à planta de processamento para classificação granulométrica e comercialização pela Silifertil.

<sup>18</sup> O “boleamento” consiste na impactação da escória com a esfera metálica (por gravidade), após o que a fração metálica se desprende da escória e é separada pelo eletroímã para utilização na aciaria Vallourec Mannesman.

A britagem, o peneiramento e a separação magnética são procedimentos indispensáveis na obtenção de um agregado de escória de qualidade seja ele fino ou grosso. A partir do beneficiamento da escória, este material deixa a sua condição de resíduo industrial e torna-se um co-produto utilizado na construção civil e na agricultura. No pátio industrial da Silifétil, é produzido o fertilizante Silicato de cálcio, o produto inovador para a produção agrícola. Entretanto, não foi possível registrar imagens do processo de fabricação do fertilizante, conforme a política de informação da empresa. A figura 32 mostra a correia magnética após a britagem no pátio da empresa.

Figura 32 - Correia magnética para remover a parte metálica



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

Segundo relato do pesquisador Piau, foi em 1970, no Japão, que se iniciou a investigação científica sobre a escória siderúrgica e descobriu-se que na composição química deste resíduo, os elementos: cálcio, magnésio, enxofre, fósforo, potássio, silício, manganês, zinco, cobre, boro, molibdênio<sup>19</sup> e cobalto favoreciam a agricultura. Também no Japão, a siderúrgica Nippon Steel, utilizou a escória em aterro nas suas usinas, com a finalidade de aumentar seu território obtendo bons resultados na sua aplicabilidade.

Na argumentação de Piau, como contribuição para a sustentabilidade ambiental e na melhoria da qualidade de vida, estes resíduos abriram novos caminhos para a atividade agrícola, pois, além de promoverem uma agricultura limpa, controlam a acidez do solo, eliminando a alumina tóxica e minimizando as pragas e doenças do solo.

<sup>19</sup> O molibdênio (MO) foi uma matéria-prima usada na estrutura metálica na Friends Arena em Estocolmo, Suécia, inaugurado em 2012, e sua contribuição promoveu a redução de 17% de aço e nas emissões de gases ao longo do ciclo de vida do estádio além de reduzir 14,5 % do custo da cobertura. Disposto em <http://www.steeltimesint.com/news/view/molybdenum-sustainability-case-studies>, acesso em: 24 jul. 2015.

Pode-se afirmar que o produto Silicato de cálcio possui certificado do ministério da agricultura para seu uso como fertilizante. Apresentam-se no quadro 03, as amostras coletadas dos processos de reciclagem e seus devidos fins de utilização.

Quadro 03 - Amostras das *escórias de aciaria* em suas várias fases coletadas no pátio industrial da Silifétil e sua destinação (continua)

Foto amostra	Tipo	Origem/fase	Uso/destino
	Escória bruta LD de 15 cm a 1 metro e meio	Pátio de resfriamento do convertedor da aciaria	Beneficiamento
	Sucata metálica de 20 cm a 50 cm	Separação Magnética	Retorno ao forno do Convertedor da Siderúrgica
	Escória primária de 2 cm a 5 cm	Recebimento da Matéria-prima Agregado graúdo	Peneiramento
	Escória Secundaria - Escória de forno panela de 2 cm a 5cm	Agregado graúdo	Beneficiamento
	Escória de forno panela em pó menor que 2 mm	Agregado miúdo Beneficiada	Construção civil Porcelanato Argamassa Indústria química Creme dental
	Escória primaria britada de 2mm a 5 cm	Agregado graúdo beneficiado	Construção pesada: Pavimentação

(continuação)

(conclusão)

Foto amostra	Tipo	Origem/fase	Uso/destino
	Sucata granulada aproximadamente 5 mm	Agregado miúdo Beneficiada	Jateamento de vidros
	Escória primária em pó de 2mm a 1 cm	Agregado miúdo	Peneiramento
	Escória de aciaria em sua fase final de 2mm a 1 cm	Agregado miúdo Beneficiada	Construção civil Cimento Blocos Artefatos de concreto
	Silicato de cálcio granulado aproximadamente 2 mm	Produto final comercializado	Agricultura
	Silicato de cálcio em pó menor que 2 mm	Produto final comercializado	Agricultura

Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

A análise de cada processo de beneficiamento é importante, pois possibilita a compreensão de suas reações de expansibilidade para ser utilizada como matéria-prima em diversos setores, destacando os artefatos de concreto para construção civil. Dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, existe uma preocupação da empresa na definição de alternativas ambientalmente amigáveis em diminuir a exploração de recursos naturais, diminuir o acúmulo de resíduos nos pátios de armazenamento, além de agregar valor a um co-produto da indústria siderúrgica. Foi encaminhado a autora o atestado de visita à Silifértil, conforme Anexo B.

### 3.1.3 Visita da indústria de pisos intertravados Uni-Stein

A realização da visita à fábrica de *pisos intertravados* visou levantar informações sobre o processo de fabricação dos blocos de concreto convencionais. Para este estudo, utilizou-se a técnica da observação em campo incluindo registros fotográficos e a seleção de informações através de uma entrevista semi-estruturada com o gerente de produção José Eli Goulart. Para compor o processo industrial, foram observadas as seguintes unidades: recebimento de material, silos de britagem, misturador, prensa vibratória, estufa e laboratórios. A empresa investigada, Uni-Stein Pavimentação Intertravada, está localizada na Rodovia Dr. Otávio Costa, 800, Distrito Industrial de Dr. Lund, no município de Pedro Leopoldo, Minas Gerais. A figura 33 apresenta o piso intertravado instalado no Chevrolet Hall em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Figura 33 - *Pisos intertravados* instalados no Chevrolet Hall - Belo Horizonte MG



Fonte: Acervo particular da Uni-stein, 2015.

A equipe de produção é composta por três colaboradores com o acompanhamento de dois técnicos de produção em dois turnos. Todo o processo industrial é automatizado com equipamento proveniente da Espanha, garantindo o maior controle da qualidade através de uma gestão integrada. A figura 34 apresenta o assentamento dos *pisos intertravados* modelo uni-brick, na avenida Augusto de Lima em Belo Horizonte, MG.

Figura 34 - Assentamento *pisos intertravados* avenida Augusto de Lima, Belo Horizonte MG



Fonte: Acervo particular da Uni-stein, 2015.

Todos os seus fornecedores estão posicionados até um raio de 75 km da indústria, podendo-se adquirir a areia, brita e cimento (Holcin e Cimento Lins) com custos baixos das tarifas de frete de transporte, além de ser mais seguro e rápido. No que tange ao meio ambiente, menor redução de gases poluentes e preservação das estradas na redução de veículos terrestres. Desse modo, o modelo de desenvolvimento sustentável acima citado apresenta uma nova forma de encontrar uma vantagem competitiva de mercado e alcançar valor agregado à organização. Para as comunidades do entorno do trecho, o ganho é maior na diminuição de emissões de CO<sub>2</sub> no ambiente.

Figura 35 - Dosagem de materiais



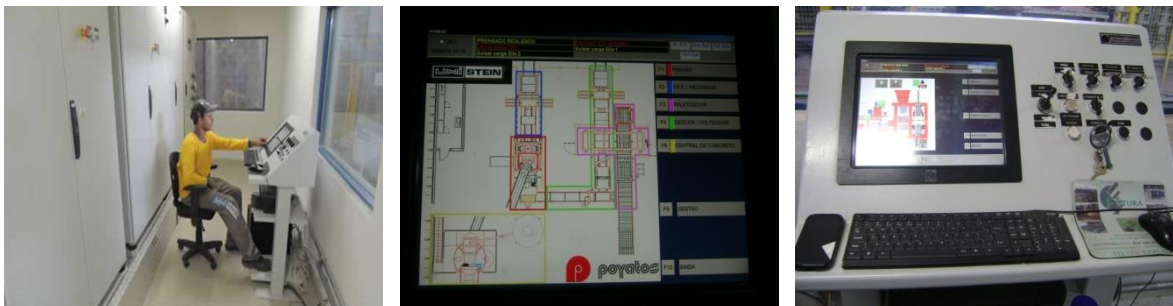
Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

O controle do recebimento é feito da seguinte forma: a matéria-prima é pesada e encaminhada para as baias de depósito próximo à unidade industrial acompanhado de nota fiscal discriminando a data e a quantidade do produto. Primeiramente, é realizada a análise visual constatando a homogeneidade do material. Verifica-se, portanto, na figura 35, a área de armazenamento dos materiais areia e brita.

Observa-se que, na fabricação de *pisos intertravados*, o procedimento é realizado através de um equipamento automático denominado central dosadora e misturadora automática. Trata-se de um sistema integrado, composto por quatro silos, uma esteira e um misturador, que trabalham com sensores eletrônicos de forma a distribuir as quantidades de material necessárias conforme o traço do piso especificado. Cada silo possui uma correia individual para garantir uma dosagem adequada dos materiais proporcionando maior controle na qualidade dos produtos. Quando a quantidade está completa, todo o agregado é descarregado para um misturador através de um esteira transportadora. Neste equipamento, adicionam-se os aditivos, a água e os pigmentos gerando uma mistura homogênea que, em seguida, será depositada em moldes para ser vibro-prensadas. Verifica-se, então, que este processo propicia uma redução de mão de obra significativa, além de evitar desperdícios de materiais contribuindo para o alcance da produção sustentável da empresa.

A figura 36 mostra o tipo de painel eletrônico, representando um diagrama esquemático da planta da fábrica e os comandos de acionamento manual.

Figura 36 - Painel eletrônico na sala de controle para dosagem de materiais



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

Para controlar todo o processo de fabricação dos *pisos intertravados*, os equipamentos estão ligados a um centro de controle. A resposta programada, através de um painel eletrônico, irá atuar nos dispositivos eletrônicos inseridos na planta industrial. As entradas nestes dispositivos vão determinar a composição dos traços de insumos dos produtos.

A figura 37 mostra um processo de dosagem no momento da visita.

Figura 37 - Central dosadora e misturadora de agregados automática da Uni-stein



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

Após a dosagem e a mistura dos materiais, é realizada a etapa de vibro-prensagem dos pisos. O concreto do misturador segue para a alimentação da máquina de prensa hidráulica, onde ocorre a vibração a alta compressão hidráulica. Segundo relato da Uni-stein, este equipamento garante alta resistência à compressão, flexão, torção, atrito e insensibilidade ideal contra choques. Na figura 38, o processo de prensagem de *pisos intertravados*.

Figura 38 - Presangem dos pisos



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

A reciclagem na fábrica é identificada e caracterizada pela economia no processo de produção. Os restos de pavimento resultantes da prensa durante a modelação são coletados manualmente e recolocados no misturador.

É importante registrar que as peças defeituosas podem retornar ao processo produtivo, como também os pisos não curados e que quebram devido a falhas de manuseio. A figura 39 apresenta o recolhimento do material a ser reaproveitado.

Figura 39 - Recolhimento de resíduos de produção



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

Após a moldagem, as peças seguem para as estufas de cura térmica com temperatura e umidade controladas, para garantir a maior hidratação do cimento e resistência do produto. Observa-se, dentro do galpão industrial, a utilização de um sistema automático de carregamento e descarregamento das prateleiras fixas que transportam bandejas com os pisos recém prensados para a estufa de cura e, também, a retirada das bandejas com produtos curados para a próxima etapa. Verifica-se que, após o tempo de cura de aproximadamente 24 a 36 horas, as peças são encaminhadas através de uma empilhadeira para a etapa de paletização do produto e a aplicação de um filme plástico transparente em toda a extensão do palete, para servir de embalagem e proteção das peças, conforme mostra a figura 40.

Figura 40 - Paletização dos *pisos intertravados*



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

A estocagem dos pisos é feita em um pátio a céu aberto podendo ficar expostos às intempéries por um longo período de tempo. Na figura 41 os paletes dispostos estão liberados para entrega ao consumidor final.

Figura 41 - Pátio de estocagem dos *pisos intertravados*



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

No seu laboratório, a Uni-stein realiza ensaios tais como: granulometria, absorção e resistência à compressão conforme determina a norma da ABNT/NBR 9781/2013 - Peças de concreto para pavimentação – especificação, garantindo o controle da qualidade das peças fabricadas. Na Figura 42 a 44, observa-se o conjunto de peneiras utilizadas no ensaio para a determinação da composição granulométrica dos agregados. Para o ensaio de resistência à compressão, os pisos são colocados na prensa e alinhados de forma que o seu centro de gravidade fique alinhado ao centro de carga dos cilindros de aço superior e inferior, na qual recebe uma aplicação de carga de compressão de uma velocidade de 0,5 MPa/s.

Figura 42 - granulometria    Figura 43 - Teste compressão    Figura 44 - Teste abrasão



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

Para realizar o ensaio de absorção de água é inserido corpos de prova saturados conforme a norma ABNT/NBR 9781/2013 em uma estufa com temperatura a  $(110 \pm 35) ^\circ\text{C}$ , mantendo está condição por 24 horas.

### 3.1.4 Visita à indústria de pisos intertravados CONSTRUCOM

A última etapa da pesquisa de observação em campo foi feita por meio da visita à fábrica de blocos de concreto, *pisos intertravados* e meio-fio, Construcum – Artefatos de concreto, localizada a rua Zico Barbosa, 231, Bairro Teothônio Batista Freitas, no município de Pedro Leopoldo, Minas Gerais. A planta industrial tem capacidade de produzir 200.000 mil peças por mês. Os produtos fabricados são: blocos, canaletas, meio bloco, meio-fio, e o piso intertravado que são comercializados para a construção civil, tendo o principal comprador o mercado da cidade de Belo Horizonte. A equipe de operação é composta por vinte colaboradores e todo o processo industrial é automatizado com equipamento proveniente da Alemanha, garantindo o maior controle da qualidade através de uma gestão integrada.

O objetivo desta visita foi investigar os *pisos intertravados* fabricados pela empresa nos quais foram incorporados resíduos industriais na sua dosagem de mistura. Para tanto, utilizaram-se nesta etapa, os instrumentos de pesquisa à observação e o apoio do gerente de produção Sidney Souza. Em se tratando da fabricação de pisos com matéria-prima resíduos industriais, todo o processo produtivo da Construcum, desde a chegada do material até a sua paletização, atende ao mesmo procedimento de um piso convencional, haja vista também que o resíduo da produção retorna ao misturador para ser moldado na prensa novamente, contribuindo assim para a sustentabilidade de produção na empresa. As figuras 45 e 46 demonstram este processo.

Figura 45 - Prensa hidráulica de pisos



Figura 46 - Resíduo de produção



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

i. Piso com rejeito de minério

Pode-se observar que recentemente foi realizada uma produção de *piso intertravado* com adição de rejeito de mineração. A transformação de um resíduo em produto é uma alternativa técnica viável para o desenvolvimento sustentável, conforme relata o gerente de produção Sidney Souza. Entretanto não foi possível localizar os resultados alcançados para o piso de rejeito de minério de ferro, pois o lote de produção do experimento foi encaminhado para uma mineradora. Segundo a Construcom, o piso com rejeito de minério possui uma maior densidade, devido ao aumento da carga de material de granulometria fina. Entretanto o piso com a *escória de aciaria* aumenta a resistência da peça e a torna mais leve, conforme a sua variação de grãos.

A figura 47 apresenta o *piso intertravado* com rejeito de minério de ferro, nas dimensões: 8 cm de altura x 15cm de largura e 20 cm de comprimento.

Figura 47 - Piso de rejeito de minério de ferro - Construcom



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

ii. Piso com escória siderúrgica

Foram confeccionados, em 2005, pisos com escória de alto forno e *escória de aciaria* pela Construcom e comercializados no mercado. Pode-se observar que a cura da peça com o co-produto escória é longa em relação ao piso convencional, aproximadamente quatro dias. Seria necessário ampliar sua área de estocagem de cura do produto o que elevaria o custo para a empresa.

Hoje, nas fábricas de piso e artefatos de concreto, o insumo utilizado é o cimento CPV com adição de escória de alto forno, com agregado natural brita zero e areia. Este processo de dosagem proporciona a cura da peça em 24 horas.

Na argumentação de Souza(gerente de produção da Construcom), a utilização da *escória de aciaria* na produção de *pisos intertravados* gerou uma reação química que originou uma espuma expansiva na peça, apresentando uma mudança da cor do piso de tonalidade marrom e que, depois de alguns meses, a peça perdeu sua cor original, ficando branca.

De acordo com informações da Construcom, apresentam-se, a seguir, os resultados obtidos pelo uso das escórias de alto forno e *escória de aciaria* nos *pisos intertravados* conforme mostra o apêndice A – Resultados alcançados dos pisos intertravados produzidos com escória de alto forno e *escória de aciaria*.

Escória de alto forno: Resistência piso modelo H6 35 Mpa NBR 9780/2013

7 dias de cura – 33,84 Mpa

28 dias de cura – 37,67 Mpa

Escória de aciaria: Resistência piso modelo H6 35 Mpa NBR 9780/2013

7 dias de cura – 28,47 Mpa

28 dias de cura – 34,55 Mpa

A tabela 08 apresenta a relação de traços para a dosagem de uma peça nas dimensões 20mmx10mmx6mm para três tipos de matéria-prima encontrada.

Tabela 08 - Relação de dosagem para mistura piso intertravado - dimensões - (20x10x6)mm

<b>Matéria-prima</b>	<b>Piso intertravado convencional</b>	<b>Piso intertravado com rejeito de minério</b>	<b>Piso intertravado com escória de aciaria</b>
Cimento	24%	18%	25%
Areia lavada grossa	30%	32%	50%
Brita zero	15%	-	-
Rejeito minério de ferro	-	50%	-
Escória de aciaria	-	-	25%

Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

### 3.2 Entrevista semi-estruturada

Para esta investigação, foi elaborado um roteiro de perguntas abordando considerações importantes sobre a produção e controle de qualidade dos *pisos intertravados*. Esta entrevista foi realizada de forma presencial, na sala do gerente de produção - o engenheiro civil José Eli Goulart, durante a visita à fábrica Uni-Stein, localizada no município de Pedro Leopoldo, Minas Gerais, em 12 de maio de 2015, e teve a duração de cinquenta minutos. Antes da entrevista, explicou-se ao entrevistado a finalidade da visita, o objetivo da pesquisa e a importância de sua colaboração dentro do assunto abordado.

Pode-se considerar que esta entrevista foi dividida em duas partes. A primeira parte destinou-se a obtenção de informações relativas à capacidade de produção de *pisos intertravados* da Uni-Stein, o tipo da matéria-prima usado, a dosagem das misturas e custos de material do produto final. Para a segunda parte da entrevista, foram levantadas questões sobre o uso da *escória de aciaria* como insumo alternativo. Para tanto, este roteiro foi elaborado para que o entrevistado se sentisse à vontade para desenvolver suas próprias ideias e relatar suas experiências de forma descontraída. Esta entrevista semi-estruturada foi composta pelas seguintes perguntas:

01 - Qual a produção mensal de *pisos intertravados*?

02 - Quais as matérias-primas usadas?

03 - Como é feita a dosagem de traços?

04 - Qual o tempo de cura na estufa?

05 - Qual o custo unitário de materiais por m<sup>2</sup>?

06 - As dimensões desses produtos podem variar conforme especificação do cliente?

07 - Saberá dizer se a permeabilidade do piso intertravado convencional é semelhante ao piso intertravado de piso de minério de ferro ou escória?

08 - Poderia dizer se o uso de resíduo em substituição à matéria-prima convencional possibilita redução de custo de produção (custo homem x hora) e custo de materiais?

### 3.2.1 Análise dos resultados

As principais conclusões desta entrevista, teve por objetivo de entender a produção de *pisos intertravados* com matéria-prima convencional (areia, brita e cimento). Os fabricantes de *piso intertravados*, projetistas e construtoras devem adotar medidas para minimizar os impactos ambientais e estimular a ecoeficiência em todas as atividades. O cenário do mercado aponta o crescimento de produtos e sistemas construtivos para o desenvolvimento sustentável. Portanto será necessário implementar métodos e métricas que auxiliem na produção destes produtos. O apêndice B – roteiro de entrevista semi-estruturada da empresa Uni-Stein, mostra o modelo de questionário utilizado e suas respostas.

## 3.3 Questionários eletrônicos

Nesta seção, busca-se coletar respostas necessárias à pesquisa, apresentando os questionários eletrônicos como instrumento de coleta de dados, com intuito de cumprir com os objetivos do trabalho. Para tanto, foram elaborados questionários com perguntas para dois tipos de públicos: o primeiro para os especialistas em co-produtos das usinas siderúrgicas e, o segundo para as empresas fabricantes de *piso intertravados*.

### 3.3.1 Construção dos questionários

Primeiramente no cabeçalho, foram apresentados os objetivos da pesquisa, a origem da instituição da autora, a identificação da empresa e a garantia de confidencialidade das informações dos entrevistados, de modo que a revelação das respostas permaneceria no anonimato. Foram elaboradas questões abertas e fechadas relativas ao apreendido na revisão bibliográfica e nas observações das visitas técnicas realizadas em campo pertinentes a abordagem do tema. Para realizar a aplicação do questionário, foram desenvolvidos dois tipos de formulários via internet na plataforma Google Docs Forms através de um link e enviado, por e-mail, para os contatos das empresas. Este procedimento possibilitou um monitoramento do envio das respostas dos entrevistados.

Desse modo, foi enviado um total de 71 (setenta e um) questionários, 21 (vinte e um) para os especialistas em co-produto das siderúrgicas e 50 (cinquenta) para os fabricantes de *pisos intertravados*.

### 3.3.2 Especialistas em escória de aciaria das usinas siderúrgicas – 1ª fase

Na primeira etapa foram selecionados os especialistas em escórias de aço das usinas siderúrgicas instaladas na região sudeste do País (apêndice C – Lista de empresas de aço). Foram contatadas 21 (vinte e uma) empresas informando sobre o envio do questionário. Considerando o estado de Minas Gerais com o maior pólo siderúrgico foram encaminhados 14 (quatorze) questionários, em segundo lugar, São Paulo e Rio de Janeiro com 06 (seis) e, e para o estado do Espírito Santo, 01 (um) questionário. O apêndice D - questionário eletrônico para os especialistas em co-produtos das usinas siderúrgicas da primeira fase mostra o conteúdo das 12 (doze) questões relacionadas com as escórias siderúrgicas, contemplando a escória de alto forno e mais detalhadamente a *escória de aciaria*.

Cabe ressaltar que foi realizado um contato via telefone para a assessoria em inovação e sustentabilidade do Instituto do Aço Brasil, no Rio de Janeiro na data de 12 de maio de 2015, informando sobre a relevância deste estudo e a necessidade de colaboração das respostas para compor o desenvolvimento da pesquisa. A solicitação de apoio enviada via e-mail foi aprovada pela assessora de sustentabilidade e pela gerência de meio ambiente do Instituto Aço Brasil. Assim, o apêndice E – solicitação de respostas às empresas de aço apresenta o encaminhamento realizado pela assessoria do Instituto Aço Brasil para os responsáveis das empresas.

#### 3.3.2.1 Critérios para as alternativas de resposta

Cabe ressaltar que dentro dos critérios de reciclagem da escória de aço – alto forno e aciaria - sob a ótica da sustentabilidade no desenvolvimento de novos produtos, destacam-se a seguir os que compuseram o questionário:

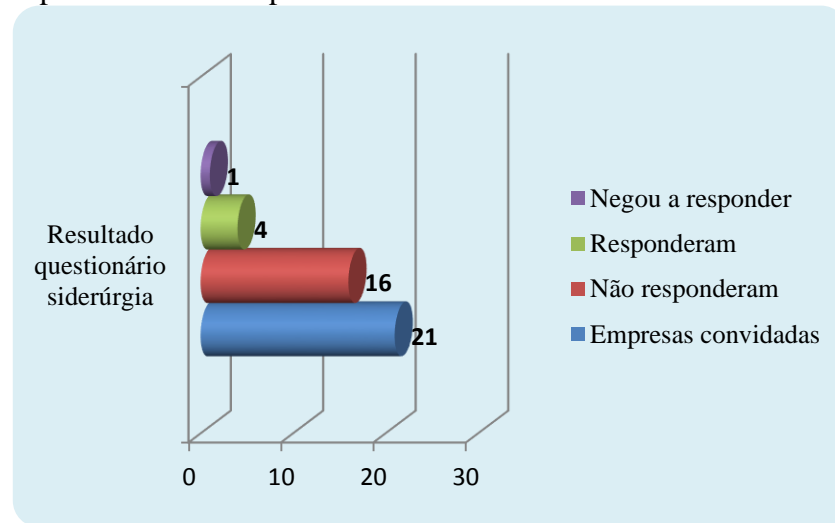
- i. Quanto às propriedades das escórias de alto forno e aciaria, é importante considerar os seguintes fatores técnicos para se obter uma qualidade na sua reciclagem: umidade excessiva, heterogeneidade, presença de elementos indesejáveis, forma física (granulometria), teor de ferro e razões operacionais específicas;

- ii. A composição química e física das diferentes escórias de alto forno e aciaria considerando diversos fatores, dentre eles: o processo ou tipo de forno utilizado no beneficiamento do aço, a matéria-prima empregada, a especificação do aço produzido, o resfriamento do co-produto e, posteriormente, seu depósito no pátio de armazenamento;
- iii. A necessidade de conhecer a quantidade de geração anual da *escória de aciaria* produzida nas usinas siderúrgicas com o intuito de garantir o fornecimento do material, levando em consideração as prioridades dos consumidores que escolhem usar o agregado em função do preço, serviço e disponibilidade para oferta. Frequentemente, a oferta é o fator mais importante, já que os projetos de construção requerem grandes quantidades de material a um só tempo.
- iv. Com relação ao fator econômico o agregado siderúrgico apresenta custo atraente em relação à brita zero, com economia da ordem de 50%, haja vista a importância do conhecimento de seu custo de venda.
- v. Com o intuito de estabelecer acordos e parcerias para desenvolver novos produtos, quem poderia ser o seu consumidor final.
- vi. Baseada nos princípios da sustentabilidade, os desafios, perspectivas e oportunidades fomentam a reflexão desta pesquisa sobre a complexidade de se fazer com que este resíduo seja reaproveitado de forma sustentável, definindo o seu potencial de inovação como um produto tecnologicamente novo e cujas características sejam diferentes de qualquer produto que o mercado possua.

### 3.3.2.2 Análise dos resultados

Do total de 21 (vinte e um) questionários enviados, 16 (dezesseis) não responderam, 04 (quatro) responderam e 01 (uma) empresa retornou informando que não poderia responder em virtude de questões sigilosas, visto que hoje o co-produto *escória de aciaria* tem valor de venda competitivo no mercado, conforme mostra o apêndice F – justificativa de não preenchimento do questionário 1ª fase. No entanto o gráfico 03 representa os dados correspondentes aos resultados de respostas das empresas.

Gráfico 03: representação das respostas questionário eletrônico para os especialistas em co-produto



Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

Para as empresas respondentes é importante dizer que não serão divulgados seus nomes, cabendo citá-las por nomes fictícios. Assim, apresentam-se a seguir as respostas das 04 (quatro) empresas (X, Y, W, Z) desta primeira fase, conforme a sequência das perguntas:

06. Quais as propriedades dos co-produtos *escória de aciaria* e *escória de alto forno*?

07. Quais as diferenças na composição física e química dos co-produtos *escória de alto forno* e *escória de aciaria*?

08. Qual a quantidade da geração anual do co-produto *escória de aciaria*?

09. Qual o preço de venda atual da *escória de aciaria*?

10. Quem hoje é seu consumidor do co-produto *escória de aciaria*?

11. Quais seriam os grandes desafios, perspectivas e oportunidades na busca da potencialidade de inovação do co-produto *escória de aciaria*?

12. Que outros produtos poderiam ser criados a partir do que já existe?

No quadro 04, apresentam-se as respostas dos especialistas em co-produto da 1ª fase do questionário eletrônico.

Quadro 04 - Resultados dos especialistas em co-produtos - 1ª fase do questionário eletrônico

(continua)

Respostas Especialistas em co-produtos				
Perguntas do Questionário	Empresa X Respondeu no dia 25/05/ 2015	Empresa Y Respondeu no dia 16/06/ 2015	Empresa W Respondeu no dia 18/06/ 2015	Empresa Z Respondeu no dia 23/06/ 2015
06 - Quais as propriedades dos co-produtos escória de aciaria e escória de alto forno?	<p>“A escória de alto forno é um material proveniente da produção de ferro gusa a partir da redução do minério de ferro que passa por um processo de resfriamento brusco e granulação, o que lhe confere propriedades de aglomerante hidráulico, adequadas à produção de cimento; a escória de aciaria é um material proveniente da produção e refino do aço, composto de óxidos e silicatos, com alta resistência ao desgaste, utilizada em obras de pavimentação, entre outras aplicações, com as mesmas funções dos agregados naturais não renováveis (areia e brita).”</p>	<p>“A escória de alto forno é o co-produto com maior volume de geração, na faixa de 210 a 310 kg por tonelada de ferro gusa produzida, dependendo da qualidade das matérias-primas utilizadas. Em razão do elevado volume gerado, é de suma importância seu reaproveitamento, fato que tem se concretizado de forma plena, visto que é uma importante matéria-prima para a indústria do cimento, em substituição ao clínquer. No Brasil, a totalidade das usinas siderúrgicas integradas adota o procedimento de granulação da escória de alto forno, processo que torna sua estrutura amorfa (vítrea), cujas propriedades são apropriadas à utilização na indústria do cimento. As escórias granuladas de alto forno (EGAF) são moídas e misturadas ao clínquer, dando origem a duas importantes qualidades de cimento, que são: o cimento portland de alto forno CP-III e o cimento portland CP-V.”</p> <p>Obs: quanto às propriedades da escória de aciaria – não respondeu</p>	<p>“A escória de alto forno constitui de uma basicidade binária<sup>20</sup> (% óxido de cálcio - CaO, % óxido de silício - SiO<sub>2</sub>) entre 0,6 e 0,9 para altos fornos a carvão vegetal e entre 0,9 a 1,35 para fornos a coque. Importante destacar a sua propriedade pozolânica e sua possibilidade de ser adicionada na fabricação de cimento, no início do processo ou após a formação do clínquer. A escória de alto forno é normalmente granulada em água o que facilita a sua moagem; entretanto, possui baixos teores de óxidos de ferro e alumina. A escória de aciaria apresentam-se três tipos de fornos diferentes, “(a) escória de forno Linz Donawitz (LD) – possui basicidade binária entre 3,0 e 6,0, normalmente com presença de óxido de cálcio livre, que exige sua estabilização para utilização posterior e possui alto teor de óxidos de ferro, (b) escória forno elétrico a arco (FEA) – possui basicidade entre 2,0 e 2,5 e teores elevados de óxidos de ferro alumina. Pode conter teores elevados de óxido de zinco, proveniente da sucata utilizada no processo. A sua composição química pode ser variada, o que dificulta sua utilização posterior, (c) escória de forno panela – possui basicidade binária entre 1,0 e 7,0 e teores elevados de óxidos de alumínio. Pode conter elevados teores de fluoretos.”</p>	Não respondeu

(continuação)

<sup>20</sup> A basicidade binária representa a razão entre dois óxidos básicos ou ácidos.

Quadro 04 - Resultados dos especialistas em co-produtos - 1ª fase do questionário eletrônico

(continua)

Perguntas do Questionário	Respostas Especialistas em co-produtos			
	Empresa X Respondeu no dia 25/05/ 2015	Empresa Y Respondeu no dia 16/06/ 2015	Empresa W Respondeu no dia 18/06/ 2015	Empresa Z Respondeu no dia 23/06/ 2015
07 - Quais as diferenças na composição física e química dos co-produtos escória de alto forno e escória de aciaria?	<p>“Pode-se afirmar a princípio que são os mesmos óxidos de cálcio, óxido de alumínio, óxido de magnésio, óxido de manganês (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO). Entretanto, a escória de aciaria ainda possui uma relativa percentagem de óxido de ferro (FeO). É importante citar que em função do seu processo de resfriamento brusco na escória granulada de alto forno há formação de dois elementos: C<sub>3</sub>S (silicato tri cálcico – alta) e C<sub>2</sub>S (silicato bi cálcico - belita), ambos são estruturas mineralógicas essenciais na fabricação do cimento.”</p>	Não respondeu	<p>“Quanto à composição química e física das escórias de alto forno e aciaria, destacam-se as seguintes percentagens dos elementos químicos: (a) escória de alto forno: 44% CaO; 6% MgO; 37% SiO<sub>2</sub>; 1% S, 0,4% K<sub>2</sub>O; 0,2% MnO; 0,2% Fe oxidado. A sua granulometria é menor que 5mm. (b) escória de aciaria LD: 49% CaO; 7% MgO; 12% SiO<sub>2</sub>; 0,15% S; 2,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 4,5% MnO; 16% Fe oxidado e 1,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (c) escória de FEA: 42% CaO; 2,7% MgO; 13% SiO<sub>2</sub>; 0,16% S; 1% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 2,2% MnO; 21% Fe oxidado e 5% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (d) escória básica de panela: 55% CaO; 7% MgO; 8% SiO<sub>2</sub>; &lt;0,5% MnO; &lt;0,5% Fe oxidado e 30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (e) escória ácida de panela: 46% CaO; 3% MgO; 37% SiO<sub>2</sub>; 2% MnO; &lt;2,5% Fe oxidado e 10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.”<sup>21</sup></p>	Não respondeu

(continuação)

<sup>21</sup> Nomenclatura dos compostos químicos: óxido de alumínio – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, óxido de cálcio – CaO, ferro – Fe, óxido de potássio – K<sub>2</sub>O, óxido de magnésio – Mg, óxido de manganês – MnO, óxido de fósforo – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, enxofre – S, óxido de silício – SiO<sub>2</sub>.

Quadro 04 - Resultados dos especialistas em co-produtos - 1ª fase do questionário eletrônico

(continua)

Respostas Especialistas em co-produtos				
Perguntas do Questionário	Empresa X Respondeu no dia 25/05/ 2015	Empresa Y Respondeu no dia 16/06/ 2015	Empresa W Respondeu no dia 18/06/ 2015	Empresa Z Respondeu no dia 23/06/ 2015
08 - Qual a quantidade da geração anual do co-produto escória de aciaria?	<i>“Considerando o ano de 2014, foram geradas 1.110.000 (um milhão e cento e dez mil) toneladas de escória de aciaria.”</i>	<i>“A escória de aciaria é também um importante co-produto da indústria siderúrgica, com geração na faixa de 100 a 150 kg por tonelada de aço produzido, dependendo das matérias-primas utilizadas e o processo de fabricação de aço, ou seja, de 10% a 15% da geração do aço bruto (33 milhões de toneladas por ano), para aproximadamente 4,5 a 5 milhões de toneladas por ano da escória de aciaria.”</i>	<i>“Escória de LD: 100 kg/t de aço líquido; escória de FEA: 80 kg/t de aço líquido e a escória de panela: 20 kg/t de aço líquido.”</i>	<i>“A geração de escória de aciaria varia em função da produção do aço, em torno de 600 kg/t ano.”</i>
09 - Qual o preço de venda atual da escória de aciaria?	Não respondeu	<i>“O preço de venda, hoje, da escória de aciaria gira entre R\$ 2,00 (dois reais) a R\$ 12,00 (doze reais) a tonelada. Além disso, são feitas doações a municípios vizinhos às usinas siderúrgicas em alguns estados.”</i>	Não respondeu	<i>“O preço de venda para uso em pavimentação é em torno de R\$ 10,00 (dez reais) a tonelada”</i>
10 - Quem hoje é seu consumidor do co-produto escória de aciaria?	<i>“Principais consumidores são as prefeituras, empreiteiras, concreteiras e fábricas de artefatos de concreto.”</i>	<i>“Principal consumidor hoje é o setor de pavimentação rodoviária, incluindo as empresas, terceiros e prefeituras.”</i>	Não respondeu	<i>“Hoje os principais consumidores são as construtoras, DER e prefeituras.”</i>

(continuação)

Quadro 04 - Resultados dos especialistas em co-produtos - 1ª fase do questionário eletrônico

(conclusão)

Respostas Especialistas em co-produtos				
Perguntas do Questionário	Empresa X Respondeu no dia 25/05/ 2015	Empresa Y Respondeu no dia 16/06/ 2015	Empresa W Respondeu no dia 18/06/ 2015	Empresa Z Respondeu no dia 23/06/ 2015
11 - Quais seriam os grandes desafios, perspectivas e oportunidades na busca da potencialidade de inovação do co-produto <i>escória de aciaria</i> ?	<i>“Quebrar os preconceitos de alguns órgãos ambientais e comunidades, na maioria das vezes por desconhecimento, haja vista que este material é largamente utilizado no mundo há décadas sem riscos à saúde e ao meio ambiente. Para tanto, evidenciar a importância de se usar um material reciclável traz benefícios tais como a menor emissão de CO<sub>2</sub>.”</i>	<i>“Os desafios propostos para potencializar o uso da escória de aciaria em novos produtos incluem: a melhoria da classificação do agregado de escória de aciaria, ou seja, o seu processo de britagem e peneiramento; a realização constante de testes e análises de laboratórios; o desenvolvimento de normas e padrões de uso e a difusão das características e informações do material para o meio acadêmico e o profissional.”</i>	<i>“Reaproveitar as escórias de aciaria no próprio processo de fabricação do aço como, por exemplo, na utilização da escória de forno panela como substituto de fundentes (fluorita) na fase de refino primário do aço.”</i>	<i>“Um desafio a seguir é na aplicação da escória de aciaria em cimento e concreto.”</i>
12 - Que outros produtos poderiam ser criados a partir do que já existe?	<i>“Na busca de inovação tecnológica, poderiam ser criados novos produtos com a escória de aciaria, dentre eles: fertilizantes e corretivo de solo, lã de rocha, cimento e argamassas.”</i>	<i>“Como criação de novos produtos para a construção civil, para a indústria do cimento e também pavimentação ferroviária.”</i>	Não respondeu	<i>“Criar produtos para artefatos de concreto para a construção civil.”</i>

Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

### 3.3.3 Empresas fabricantes de piso intertravado – 2ª fase

Para a segunda etapa foram selecionadas empresas fabricantes de *pisos intertravados* localizadas na região sudeste do país (Apêndice G – Listas de fabricantes de *piso intertravados*). Foram contatadas 50 empresas, por e-mail ou via telefone, sobre o envio do questionário. Considerando o estado de São Paulo o maior pólo para este segmento, foram enviados 29 (vinte e nove) questionários e, em seguida, Minas Gerais com 11 (onze), o Rio de Janeiro com 07 (sete) e, por último, o Espírito Santo com 03 (três). O apêndice H apresenta o questionário eletrônico dos fabricantes de *pisos intertravados* com 13 perguntas relacionadas com a fabricação dos pisos e a inserção da matéria-prima *escória de aciaria* como material alternativo na composição. Para tanto, foram elaboradas questões abertas e fechadas.

#### 3.3.3.1 Critérios para as alternativas de resposta

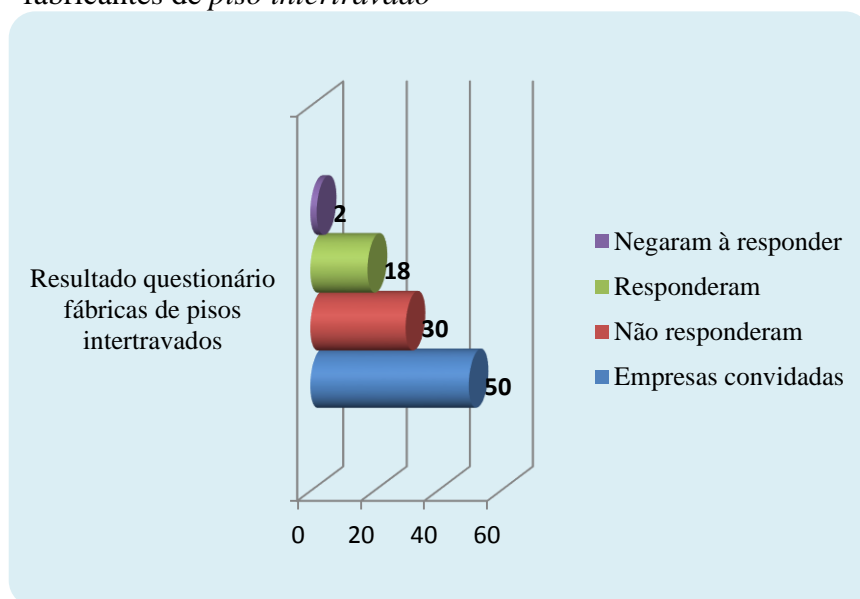
Podem-se considerar para escolha das empresas e elaboração do questionário, os seguintes critérios:

- i. Diante do potencial industrial no sudeste do Brasil, não somente na siderurgia, mas em todos os segmentos da indústria, optou-se pela escolha dos estados que compõem esta região.
- ii. Ocorre que muitas empresas ainda não conhecem os rejeitos industriais que se tratados podem ser utilizados para a produção de um determinado produto. Para tanto, é necessário que a escória seja conhecida como um insumo ou que faça parte dele.
- iii. Cabe ressaltar que, no processo siderúrgico, existe a geração de escórias de alto forno e *escórias de aciaria* e que ambas podem ser aplicadas em novos produtos. Será importante ao fabricante saber distinguir suas características.
- iv. Promover tecnologias de mistura da escória com outros materiais visando à redução de exploração de recursos naturais.
- v. Estabelecer acordos e parcerias para desenvolver novos produtos.
- vi. Investir no domínio de tecnologias que permitam diversificar o uso da matéria-prima escória.
- vii. Entender que a siderurgia tem um produto a oferecer e não um material indesejável a dispor.

### 3.3.3.2 Análise dos resultados

Do total de 50 (cinquenta) questionários enviados, 31 (trinta e um) não responderam, 18 (dezoito) responderam e 02 (duas) empresas retornaram informando que não usam a *escória de aciaria* em seus processos e, por isso, não poderiam discutir sobre o tema, conforme mostra o apêndice I – justificativa de não preenchimento do questionário – 2ª fase. O gráfico 04, apresenta a relação dos questionários enviados.

Gráfico 04 - Representação das respostas - questionário eletrônico para fabricantes de *piso intertravado*



Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

06. Você sabe da existência do co-produto *escória de aciaria*, um resíduo da fabricação do aço?

Se sim, por quê?

Pode-se observar que das 18 (dezoito) respostas, 12 (doze) conhecem a *escória de aciaria* e 06 (seis) desconhecem o material. As justificativas positivas sobre esta questão serão apresentadas qualitativamente através da fala dos participantes.

1. “Sim, porque já visitei algumas aciarias como CSN e Usiminas”.
2. “Sim, Há anos fizemos ensaios de adição de escoria ao cimento CPV, pra fabricação de pré-moldados de concreto.”

3. “*Sim, já vimos amostras. Mas não temos um estudo correto de sua utilização e qual o impacto a manuseio deste produto por funcionários, se ele seria agressivo a saúde.*”
4. “*Sim por ter contato com pessoal da USP São Carlos (Laboratório Arquitetura).*”
5. *Sei da existência. Já vi materiais fabricados com o uso de escória de aciaria como blocos para alvenaria.*
6. “*Sim, pelo fato de utilizarmos um produto também gerado em uma siderúrgica o pó de calcário britado.*”
7. “*Sim, devido a testes de possível reaproveitamento da escória em dosagem de cimento.*”
8. “*Sim, já fizemos trabalhos com este material.*”
9. “*Sim, já utilizamos em nosso processo produtivo.*”
10. “*Sim, adquiri um conhecimento através de uma leitura sobre este tema.*”
11. “*Sim, pois já vieram oferecer o co- produto na fábrica.*”
12. “*Sim, utilizamos, em 2005, em nosso processo de fabricação.*”

07. Você saberia distinguir a diferença entre os co-produtos *escória de aciaria* e *escória de alto forno*? Se sim, por quê?

1. “*Sim, a escória de alto forno tem aspecto de farinha e, normalmente, é mais clara.*”
2. “*Sim, um pouco por estar concluindo formação em Técnico em Mecânica.*”
3. “*Sim, a escória de alto forno possui coloração clara.*”
4. “*Sim, pelas características do material.*”

Pode-se observar que apenas quatro (04) empresas saberiam distinguir os co-produtos de *escória de aciaria* e *escória de alto forno*, ou seja, as demais quatorze (14) empresas que responderam não souberam relatar sobre a questão.

08. Você utiliza a *escória de aciaria* siderúrgica como matéria-prima na produção dos *pisos intertravados*? Se sim, qual?

Apenas uma (01) empresa afirmou a utilização da *escória de aciaria* como matéria-prima em *pisos intertravados*. Assim sendo, dezesseis (16) enviaram resposta negativa, e quatro (04) empresas relataram as seguintes justificativas:

1. “Hoje não utilizamos, mas já utilizamos durante um longo período.”
2. “Não, utilizamos apenas na produção de blocos de concreto.”
3. “Não, ainda devemos fazer investimentos nas máquinas para utilizar a escória de aciaria.”
4. “Não, soube de empresas que tentaram, mas não conseguiram atingir a resistência necessária e, normalmente, a cor do produto não fica a contento do cliente, a peça fica escura.”

09. Você aplicaria a *escória de aciaria* como material alternativo na produção de *pisos intertravados*?

A afirmação positiva foi dada por treze (13) empresas, cinco (05) disseram que não aplicariam a *escória de aciaria* como matéria-prima alternativa na produção de *pisos intertravados*.

10. Qual seria sua demanda de escória para sua linha de produção?

Para a demanda da escória para a linha de produção, a pesquisa aponta dez (10) empresas que utilizariam 1.000m<sup>3</sup>, quatro (04) empresas de 1.001m<sup>3</sup> a 5.000m<sup>3</sup> e quatro (04) empresas não responderam.

11. O mercado poderia ser influenciado pela mudança no uso da *escória de aciaria* como matéria-prima?

A pesquisa confirmou que 13 empresas disseram que haveria uma influência na mudança da matéria-prima *escória de aciaria* e, apenas 04, disseram não para a possível mudança.

E uma (01) empresa preferiu não responder.

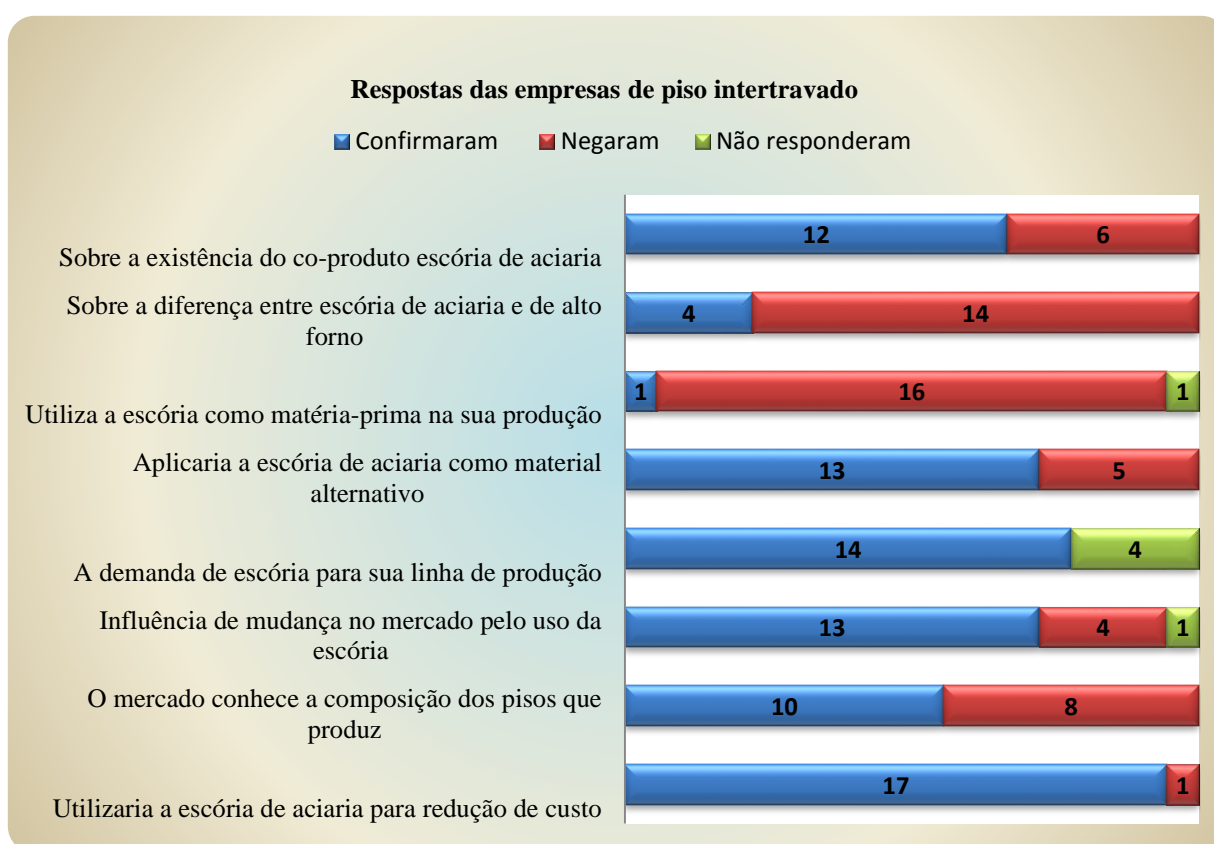
12. O mercado conhece a composição dos pisos que produz?

Como resposta positiva sobre o conhecimento do mercado para a composição dos produtos fabricados pelas empresas de *piso intertravado*, obteve-se a confirmação de dez (10) empresas e oito (08) empresas disseram que o mercado não conhece a composição de pisos que produz.

13. Você utilizaria a *escória de aciaria* como alternativa de redução de custo ou agregar valor ao co-produto?

Dezessete empresas respondentes confirmaram que o uso da *escória de aciaria* como alternativa poderia reduzir o custo de materiais e agregar valor ao co-produto. Para esta questão, obteve-se apenas uma resposta negativa. No gráfico 05 mostram-se os dados relativos ao questionamento aplicado as empresas participantes.

Gráfico 05 - Panorama das respostas enviadas pelas empresas participantes na pesquisa



Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

A seguir, no capítulo 4 apresentam-se as discussões dos resultados das visitas técnicas, o questionário semi-estruturado e os questionários eletrônicos.

## 4 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

O presente capítulo objetiva interpretar as informações obtidas em campo através dos seguintes instrumentos de coleta: as visitas técnicas, a entrevista semi-estruturada e os questionários eletrônicos. Assim é retomada a pergunta de partida desta investigação:

*“é possível utilizar a escória de aciaria em pisos intertravados?”*

Verifica-se, no estudo de literatura apresentado no segundo capítulo desta dissertação, que existe um potencial de aplicação das escórias siderúrgicas, tanto das oriundas do processo de redução a escória de alto forno como do processo de refino do aço a *escória de aciaria*. Pode-se citar a utilização da *escória de aciaria* em artefatos da construção civil como: blocos, telhas e pisos.

### 4.1 Discussão dos resultados conforme as visitas técnicas

Quanto à primeira investigação de campo da pesquisa, o objetivo foi identificar o processo de produção da *escória de aciaria*, seu beneficiamento e geração, analisando as suas características para a utilização na fabricação de *pisos intertravados*.

#### *i. Usina Siderúrgica de Minas Gerais - Usiminas*

Sugere-se, além do escopo, que neste trabalho não se pretende levantar críticas quanto aos contrastes do cenário urbano da cidade de Ipatinga observados pela autora: uma natureza exuberante contrapondo com a rigidez do aço e nem haveria condições para isso. Por outro lado, não poderia identificar a Usiminas como responsável pela transgressão do meio ambiente e nem pelas benfeitorias na cidade, mas sim de buscar a preservação da natureza como prioridade.

Compreende-se, portanto, o ponto de vista dos colaboradores da Usiminas sobre a atual crise financeira: os choques de cultura empresarial provocados pela falta de visão sistêmica em virtude da divisão da empresa, Japão (Nippon Steel) e Argentina (Ternium). Há na empresa uma capacidade tecnológica de pesquisadores com qualidade reconhecida pelo mercado, na busca constante de inovações para reutilizar os seus resíduos de maneira sustentável.

Entretanto, neste momento da instabilidade econômica mundial, destaca-se a falta de recursos para a compra de novas tecnologias, considerando os altos custos de investimentos, a redução da produção e, recentemente, em junho de 2015, o desligamento do alto forno, conforme o comunicado enviado ao mercado.

Observa-se que é fundamental conhecer o processo de produção da escória, visto que as variações na composição química resultam nas propriedades do material. Sua característica marcante é de ser composta por muitos óxidos como CaO e MgO e de ser expansível devido a reações químicas desses óxidos. Com relação aos aspectos ambientais, a Usiminas busca alternativas para o reaproveitamento de seus resíduos; entretanto foi observado, durante a visita e na coleta de informações, o receio em discutir sobre a destinação da escória e a razão pela existência desse passivo ambiental gigantesco no pátio de armazenamento, visto que este é, na verdade, o objetivo do estudo. A figura 48 no pátio 03 de armazenamento apresenta este cenário.

Figura 48 - Pátio 03 de armazenamento de *escória de aciaria*, Ipatinga/MG



Fonte: Acervo particular da autora, 2015.

Toda a informação referente à visita técnica é de uso público disponível, fotografias e amostras foram cedidas para a autora, com intuito de compor o trabalho, haja vista que quantitativos não são fornecidos para o público externo. Para estes dados foram utilizados os sites do CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) e IABr (Instituto do Aço do Brasil).

## ii. Silifértil ambiental

Verifica-se, nesta visita, o processo de separação e classificação da escória e o conhecimento das várias possibilidades de dimensões, cores e texturas da *escória de aciaria*. A partir deste processo da triagem, a escória passa da condição de resíduo para se tornar um co-produto “o *agregado siderúrgico*.”

Portanto, a importância desta visita técnica contribuiu para ampliar os conhecimentos das realidades tecnológicas nas diversas aplicações deste co-produto.

## iii. Uni-Stein – pavimentação intertravada

Esta visita apresenta considerações importantes sobre a produção, controle de qualidade e aspectos técnicos para a aplicação do *piso intertravado* de concreto na construção civil, visto que a viabilidade desse sistema construtivo traz benefícios ambientais, econômicos e sociais para a inserção da sustentabilidade no ambiente construído. Para tanto, profissionais que fazem uso deste produto podem obter as vantagens de um sistema prensado com alta produtividade, grande precisão dimensional e o baixo custo de mão de obra, garantindo um diferencial competitivo no mercado. Uma importante característica desse sistema é que o piso poderá ser removido e reconstruído no mesmo local, ou em outro ambiente, com 100% de aproveitamento das peças. Em relação à capacidade tecnológica da empresa foi observada uma evolução dos recursos e equipamentos automatizados utilizados garantindo um sistema operacional integrado de produção.

## iv. Construcom – Artefatos de concreto

Na fase final de visita às empresas, buscou-se investigar sobre a produção de *pisos intertravados* com resíduos de mineração e escória siderúrgica fabricados pela Construcom em 2005. Cabe ressaltar que foi a única empresa que disponibilizou informações e resultados quanto ao uso das escórias, e que confirmou a possibilidade de uso para tráfego leve conforme exigida na norma NBR 9781/2013. Pode-se observar que os resultados mostram que a *escória de aciaria* pode ser convertida em uma matéria-prima para obtenção de peças prensadas.

A sustentabilidade na empresa está cada vez mais presente nos dias atuais e, por isso ela tem uma participação maior na produção da construção civil, visto que a pavimentação intertravada traz vantagens e benefícios para a sociedade.

#### **4.2 Discussão dos resultados conforme entrevista semi-estruturada**

O primeiro ponto de análise utilizou a entrevista presencial para entender os fatos estudados que não puderam ser observados pela autora durante a visita. Buscou-se conhecer a capacidade de produção da indústria e o processo de separação das matérias-primas para a mistura do produto final.

A Uni-Stein utilizou a *escória de aciaria* com adição de cimento CPV na produção de artefatos para a construção. Foi comprovado que a *escória de aciaria* atrasa a cura, mas o interessante é que sua resistência é maior que o piso convencional. De fato, a escória é um grande insumo, mas existe a problemática de sua estabilidade, visto que hoje a tecnologia é limitada para o seu tratamento.

Os resultados indicaram que a entrevistada apresentou atributos que poderiam ser alcançados nos objetivos da pesquisa.

#### **4.3 Discussão dos resultados conforme questionários eletrônicos**

Dos 71 questionários eletrônicos encaminhados, 22 mostraram ter conhecimento sobre o assunto da pesquisa, enquanto 49 não responderam, por questões sigilosas ou pela instabilidade no trabalho em virtude da crise econômica atual.

##### **i. Especialistas em co-produtos das siderúrgicas**

A primeira pergunta apresentada aos especialistas em co-produtos das siderúrgicas trata das propriedades da escória de alto forno e *escória de aciaria*. O quadro 05 demonstra os resultados das empresas.

Quadro 05 - Propriedades das escórias de alto forno e aciaria apresentada pelos especialistas

Especialistas em co-produtos	Propriedades da escória de alto forno	Propriedades da escória de aciaria
Empresa X	Aglomerante hidráulico adequado à produção de cimento	Composto de óxidos e silicatos, com alta resistência ao desgaste com as mesmas funções dos agregados naturais não renováveis (areia e brita)
Empresa Y	Estrutura amorfa (vítrea), cuja propriedade são apropriadas à utilização na indústria do cimento, em substituição ao clínquer	Não respondeu
Empresa W	Propriedade pozolânicas e pode ser adicionada na fabricação de cimento no início do processo ou após a formação do clínquer.	(a) escória LD – possui basicidade binária entre 3,0 e 6,0; (b) escória FEA – possui basicidade entre 2,0 e 2,5 e teores elevados de óxidos de ferro; (c) escória de forno panela – possui basicidade binária entre 1,0 e 7,0 e teores elevados de óxidos de alumínio.
Empresa Z	Não respondeu	Não respondeu

Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

Pelo quadro 06, observa-se que os especialistas apresentaram pouca informação das propriedades destes materiais; é necessária maior articulação de esforços para disseminar o conhecimento existente por parte das empresas. Percebe-se um distanciamento entre a comunidade acadêmica, a comunidade empresarial e a administração pública para desenvolvimento em tecnologia no ambiente construído. A produção e a transformação de um material em produto requerem conhecimentos das estruturas internas dos responsáveis por seus materiais, principalmente para prever o comportamento destes materiais no ambiente, possibilitando o controle de suas propriedades e características. Portanto, além das importantes características citadas pelos entrevistados, é procedente realizar a análise de um material compreendendo a natureza de suas propriedades conforme mostra o quadro 06.

Quadro 06 - Propriedades dos materiais

Propriedades Físico Químicas	Propriedades Mecânicas
Densidade	Resistência
Propriedades Térmicas	Ductabilidade
Propriedades Magnética	Rigidez
Propriedades Ópticas	Dureza
Propriedades Acústicas	Resistência fadiga
Propriedades de corrosão / oxidação	Resistência a fluência
	Tenacidade e Tenacidade á fratura

Fonte: Nota de aula, ministrada pela Prof<sup>a</sup> Maria Teresa Paulino Aguiar, 2014.

Cabe ressaltar que as propriedades térmicas, ópticas e acústicas foram consideradas importantes na publicação da norma NBR 15575 sobre desempenho dos materiais a partir de julho de 2013. Deve-se evidenciar que para a produção de um produto para a construção civil, as características de tolerância dimensional, vida útil, moldabilidade, complexidade, rugosidade superficial, estética, dimensão e forma deverão ser estudadas para as escórias siderúrgicas. Um segundo questionamento dirigido aos especialistas refere-se à composição química da escória de alto forno e *escória de aciaria* e serão interpretadas somente as duas repostas que foram respondidas. A tabela 09 demonstra a especificação dos especialistas em resposta para esta pesquisa.

Tabela 09 - Composição física e química das escórias de alto forno e aciaria conforme especialistas em co-produto

Especialistas em co-produtos	Composição física e química da escória de alto forno	Composição física e química da escória de aciaria
Empresa X	CaO, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, MnO / C <sub>3</sub> S (silicato tricálcico – alita) e C <sub>2</sub> S (silicato bicálcico – belita)	CaO, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, MnO - FeO
Empresa Y	Não respondeu	Não respondeu
Empresa W	(a) escória de alto forno: 44% CaO; 6% MgO; 37% SiO <sub>2</sub> ; 1% S, 0,4% K <sub>2</sub> O; 0,2% MnO; 0,2% Fe oxidado. A sua granulometria é menor que 5mm.	(b) escória de aciaria LD: 49% CaO; 7% MgO; 12% SiO <sub>2</sub> ; 0,15% S; 2,5% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 4,5% MnO; 16% Fe oxidado e 1,5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . (c) escória de FEA: 42% CaO; 2,7% MgO; 13% SiO <sub>2</sub> ; 0,16% S; 1% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 2,2% MnO; 21% Fe oxidado e 5% de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . (d) escória básica de panela: 55% CaO; 7% MgO; 8% SiO <sub>2</sub> ; <0,5% MnO; <0,5% Fe oxidado e 30% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . (e) escória ácida de panela: 46% CaO; 3% MgO; 37% SiO <sub>2</sub> ; 2% MnO; <2,5% Fe oxidado e 10% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .
	Não respondeu	Não respondeu

Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

A empresa X relata que ambas as escórias possuem a mesma composição, tendo uma diferença para o óxido de ferro FeO presente na *escória de aciaria* e os silicatos de alita e belita (tricálcio e bicálcio) C<sub>2</sub>S e C<sub>3</sub>S, ambos constituintes do clínquer do cimento Portland.

A empresa W responde que a escória de alto forno possui 0,2% de óxido de ferro na sua composição e, quanto à *escória de aciaria* existe uma variação de componentes conforme o tipo de forno que a escória é gerada.

A *escória de aciaria* elétrica apresenta diversas composições químicas em relação às demais devido principalmente ao insumo utilizado na fase de refino de aço, à sucata metálica que é adquirida de outros processos industriais, seja pelo reaproveitamento no processo da própria siderúrgica ou, externo, por outras indústrias que utilizam o aço como matéria-prima. Foi também questionado aos participantes sobre qual seria a geração anual de *escória de aciaria*. A tabela 10 mostra este resultado.

Tabela 10 - Geração anual de *escória de aciaria*

Especialistas em co-produtos	Geração da <i>escória de aciaria</i>
Empresa X	1.110.000 milhões de toneladas para 2014
Empresa Y	4,5 a 5 milhões por ano
Empresa W	Escória LD 100 kg/t de aço, Escória FEA 80 kg/ t. Forno panela 20 kg/t
Empresa Z	Varia em função da produção em torno de 600kt/ano

Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

Deve-se considerar que, para todo e qualquer processo industrial, a geração daquele resíduo varia em função da produção. Com base nas últimas informações do site do Instituto do Brasil,<sup>22</sup> em maio de 2015, a região sudeste do Brasil produziu, aproximadamente, 11.000 toneladas de aço, valor considerado para 110 kg/t da *escória de aciaria* LD, FEA e forno panela.

A questão seguinte trata do preço de venda da *escória de aciaria* e o resultado aponta dois custos atuais; para as outras empresas esta informação não pode ser disponibilizada. O preço atualmente fica entre R\$ 2,00 á R\$ 12,00 á tonelada. Se considerar a substituição da *escória* pelos agregados naturais (areia e brita), o custo seria menor para a aplicação do co-produto como matéria-prima alternativa.

A questão levantada para os quatro especialistas em co-produtos, sobre quem seria seu consumidor de *escória de aciaria*, os mesmos colocaram, em sua maioria, que são as prefeituras, empreiteiras e fábricas de artefato de concreto. O quadro 07 mostra a resposta correspondente à informação da empresa.

<sup>22</sup> Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp>, acesso em 08/07/2015

Quadro 07 - Consumidor para as *escórias de aciaria*

Especialistas em co-produtos	Consumidor final da escória de aciaria
Empresa X	Prefeituras, empreiteiras, concreteiras e fábricas de artefatos de concreto
Empresa Y	Pavimentação rodoviária, incluindo as empresas e prefeituras, além de doações
Empresa W	Informação não disponível
Empresa Z	Construtoras, DER e prefeituras

Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

De acordo com as repostas dos entrevistados na questão sobre os desafios, perspectivas e oportunidades de inovação no uso da *escória de aciaria*, o quadro 08 apresenta os seguintes atributos:

Quadro 08 - Desafios, perspectivas e oportunidades na busca de inovação

Especialistas em co-produtos	Desafios, perspectiva e oportunidades na busca de inovação
Empresa X	Quebra de preconceitos de comunidades e órgãos ambientais
Empresa Y	Melhoria nos processos de beneficiamento da escória Normas e padrões Difundir as características e informações Realização de testes em laboratório constantes
Empresa W	Reaproveitar as escórias de aciaria no próprio processo de fabricação do aço
Empresa Z	Aplicação da escória de aciaria em cimento e concreto

Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

Diante do exposto, as oportunidades de inovação são aquelas que melhor aproveitam as características físico-químicas que este co-produto apresenta em todo seu processo de produção, para gerar um novo produto de melhor desempenho e menor impacto ambiental e, evidentemente, competir em um nicho de mercado. A proposta de desafios para a quebra de preconceitos das comunidades e órgãos públicos deste País deve refletir crítica as suas próprias demandas. Cabe ao poder público dar suporte prioritariamente, na infra-estrutura em desenvolvimento para pesquisa em universidades, institutos de pesquisa e empresas. Por outro lado, cobrar das empresas resultados mais consistentes de seus processos de geração de resíduos. Assim, formar consciência sobre alternativas de reaproveitamento de um material reciclável amplia o conhecimento da comunidade e a convida a refletir sobre sua realidade.

Deve-se considerar que, para que o tratamento de qualquer resíduo tenha êxito, é necessário separar o mesmo considerando suas características físico-químicas. Para tanto, no caso das escórias, a classificação já começa nas baias de recebimento dos processos de redução e refino do aço, alto forno e aciaria respectivamente. Importante citar que para os diferentes tipos de *escória de aciaria* seja LD, FEA e forno panela, não se deve misturar num mesmo processo por razões técnicas e legais, pois a legislação proíbe a mistura de resíduos que tenham características diferentes. Entretanto, para a reutilização e reciclagem de resíduos como uma matéria-prima alternativa, é necessário que todos sejam tratados com operações extensivas de contaminantes. O exposto nesta pesquisa aponta para que haja uma integração, cada vez maior, entre os pesquisadores acadêmicos e profissionais.

Um desafio para o desenvolvimento tecnológico pautado na sustentabilidade é buscar a destinação total de toda a escória produzida.

O especialista da empresa Z aponta para a inovação do processo siderúrgico, como por exemplo, no uso de fundentes.

Percebem-se, não somente nas dissertações e teses acadêmicas, mas também em centros de pesquisas nas grandes empresas, estudos para a aplicação de *escória de aciaria* em cimento e concreto. Como respostas aos novos produtos que poderiam ser criados, os especialistas confirmaram a aplicação para a indústria da construção civil.

#### Quadro 09 - Produtos a serem criados com a *escória de aciaria*

Especialistas em co-produtos	Produtos a serem criados
Empresa X	Lã de rocha, cimento e argamassas
Empresa Y	Novos produtos para a construção civil, indústria do cimento e pavimentação ferroviária
Empresa W	Escória de LD: separação em três fases: 1 - rica em manganês e ferro; 2 - rica em fosfato de cálcio e 3 - rica em CaO e SiO <sub>2</sub> . Escória de panela: utilização como substitutos de fundentes (por exemplo: fluorita) no refino primário de aço
Empresa Z	Criar produtos para artefatos de concreto para a construção civil

Fonte: Dados de pesquisa de campo (elaborado pela autora, 2015).

ii. Empresas de *pisos intertravados*

O resultado mostrou que as empresas de *pisos intertravados* expressam o seu conhecimento acerca da abordagem do tema. Pode-se observar que os participantes tenderam a se influenciar pelo uso deste resíduo siderúrgico para um segmento de mercado da construção civil. Por meio do reaproveitamento da escória de aciaria, as empresas encontram caminhos estratégicos para incorporar as práticas sustentáveis em seus produtos.

No gráfico 05 da página 108, quando questionados em relação à questão “sobre a existência do co-produto *escória de aciaria*”, 12 empresas responderam que sabem da existência e 06 não. Entretanto, pode-se observar o oposto para a próxima pergunta, que conclui que a maioria dos fabricantes de *pisos intertravados* tem dificuldade em distinguir a escória de alto forno e *escória de aciaria*, apenas quatro empresas disseram que conhecem as diferenças entre as escórias.

A influência do resultado da questão anterior reflete no resultado da pergunta sobre “se você utilizaria a escória siderúrgica na linha de produção de seus produtos”. Dezesesseis (16) empresas opinaram por não usar esta matéria-prima.

Em relação à incorporação de novas tecnologias para o uso da *escória de aciaria* como material alternativo, constatou-se que 60% das empresas respondentes confirmaram a aplicação do co-produto na produção de seus *pisos intertravados*. Conforme mostrado nos resultados, cerca de dez (10) empresas consideram 1.000 m<sup>3</sup> de escória para sua demanda e, apenas quatro (04) participantes optaram pela alternativa de 1.001 m<sup>3</sup> a 5.000 m<sup>3</sup> para sua linha de produção.

Verifica-se que diante de um cenário de mudanças em que vivemos atualmente, o mercado poderia ser influenciado pelo uso da escória como matéria-alternativa, haja vista que diversificar novas tecnologias sustentáveis permitiria a redução de exploração dos recursos naturais. Evidencia-se este resultado na afirmação de treze (13) empresas participantes e, apenas quatro (04), não concordaram com a mudança para uma nova matéria-prima.

De fato as mudanças são constantes em relação à tecnologia, todavia não são suficientes para influenciar uma diferenciação. Para preencher esta lacuna, é necessário trabalhar as competências multidisciplinares em todos os aspectos das organizações.

Observa-se que, no resultado obtido pela pergunta “se o mercado conhece a composição dos pisos que produzem”, dez (10) empresas que participaram do questionário afirmaram que sim, e oito (08) empresas disseram que não. Diante desse fato, podem-se levantar as seguintes considerações: em primeiro lugar, uma parte considerável do consumidor “brasileiro” da região sudeste, mais precisamente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, não têm conhecimento da procedência dos materiais utilizados na fabricação dos produtos que compra; em segundo lugar, as empresas não têm conhecimento das reais necessidades de seus clientes e, por fim, os funcionários das empresas não têm o conhecimento do produto que oferecem para o mercado. Portanto, concluiu-se, nesta questão, que faltam iniciativas de gerenciamento de processos e treinamentos para as pessoas em toda a cadeia de indústria da construção civil.

É importante apontar as respostas do questionamento sobre a “utilização da *escória de aciaria* como alternativa de redução de custo ou agregar valor ao co-produto”, dezessete dos participantes (17) foram positivos e, apenas uma (01) empresa, negou a possibilidade de uso. Ocorre nestas empresas um processo produtivo otimizado contribuindo para que os custos e gastos fiquem minimizados, proporcionando uma redução no preço final do produto.

Finalmente, no final desta seção, com os resultados já discutidos revela-se que o co-produto *escória de aciaria* apresenta um bom desempenho quanto aos produtos para a construção civil. Mas de certo há ainda muito a ser estudado sobre seu uso, principalmente em *pisos intertravados*, desse modo conclui-se este capítulo, e a seguir no capítulo cinco, serão apresentadas as conclusões sobre esta pesquisa.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como premissa a análise do potencial de uso da *escória de aciaria* na produção de *pisos intertravados*, o que delineou uma investigação de campo e que gerou uma série de resultados conforme exposto nos capítulos três e quatro. Os resultados obtidos na análise de campo em conjunto com as informações contempladas na revisão bibliográfica indicam que a *escória de aciaria* pode ser vista como uma matéria-prima promissora para a indústria da construção civil devido às suas características. A construção civil é um dos maiores consumidores de matéria-prima natural, sendo responsável por um consumo de 15% a 50% de todos os recursos naturais explorados no mundo segundo informações da American Society of Civil Engineers, 2014 (ASCE).

Portanto, a reciclagem deste co-produto irá contribuir de forma positiva para a minimização da exploração dos recursos naturais não renováveis, além de diminuir o passivo ambiental nos pátios das empresas. Com base nas análises apresentadas verifica-se que a pesquisa possibilitou atender os objetivos propostos mesmo com um número reduzido de empresas respondentes. Para tanto as conclusões serão explanadas a seguir:

### **Analisar o potencial de uso da *escória de aciaria* como matéria-prima na produção de *pisos intertravados***

Nesta análise baseada em visitas técnicas, entrevistas e questionários, o uso da *escória de aciaria* se comprova como matéria-prima para a produção de *pisos intertravados*, demonstrando seu potencial dentro do mercado como importante insumo para o desenvolvimento de novos produtos. A avaliação completa da reciclagem da *escória* deste co-produto deve abranger as dimensões nos aspectos ambientais, econômico, técnico, além do social. Do ponto de vista das empresas respondentes faltam parcerias e atitudes dos gestores para a aplicação da *escória de aciaria* em novos produtos.

#### *Potencial de uso sob o ponto de vista Técnico*

Conforme os resultados obtidos por outros pesquisadores e empresas relatados neste estudo, pode-se afirmar que a incorporação da *escória de aciaria* para a produção de *intertravados* apresenta a vantagem de obter uma resistência maior do que a matéria-prima convencional.

Entretanto, devem-se ter os cuidados de tratamento e beneficiamento deste co-produto, uma vez que os resíduos de qualquer natureza, quando separados de forma correta, têm valor considerável no mercado. A *escória de aciaria* é um grande insumo, mas existe a problemática de sua expansibilidade, visto que o processo de estabilização do resíduo teve um avanço tecnológico importante nos últimos dez anos. Quanto à sua classificação granulométrica o material deverá ter granulometria de até 5 mm para sua aplicação nos *pisos intertravados*.

#### *Potencial de uso sob o ponto de vista ambiental*

Este trabalho apresenta uma interação entre a construção civil, a cadeia produtiva de aço, a cadeia de produção de *pisos intertravados* e o meio ambiente, sendo este o provedor dos recursos da natureza e a principal fonte de matéria-prima para que todos os setores estejam em processo de desenvolvimento. Desse modo, enfatiza-se a importância da reciclagem para a redução do impacto ambiental e a *escória de aciaria* vem se consolidando como uma alternativa viável no setor de construção civil, proporcionando o desenvolvimento de produtos que atendam as especificações técnicas, melhorando o seu desempenho e reduzindo os impactos ambientais no ciclo de vida dos produtos e processo. Para tanto, as práticas sustentáveis apresentam um valor de demanda da matéria-prima reciclada, uma vez que o resíduo seria descartado em um aterro, ocasionando problemas ambientais para as sociedades, agora este material volta ao ciclo como um novo produto. Diante disso é que surgiu a motivação da autora para pesquisar em prol do desenvolvimento de produtos.

#### *Potencial de uso sob o ponto de vista econômico*

A *escória de aciaria* agrega valor ao produto em termos de resistência, redução de custos de materiais na produção, além de contribuir para aumentar a competitividade do produto em diversos municípios, com a possibilidade de gerar mais rentabilidade e geração de emprego nas regiões de pólo industrial siderúrgico. A limitação de ordem econômica decorre do baixo valor unitário deste co-produto, visto que seu principal adversário é o agregado natural, um material abundante no território brasileiro. Tal restrição implica no incentivo da comercialização da *escória de aciaria* no mercado em regiões próximas as suas fontes geradoras, ou em regiões desprovidas de jazidas de agregados naturais.

### **Difundir as vantagens técnicas e ambientais de uso da *escória de aciaria* em novos produtos**

A *escória de aciaria* beneficiada adequadamente e com qualidade, de acordo com a classificação granulométrica, alcança uma alternativa de substituição da brita, um recurso natural renovável. A vantagem ambiental desta prática é que o recurso natural deixa de ser explorado, e sua vida útil é prolongada.

O fato é que este co-produto não somente atenderia a preservação da natureza, como também contribuía para uma nova tecnologia com qualidade aprovada e superior a da brita. Como apontado no relato das investigações, apresenta uma capacidade de suporte de carga de alta resistência em comparação com a brita convencional (IAB, 2015).

### **Divulgar o uso da *escória* em novos produtos para projetistas de arquitetura e design**

Para cumprir este objetivo foi evidenciada na pesquisa a grande geração deste co-produto na fabricação do aço, assim é imprescindível difundir suas vantagens técnicas e ambientais em novos produtos para a comunidade científica e acadêmica, no caso desta pesquisa os profissionais de arquitetura e design. De fato o cenário mundial emerge por novas experiências e desafios que a importância de uma atuação multidisciplinar, uma vez que hoje existe a necessidade de buscar novos horizontes para soluções ambientais. Contudo a possibilidade de inserir arquitetos e designers neste contexto significa romper com velhos paradigmas e construir uma mudança global para sustentar um futuro transformado.

Como por exemplo, segundo relato de um fabricante, em um dado projeto específico, seja na produção de *pisos intertravados*, ou para um elemento construtivo, pode-se dizer que em função de sua capacidade de carga, a espessura do produto poderia ser reduzida, proporcionando uma economia no custo da obra.

Entretanto, é possível reconhecer que o uso deste co-produto projetado e executado conforme as especificações técnicas poderiam trazer benefícios para as rodovias como, uma vida útil maior, oferecendo segurança e eficiência ao modal rodoviário, que hoje no Brasil, enfrenta problemas trágicos de logística.

## **Fundamentar o uso da *escória de aciaria* como substituto aos recursos naturais não-renováveis**

Para cada tonelada de aço produzido gera-se aproximadamente 700 kg de resíduos, no entanto, buscar alternativas para aplicação desses materiais de forma ambiental e econômica é o propósito desta pesquisa. O reaproveitamento da *escória de aciaria* reduz o custo em disposição em aterros além de agregar valor a esses materiais para uma aplicação nobre, ou seja, o material deixa a sua condição de resíduo e revela uma matéria-prima para outras indústrias. Cabe ressaltar que esta pesquisa não pretende substituir a brita pela *escória de aciaria*, mesmo porque a demanda deste co-produto depende da produção do aço, e a brita e a *escória de aciaria* poderão ser utilizadas em conjunto. Hoje no Brasil, existem 29 (vinte e nove) pólos siderúrgicos, desde o estado do Maranhão até o estado do Rio Grande do Sul, o que comprova um potencial de uso para este material, principalmente nas regiões próximas ao pólo siderúrgico, ou seja, onde ele for gerado o que poderia trazer vantagens para toda a sociedade. Desse modo, onde tiver obras nessas regiões, o uso da *escória de aciaria* como matéria-prima alternativa, teria o custo mais baixo que a brita natural, em função da própria logística.

O desfecho desta dissertação foi um tanto quanto desafiador, visto que além da complexidade do tema, poucos incentivos à pesquisa estão sendo realizados, tanto nas organizações, como também no meio acadêmico, principalmente no campo da arquitetura e design. Para o desenvolvimento deste trabalho os resultados foram considerados satisfatórios, entretanto houve uma limitação de acesso a informações das empresas além das dificuldades de contato com as pessoas responsáveis dentro das organizações para a coleta de respostas.

Dentro desse contexto é de fundamental importância ressaltar a escassez de referências bibliográficas sobre *escórias de aciaria*. Sua variabilidade e a necessidade de mapeamento de suas características são o grande problema de sua seleção e aplicação como matéria-prima.

O momento de crise que vive a humanidade hoje pode ser visto como um momento de grande poder de transformação desse paradigma, tal fato contribui para um cenário de forma competitiva para a abertura de novos aprendizados e reflexões. A emergência ambiental requer o equilíbrio nas ações de desenvolvimento sustentável que concerne à saúde humana.

A sociedade necessita do amparo de profissionais em instituições empresariais e acadêmicas, que incorporem tecnologias de produção inovadoras, caso contrário, a degradação e o caos serão inevitáveis.

Dada a relevância e abrangência do tema sugerem-se trabalhos complementares a este estudo:

- ✓ Análise do ciclo de vida do produto fabricado com a incorporação da *escória de aciaria*, considerando os cenários desde sua geração até a produção do novo produto.
- ✓ Análise detalhada da viabilidade econômica da reutilização da *escória de aciaria* na região do pólo siderúrgico brasileiro.
- ✓ Analisar a potencialidade de uso da lama de aciaria como material alternativo de recuperação de áreas degradadas pela mineração.
- ✓ Análise do potencial de uso das *escórias de aciaria* de vários países como matéria-prima alternativa em novos produtos.
- ✓ A indústria siderúrgica atualmente possui outros tipos de resíduos que ainda não têm um processo de tratamento adequado. Analisar a potencialidade desses resíduos utilizando uma técnica qualitativa de estudo pode ser de interesse estratégico à sociedade brasileira.
- ✓ Investigação sobre a patologia do fenômeno da expansibilidade na utilização da *escória de aciaria* na construção civil.
- ✓ Estudo para aplicação de *escória de aciaria* na produção de elementos vazados na arquitetura para uso em habitação de interesse popular – a sustentabilidade na estética e funcionalidade dos Cobogós.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. A. **Manual de siderurgia**. São Paulo: FTD, 1967. 483 p.
- ARCELORMITTAL: Disponível em: <<http://www.arcelormittal.com>>. Acesso em: 30 jun. 2014.
- ASCE: Disponível em: <<http://www.asce.org/foundation/>>. Acesso em: 30 mar. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo, 2010. 36p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP. **Projeto técnico: calçadas acessíveis**. São Paulo, 2014. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.781**: Peças de concreto para pavimentação, especificação e métodos de ensaio. *Concrete paving units – Specification and test methods*. 2013. 27p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10.004**. Resíduos Sólidos – Classificação. *Solid waste – Classification*. Rio de Janeiro. 2004 a. 71p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10.005**. Lixiviação de Resíduos: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos: Procedure for obtention leaching extract of solid wastes. Rio de Janeiro. 2004b. 16 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10.006**. Solubilização de Resíduos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. *Procedure for obtention of solubilized extraction of solid was*. Rio de Janeiro. 2004c. 3p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 11.578**. Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro. 1997. 5 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15.953**. Pavimento intertravado com peças de concreto – execução. *Interlocking pavement with concrete units – Execution*. 2011. 23 p.
- BAOSTEEL: Disponível em: <[http://www.baosteel.com/group\\_en/contents/2863/39896.html](http://www.baosteel.com/group_en/contents/2863/39896.html)>. Acesso em: 06 abr. 2014.
- Bennedth C. Chukwudi, Patrick O. Ademusuru, Boniface A. Okorie. Characterization of Sintered Ceramic Tiles Produced from Steel Slag. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, [S.l.], p. 863-868. 2012.
- BLUMENAU. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano: **Calçadas em Blumenau**. Blumenau, Santa Catarina, 2008, p. 32.

BRANCA, T.A., COLLA, V., “Possible uses of steelmaking slag in agriculture: and overview”. **Material Recycling – Trends and Perspectives**. Ed. Dr. Dimitris Achilias. [S.I.], p. 335-356. 2012.

BRUNDTLAND, G. H.; EHRLICH, P.; GOLDEMBERG, J.; HANSEN, J.; LOVINS, A.; LIKENS, G.; LOVELOCK, J.; MANABE, S.; MAY, B.; MOONEY, H.; ROBERT, K-H.; SALIM, E.; SATO, G.; SOLOMON, S.; STERN, N.; SWAMINATHAN, MS.; WATSON, B. **Environment and Development Challenges: The Imperative to Act, 2012**. Barefoot College, Conservation International, International institute of Environment and Development, and International Union for the Conservation of Nature. Disponível em: <[http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/blue\\_planet\\_synthesis\\_paper.pdf](http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/blue_planet_synthesis_paper.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2015.

BURAK, Rob, 2002, “Bedding Sand for Segmental Concrete Pavements”, **Interlocking Concrete Pavement Magazine**, Vol. 9, No. 9, August, pp. 12-16.

CARVALHO, Eduardo Viviani de. **Utilização do resíduo da retífica de cerâmica de revestimento na produção de concreto para pavimento intertravado**. 2013. 161 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2013.

CERQUEIRA, Cassius. A indústria do aço e seus co-produtos para indústria cimenteira. In: **BRAZILIAN AND LATIN AMERICAM CEMENT & LIME CONFERENCE, 2...**, 2014, São Paulo. Conferências... São Paulo: Instituto Aço Brasil, 2014. p. 38.

DINIZ, Dayse. Horta. **A influência dos finos de escória de aciaria como estabilizante de solos para uso em pavimentos**. 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ESSENCIS SOLUÇÕES AMBIENTAIS. **Tratamento e destinação de resíduos**, 2014. São Paulo: Essencis Soluções Ambientais, 2014. Disponível em: <<http://www.essencis.com.br/nossos-servicos/tratamento-e-destina%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

EUROSLAG. WEBSITE. The European Association representing metallurgical slag producers and processors. Disponível em: <<http://www.euroslag.com/applications/history/>>. Acesso em 06 de jan. de 2015.

FARIA, Ricardo Andrade Fernandes. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas e da durabilidade de concretos com escória de aciaria elétrica (EAF) como agregado graúdo**. 2007. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia 2007.

FERNANDES, I. D. **Blocos & pavers – Produção e controle de qualidade**. 4ª ed. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, 2013. 200 p. ISBN: 978-85-62290-03-9.

FIORITI, C. F.; INO, A.; KASAKI, J. L., Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre. v. 7, nº 4, p.43-54, Out/Dez. 2007. ISS 1678-8621.

FONSECA, C. B., ANDRADE, H. A., SANTOS, DO CARMO, T. O., DIAS, F. M. Blocos de pavimentação manufaturados com agregado reciclado de escória de aciaria. **Arte e Ciência**, 06 de outubro de 2010. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/blocosde-pavimentacao-manufaturados-com-agregado-reciclado-de-escoria-de-aciaria/48963/#ixzz3iuJv36jI>>. Acesso em: 14 maio 2015.

FRUEHAN, Richard J. Editor: **Steelmaking and Refining Volume Making Shaping and Treating of Steel**, AISE, Pittsburgh PA, 1998.

GERDAU. **Módulo ACI-028 Aciaria – escórias em forno panela**. 2010, [s. i.; s. n.]. 83 p. Origem primária dos principais componentes da escória de aciaria p. 14. Apostila.

GESTÃO DE COPRODUTOS. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico: 2008**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008. (Nota Técnica). 28 p: il.

GEYER, Rejane Maria Turbino. **Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto**. 2001.187 p. Tese (Doutorado em engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GUMIERI, Adriana Guerra. **Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Escórias de Aciaria do Processo LD como Adição em Cimentos**. 2002. 226p. Tese (Doutorado em engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

HARSCO. [**Steel slag**]. Camp Hill, PA [Estados Unidos], c2015. Disponível em: <<http://www.harsco.com/>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

INSPECTAPEDIA, **Rock Wool, Mineral Wool, & Slag Wool Building Insulation Identification**, Washington, 2014. Disponível em: <[http://inspectapedia.com/interiors/Rock\\_Wool\\_Insulation.php](http://inspectapedia.com/interiors/Rock_Wool_Insulation.php)>. Acesso em 06 abr. 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. SCUDELLER, L. A. M., FERREIRA, E. B., ZANOTTO, E. D., FREDERICCI, C. **Processo para obtenção de vidro negro e vitrocerâmica escura a partir de escória de aciaria**, PI 0005482-8 A, 19 out. 2000, 04 jun. 2002.

INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE (ICPI), Tech Spec. n° 14, 2013. **Concrete paving units for roof decks**. Uxbridge, Canada, 2013, p.12.

\_\_\_\_\_. Tech Spec. n° 16, 2014. **Achieving Leed credits with segmental concrete pavement**. Uxbridge, Canada, 2014, p. 20.

\_\_\_\_\_. Tech Spec n° 19. **Design, construction and maintenance of interlocking concrete pavement crosswalks**. Uxbridge, Canada, 2014, p. 08.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 14040**. *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. Geneva. 2006. 20 p.

ISAWA, T. Update of iron and steel slag in Japan and current developments for valorization. **3<sup>rd</sup> International Slag Valorisation Symposium, Leuven**, Belgium, 19-20 mar. 2013.

JAPAN INDUSTRIAL STANDARDS. **JIS A 5015**. Escória Siderúrgica para Construção de Estradas. 1992. *Iron and steel slag for Road construction* (FOREIGN STANDARD)

KASHIWAYA, Yoshiaki; TOISHI, Keigo.; KANEKI, Yuichi; YAMAKOSHI, Yukiyasu. Catalytic Effect of Slags on the Formation of Biodiesel Fuel. **ISIJ International**, v. 47, n° 12, p. 1829-1831. 2007.

KIESSLING, R.; LANGE, N. **Non-Metallic Inclusions in Steel**. 1<sup>a</sup> ed. Londres: A Metals Society, 1978. 400 p.

KING, Andrew M.; BURGESS, Stuart C.; IJOMAH, Winnie; McMAHON, Chris A. **Reducing waste: Repair, Recondicion, Remanufacture or Recycle?** Sustainable Development. V. 14, 2006. 10 p.

KLEIN, C., DUTROW, B. **Manual of Mineral Science**. New Jersey: Wiley, 2008, 675p.

LYRA, Mário Limeira de. **Blocos intertravados de concreto com resíduos de co-polímero de acetato de vinila – EVA – para pavimentação de calçadas e passeios públicos**. 2007. 118 p. Dissertação (Mestrado em engenharia urbana) – Escola de engenharia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

LOBATO, Natália Cristina Candian. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Indústria Siderúrgica**. 2014. 156 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Escola de engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

MANCIO, Mauricio. **Contribuição ao estudo do fenômeno da instabilidade volumétrica das escórias de aciaria elétrica**. 2001. 160 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

Manual técnico de piso intertravado de concreto - T & A Blocos e Pisos. Fortaleza: **T & A Blocos e Pisos**, 2004. 46 p.

MANZINI, E. J. Considerações sobre a elaboração de roteiro para entrevista semi-estruturada. In: MARQUEZINE, M. C.; ALMEIDA, M. A.; OMOTE, S. (Org.). **Colóquios sobre pesquisa em Educação Especial**. Londrina: Eduel, 2003b. p.11-25.

MARCHIONI, Mariana, SILVA, Cláudio Oliveira: **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24p.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia científica**. 5. Ed. – 2. reimpr. São Paulo: Editora Atlas, 2008. 312 p. ISBN: 978-224-4762-6.

M.H. JOULAZADEH, F. JOULAZADEH. Slag: value added steel industry by products. **Archives of metallurgy and materials**, Esfahan, Iran, v. 55, issue 4, p. 9, 2010.

MILLER, T. W., JIMENEZ, J., SHARAN, A., GOLDSTEIN, D. A. **Chapter 9: oxygen steelmaking processes. Steelmaking and refining volume**. The AISE Steel Foundation, 1998, Pittsburg, USA. 50 p.

MOTZ, H.; EHRENBERG, A.; MUDERSBACH, D. Dry solidification with heat recovery of ferrous slag. **3<sup>rd</sup> International Slag Valorisation Symposium, Leuven, Belgium**, 2013.

PACHECO, Alexandre Emanuel Leitão. **Estudo da viabilidade da utilização de escórias de aciaria (ASIC) em Betão denso**. 2012. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2012.

QUIVY, Raymond; CAMPENHOUDT, Luc Van. **Manual de investigação em ciências sociais**. Tradução de João Minhoto Marques, Maria Amália Mendes e Maria Carvalho. 4<sup>a</sup> ed. Lisboa: Gradativa, 2005. 282 p. ISBN: 972-662-275-1. Título original: **Manuel de recherche en sciences sociales**.

RAMAKRISHNA, K. R.; VIRARAGHAVAN, T. Use of slag for dye removal. **Waste Management**. v. 17. n.º. 8. 1997. p. 483 – 488.

RAMOS, Fernando M. Perspectiva de comercialização do agregado siderúrgico. In: **II WORKSHOP DE SUSTENTABILIDADE DO SETOR SIDERÚRGICO BRASILEIRO**. 2..., [2008?]. Palestras... [s. l. ; s. n.] p. 50.

RELATÓRIO de sustentabilidade. Arcelor, 2013. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.arcelor.com.br/pdf/responsabilidade-corporativa/relatorio-sustentabilidade/relatorio-sustentabilidade-IABR.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

RELATÓRIO de sustentabilidade. 2014. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2014. Disponível em: <[http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/Relatorio%20de%20Sustentabilidade\\_2014\\_web.pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/Relatorio%20de%20Sustentabilidade_2014_web.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

REVISTA ECOLÓGICO. Criatividade responsável: em forma de peixe pavieco assegura economia de energia. Belo Horizonte: **Mundo Empresarial**, 25 de mar. 2010. p. 56-59. Disponível em: <[RIZZO, E. M. S. \*\*Introdução aos Processos Siderúrgicos\*\*. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e materiais, 2005. 150p.](http://clipping.interclipnet.com.br/interclipping/conteudo/clipvisu.php?prm1[ ]=184501&prm2[ ]=pmis>>. Acesso em: 12 de maio 2015.</p></div><div data-bbox=)

ROHDE, Luciana. **Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos - Estudo Laboratorial**. 2002. 101p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

RUBIM, Renata. **Desenhando a Superfície**. 2ª Ed. São Paulo: Rosari, 2010. 96 p.

RÜTHSCHILLING, E. A. e ANICET, Evelise. **DESIGN DE SUPERFÍCIE**. 1a. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008. v. 1. 104 p.

SANTOS, Vânia Regina Ferreira dos. **Análise do desempenho de pisos táteis, intertravados produzidos com agregados de resíduos de construção civil – RCC e fibras de aço**. 2014. 117 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

SCUDELLER, L. A.; FERREIRA, E. B.; ZANOTTO, E. D. Nano vitrocerâmica de escória de aciaria. **Revista Química Nova**, Vol. 25, ISS: 5 p. 731-735, 2002.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE MINAS GERAIS. **Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM. Resolução nº 195, de 03 de abril de 2014**: Estabelece as exigências de prestação periódica de informações sobre o resíduo denominado escória de aciaria, beneficiada ou não.

SILVEIRA, N. O.; SILVA, M. V. A. M.; AGRIZZI, E. J.; LANA, M. F.; SILVA, E. A.; MENDONÇA, R. L. Acerita – Escória de Aciaria LD com Redução de Expansão. **Revista ABM**. vol. I, nº. I, p. 1 – 5, 2004.

SMITH, DAVID R., Industry guidelines for permeable interlocking concrete pavement in the United States and Canada **10<sup>th</sup> International Conference on concrete paving Shanghai, peoples Republic of China**. v. 2, p. 24 – 26, 2012.

**STEEL TIMES INTERNATIONAL**. Molybdenum sustainability case studies. August 23. 2013. Disponível em: <<http://www.steeltimesint.com/news/view/molybdenum-sustainability-case-studies>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

TAKAHASHI, T.; YABUTA, K. New Applications for Iron and Steelmaking Slag. Tokyo. **NKK Technical Review**, n.87, 2002.

TANABE, H.; NAKADA, M. Steelmaking Technologies Contributing to Steel Industries. Tokyo. **NKK Technical Review**, n° 88, p. 18 – 27, 2003.

USIMINAS. WEBSITE. Disponível em: <<http://www.usiminas.com.br>>. Acesso em 06 de maio de 2015.

## APÊNDICE A

**Resultados obtidos dos pisos intertravados com escória de alto forno e escória de aciaria, produzidos pela Construcom**

09/07/2015

Gmail - Sobre o resultado do piso com minério - UFMG Mestrado



Vanessa Cristine Silva &lt;vanessacristinesilva@gmail.com&gt;

**Sobre o resultado do piso com minério - UFMG Mestrado**

2 mensagens

Producao@construcomartefatos.com.br <Producao@construcomartefatos.com.br> 9 de julho de 2015 14:37  
Para: Vanessa Cristine Silva <vanessacristinesilva@gmail.com>

Vanessa boa tarde,

Segue abaixo os resultados alcançados:

Resistência piso H6 35 Mpa – escoria alto forno

Resultados

7 dias – 33,84 Mpa

28 dias – 37,67 Mpa

Resistência piso H6 35 Mpa – escoria aciaria

7 dias – 28,47 Mpa

28 dia - 34,55 Mpa

Att,

Sidney

**De:** Vanessa Cristine Silva [mailto:vanessacristinesilva@gmail.com]**Enviada em:** quinta-feira, 9 de julho de 2015 14:07**Para:** producao@construcomartefatos.com.br**Assunto:** Sobre o resultado do piso com minério - UFMG Mestrado

## APÊNDICE B

### Roteiro entrevista semi-estruturada na empresa Uni-Stein

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG / Escola de Arquitetura  
Programa de pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável  
Mestranda: Vanessa Cristine Silva

Projeto: Análise sobre a potencialidade de uso da *escória de aciaria* como matéria-prima alternativa na produção de *pisos intertravados*.

Objetivo : Investigar a possibilidade de utilização da *escória de aciaria* como composição na produção de *pisos intertravados*.

Nome da empresa: Uni-Stein – Pavimentação Intertravada

Nome do entrevistado: José Eli Goulart

Data: 12 de maio de 2015.

Local: Município de Pedro Leopoldo, Minas Gerais – Rodovia Dr. Otávio Costa, 800, Distrito de Dr. Lund.

Questão 01: qual a produção mensal de *pisos intertravados*?

Segundo a fala do entrevistado José Goulart: “a planta industrial da Uni-Stein tem capacidade de produzir 60.000 m<sup>2</sup> de *pisos intertravados* por mês. Entretanto, hoje, produz aproximadamente 25.000 m<sup>2</sup> dos seguintes modelos de *pisos intertravados*: tipo prisma, 16 faces, sextavado, pisograma, raquete e meio-fio com espessuras padronizadas nas medidas de 60,0 mm, 80,0 mm e 100,0 mm e comercializados para a construção civil em diversas cidades de Minas Gerais e também em outros estados.”

Questão 02: quais as matérias-primas usadas?

Goulart: *“na fábrica são armazenados cerca de 100 toneladas de agregados: areia natural, areia artificial, pó de pedra, brita zero, além do cimento e do aditivo plastificante.”*

Questão 03: como é feita a dosagem dos traços?

Goulart: *“o fator primordial para a eficiência do processo produtivo no sistema de dosagem é um estudo detalhado da curva granulométrica dos materiais, isto porque o traço depende das características físicas e da qualidade dos agregados.”*

Questão 04: qual o tempo de cura na estufa?

Goulart: *“é sabido que a cura total do concreto é de 28 dias no ambiente, entretanto hoje a Uni-Stein possui um sistema de cura por câmaras de aquecimento de temperatura em média de 70°, proporcionando um resultado satisfatório na qualidade do produto. Em um dia, pode-se obter uma resistência da peça entre 35% a 70%, e, logo após 7 dias, a peça adquire 95% de resistência.”*

Questão 05: qual o custo unitário de materiais por m<sup>2</sup>?

Goulart: *“este procedimento é realizado através do peso da peça por metro quadrado e o traço de sua composição; é necessário primeiramente calcular a quantidade de cimento em gramas. Para o custo unitário de material da empresa obteve-se a seguinte composição de custo relacionada às espessuras do piso intertravado: espessura de 60,0 mm o custo seria de R\$ 10,50 (dez reais e cinquenta centavos), para espessura de 80,0 mm obteve-se o custo de R\$ 14,00 (quatorze reais) e, finalmente para a espessura de 100,0 mm R\$ 17,50 (dezessete reais e cinquenta centavos) para o custo unitário do material.”*

Questão 06: as dimensões desses produtos podem variar conforme especificação do cliente?

Goulart: *“uma empresa interessada em fabricar produtos de qualidade deve atender às reais necessidades de seus clientes. A escolha do produto é do cliente, mas a análise dimensional deverá cumprir os requisitos da norma NBR 9781 de 2013 - Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio, cujo conteúdo é de responsabilidade de*

*um comitê de estudo, na qual faz parte o gerente de produção José Goulart da Uni-Stein. A NBR 9781 cita que os pisos intertravados podem ser produzidos em diversos formatos conforme as medidas de cada fabricante. Entretanto, a variação das dimensões e suas respectivas tolerâncias deverão atender às referidas medidas de comprimento, largura e espessura considerando os planos perpendiculares e paralelos às arestas das peças.”*

Questão 07: saberia dizer se a permeabilidade do piso intertravado convencional é semelhante ao piso intertravado de resíduo de minério de ferro ou escória?

Goulart: *“o que difere a absorção de água é a porosidade da peça, quanto menor o tempo em que a água é absorvida na superfície do piso maior será a quantidade de vazios e, portanto, tanto o piso convencional quanto o de material reciclado apresenta-se com uma baixa resistência. Não saberia distinguir a permeabilidade de uma peça convencional de outra produzida com resíduo de minério ou a escória siderúrgica.*

Questão 08: poderia dizer se o uso de resíduo em substituição à matéria-prima convencional possibilita redução de custo de produção (custo homem x hora) e (custo de materiais)?

Goulart: *“em relação ao custo de materiais haveria uma redução no custo; no fator homem / hora, ficaria o mesmo valor.”*

## APÊNDICE C

## Lista de empresas de aço

(continua)

<b>Empresas</b>	<b>Contatos</b>	<b>Cidade</b>	<b>Estado</b>
Vallourec & Mannesman	<a href="mailto:cecilia.vilela@vallourec.com">cecilia.vilela@vallourec.com</a> ; <a href="mailto:douglas.rodrigues@vallourec.com">douglas.rodrigues@vallourec.com</a>	Belo Horizonte	Minas Gerais
Vallourec Sumytomo	<a href="mailto:filip.rocha@vsiderurgia.com.br">filip.rocha@vsiderurgia.com.br</a>	Jeceaba	Minas Gerais
ArcelorMittal Aços Longos	<a href="mailto:sandro.almada@arcelormittal.com.br">sandro.almada@arcelormittal.com.br</a>	João Monlevade	Minas Gerais
ArcelorMittal Aços Longos	<a href="mailto:sandro.almada@arcelormittal.com.br">sandro.almada@arcelormittal.com.br</a>	Juiz de Fora	Minas Gerais
ArcelorMittal Aços Longos	<a href="mailto:eduardo.shiramata@arcelormittal.com.br">eduardo.shiramata@arcelormittal.com.br</a>	Piracicaba	São Paulo
ArcelorMittal Aços Longos	<a href="mailto:ricardo.moreira@arcelormittal.com.br">ricardo.moreira@arcelormittal.com.br</a>	Tubarão	Espírito Santo
Aperam South American	<a href="mailto:glautiere.gomes@aperam.com">glautiere.gomes@aperam.com</a>	Timóteo	Minas Gerais
Usiminas	<a href="mailto:maria.fonseca@usiminas.com">maria.fonseca@usiminas.com</a>	Ipatinga	Minas Gerais
Usiminas – Cosipa	<a href="mailto:luiz.bernardino@usiminas.com">luiz.bernardino@usiminas.com</a>	Cubatão	São Paulo
Gerdau Açominas	<a href="mailto:marina.barbosa@gerdau.com.br">marina.barbosa@gerdau.com.br</a>	Ouro Branco	Minas Gerais
Gerdau Aços Longos	<a href="mailto:roger.cardoso@gerdau.com.br">roger.cardoso@gerdau.com.br</a>	Barão de Cocais	Minas Gerais
Gerdau Aços Longos	<a href="mailto:roger.cardoso@gerdau.com.br">roger.cardoso@gerdau.com.br</a>	Divinópolis	Minas Gerais

(continuação)

(conclusão)

<b>Empresas</b>	<b>Contatos</b>	<b>Cidade</b>	<b>Estado</b>
Villares Metals	<a href="mailto:marcelo.avots@villaresmetals.com.br">marcelo.avots@villaresmetals.com.br</a>	São Paulo	São Paulo
Thyssenkrupp CSA	<a href="mailto:marcelo.bassi@thyssenkrupp.com">marcelo.bassi@thyssenkrupp.com</a>	Santa Cruz	Rio de Janeiro
CSN	<a href="mailto:andre.vieira@csn.com.br">andre.vieira@csn.com.br</a>	Volta Redonda	Rio de Janeiro
Harsco Metals Minerals	<a href="mailto:framos@harsco.com">framos@harsco.com</a>	Santa Cruz	Rio de Janeiro
RHI	<a href="mailto:simaopoliveira@gmail.com">simaopoliveira@gmail.com</a>	Belo Horizonte	Minas Gerais
SILIFÉRTIL	<a href="mailto:silifeertil@silifertil.com.br">silifeertil@silifertil.com.br</a>	São Joaquim de Bicas	Minas Gerais
Yamagata Consultoria	<a href="mailto:alamar.kasan@gmail.com">alamar.kasan@gmail.com</a>	Belo Horizonte	Minas Gerais
Harsco Metals Minerals	<a href="mailto:rpires@harsco.com">rpires@harsco.com</a>	Timóteo	Minas Gerais
Votorantin Siderurgia	<a href="mailto:filip.rocha@vsiderurgia.com.br">filip.rocha@vsiderurgia.com.br</a>	Resende	Rio de Janeiro
<b>Total = 21</b>			

Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

## APÊNDICE D

### Questionário eletrônico dos especialistas em co-produtos siderúrgicos da 1ª fase

# Pesquisa do Mestrado do Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Se tiver problemas na visualização ou enviar este formulário, clique em "[fill it out in Google Forms.](#)"

Escola de arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

Análise sobre a potencialidade de uso da escória como matéria-prima alternativa na produção de *pisos intertravados*.

Objetivo: Investigar a possibilidade de utilização da *escória de aciaria* como composição na produção de *pisos intertravados*.

#### **GARANTIA DE CONFIDENCIALIDADE**

Todas as informações recolhidas serão exclusivamente utilizadas de forma agregada, garantindo, desse modo, o anonimato das informações reveladas.

Suas respostas ajudaram no desenvolvimento da pesquisa.

Obrigada

Vanessa Cristine Silva

1. Nome da empresa:

2. Nome do entrevistado:

3. Cargo:

4. Telefones:

5. e-mail:

6. Quais as propriedades dos co-produtos *escória de aciaria* e *escória de alto forno*?

7. Quais as diferenças na composição física e química dos co-produtos *escória de alto forno* e *escória de aciaria*?

8. Qual a quantidade da geração anual do co-produto *escória de aciaria*?

9. Qual o preço de venda atual da *escória de aciaria*?

10. Quem hoje é seu consumidor do co-produto *escória de aciaria*?

11. Quais seriam os grandes desafios, perspectivas e oportunidades na busca da potencialidade de inovação do co-produto *escória de aciaria*?

12. Que outros produtos poderiam ser criados a partir do que já existe?

Submit

*Never submit passwords through Google Forms.*

100%: You made it.

Powered by

This content is neither created nor endorsed by Google.  
[Report Abuse](#) [Terms of Service](#) [Additional Terms](#)

## APÊNCIDE E

### Solicitação de respostas para as empresas de aço enviado pela assessoria do Instituto Aço Brasil

02/08/2015

Gmail - ENC: Pesquisa mestrado UFMG - Dados de escória



Vanessa Cristine Silva &lt;vanessacristinesilva@gmail.com&gt;

#### ENC: Pesquisa mestrado UFMG - Dados de escória

Ana Amoedo &lt;ana.amoedo@acobrasil.org.br&gt; 12 de maio de 2015 11:34

Para: "marcelo.avots@villaresmetals.com.br" <marcelo.avots@villaresmetals.com.br>, "sandro.almada@arcelormittal.com.br" <sandro.almada@arcelormittal.com.br>, "cecilia.vilela@vallourec.com" <cecilia.vilela@vallourec.com>, "douglas.rodrigues@vallourec.com" <douglas.rodrigues@vallourec.com>, "eduardo.shiramata@arcelormittal.com.br" <eduardo.shiramata@arcelormittal.com.br>, "filip.rocha@vsiderurgia.com.br" <filip.rocha@vsiderurgia.com.br>, "glautiere.gomes@aperam.com" <glautiere.gomes@aperam.com>, "luiz.bernardino@usiminas.com" <luiz.bernardino@usiminas.com>, "marcelo.bassi@thyssenkrupp.com" <marcelo.bassi@thyssenkrupp.com>, "maria.fonseca@usiminas.com" <maria.fonseca@usiminas.com>, "marina.barbosa@gerdau.com.br" <marina.barbosa@gerdau.com.br>, "ricardo.moreira@arcelormittal.com.br" <ricardo.moreira@arcelormittal.com.br>, "roger.cardoso@gerdau.com.br" <roger.cardoso@gerdau.com.br>

Cc: Lucila Caselato <lucila.caselato@acobrasil.org.br>, "vanessacristinesilva@gmail.com" <vanessacristinesilva@gmail.com>

Prezados,

A Vanessa Cristine Silva, Mestranda em Tecnologia do Ambiente Construído pela Escola de arquitetura da UFMG, está fazendo uma dissertação sobre "A utilização da escória de aciaria como matéria-prima alternativa em novos produtos: uma reflexão sobre a ótica da sustentabilidade".

Ela enviou uma pesquisa no Google docs com 12 itens, solicitando que fosse encaminhado às empresas de aço.

Solicitamos que, se possível, respondam ao questionário: [https://docs.google.com/forms/d/1RrKZejrIDCnhXB5T9irL4rS3yzz6TMkL6EaYb\\_P7zg/viewform?c=0&w=1](https://docs.google.com/forms/d/1RrKZejrIDCnhXB5T9irL4rS3yzz6TMkL6EaYb_P7zg/viewform?c=0&w=1) até dia 25/05/2015.

Nos colocamos à disposição para qualquer dúvida.

Muito obrigada,

**Ana Luiza Amoedo**

Assessora de Sustentabilidade | *Sustainability Advisor*

Instituto Aço Brasil | *Brazil Steel Institute*

Tel.: +55 (21) 3445-6318

Fax: +55 (21) 2262-2234

## APÊNCIDE F

### Justificativa de não preenchimento do questionário da 1ª fase

06/07/2015

Gmail - Pesquisa Mestrado UFMG - Escória de aciaria - AJUDA



Vanessa Cristine Silva &lt;vanessacristinesilva@gmail.com&gt;

#### Pesquisa Mestrado UFMG - Escória de aciaria - AJUDA

3 mensagens

**Vanessa Cristine Silva** <vanessacristinesilva@gmail.com>

29 de maio de 2015 21:48

Para: glautiere.gomes@aperam.com

Prezado Glautiere,

Muito boa noite.

Solicitei ao Instituto Aço Brasil para encaminhar minha pesquisa de mestrado para as siderúrgicas, e tomei a liberdade de entrar em contato para saber se já existe alguma definição em relação as respostas do questionário, pois tenho que dar prosseguimento ao desenvolvimento da dissertação.

Fico a espera de seu envio.

Com os melhores cumprimentos

Atenciosamente,

**Vanessa Cristine**

**Mestranda em Tecnologia do Ambiente Construído - UFMG**

**Glautiere Paiva Gomes** <glautiere.gomes@aperam.com>

15 de junho de 2015 16:08

Para: Vanessa Cristine Silva <vanessacristinesilva@gmail.com>

Prezada Vanessa, infelizmente, nosso Departamento de suprimentos considera questões sigilosas referentes a escória (visto hoje ser um co-produto, com valor e venda competitivo no mercado - em função da característica da nossa escória ser de aço inoxidável).

Minhas desculpas.

ATT

[Texto das mensagens anteriores oculto]

--

**Glautiere Paiva Gomes** | Gerente / Manager



**Aperam South America**

Gerência de Segurança e Meio Ambiente / E&S Dept

Praça 1º de Maio, 09 - 35180-018 / Timóteo - MG - Brasil

T +55-31-3849-7254 | M +55-31-9109-6541 | F +55-31-3849-7009

glautiere.gomes@aperam.com | www.aperam.com

**APÊNDICE G**  
**Listas de fabricantes de piso intertravados**

(continua)

Empresas	Contatos	PISO	
		35 Mpa	50 Mpa
<b>Minas Gerais = 11</b>			
Uni - Stein do Brasil Ltda	<a href="mailto:jose.eli@unistein.com.br">jose.eli@unistein.com.br</a>	x	x
Interpav Pavimentação Intertravada	<a href="mailto:pedro@interpavi.com.br">pedro@interpavi.com.br</a>	x	x
Blojaf	<a href="mailto:andre@blojaf.com.br">andre@blojaf.com.br</a>	x	x
Construcom Artefatos de Cimento	<a href="mailto:producao@construcom.artefatos.com.br">producao@construcom.artefatos.com.br</a>	x	x
Premocon pré-moldados de concreto	<a href="mailto:premocon@hotmail.com">premocon@hotmail.com</a>	x	não
Bacia Viva	<a href="mailto:flaviompassos@baciaviva.com.br">flaviompassos@baciaviva.com.br</a>	x	não
Bloco Sigma	<a href="mailto:lucio@blocosigma.com.br">lucio@blocosigma.com.br</a>	x	não
PAVERS Pavimentação Intertravada	<a href="mailto:gardenia@pavers.ind.br">gardenia@pavers.ind.br</a>	x	não
Tec consultoria	<a href="mailto:engenheirorodrigo.sousa@aedu.com">engenheirorodrigo.sousa@aedu.com</a>	x	x
Crabi Indústria e comercio de pré-moldados	<a href="mailto:cesar@crabi.com.br">cesar@crabi.com.br</a>	x	não
Artmoldados	<a href="mailto:andreza@artmoldados.com.br">andreza@artmoldados.com.br</a>	x	x
<b>Rio de Janeiro = 7</b>			
MULTIBLOCOS - artefatos de concreto	<a href="mailto:giuseppe@multibloco.com.br">giuseppe@multibloco.com.br</a>	x	x
PAVIBLOCO - pré-moldados em concreto	<a href="mailto:pavibloco@uol.com.br">pavibloco@uol.com.br</a>	x	não
LAJES PENTÁGONO Ind	<a href="mailto:comercial@blocospentagono.com.br">comercial@blocospentagono.com.br</a>	x	não
Casalit Ind. e comercio	<a href="mailto:diretoria@casalit.com.br">diretoria@casalit.com.br</a>	x	não
MEGA Concreto Pré-moldado Ltda	<a href="mailto:vendas@megablocos.ind.br">vendas@megablocos.ind.br</a>	x	não
FLG - Fabrica de ladrilhos Goitacazes	<a href="mailto:vendas@flgblocos.com.br">vendas@flgblocos.com.br</a>	x	não
PEDRINCO Indústria de Concreto	<a href="mailto:pedrinco@pedrinco.com.br">pedrinco@pedrinco.com.br</a>	x	não
<b>Espírito Santo = 3</b>			
CIDADE ENGENHARIA Ltda	<a href="mailto:cidade@cidadeengenharia.com.br">cidade@cidadeengenharia.com.br</a>	x	x
Bela Vista Ind. e comercio	<a href="mailto:contato@belavistapremoldados.com.br">contato@belavistapremoldados.com.br</a>	x	não
ESTRUTURAL Pré Moldados Ltda	<a href="mailto:vendas@estruturalonline.com.br">vendas@estruturalonline.com.br</a>	x	não
<b>São Paulo = 29</b>			
Dr. Bloco	<a href="mailto:idario@uol.com.br">idario@uol.com.br</a>	x	x
Oterprem - Blocos e pisos intertravados	<a href="mailto:oterprem@uol.com.br">oterprem@uol.com.br</a>	x	x
PEC PISOS	<a href="mailto:pecpisos@hotmail.com">pecpisos@hotmail.com</a>	x	x

(continuação)

(conclusão)

Empresas	Contatos	PISO	
		35 Mpa	50 Mpa
<b>São Paulo = 29 continuação</b>			
Eskelsen intertravados	<a href="mailto:eskelsenartefatos@eskelsenartefatos.com.br">eskelsenartefatos@eskelsenartefatos.com.br</a>	x	x
GLASSER pisos e pré moldados	<a href="mailto:anderson@glasser.com.br">anderson@glasser.com.br</a>	x	x
INTERCITY Ltda	<a href="mailto:anderson.martins@empresacity.com.br">anderson.martins@empresacity.com.br</a>	x	x
Presto Blocos e pisos de concreto	<a href="mailto:sac@presto.ind.br">sac@presto.ind.br</a>	x	x
ITAUARA Pré-moldados Ltda	<a href="mailto:itauara@itauara.com.br">itauara@itauara.com.br</a>	x	Não
BLOCO RENGER	<a href="mailto:vendas@blocorenger.com.br">vendas@blocorenger.com.br</a>	x	x
Blocos e Lajes ITAIM Ind. e Com Ltda	<a href="mailto:vendas@blocoselajesitaim.com.br">vendas@blocoselajesitaim.com.br</a>	x	Não
WIDEBLOCK Ind. de artefatos de cimento	<a href="mailto:walter@widebloc.com.br">walter@widebloc.com.br</a>	x	Não
WALBLOK Blocos Ltda	<a href="mailto:alexandre@valblock.com.br">alexandre@valblock.com.br</a>	x	x
2 W Artefatos de Cimento	<a href="mailto:contato@2wblocos.com.br">contato@2wblocos.com.br</a>	x	Não
BLOCASA Pré-moldados de Concreto	<a href="mailto:compras@blocasapre.com.br">compras@blocasapre.com.br</a>	x	Não
GRANDINOS Pré moldados	<a href="mailto:lajes.grandino@terra.com.br">lajes.grandino@terra.com.br</a>	x	Não
TATU Pré-moldados Ltda	<a href="mailto:recepcao@tatu.com.br">recepcao@tatu.com.br</a>	x	Não
Blocos e Lajes Bahia	<a href="mailto:vendas@blbahia.com.br">vendas@blbahia.com.br</a>	x	Não
Lajes e Blocos MODELO Ltda	<a href="mailto:contato@blocosmodelo.com.br">contato@blocosmodelo.com.br</a>	x	x
Valguara ind. e com	<a href="mailto:vendas@valguara.com.br">vendas@valguara.com.br</a>	x	x
TEC PAV	<a href="mailto:vendas@tecpav.com.br">vendas@tecpav.com.br</a>	x	x
SANCARLO	<a href="mailto:remi@sancarlopisos.com.br">remi@sancarlopisos.com.br</a>	x	x
ECOPIPOS	<a href="mailto:vendas@ecopisos.com.br">vendas@ecopisos.com.br</a>	x	Não
ARTEFATOS DELTA	<a href="mailto:vendas@artefatosdelta.com.br">vendas@artefatosdelta.com.br</a>	x	Não
Briquet	<a href="mailto:alcides@pisosbriquet.com.br">alcides@pisosbriquet.com.br</a>	x	x
AREVALE	<a href="mailto:contato@arevale.com.br">contato@arevale.com.br</a>	x	x
AROUCATEC TECNOLOGIA EM ARTEFATOS	<a href="mailto:allan@aroucatec.com">allan@aroucatec.com</a>	x	x
Calblock	<a href="mailto:calblock@calblock.com.br">calblock@calblock.com.br</a>	x	x
PRENSIL	<a href="mailto:comercial@prensil.com.br">comercial@prensil.com.br</a>	x	x
PETRA	<a href="mailto:renan@petra.ind.br">renan@petra.ind.br</a>	x	x
<b>Total = 50</b>			

Fonte: Elaborada pela autora, 2015.

## APÊNDICE H

Questionário eletrônico dos fabricantes de *pisos intertravados* 2ª fase

# Pesquisa do Mestrado do Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Se tiver problemas na visualização ou enviar este formulário, clique em [“fill it out in Google Forms”](#).

Escola de arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

Análise sobre a potencialidade de uso da escória como matéria-prima alternativa na produção de *pisos intertravados*.

Objetivo: Investigar a possibilidade de utilização da *escória de aciaria* como composição na produção de *pisos intertravados*.

### GARANTIA DE CONFIDENCIALIDADE

Todas as informações recolhidas serão exclusivamente utilizadas de forma agregada, garantindo, desse modo, o anonimato das informações reveladas.

Suas respostas ajudaram no desenvolvimento da pesquisa.

Obrigada

Vanessa Cristine Silva

**\* Required**

1. Nome da empresa:

2. Nome do entrevistado:

3. Cargo:

4. Telefones:

5. e-mail:

6. Você sabe da existência do co-produto *escória de aciaria*, um resíduo da fabricação do aço?\* Se sim, por quê?

7. Você saberia distinguir a diferença entre os co-produtos *escória de aciaria* e *escória de alto forno*?

Se sim, por quê?

8. Você utiliza a *escória siderúrgica* como matéria-prima na produção dos *pisos intertravados*?

Se sim, qual?

9. Você aplicaria a *escória de aciaria* como material alternativo na produção de *pisos intertravados*?

Sim

Não

10. Qual seria sua demanda de *escória* para sua linha de produção?

1.000 m<sup>3</sup>

De 1.001 m<sup>3</sup> a 5.000 m<sup>3</sup>

De 5.001 m<sup>3</sup> a 10.000 m<sup>3</sup>

Acima de 10.000 m<sup>3</sup>

11. O mercado poderia ser influenciado pela mudança no uso da *escória de aciaria* como matéria-prima?

Sim

Não

12. O mercado conhece a composição dos *pisos intertravados* que produz?

Sim

Não

13. Você utilizaria a *escória de aciaria* como alternativa de redução de custo ou para agregar valor ao co-produto?

- Sim
- Não

Submit

*Never submit passwords through Google Forms.*

100%: You made it.

Powered by

This content is neither created nor endorsed by Google.  
[Report Abuse](#) [Terms of Service](#) [Additional Terms](#)

**APÊNDICE I****Justificativa de não preenchimento do questionário 2ª fase**

Vanessa Cristine Silva &lt;vanessacristinesilva@gmail.com&gt;

**Pesquisa mestrado UFMG - Piso Intertravado AJUDA**

2 mensagens

**Vanessa Cristine Silva** <vanessacristinesilva@gmail.com>  
Para: sac@presto.ind.br

29 de maio de 2015 16:18

**Sac - PRESTO Blocos e Pisos de Concreto** <Sac@presto.ind.br>  
Para: Vanessa Cristine Silva <vanessacristinesilva@gmail.com>

12 de junho de 2015 17:14

Boa tarde!

Vanessa,

Não usamos escoria de aciaria em nossos processos e por consequência não temos informação relevante a discutir.

Agradecemos o contato e nos colocamos a disposição para outras solicitações.

**Paula Fernandes**  
Supervisora de Vendas

(011) 4646-3900 Com

(011) 99110-9836 Cel

(011) 4646-3905 Fax

**Paula.Fernandes@presto.ind.br**

Estrada do Rio Abaixo, 4200

Rio Abaixo - 08578-000

Itaquaquecetuba - São Paulo

**PRESTO**  
Blocos e Pisos de Concreto

06/07/2015

Gmail - RES: Pesquisa de Mestrado UFMG - Pisos Intertravados



Vanessa Cristine Silva &lt;vanessacristinesilva@gmail.com&gt;

## RES: Pesquisa de Mestrado UFMG - Pisos Intertravados

1 mensagem

Anderson Martins / EmpresasCITY &lt;anderson.martins@empresascity.com.br&gt;

6 de julho de 2015 08:22

Para: Vanessa Cristine Silva &lt;vanessacristinesilva@gmail.com&gt;

Vanessa, bom dia.

Passsei a sua pesquisa para dois responsáveis técnicos da INTERCITY. Infelizmente, ambos disseram que não ter conhecimento suficiente sobre esse tipo de material e não conseguiram responder as perguntas com clareza suficiente.

Ficamos à disposição para ajuda-la de outra maneira possível.

Abs e boa semana.

**Anderson Martins**  
**Comunicação Corporativa**

anderson.martins@empresascity.com.br  
Cel 11 7701.3825 ID 9\*247799  
Telefone 11 3619.9132 | 3619.9100

**EMPRESASCITY**  
■ ■ ■ ■

Rua Cenzo Sbrighi, 170 | Edifício 1 | 3º Andar  
Água Branca | São Paulo | SP | 05036-010  
[www.empresascity.com.br](http://www.empresascity.com.br)

**EMPRESASCITY**  
■ ■ ■ ■



**CONCRECITY**  
■ ■ ■ ■

**INTERCITY**  
■ ■ ■ ■

**SERVICITY**  
■ ■ ■ ■

**USICITY**  
■ ■ ■ ■

**ANEXO A****Declaração de visita técnica Usiminas****Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento****USIMINAS** 

Ipatinga, 12 de janeiro de 2015

Declaro para os devidos fins que Vanessa Cristine Silva, aluna regular do curso de pós-graduação do mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, linha de pesquisa em Tecnologia, da Escola de Arquitetura da UFMG, número de matrícula 667854, esteve em visita técnica à planta industrial da USIMINAS em Ipatinga MG, em 12 de janeiro de 2015, onde foram desenvolvidas as seguintes atividades:

1. Visita à unidade industrial da Aciaria, onde foi acompanhado todo o fluxo de geração da escória incluindo os pátios de armazenamento e processamento;
2. Visita às instalações do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, onde são desenvolvidos os projetos relacionados à escória de aciaria;
3. Discussão sobre os projetos e produtos de pesquisa desenvolvidos pela Instituição;
4. Apresentação de características das escórias produzidas pela Usiminas.



**Wilton Pacheco de Araújo**  
Pesquisador

[Wilton.Araujo@usiminas.com](mailto:Wilton.Araujo@usiminas.com)

**USIMINAS** 

Av Pedro Linhares Gomes, 5431  
CEP 35160.900 - Ipatinga MG

T 55 31 3829-2879  
C 55 31 9609 2053  
F 55 31 3829-3346

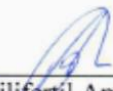
**ANEXO B****Atestado de visita técnica à Silifertil****Silifertil Ambiental Ltda.**

Silifertil Ambiental Ltda.  
Av. Olinto Meireles, 65 - Área do Escorial  
B. de Baixo - CEP.: 30.640.010 - B. Hta. - MG  
Telefax: (31) 3386-6666 / 3386-9636

**Atestado de Visita Técnica**

Declaro para os devidos fins que Vanessa Cristine Silva, aluna do curso de pós-graduação do Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da UFMG, realizou visita técnica no pátio industrial da Empresa Silifertil Ambiental Ltda, em São Joaquim de Bicas MG, em 26 de fevereiro de 2015, onde foi acompanhado primeiramente o processo de recebimento, britagem, separação magnética e peneiramento das escórias LD e forno panela da Siderúrgica Vallourec Mannesman. Posteriormente foram discutidas as possibilidades de uso da escória de aciaria em novos produtos, incluindo a produção do fertilizante Silicato de cálcio SILIFÉRTIL, produto inovador para a agricultura sustentável e o avanço científico.

São Joaquim de Bicas, 26 de fevereiro de 2015.



---

Silifertil Ambiental Ltda.  
Antonio Augusto de Moraes Piau

## ANEXO C

## Informação Estratégica - FIEMG



### **COPAM ESTABELECE EXIGÊNCIAS DE PRESTAÇÃO PERIÓDICA DE INFORMAÇÕES SOBRE A ESCÓRIA DE ACIARA**

A Deliberação Normativa COPAM nº 195, de 03 de abril de 2014, estabelece as exigências de prestação periódica de informações sobre o resíduo denominado escória de aciaria, beneficiada ou não.

A escória de aciaria é um resíduo gerado por indústrias siderúrgicas em decorrência das operações de produção inerente ao processo de fabricação ou refino do aço. Ela é considerada beneficiada quando submetida a uma ou mais operações com vistas à recuperação do aço remanescente, classificação, adição de outros insumos e homogeneização.

A partir da publicação dessa norma, os responsáveis por empreendimentos que geram escória de aciaria e que repassam esse resíduo a terceiros para algum tipo de uso ou beneficiamento, ou para uso próprio, passaram a ter as seguintes obrigações:

- Realizar análise de uma amostra composta a partir da coleta de amostras simples, de acordo com parâmetros especificados na norma;
- Apresentar o plano de amostragem elaborado pelo responsável técnico, no qual deverá ser descrita a metodologia que garanta a representatividade da amostra;
- Registrar as entregas feitas em documentação específica, devidamente catalogada, contendo os dados mínimos previstos na norma;
- Manter sob guarda os relatórios de ensaios e a documentação de entrega, para fins de comprovação, inclusive durante fiscalização;
- Enviar semestralmente à Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), em meio físico e digital, planilhas consolidadas das análises realizadas e dos registros de entrega.

Já os responsáveis pelos empreendimentos que recebem escória de aciaria do gerador e repassam esse resíduo a terceiros, beneficiado ou não, deverão:

- Registrar as entregas feitas a terceiros em documentação específica, devidamente catalogada, contendo os dados mínimos previstos na norma;



## **Informação Estratégica**



### **Meio Ambiente**

- Manter sob guarda os registros de entrega, para fins de comprovação, inclusive durante fiscalização;
- Enviar semestralmente à Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), em meio físico e digital, planilhas consolidadas desses registros, conforme especificado na norma.

A utilização de escória de aciaria por terceiros não exime o usuário da obrigação de adotar as ações de controle que se fizerem necessárias à proteção do meio ambiente, bem como de cumprir as exigências específicas feitas no âmbito do processo de regularização ambiental quando aplicável.

A estratégia de caracterização da escória deverá ser avaliada a cada 12 (doze) meses.

Os empreendimentos abrangidos por essa Deliberação Normativa deverão iniciar o cumprimento das determinações dispostas, no prazo de 30 (trinta) a partir da sua entrada em vigor (08 de abril de 2014).

Recomendamos a leitura na íntegra da [Deliberação Normativa nº 195, de 03 de abril de 2014](#).

Para mais informações entre em contato com a Gerência do Meio Ambiente através do e-mail [meioambiente@fiemg.com.br](mailto:meioambiente@fiemg.com.br).



## ANEXO D

### Deliberação Normativa COPAM nº 195

Estabelece exigências de prestação periódica de informações sobre o resíduo denominado escória de aciaria. O CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM, no uso das atribuições que lhe confere o art. 5º, I, da Lei nº 7.772, de 8 de setembro de 1980, e tendo em vista o disposto no art. 214, § 1º, IX, da Constituição do Estado de Minas Gerais, e nos termos do art. 4º, II, da Lei Delegada nº 178, de 29 de janeiro de 2007, e seu Regulamento estabelecido pelo Decreto nº 44.667, de 3 de dezembro de 2007, art. 4º, II e ainda de acordo com art. 5º, I, de seu Regimento Interno instituído pela Deliberação Normativa Copam nº 177, de 22 agosto de 2012.

Considerando a necessidade de estimular a redução da geração de resíduos, bem como o uso e a valorização daqueles inevitavelmente gerados, evitando a disposição em aterros, conforme estabelecido pelas Políticas Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos.

Considerando as potencialidades de aproveitamento do resíduo denominado escória de aciaria, como por exemplo, em obras de engenharia rodoviária e ferroviária, como insumo na fabricação de artefatos de concreto, na fabricação de cimento e no uso agrícola.

Considerando que a utilização da escória de aciaria pode contribuir para a preservação de recursos naturais não renováveis, na medida em que reduz a demanda por alguns insumos de origem mineral.

Considerando que a escória de aciaria é um resíduo que apresenta variações químicas e físicas em sua composição, em função do processo de fabricação do aço e do tipo de aço produzido e que as informações acerca dessa variabilidade ainda são escassas.

Considerando a necessidade de conhecer melhor a variação de características da escória de aciaria, bem como a necessidade de monitorar de maneira mais detalhada e freqüente a destinação desse resíduo, especialmente no que concerne ao seu aproveitamento, proporcionando assim ao órgão ambiental melhor conhecimento dos usuários, dos locais e formas de utilização, bem como das quantidades destinadas.

#### **DELIBERA:**

Art. 1º - Ficam estabelecidas as exigências de prestação periódica de informações sobre o resíduo denominado escória de aciaria, beneficiada ou não.

Art. 2º - Para os fins desta Deliberação Normativa aplicam-se as seguintes definições:

I - escória de aciaria: resíduo sólido gerado por indústrias siderúrgicas em decorrência das operações de produção inerente ao processo de fabricação ou refino do aço;

II - escória de aciaria beneficiada: nome dado à escória de aciaria após submetida a uma ou mais operações como cominuição, separação magnética ou aplicação de outra técnica com vistas à recuperação do aço remanescente, classificação, adição de outros insumos e homogeneização;

*Parágrafo único - A escória de aciaria beneficiada nos termos do inciso II deste artigo não perde o caráter de resíduo industrial.*

Art. 3º - Os responsáveis pelos empreendimentos que geram escória de aciaria e que repassam esse resíduo a terceiros para algum tipo de uso ou beneficiamento, ou para uso próprio, deverão:

I - Realizar análise de uma amostra composta a partir da coleta de amostras simples, conforme parâmetros e metodologias de amostragem e análises especificadas no Anexo 1, Tabelas 1-A, 1-B e 1-C, observadas as diretrizes da Deliberação Normativa Copam nº 167, de 29 de junho de 2011;

Para empreendimentos cuja geração mensal de escória é de até 6.000 (seis mil) toneladas, a amostra composta deverá ser obtida a partir de amostras simples, a cada 1.000 (mil) toneladas de escória beneficiada gerada e a frequência de análise das amostras compostas deverá ser mensal.

Para os demais empreendimentos a amostra composta deverá ser obtida a partir de amostras simples, a cada 3.000 (três mil) toneladas de escória beneficiada gerada e a frequência de análise das amostras compostas deverá ser quinzenal.

II - Apresentar o plano de amostragem elaborado pelo responsável técnico, no qual deverá ser descrita a metodologia que garanta a representatividade da amostra.

III - registrar as entregas feitas em documentação específica, devidamente catalogada, na qual estejam registrados no mínimo os seguintes dados:

- a) razão social do receptor ou nome, no caso de pessoa física;
- b) CNPJ do receptor ou CPF, no caso de pessoa física;
- c) data da entrega;
- d) quantidade entregue;
- e) uso declarado pelo receptor.

IV - manter sob guarda, devidamente catalogados, por 5 (cinco) anos ou durante a vigência da Licença de Operação (LO), prevalecendo o maior período, os relatórios de ensaios (inciso I) e a documentação de entrega (inciso III), para fins de comprovação, inclusive durante fiscalização;

V - enviar semestralmente à Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), em meio físico e digital, planilhas consolidadas das informações a que se referem os incisos I e III deste artigo, conforme Tabelas 2-A, 2-B, 2-C e 2-D do Anexo 2.

Parágrafo único - O envio das informações a que se refere o inciso V, em meio digital, deverá ser feito em planilha Excel, observados os modelos das Tabelas 2-A, 2-B, 2-C e 2-D do Anexo 2, pelo e-mail [escoria.dados@meioambiente.mg.gov.br](mailto:escoria.dados@meioambiente.mg.gov.br) e o envio em meio físico deverá ser feito mediante entrega da documentação contra protocolo ou envio pelo correio, com aviso de recebimento (AR), em ambos os casos endereçada para a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, na Cidade Administrativa Presidente Tancredo Neves, Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/nº - Edifício Minas-1º andar - Bairro Serra Verde, CEP: 31630-900 - Belo Horizonte - MG.

Art. 4º - Os responsáveis pelos empreendimentos que recebem escória de aciaria do gerador e repassam esse resíduo a terceiros, beneficiado ou não, deverão:

I - registrar as entregas feitas a terceiros em documentação específica, devidamente catalogada, na qual estejam registrados no mínimo os seguintes dados:

- a) razão social do receptor ou nome, no caso de pessoa física;
- b) CNPJ do receptor ou CPF, no caso de pessoa física;
- c) data da entrega;
- d) quantidade entregue;
- e) uso declarado pelo receptor

II - manter sob guarda, devidamente catalogados, por 5 (cinco) anos ou durante a vigência da Licença de Operação (LO) ou da Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF), prevalecendo o maior período, a documentação de entrega a que se refere o inciso anterior, para fins de comprovação, inclusive durante fiscalização;

III - enviar semestralmente à Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), em meio físico e digital, planilhas consolidadas das informações a que se refere o inciso I deste artigo, conforme Tabela 2-A do Anexo 2.

Parágrafo único - O envio das informações consolidadas em meio digital e em meio físico a que se refere o inciso III deste artigo deverá ser feito nos termos do parágrafo único do art. 3º.

Art. 5º - A utilização de escória de aciaria por terceiros nos termos desta Deliberação Normativa não exime o usuário da obrigação de adotar as ações de controle que se fizerem necessárias à proteção do meio ambiente, bem como de cumprir as exigências específicas feitas no âmbito do processo de regularização ambiental quando aplicável.

Art. 6º - A cada 12 (doze) meses a estratégia de caracterização da escória deverá ser avaliada.

Art. 7º - Os empreendimentos abrangidos por essa Deliberação Normativa deverão iniciar o cumprimento das determinações dispostas, no prazo de 30 (trinta) dias após sua entrada em vigor.

Art. 8º - Esta Deliberação Normativa entra em vigor na data de sua publicação.

Belo Horizonte, 03 de abril de 2014. (a) Adriano Magalhães Chaves - Secretário de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e Presidente do Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM.

#### ANEXO 1 - Tabela 1-A

(diretrizes para ensaios laboratoriais de amostras de escória de aciaria a que se refere o art. 3º, inciso I)

TABELA 1-A			
DIRETRIZES PARA ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO			
ITEM	PARÂMETRO	MÉTODO DE AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO EXTRATO LIXIVIADO	MÉTODO DE ANÁLISE
1	Arsênio (As)	Amostragem: ABNT/NBR 10.007, segunda edição, de 31/5/2004 Obtenção do extrato lixiviado: ABNT/NBR 10.005, segunda edição, de 31/5/2004	Analisar os parâmetros do extrato lixiviado de acordo com as metodologias descritas no AWWA - APHA - WPCI Standard methods for the examination of water and wastewater ou USEPA - SW 846 - Test methods for evaluating solid waste; Physical/Chemical methods.
2	Bário (Ba)		
3	Cádmio (Cd)		
4	Chumbo (Pb)		
5	Cromo total (Cr+3 e Cr+6)		
6	Fluoreto (F-)		
7	Mercurio (Hg)		
8	Prata (Ag)		
9	Selênio (Se)		

#### ANEXO 1 - (continuação)

(diretrizes para ensaios laboratoriais de amostras de escória de aciaria a que se refere o art. 3º, inciso I)

TABELA 1-B			
DIRETRIZES PARA ENSAIOS DE SOLUBILIZAÇÃO			
ITEM	PARÂMETRO	MÉTODO DE AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO EXTRATO SOLUBILIZADO	MÉTODO DE ANÁLISE
1	Alumínio (Al)	Amostragem: ABNT/NBR 10.007, segunda edição, de 31/5/2004. Obtenção do extrato solubilizado: ABNT/NBR 10.006, segunda edição, de 31/5/2004.	Analisar os parâmetros do extrato solubilizado de acordo com as metodologias descritas no Standard methods for the examination of water and wastewater ou USEPA - SW 846 - Test methods for evaluating solid waste; Physical/Chemical methods.
2	Arsênio (As)		
3	Bário (Ba)		
4	Cádmio (Cd)		
5	Chumbo (Pb)		
6	Cianeto (CN-)		
7	Cloreto (Cl-)		
8	Cobre (Cu)		
9	Cromo total (Cr+3 e Cr+6)		
10	Ferro (Fe)		
11	Fluoreto (F-)		
12	Manganês (Mn)		
13	Mercurio (Hg)		
14	Nitrato (NO3-) (expresso em N)		
15	Prata (Ag)		
16	Selênio (Se)		
17	Sódio (Na)		
18	Sulfato (expresso em SO4)		
19	Zinco (Zn)		

## ANEXO 1 - (continuação)

(diretrizes para ensaios laboratoriais de amostras de escória de aciaria a que se refere o art. 3º, inciso I)

TABELA 1-C			
DIRETRIZES PARA ENSAIOS DE MASSA BRUTA			
ITEM	PARÂMETRO	MÉTODO DE AMOSTRAGEM	MÉTODO DE ANÁLISE
1	Alumínio (Al)	Amostragem: ABNT/NBR 10.007, segunda edição, de 31/5/2004	Analisar os parâmetros da massa bruta de acordo com a metodologia da Norma 3052 - Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices, da Environmental Protection Agency - EPA.
2	Cromo (Cr)		
3	Cobre (Cu)		
4	Estanho (Sn)		
5	Magnésio (Mg)		
6	Manganês (Mn)		
7	Nióbio (Nb)		
8	Níquel (Ni)		
9	Fósforo (P)		
10	Enxofre (S)		
11	Titânio (Ti)		
12	Vanádio (V)		
13	Zircônio (Zr)		
14	Potássio (K)		
15	Estrôncio (Sr)		

## ANEXO 2 - Tabela 2-A

(modelo de planilha para consolidação semestral das informações sobre repasse de escória de aciaria a terceiros conforme art. 3º, inciso IV e o art. 4º, inciso III)

TABELA 2-A: LISTA CONSOLIDADA DO REPASSE SEMESTRAL DE ESCÓRIA DE ACIARIA A TERCEIROS					
..... semestre do ano de .....					
DADOS DO EMPREENDIMENTO QUE FEZ O REPASSE DO RESÍDUO					
Razão social:			CNPJ:		
Endereço:					
Gerador do resíduo? ( ) SIM ( ) NÃO.					
Beneficiador do resíduo? ( ) SIM ( ) NÃO.					
(as duas perguntas devem ser respondidas)					
INFORMAÇÕES SOBRE OS REPASSES E RESPECTIVOS RECEPTORES					
(inclua quantas linhas forem necessárias, preservando o campo para identificação)					
RAZÃO SOCIAL OU NOME DO RECEPTOR (a)	CNPJ OU CPF DO RECEPTOR (b)	ENDEREÇO DO RECEPTOR	QUANTIDADE REPASSADA AO RECEPTOR DURANTE O SEMESTRE (em toneladas)		USO DECLARADO PELO RECEPTOR (c) (ver códigos no rodapé da tabela)
			Escória beneficiada	Escória não beneficiada	
(nome legível e assinatura do responsável pela consolidação dos dados)					

(a) Se for pessoa jurídica, informar apenas a razão social; se for pessoa física informar o nome.

(b) Se for pessoa jurídica, informar apenas o CNPJ; se for pessoa física informar o CPF.

(c) Códigos de uso:

(1) beneficiamento

(2) uso como base ou sub-base em obra de pavimentação de vias

(3) uso como lastro em leito de ferrovia

(4) uso como insumo para fabricação de artefatos de concreto

(5) uso agrícola

(6) outros - lançar o código "6" e informar, na mesma linha, de forma sucinta e clara o tipo de uso.

## ANEXO 2 - (continuação)

(modelos de planilhas para consolidação semestral dos resultados dos ensaios laboratoriais com amostras do resíduo escória de aciaria a que se refere o art. 3º, inciso IV)

TABELA 2-B									
CONSOLIDAÇÃO SEMESTRAL DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO									
..... semestre do ano de .....									
DADOS DO EMPREENDIMENTO GERADOR DO RESÍDUO									
Razão social:									
Endereço:									
Laboratório responsável pelas análises:									
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO EXPRESSOS EM MILIGRAMAS POR LITRO (mg/L)									
(insira quantas linhas forem necessárias, preservando o campo para identificação)									
DATA DA COLETA	As (mg/L)	Ba	Cd	Pb	Cr total	F-	Hg	Ag	Se
(nome legível e assinatura do responsável pela consolidação dos dados)									

## ANEXO 2 - (continuação)

(modelos de planilhas para consolidação semestral dos resultados dos ensaios laboratoriais com amostras do resíduo escória de aciaria a que se refere o art. 3º, inciso IV)

TABELA 2-C																			
CONSOLIDAÇÃO SEMESTRAL DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SOLUBILIZAÇÃO																			
..... semestre do ano de .....																			
DADOS DO EMPREENDIMENTO GERADOR DO RESÍDUO																			
Razão social:																			
Endereço:																			
Laboratório responsável pelas análises:																			
RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SOLUBILIZAÇÃO EXPRESSOS EM MILIGRAMAS POR LITRO (mg/L)																			
(insira quantas linhas forem necessárias, preservando o campo para identificação)																			
DATA DA COLETA	Al	As	Ba	Cd	Pb	CN-	Cl-	Cu	Cr total	Fe	F-	Mn	Hg	Nitrato (expresso em N)	Ag	Se	Na	Sulfato (expresso em S04)	Zn
(nome legível e assinatura do responsável pela consolidação dos dados)																			

## ANEXO 2 - (continuação)

(modelos de planilhas para consolidação semestral dos resultados dos ensaios laboratoriais com amostras do resíduo escória de aciaria a que se refere o art. 3º, inciso IV)

TABELA 2-D
CONSOLIDAÇÃO SEMESTRAL DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MASSA BRUTA
..... semestre do ano de .....
DADOS DO EMPREENDIMENTO GERADOR DO RESÍDUO
Razão social:
Endereço:
Laboratório responsável pelas análises: