

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ANTONIO CARLOS GIOCONDO CESAR

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS CONFECCIONADOS COM
ESCÓRIA PROVENIENTE DA RECICLAGEM DO AÇO**

SÃO CARLOS
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ANTONIO CARLOS GIOCONDO CESAR

**DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS CONFECCIONADOS COM
ESCÓRIA PROVENIENTE DA RECICLAGEM DO AÇO**

Dissertação apresentada à Área de Arquitetura,
Urbanismo e Tecnologia da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Osny Pellegrino Ferreira

SÃO CARLOS
2008

FOLHA DE APROVAÇÃO

Antonio Carlos Giocondo Cesar

Desenvolvimento de Blocos Confeccionados com Escória Proveniente da Reciclagem do Aço

Dissertação apresentada à Área de Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

À minha esposa, Gisele Cristina Bueloni, pelo incentivo a desenvolver esta pesquisa; aos meus filhos, João C. Giocondo Cesar e Julia Morena C. Cesar que embora distantes estão sempre presente em meus pensamentos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Osny Pellegrino Ferreira, meu orientador, pela oportunidade e confiança depositadas em mim, sem o que, não seria possível realizar este trabalho, e pela amizade.

A José Alencastro de Araújo, especialista em meio ambiente, da Gerência da Área de Engenharia e Meio Ambiente da ArcelorMittal - Piracicaba, pela colaboração no fornecimento de escória e apoio para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos técnicos Paulo Wanderley Pratavieira, Sérgio Aparecido Trevelin e Paulo Cesar Albertini, pelo apoio técnico.

Ao Paulo Trigo Ferreira, graduando em Arquitetura e Urbanismo, pelo seu auxílio nos experimentos e levantamento de dados, que foi de grande contribuição para este trabalho.

Ao Prof. Javier Mazariegos Pablos, pelo companheirismo e auxílio nas referências de normas técnicas relativas a resíduos industriais.

Aos Departamentos de Hidráulica e Saneamento da EESC, na pessoa de Julio Cesar Trofino, e ao Departamento de transportes e solos da EESC, nas pessoas de Antonio Carlos Gigante e João Domingos Pereira Filho, pelos ensaios realizados.

RESUMO

GIOCONDO, A. C. C. **Desenvolvimento de blocos confeccionados com escória proveniente da reciclagem do aço.** 2008. 189p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

Esta pesquisa tem como objetivo utilizar a escória de aciaria na produção de blocos intertravados para execução de alvenaria. A escória de aciaria é o resíduo de maior volume gerado durante o processo siderúrgico, na produção do aço, sua utilização consiste basicamente na produção de cimento e como base e sub-base para pavimentação de estrada de rodagem e pavimentação de vias públicas, com extensas pesquisas e publicações abordando os temas. Porém esta pesquisa de utilizar a escoria de aciaria para produzir blocos intertravados é inédita, por este motivo os métodos e parâmetros utilizados, foram adaptados e comparados a outros materiais já normatizados e utilizados na execução de alvenaria. A primeira etapa da pesquisa foi definir a granulometria ideal da escória a ser utilizada como agregado, o próximo passo foi definir a composição da mistura; como a escória demonstrou ser um material hidrofugante, foi necessário a incorporação de outros elementos para reter água e dar plasticidade ao composto, que foi moldado em prensa hidráulica definindo o formato do bloco e seu processo de industrialização. O bloco de escoria foi submetido a vários ensaios e seus resultados demonstraram que a utilização deste material como elemento de alvenaria e vedação, é tecnicamente bastante satisfatório. A escoria por ser um subproduto do aço, é uma matéria prima abundante e de baixo custo, tornando o bloco de escoria economicamente viável e competitivo no mercado, podendo ser empregado em diversas áreas da construção civil, contribuindo para o desenvolvimento de um modelo econômico e social sustentável.

Palavras-chave: Resíduo. Escória. Reciclagem. Blocos modulares.

ABSTRACT

GIOCONDO, A. C. C. **Development of blocks made with slag from steel recycling**. 2008. 189p. Dissertation (Master in Science) - São Carlos Engineering College, University of São Paulo, 2008.

This research aims at evaluating the use of slag from steel making in the production of self-supported blocks for masonry. The largest residual volume generated from the steel making process is the slag, which is used for cement production and paving of roads. There is a lot of researches and papers issued about such subjects. However, the use of slag to manufacture self-supported blocks was not found in the technical literature over masonry. The methods and parameters applied to evaluate standard masonry materials were adapted to allow a proper evaluation of these self-supported blocks made of slag. The first step was the definition of an ideal granulometry to be used as aggregate. The next step was the definition of the composition of the mixture. As the slag is a water-repellent material, it was necessary to add other elements in order to ensure water retention and to allow a proper plastic conformation. The blocks were moulded in a hydraulic press, that defined the block shape and its manufacturing process. The slag block has gone through many tests and the results has shown that it is technically satisfactory as a waterproof and masonry material. The slag, as a steel making by-product, is an abundant and non-expensive material, thus becoming economically viable and competitive. It can be applied in many areas of civil construction, making an important contribution for a sustainable social and economic model.

Keywords: Residual. Slag. Recycling. Self-supported blocks.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Areia de Fundação
BMP	Belgo-Mineira de Piracicaba
CH	Cimento em Hidratação
CP	Cimento Portland
DS	Desenvolvimento Sustentável
ES	Estabilizado por Solidificação
ECC	Escória-Cimento-Cal
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FOB	Free on board
IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
INESFA	Instituto Nacional das Empresas de Preparação de Sucata Não-Ferrosa e de Ferro e Aço
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológicas
LCC	Laboratório de Construção Civil
LQ	Limite de Quantificação
RS	Resistentes aos Sulfatos
USP	Universidade de São Paulo
VMP	Valor Máximo Permitido

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Símbolo internacional da reciclagem.....	19
Figura 2 - Reciclagem de produtos obsoletos.....	22
Figura 3 - Distribuição da oferta pelas fontes de sucata - 1998	23
Figura 4 - Distribuição Mundial da Sucata Coletada - 1998	24
Figura 5 - Oferta e demanda de sucata pelo setor siderúrgico brasileiro	25
Figura 6 - Ilustração do alto-forno.....	28
Figura 7 - Carregamento de sucata	31
Figura 8 - Fusão da sucata	31
Figura 9 - Refino do aço líquido.....	31
Figura 10 - Refino do aço líquido.....	31
Figura 11 - Reações metalúrgicas do refino	32
Figura 12 - Retirada da escória.....	32
Figura 13 - Vazamento do aço líquido	32
Figura 14 - Representação esquemática do processamento da sucata de obsolescência recebida na BMP.....	34
Figura 15 - Coleta da escória na aciaria	36
Figura 16 - Transporte da escória.....	36
Figura 17 - Resfriamento controlado da escória.....	37
Figura 18 - Planta e processamento da escória de aciaria	37
Figura 19 - Britagem e peneiramento da escória de aciaria	38
Figura 20 - Separação Magnética (Remoção do ferro metálico).....	38
Figura 21 - Classificação granulométrica conforme requisitos do mercado	39
Figura 22 - Escória de 50 mm – 150 mm Figura 23 - Escória de 2 mm – 5 mm.....	39
Figura 24 - Controle de qualidade (teste de expansão)	40

Figura 25 - Estocagem e cura	40
Figura 26 - Geração da Escória de Aciaria – União Européia.....	43
Figura 27 - Reutilização da Escória de Aciaria – União Européia	44
Figura 28 - Sub-Base (Alemanha).....	45
Figura 29 - Base (Alemanha)	45
Figura 30 - Contenção em margem de rios (Alemanha)	45
Figura 31 - Diques marítimos (USA)	45
Figura 32 - Leito de Filtragem de Água (USA).....	46
Figura 33 - Viveiro de Ostras (USA)	46
Figura 34 - Corretivo de Solo (Canadá)	47
Figura 35 - Secagem ao sol da escória de aciaria recebida da BMP	64
Figura 36 - Material retido em malha 9,5 mm.....	65
Figura 37 - Material retido em malha 4,8 mm.....	65
Figura 38 - Material retido em malha 2,4 mm.....	65
Figura 39 - Material passante em malha 2,4 mm (Aquele a ser utilizado nas moldagens)	65
Figura 40 - Corpos de prova de T1, T2, T3 e T4.....	70
Figura 41 - Teste de Resistência à Compressão	70
Figura 42 - Curva de umidade ótima, ensaios realizados no laboratório de solos da EESC – USP.....	73
Figura 43 - Prensa Hidráulica para fabricação de Tijolos de solo-cimento.....	74
Figura 44 - Equipamentos para fabricação de tijolos de solo-cimento.....	75
Figura 45 - Bloco “quebradiço” logo após a prensagem (testes iniciais para avaliação do processo de moldagem)	77
Figura 46 - Betoneira utilizada no início da pesquisa	78
Figura 47 e 48 - Misturador de eixo vertical (próprio para mistura de “materiais secos”)	79

Figura 49 - Mistura betoneira convencional.....	79
Figura 50 - Misturador de eixo vertical.....	79
Figura 51 - Compactação do composto pela prensa.....	81
Figura 52 - Bloco pronto para ser retirado.....	81
Figura 53 - Bloco sendo retirado da prensa.....	81
Figura 54 - Blocos prontos para testes.....	81
Figura 55 - Regularização da Superfície dos Blocos com pasta de cimento.....	83
Figura 56 - Teste de Resistência à Compressão com Blocos Superpostos.....	83
Figura 57 - Área destinada a linha de produção dos blocos.....	105
Figura 58 - Linha de produção de blocos (ECC).....	106
Figura 59 - Cimento-1.....	106
Figura 60 - Água.....	107
Figura 61 - Misturador sendo abastecido.....	107
Figura 62 - Tijolo original da prensa (primeiro plano).....	108
Figura 63 - Abastecimento da prensa.....	108
Figura 64 - Compactação do bloco.....	108
Figura 65 - Peças sendo retirada manualmente.....	109
Figura 66 - Blocos prontos.....	109
Figura 67 - Chapa utilizada para sacar o bloco.....	109
Figura 68 - Blocos colocados em palet.....	109
Figura 69 - Blocos armazenados em palet de madeira.....	110
Figura 70 - O Bloco de escória.....	112
Figura 71 - A modulação proposta para utilizar o bloco de escória.....	113
Figura 72 - A amarração da montagem dos blocos.....	114
Figura 73 - A integração geométrica espacial do bloco de escória.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composições das Escórias (Análises Típicas)	27
Tabela 2 - Quantidade de resíduos gerados anualmente pela BMP	33
Tabela 3 - Composição centesimal da escória da BMP	50
Tabela 4 - Determinação sobre a massa bruta da escória da BMP	51
Tabela 5 - Determinação sobre o lixiviado obtido da escória da BMP	52
Tabela 6 - Determinação sobre o solubilizado obtido da escória da BMP	54
Tabela 7 - Proporções aproximadas dos principais componentes de uma amostra de cimento	56
Tabela 8 - Tipo e Composição de cimento Portland	59
Tabela 9 - Produção Nacional de cimento Portland	59
Tabela 10 - Propriedades da cal	61
Tabela 11 - Caracterização das Granulometrias em amostra-padrão	66
Tabela 12 - Caracterização do Cimento Portland CP V PLUS	67
Tabela 13 - Composição das misturas e suas proporções	69
Tabela 14 - Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Simples em Corpo de Prova Cilíndrico (5 X 10 cm) aos 7 dias	70
Tabela 15 - Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Simples com Blocos Superpostos, compondo o Corpo-de-Prova de ensaio.	84
Tabela 16 - Ensaio de Absorção D'Água	84
Tabela 17 - Determinação sobre o lixiviado obtido do composto (ECC)	86
Tabela 18 - Determinação sobre o solubilizado obtido do composto (ECC)	87
Tabela 19 - Determinação sobre o solubilizado obtido	89
Tabela 20 - Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Simples com Blocos	91
Tabela 21 - Ensaio de absorção de água	92

Tabela 22 - Determinação sobre a massa bruta do bloco de escória-cimento ECC NBR 10004/2004 - Massa Bruta.....	94
Tabela 23 - Determinação sobre o lixiviado do bloco de escória ECC - NBR 10005/2004 - Lixiviado.....	95
Tabela 24 - Determinação sobre o solubilizado do bloco de escória ECC - NBR 10006/2004 - Solubilizado	96
Tabela 25 - Resultado Analítico, Teste de Toxidade Aguda- <i>Vibrio fischeri</i> do bloco de escória ECC - NT CETESB L5.227	97
Tabela 26 - Concentração Máxima de Poluentes no Lixiviado (CMP) - NBR 10005/2004.....	99
Tabela 27 - Concentração Máxima de Poluentes no Lixiviado Neutro (CMP).....	100
Tabela 28 - pH conforme procedimento constante Anexo B (da Normativa).....	101

LISTA DE SÍMBOLOS

C_2S	Silicato dicálcio, ou belita
C_3A	Aluminato tricálcio
C_3S	Silicato tricálcio, ou alita
C_4AF	Ferroaluminato tetracálcio, ou ferrita
CaO	Óxidos de Cálcio
CO_2	Gás Carbônico
MgO	Óxidos de Magnésio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 A Reciclagem do Aço.....	21
2.2 Resíduos do Aço.....	26
2.3 A escória.....	27
2.3.1 Escória de Alto-Forno	28
2.3.2 Escória de Aciaria.....	30
2.3.3 A escória de aciaria gerada pela BMP1	33
2.4 O beneficiamento da escória de aciaria	35
3 OBJETIVO	41
4 JUSTIFICATIVA	43
5 MATERIAIS E METODOS.....	49
5.1 Materiais.....	49
5.1.1 Características da Escoria da BMP.....	49
5.1.1.1 Ensaio de Lixiviação e de Solubilização da Escória da BMP	51
5.1.1.2 Interpretação dos resultados	55
5.1.2 Caracterização do Cimento Portland.....	55
5.1.3 Caracterização da Cal	60
5.2 Metodologia.....	63
5.2.1 Características Físicas da Escória.....	64
5.2.2 Características do Cimento Portland Utilizado	66
5.2.3 Características da Cal Utilizada.....	68
5.2.4 Composições da Mistura	68
5.2.5 Ensaio Preliminares de Resistência a Compressão	69

5.2.6 A Compactação da Mistura	71
5.2.7 Ensaio de Compactação.....	72
5.2.8 Equipamentos Utilizados para Produção dos Blocos	74
5.2.9 Produção Experimental de Blocos de Escória.....	76
5.2.10 Dificuldades Encontradas	77
5.2.11 Moldagem dos Blocos de (ECC).....	80
6 RESULTADOS	83
6.1 Resultados dos Ensaio do Bloco (ECC).....	83
6.2 Características do Composto (ECC).....	85
6.2.1 Ensaio de Lixiviação e de Solubilização do Composto (ECC)	85
6.2.2 Ensaio de Solubilização do Cimento Portland	89
6.3 Resultados Definitivos de Ensaio do Bloco (ECC).....	90
6.3.1 Classificação do Bloco (ECC).....	92
6.3.2 Ensaio de Lixiviação, Solubilização e Teste de Toxicidade	93
6.3.2.1 Aguda com Vibrio Fischeri do Bloco (ECC)	93
6.3.2.2 Resultados.....	97
6.4 A Normatização de Resíduos Estabilizados por Solidificação.....	98
7 A INDUSTRIALIZAÇÃO DO BLOCO (ECC)	103
7.1 Equipamentos Necessários para Industrialização.....	103
7.2 A Linha de Produção dos Blocos	105
8 O SISTEMA CONTRUTIVO	111
8.1 O <i>Design</i> do Bloco de Escória.....	112
8.2 A Modulação do Projeto.....	113
9 PROJETANDO COM O BLOCO DE ESCORIA	117
9.1 Projeto a Casa Modelo.....	118

10 CONCLUSÃO.....	119
10.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	120
REFERÊNCIAS	123
ANEXOS	129

1 INTRODUÇÃO

O problema que enfrentamos com a imensa densidade populacional, o alto consumo de energia e a utilização dos recursos naturais renováveis e não-renováveis - carvão, derivados do petróleo, gás natural, carvão vegetal, tratados como se fossem fontes inesgotáveis - causou grande impacto ambiental negativo, como também a primeira crise do petróleo em 1973, quando os países exportadores elevaram abruptamente o preço de seus produtos, forçando o Ocidente a buscar novas fontes alternativas para seu abastecimento energético, bem como a fazer uma reavaliação na Análise do Ciclo de Vida de materiais e produtos de consumo.

Com a globalização fazendo com que todos os problemas estejam conectados entre si, torna-se muito claro por essa nova visão das relações homem-meio ambiente que não existe apenas um limite mínimo para o bem-estar da sociedade; há também um limite máximo para a utilização dos recursos naturais, de modo que estes sejam preservados. O atual modelo de crescimento econômico gerou enormes desequilíbrios; se por um lado, nunca houve tanta riqueza e fartura no mundo, por outro lado, a miséria, a degradação ambiental e a poluição aumentam dia-a-dia. Diante desta constatação, surge a necessidade do desenvolvimento sustentável (DS), buscando conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental e, ainda, o fim da pobreza no mundo.

No início da década de 1980, a ONU retomou o debate das questões ambientais - o documento final desses estudos chamou-se Nosso Futuro Comum ou Relatório Brundtland. Apresentado em 1987, propõe o desenvolvimento sustentável, “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras atenderem às suas necessidades”. Outras tentativas em produzir conceitos para regulamentação mundial do desenvolvimento sustentável foram: Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (1992), Agenda 21(1992), Convenção sobre Diversidade Biológica (1992) e o Protocolo de Kioto (1997).

Algumas pessoas hoje se referem ao termo “desenvolvimento sustentável” como um termo amplo, pois implica desenvolvimento continuado, e insistem em que ele deve ser reservado somente para as atividades de desenvolvimento. “Sustentabilidade”, então é hoje em dia utilizado como um termo amplo para todas as atividades humanas.

Na tentativa de redução do consumo de energia - poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o que é jogado fora - foi criado um novo processo industrial que converte o lixo descartado (matéria-prima secundária) em novo produto, semelhante ao inicial, ou outro. A este processo se deu o nome de reciclagem, introduzida ao vocabulário internacional no final da década de 1980, quando foi constatado que as fontes de petróleo e outras matérias primas não-renováveis estavam e estão se esgotando.

A expressão vem do inglês *recycle* (re = repetir, e *cycle* = ciclo). Os resultados da reciclagem são expressivos tanto no campo ambiental como nos campos econômico e social.



Figura 1 - Símbolo internacional da reciclagem

Diante deste quadro, inúmeras pesquisas estão sendo desenvolvidas para atender um dos mercados de maior potencial neste século, o de produtos que reduzam o consumo energético e a emissão de poluentes, voltados ao consumidor final. Tão importante quanto a informática e a biotecnologia, estes produtos ainda são pouco ou quase nada explorados no Brasil e na América do Sul, embora já seja uma realidade na União Européia e Oceania (Austrália e Nova Zelândia), onde a força e consciência ambiental dos consumidores já fazem parte da cidadania da população local. Atenta à tendência mundial, esta pesquisa consiste em desenvolver um produto que reduza o consumo energético e a emissão de poluentes em seu processo produtivo, utilizando como matéria-prima, a escória de aciaria, que é o resíduo de maior volume gerado durante o processo siderúrgico, na produção do aço.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Reciclagem do Aço

Muitos materiais podem ser reciclados. Os exemplos mais comuns são o papel, o vidro, o plástico e o metal. As maiores vantagens da reciclagem são a minimização da utilização de fontes naturais, muitas vezes não-renováveis, e a minimização da quantidade de resíduos que necessita de tratamento final, como aterramento ou incineração. Em alguns casos, não é possível reciclar indefinidamente o material. Isso acontece, por exemplo, com o papel, que tem algumas de suas propriedades físicas minimizadas a cada processo de reciclagem devido ao inevitável encurtamento das fibras de celulose. A reciclagem dos metais, alumínio e aço, por exemplo, não acarreta nenhuma perda de suas propriedades físicas, podendo, assim, ser reciclado continuamente.

Por essas características físicas dos metais, os benefícios econômicos e sociais que este material gera faz com que as sucatas dos metais sejam as mais valorizadas no mercado mundial. Por exemplo, para devolver o alumínio ao mercado, a reciclagem economiza 95% da energia elétrica que seria utilizada na produção do metal a partir da bauxita. O volume de alumínio reciclado no Brasil, em 2004, foi de 270 mil toneladas, economizando-se cerca de 3.900 GWh/ano, ou seja, energia suficiente para atender à demanda anual do setor industrial da cidade de São Paulo. Além da economia de energia elétrica, a reciclagem de alumínio

evitou a mineração de mais de um milhão de toneladas de bauxita. A atividade injeta recursos nas economias locais, cria novos empregos e gera renda para aproximadamente 160 mil pessoas em uma série de atividades, que vão desde a coleta até a transformação final da sucata em novos produtos.

O aço, por sua vez, tornou-se a base da nossa civilização, impulsionando a indústria, a fabricação de bens de consumo, gerando no mundo nos últimos anos entre 370 milhões e 390 milhões de toneladas de sucata ferrosa, despertando a atenção da indústria siderúrgica para a disponibilidade de um importante insumo dos processos de produção de ferro e aço.

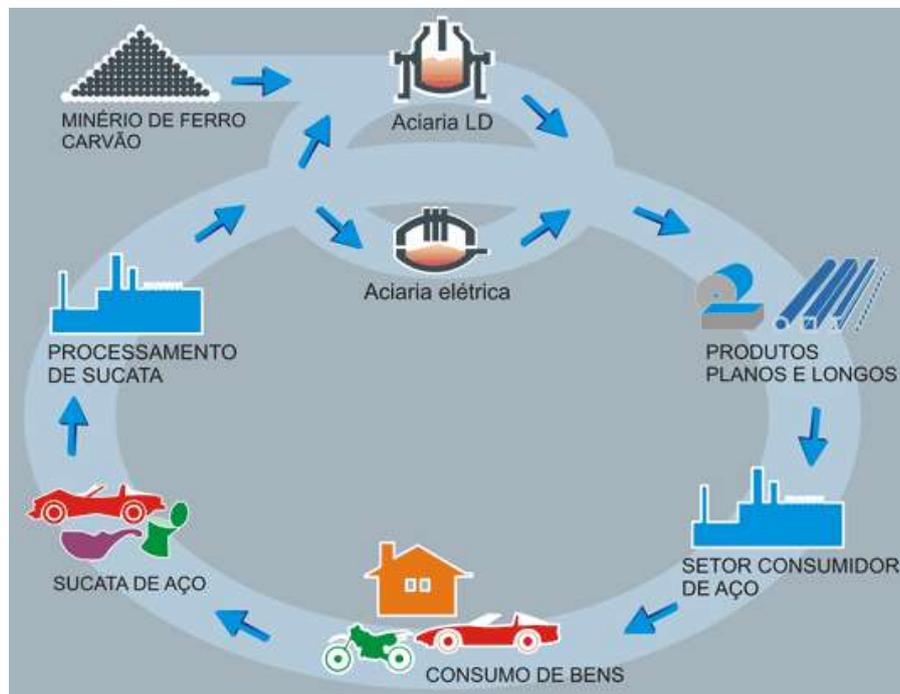


Figura 2 - Reciclagem de produtos obsoletos

A sucata obtida pela eliminação de rejeitos industriais e pela obsolescência de bens de consumo e de capital pode ser gerada internamente à usina siderúrgica ou ser adquirida no mercado. Nos dias de hoje é o principal elemento metálico da carga de fornos elétricos a arco (EAF-*Electric Arc Furnace*). Estes fornos vêm progressivamente expandindo sua atuação e subtraindo os mercados de antigos processos siderúrgicos em todo o mundo. Já respondem atualmente por 33% da produção mundial de aço, e esse avanço deve continuar a uma alta

taxa média de 3,9% a.a. Para o ano de 2010, estima-se que somente a sucata de obsolescência representará algo em torno de 60% da oferta mundial de sucata, o que, somado à sucata de geração industrial, resultará em 84% da oferta mundial de sucata. (ANDRADE, 2000).

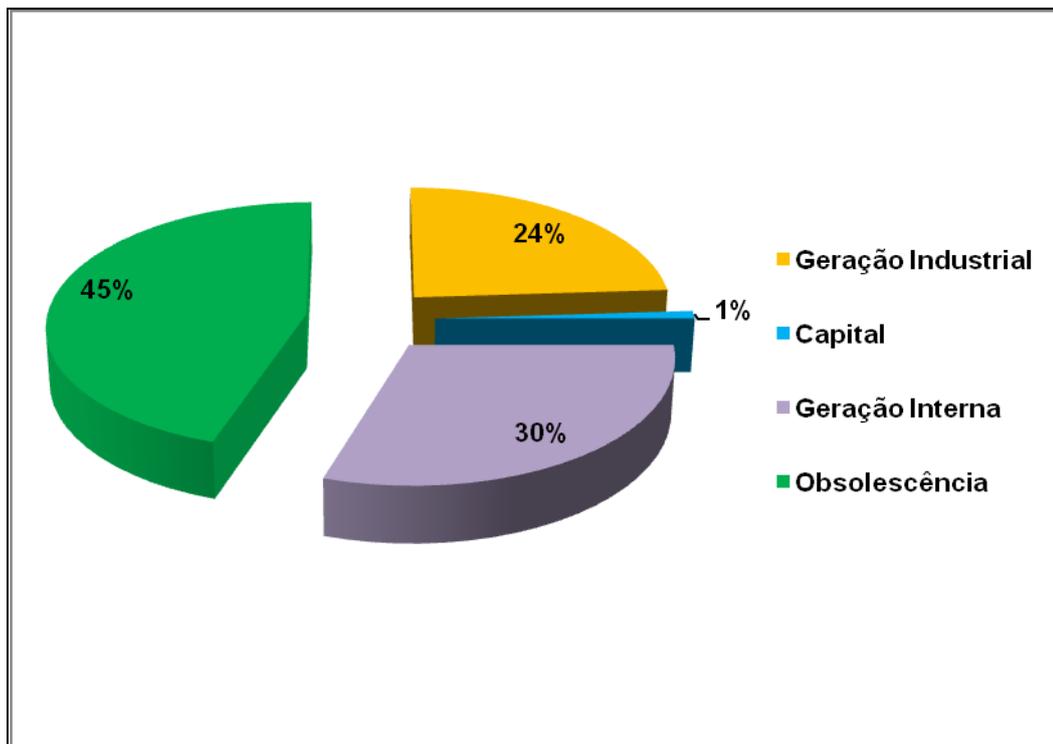


Figura 3 - Distribuição da oferta pelas fontes de sucata - 1998
Fonte : UNCTA, BNDES

A sucata de obsolescência é a mais importante fonte deste resíduo metálico, representando 45% de toda sucata ofertada mundialmente. Sua relevância se intensificará no futuro à medida que as outras fontes sofram redução de seus volumes. Além disso, estima-se que sua coleta eleve-se a uma taxa em torno de 4% a.a., atingindo um volume de 265 Mt em 2010. Quanto à distribuição mundial de sucata, nota-se que em geral sua disponibilidade é diretamente relacionada com o grau de desenvolvimento econômico do país.

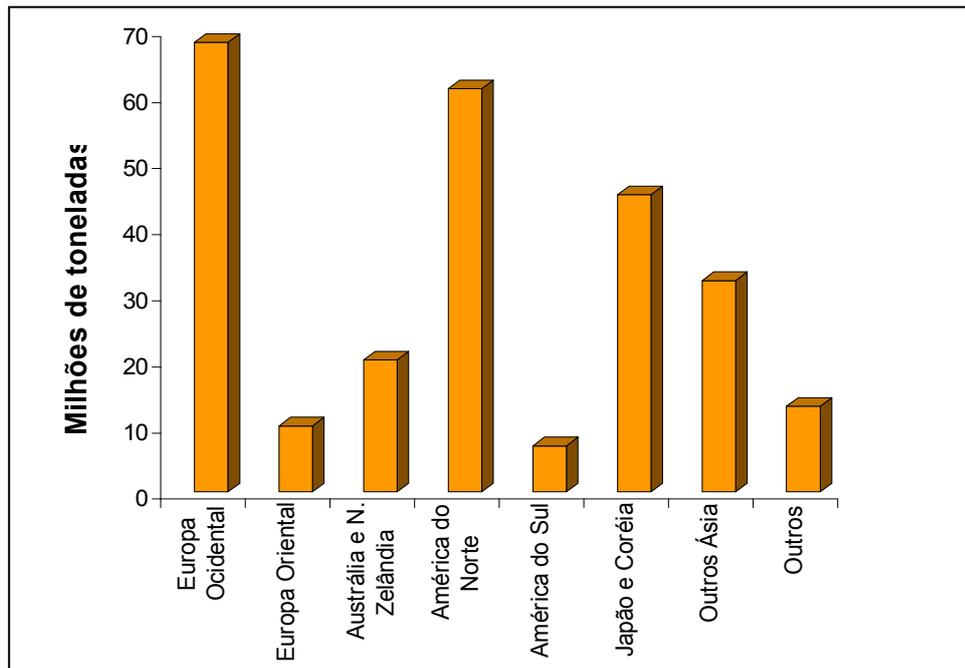


Figura 4 - Distribuição Mundial da Sucata Coletada - 1998
 Fonte : UNCTA, BNDES

No Brasil, o setor de reciclagem de materiais ferrosos, estruturada na década de 1970, atua com equipamentos para preparo e beneficiamento da sucata de obsolescência. O setor é composto por cerca de 2.500 empresas espalhadas por todo o país, com capacidade para processar até 420 mil toneladas de sucata por mês. (SIMEÃO, 2003). De acordo com o Instituto Nacional das Empresas de Preparação de Sucata Não-Ferrosa e de Ferro e Aço recicla 9 milhões de toneladas de ferro e aço anualmente em todo território nacional, com aproximadamente 270.000 postos de trabalho, somadas as atividades de coleta, (INESFA), o setor é composto por cerca de 3.000 empresas, de pequeno e médio porte, que processamento e distribuição do material, tendo essas atividades importantes reflexos ambientais (SINDINESFA, 2004).

O cenário da siderurgia brasileira, pela tradicional preponderância da rota tecnológica integrada, não fomentou condições para o desenvolvimento de um forte mercado sucateiro independente. Atualmente com uma produção total de 25Mt de aço bruto, dos quais apenas 5,5 Mt através de fornos elétricos, o Brasil consome 7,3 Mt de sucata, representando 2,2% do

total mundial. Trata-se do 14º maior consumo mundial de sucata ferrosa. Praticamente toda sucata consumida no país é também proveniente do próprio território nacional. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), cerca de 25% da produção brasileira de aço no ano 2000 foi à base de sucata, na sua maior parte adquirida no mercado (Simeão, 2003).

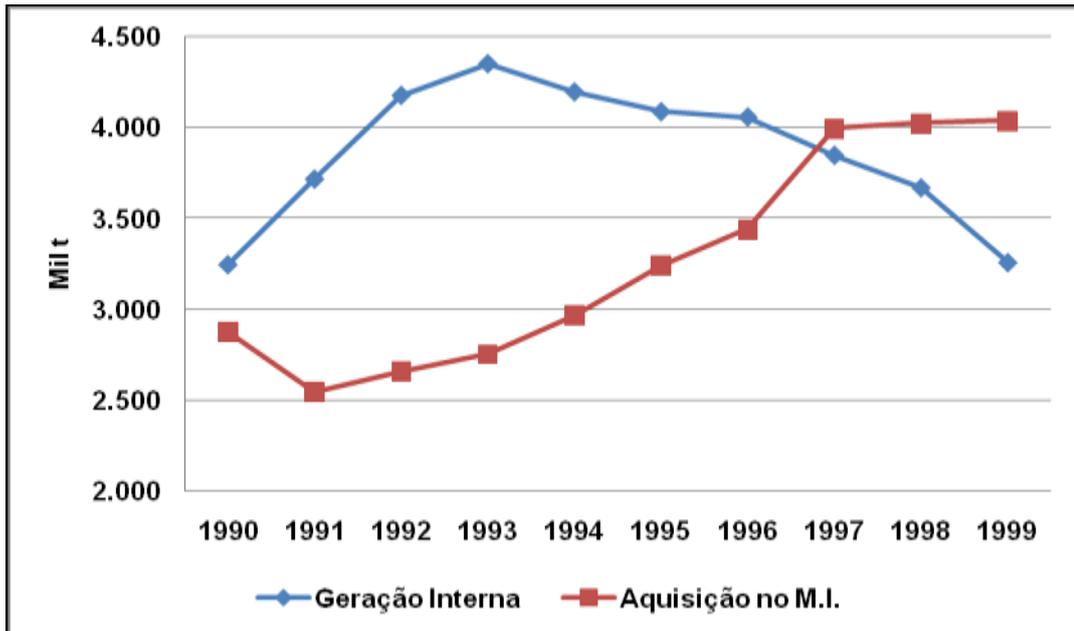


Figura 5 - Oferta e demanda de sucata pelo setor siderúrgico brasileiro
 Fonte : UNCTA, BNDES

O processamento da sucata de obsolescência, previamente ao uso nos fornos, geralmente fica a cargo da indústria sucateira, formada por agentes, distribuidores e processadores. (SIMEÃO, 2003). É importante salientar que uma tonelada de aço produzida com sucata consome cerca de 33% do que seria consumido para a produção dessa mesma quantidade a partir do minério de ferro. (ANDRADE, 2000). Para se ter uma idéia, as siderúrgicas que utilizam aciaria elétrica precisam de 1.130 kg de sucata para produzir 1 tonelada de aço bruto. No caso das usinas integradas o volume é menor, mas ainda necessário. Para produzir uma tonelada de aço bruto são necessários 175 kg de sucata.

2.2 Resíduos do Aço

Considerando que todas as atividades humanas geram resíduos, a disposição final adequada destes no ambiente é certamente preocupação das mais antigas. A proposição e implementação de soluções que objetivem a minimização na geração e/ou reuso/reciclagem e/ou disposição adequada de resíduos no ambiente constituem questões técnicas importantes para o crescimento sustentável da economia. Apesar de os resíduos apresentarem conotação problemática quanto à geração e ao destino final, há que se ressaltar a necessidade de garantia de continuidade dos processos produtivos que atendem às necessidades da sociedade moderna.

A faixa de geração de resíduos sólidos na siderurgia é de 400 kg a 700 kg por tonelada de aço produzido, variação esta em função da rota tecnológica de produção. Estes índices abrangem os resíduos produzidos diretamente nos processos, como as escórias, as carepas e outros provenientes dos sistemas de controle de poluição hídrica ou atmosférica, como as lamas de alto forno e aciaria e os pós-coletados nos equipamentos de despoeiramento, como filtros de manga e precipitadores eletrostáticos.

A redução dos custos, tanto de deposição quanto de tratamento dos resíduos, pode ser obtida de duas formas complementares: diminuição na produção de resíduos ou reutilização destes. A redução no volume produzido apresenta limitações técnicas difíceis de serem ultrapassadas. Já a reutilização apresenta menor dificuldade, além gerar recursos financeiros. No entanto, o ideal é a utilização das duas soluções, de modo que a indústria deva tentar fechar seu ciclo produtivo de tal forma que minimize a saída de resíduos e o ingresso de matéria-prima. (ÂNGULO, 2000; JOHN, 1997).

Como pode ser observado, o estudo da reutilização e da reciclagem de resíduos tornou-se prioritário quanto ao aspecto ambiental. Além disso, o aproveitamento dos resíduos

pode apresentar diversos benefícios técnicos, econômicos, energéticos e, é claro, ambientais, como redução do volume de extração de matérias-primas, conservação de matérias-primas não-renováveis, redução do consumo e energia, menor emissão de poluentes, como o CO₂, e geração de recursos financeiros antes inexistentes. (JOHN, 1997).

2.3 A escória

Conforme definição contida na NBR 5019/82, escória é um produto líquido ou pastoso produzido durante operações pirometalúrgicas, geralmente contendo sílica, que se torna sólido à temperatura ambiente.

As escórias são os resíduos de maior geração no processo siderúrgico. A cada tonelada de aço produzido, gera-se de 70 kg a 170 kg de escória. Podem ser produzidos dois tipos de escória: a de alto-forno e a de aciaria, e a escória de alto-forno é gerada durante a obtenção de ferro-gusa. A escória de aciaria é obtida na produção do aço. (MASUERO; VILELA; DAL MOLIN, 2001). A tabela 1 apresenta a composição das escórias de alto-forno e a de aciaria.

Tabela 1 - Composições das Escórias (Análises Típicas)

	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	FeO	MnO	S
Alto-Forno	40%	10%	35%	7%	1%	1%	1.0%
Aciaria	40%	5%	10%	5%	25%	4%	0.1%

Fonte: MultiServ

Devido às características próprias de cada uma, as aplicações e os resultados são diferenciados, como veremos a seguir:

2.3.1 Escória de Alto-Forno

A escória de alto-forno é um resíduo gerado na produção do ferro-gusa, a primeira fase de obtenção do aço. Na produção do ferro-gusa, os fundentes empregados não provocam nenhum efeito expansivo na escória produzida. A fabricação se processa através de um alto-forno e matérias-primas utilizadas como minério de ferro, o coque ou carvão vegetal e fundentes, geralmente calcário. As duas principais funções do alto-forno consistem na remoção do oxigênio do minério de ferro e a transformação em ferro metálico, bem como na separação do ferro metálico da parte não-metálica, que constitui a escória de alto-forno.

A Figura 6 ilustra a geração de escória de Alto-Forno

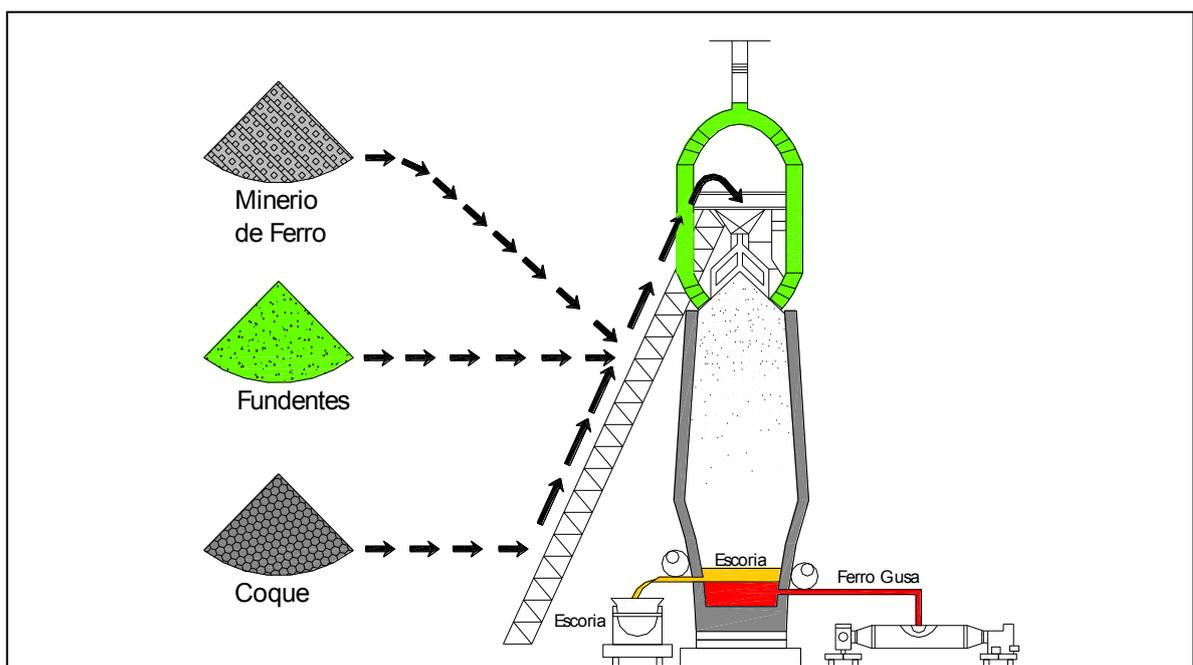


Figura 6 - Ilustração do alto-forno

O processo de obtenção de ferro-gusa gera significativo volume de escória, que é granulada através de sua prévia fragmentação, em estado fundido e posterior resfriamento brusco em água, tendo nesta forma bom aproveitamento pela indústria cimenteira. As propriedades físico-químicas deste subproduto o tornam potencialmente útil como adição ou

substituição ao cimento Portland. No Brasil, as escórias granuladas de alto forno vêm sendo empregadas desde a década de 1960, constituindo o chamado “cimento Portland de alto-forno”, normalizado desde 1964. (SILVA, 2001).

O parque siderúrgico nacional produz cerca de 27 milhões de toneladas de ferro-gusa ao ano, deixando, como resíduo, aproximadamente 330 kg de escória para cada tonelada de ferro-gusa produzido. Apenas parte dessa escória é consumida pelas indústrias de cimento, que a empregam como adição, sendo um sério problema o acúmulo desse resíduo, estimado em cerca de 3 milhões de toneladas ao ano.

Para aproveitar o comprovado potencial da escória de alto forno, a indústria do cimento desenvolveu dois tipos distintos de cimento Portland com escória: o Cimento Portland Composto, com adição de escória de alto-forno, designado pelas Normas Brasileiras como CII-E, recebendo até 30% de escória; e o Cimento Portland de alto-forno(CIII), que pode receber até 70% de escória (NBR 5735; ASTM C 1073). O CII-E apresenta quase as mesmas propriedades do cimento Portland comum devido à pequena fração empregada (~20%), pois trata-se apenas de um esforço para a redução dos custos de fabricação.

Já o CIII, como recebe quantidades iguais ou superiores a 50% em massa, apresenta propriedades bastante diferentes, tais como tempos de início e fim de pega mais tardios, baixa resistência mecânica inicial e elevadas resistências químicas e mecânicas finais. Devido à baixa velocidade de ganho de resistência, estes cimentos não são comumente utilizados, principalmente no que se refere a argamassas.

Portanto, a adição da escória de alto-forno ao cimento Portland traz ganhos ao meio ambiente, pois se trata de um material que seria descartado pelas indústrias em aterros, além de proporcionar ganhos econômicos, já que o cimento Portland é obtido através da calcinação de pedra calcária (carbonato de cálcio) e sílica:



Além do alto consumo energético desse processo, é liberada ao meio ambiente aproximadamente uma tonelada de gás carbônico (CO_2), proveniente tanto da calcinação quanto da queima do combustível fóssil no alto-forno. (BARBOSA, 1999).

Como a redução do consumo de energia e da emissão de gás carbônico (CO_2) é uma exigência constante na indústria de cimento Portland, torna-se necessário proceder-se a uma melhoria nos processos de fabricação, além de se propor um aproveitamento de resíduos, como a escória de alto-forno que substitui uma certa quantidade de clínquer, como também os subprodutos de outras indústrias.

2.3.2 Escória de Aciaria

A escória de aciaria é um subproduto siderúrgico formado por óxidos básicos, resultantes da agregação de elementos que não estarão presentes na composição do aço. Os tipos e quantidades dos óxidos presentes na escória de aciaria dependem do tipo de matéria-prima utilizada, do tipo de aço que se pretende obter e até mesmo do tipo de forno e de seu revestimento. (ALBUQUERQUE, 2004).

No processo em que se utiliza a sucata metálica, é empregado um forno elétrico de fusão - a escória produzida também é chamada de escória de refino oxidante.

As Figuras 7 e 8 ilustram da geração de escória de aciaria elétrica.

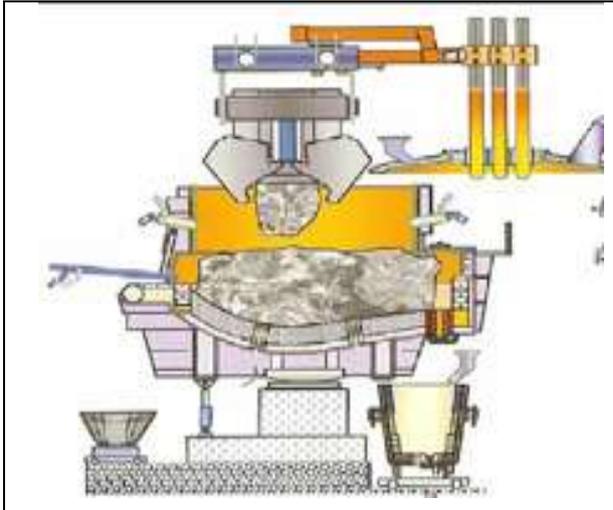


Figura 7 - Carregamento de sucata

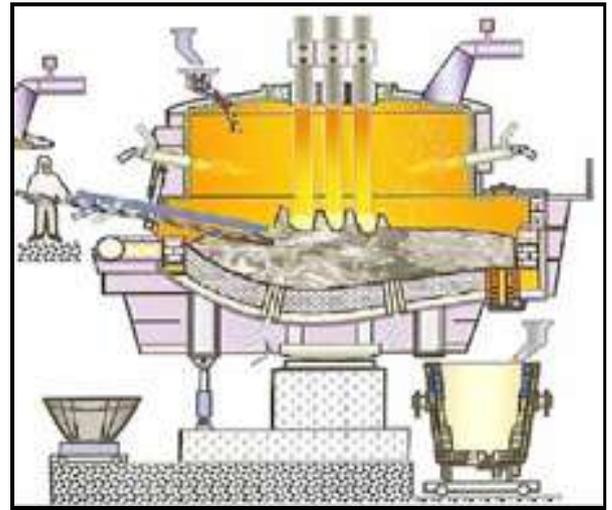


Figura 8 - Fusão da sucata

As Figuras de 9 a 13 apresentam o processo de depuração do aço.

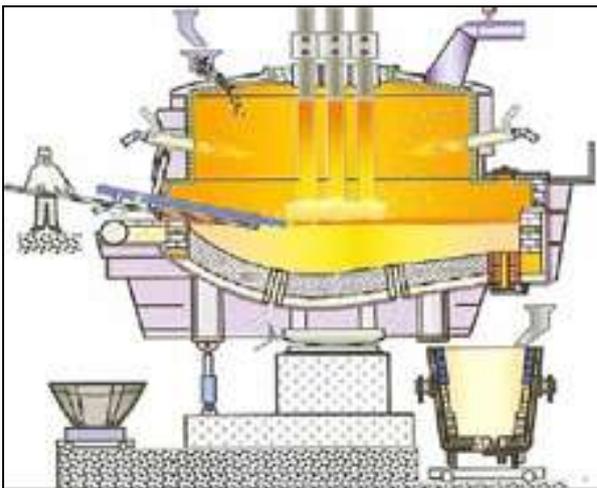


Figura 9 - Refino do aço líquido

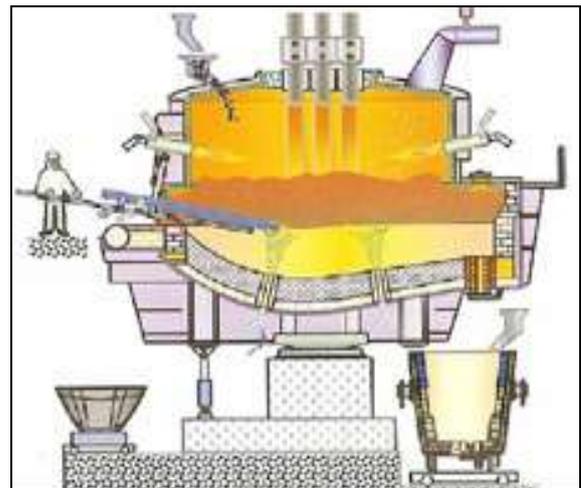


Figura 10 - Refino do aço líquido

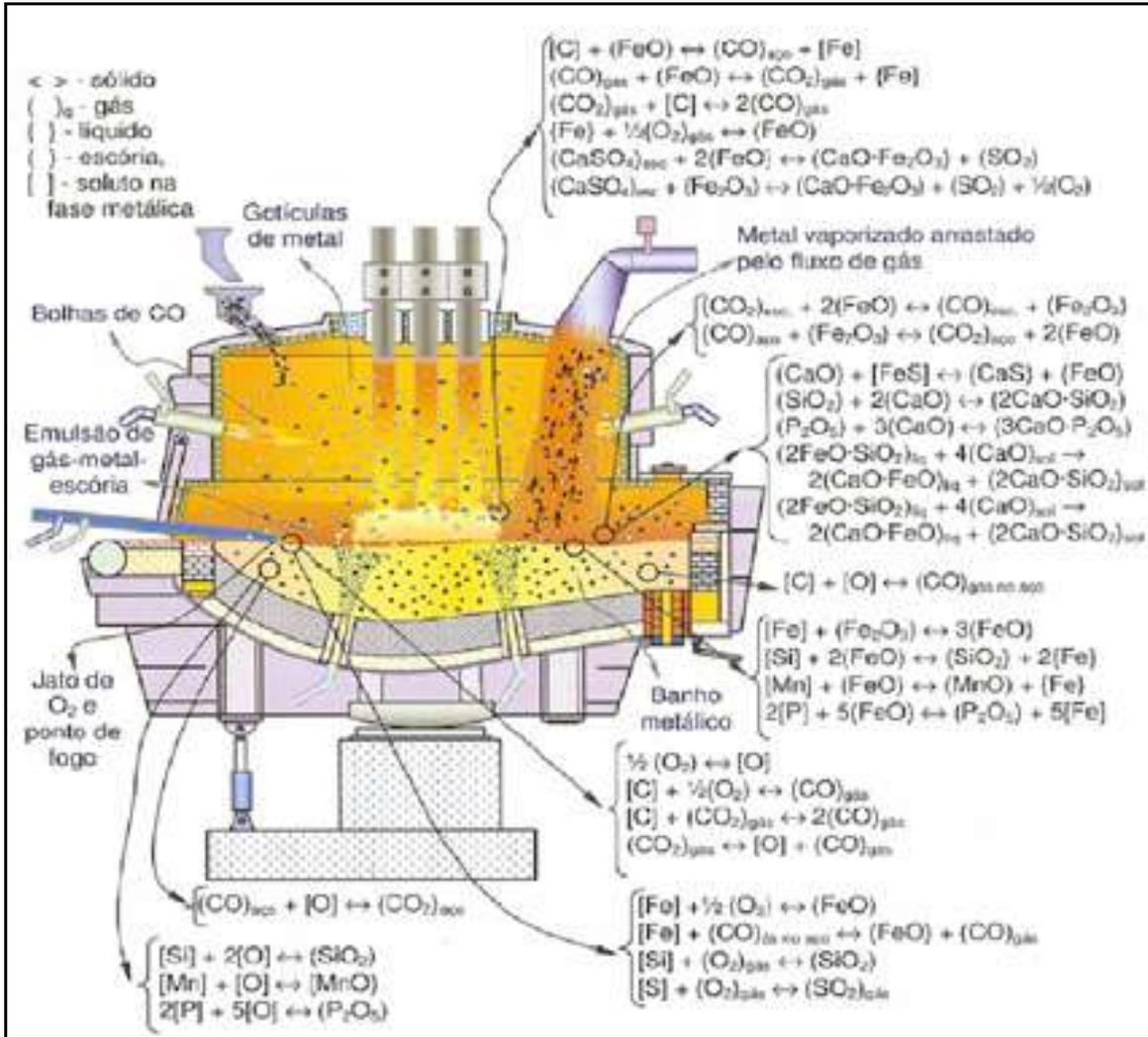


Figura 11 - Reações metalúrgicas do refino

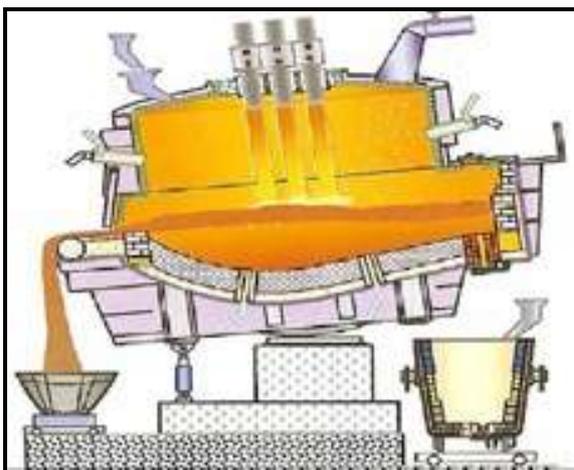


Figura 12 - Retirada da escória

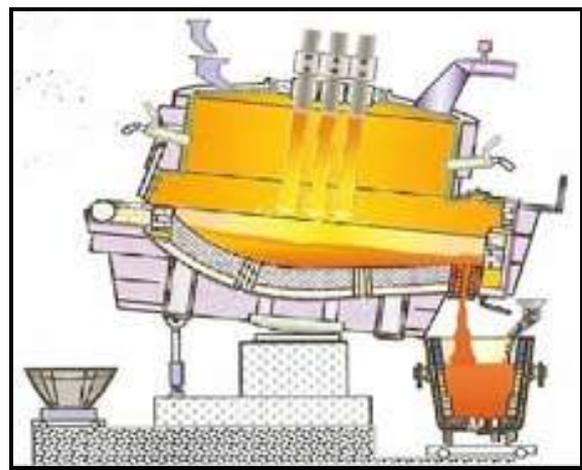


Figura 13 - Vazamento do aço líquido

2.3.3 A escória de aciaria gerada pela BMP1

A indústria siderúrgica mundial e a brasileira encontram-se alicerçadas no uso da sucata como matéria-prima na produção de ferro e aço, função principalmente da expressiva economia energética no processo produtivo. Fração significativa dessa sucata é proveniente da reciclagem de bens de consumo obsoletos.

A planta siderúrgica da BMP tem capacidade para a produção de 1 milhão de toneladas por ano de aço, é especializada na produção de vergalhões e arames para a construção civil, utilizando, em média, 70 mil toneladas por mês de sucata de aço como principal insumo em sua aciaria elétrica.

Embora a eficiência da reciclagem da sucata de obsolescência seja relativamente alta, há sobra de material residual, como as escórias, a carepa e outros, cuja disposição final em aterros demanda cuidados especiais (aterros exclusivos) e elevado capital, devido aos volumes diariamente gerados. Na tabela 2 constam as quantidades de resíduos gerados no processamento da BMP.

Tabela 2 - Quantidade de resíduos gerados anualmente pela BMP ¹

Resíduos Gerados	2000	2001	2002	2003	2004
Escória	47.022	41.604	51.024	52.812	48.020
Pó de Aciaria *	5.130	4.141	5.808	5.168	6.032
Carepa *	7.007	6.804	7.815	7.848	8.522
Terra de Shedder *	7.176	24.034	27.731	46.783	43.512

Fonte Belgo-Mineira de Piracicaba

* Outros resíduos advindos do processo de reciclagem do aço

¹ BMP: Usina Siderúrgica Belgo-Mineira de Piracicaba - SP.

A quantidade de resíduos gerada em uma planta siderúrgica depende diretamente da qualidade do material que é processado e do processo empregado. Portanto, a escória gerada pela BMP consiste no rejeito da sucata de ferro e aço utilizada.

O processo de beneficiamento da sucata de obsolescência é composto por duas etapas: (i) inicialmente, a sucata é triturada em máquina de Shredder, visando ao aumento de sua densidade aparente e melhoria de condições para a eliminação de impurezas agregadas; e (ii), em seguida, os componentes de interesse (metais ferrosos) são separados por atração magnética, com o auxílio de um separador magnético.

O beneficiamento da sucata de obsolescência e posterior separação por atração magnética têm eficiência média de 75%, isto é, para cada 100 toneladas de sucata de obsolescência são geradas 75 toneladas de sucata para ser utilizada nos fornos elétricos.

A etapa de preparação de matéria-prima é fundamental, pois quanto mais limpa for a sucata ferrosa carregada no forno elétrico (isto é, quanto mais isenta de impurezas, como terra, plástico, borrachas, espumas e mesmo metais não-ferrosos), menor será a geração de escória e de pó de aciaria. A Figura 14 apresenta um fluxograma do processo de produção dos diferentes resíduos.

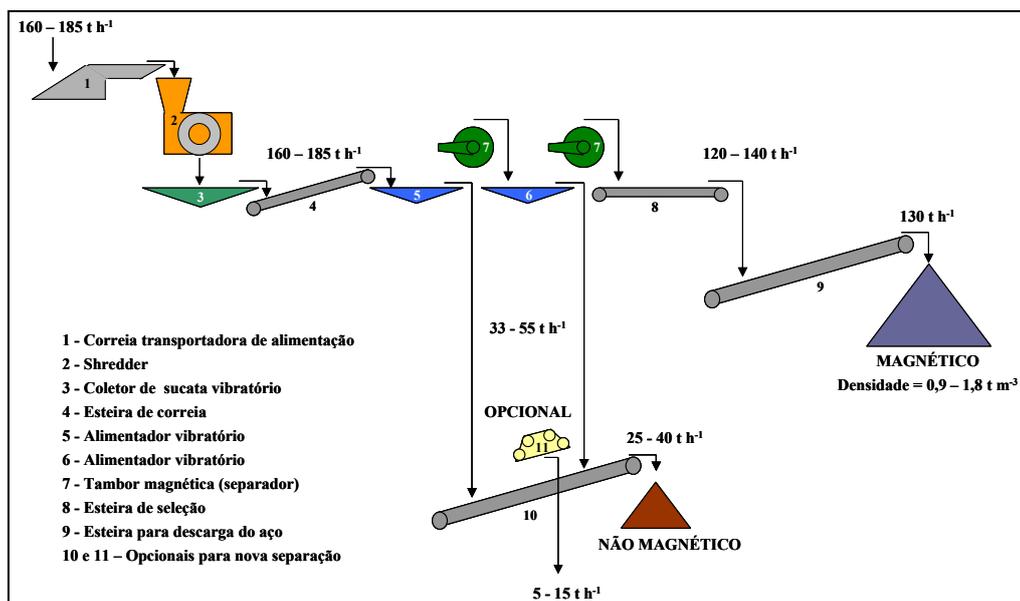


Figura 14 - Representação esquemática do processamento da sucata de obsolescência recebida na BMP

Após o beneficiamento da sucata ferrosa, o material é encaminhado ao forno elétrico de fusão, revestido de refratário à base de óxido de magnésio (MgO). A sucata, misturada com parte de ferro-gusa, é transformada em diferentes tipos de aço, através de reações de oxidação que separam as impurezas, como gases e escória. É neste processo que são realizadas adições de diversas substâncias, com o objetivo de corrigir os níveis de ferro e carbono e se obter a liga de aço desejada.

Os resultados deste processo são resíduos com propriedades completamente diferentes daqueles já conhecidos e estudados, como da escória de alto-forno, provenientes da produção primária do ferro-gusa.

2.4 O beneficiamento da escória de aciaria

O maior fator limitante de utilização da escória de aciaria é sua expansibilidade, sendo recomendável um prévio estudo de seu comportamento. A causa da expansão ocorre principalmente devido à presença de óxidos de cálcio (CaO) livre e óxidos de magnésio (MgO) reativo. Quando hidratados, ocorre aumento de volume, ou seja, a expansão da escória. A cal livre é responsável pela expansão a curto prazo, quando é transformada em presença de umidade em cal extinta. Já o óxido de magnésio é responsável pela expansão a longo prazo, devido a suas reações serem mais lentas; também não são todos os casos de óxidos de magnésio que são prejudiciais, apenas os que se encontram de forma livre, sem estarem combinados, também denominados periclase. (ALBUQUERQUE, 2004; MASUERO; VILELA; DAL MOLIN, 2001).



Figura 15 - Coleta da escória na aciaria



Figura 16 - Transporte da escória

Como podemos observar na Figura 15, o pote de escoria é retirado da usina por um veículo denominado Pot-carrier, que leva este material ainda em estado líquido para depositá-la em local aberto, (Figura 16,) ocasionando o processo de resfriamento.

Em seu trabalho, Albuquerque (2004) sugeriu que “o tratamento da escória consiste em, armazená-la a céu aberto por períodos variáveis de 4 a 6 meses, irrigando periodicamente as pilhas, podendo assim o material ser empregado em diversas aplicações na construção civil”. Na Figura 17 mostra-se o pátio coberto onde a resina é depositada para seu resfriamento controlado.



Figura 17 - Resfriamento controlado da escória

No Brasil, estima-se que a geração de escória, em 2005, tenha totalizado cerca de 10 milhões de toneladas, sendo 3,5 milhões de escória de aciaria, o que representa 35% do total de escórias geradas. A produção anual de escória é em geral estimada em função das produções de aço e dos índices médios de geração.

A escória de aciaria antes de ser utilizada, sofre um processo de beneficiamento para que o material esteja em condições de ser comercializado. Após a coleta da escoria na aciaria, transporte (Figuras 15 e 16) e resfriamento controlado (Figura 17) a escoria é encaminhada a planta de processamento (Figura 18).



Figura 18 - Planta e processamento da escória de aciaria

A planta de processamento da escória é composta por várias etapas, sendo que a primeira etapa a escória passa por um britador acoplado a uma peneira elétrica, que tritura o material e o seleciona para etapa seguinte (Figura 19).



Figura 19 - Britagem e peneiramento da escória de aciaria

Na etapa seguinte, a escória já triturada e selecionada, passa por uma esteira imantada que retira o que restou de ferro no material. Este ferro retirado da escória retorna aos fornos para novamente ser fundido e fazer parte da produção do aço (Figura 20).



Figura 20 - Separação Magnética (Remoção do ferro metálico)

Após a retirada de grande parte dos componentes metálicos da escória, a etapa seguinte consiste na classificação granulométrica do material que será definido de acordo com os requisitos de mercado, (Figura 21). A granulometria de maior consumo é a que ocorre entre 50 mm a 150 mm, (Figura 22), que é a mais utilizada como base e sub-base para pavimentação de estrada de rodagem e vias públicas, e as granulometrias menores entre 2 mm a 5 mm, (Figura 23) são utilizadas na maioria das vezes, pela indústria de cimento e também na agricultura como corretivo de solo.



Figura 21 - Classificação granulométrica conforme requisitos do mercado



Figura 22 - Escória de 50 mm – 150 mm



Figura 23 - Escória de 2 mm – 5 mm

Terminado o processo de beneficiamento a escória passa por um controle de qualidade, com objetivo de monitorar seu processo de expansão (Figura 24), pois só após estabilizado o material pode utilizado em diversas áreas.



Figura 24 - Controle de qualidade (teste de expansão)



Figura 25 - Estocagem e cura

As escórias são comercializadas no exterior na faixa de US\$ 3,00 a US\$ 4,00/t FOB usina. No Brasil, o material pode ser vendido na faixa que varia de R\$ 5,00 a R\$ 12,00/t FOB usina, o que inclui o custo de processamento, ou seja, a separação magnética do metal, a classificação granulométrica por peneiramento e a cura, com respectivos testes de expansibilidade. Hoje no Brasil os grandes consumidores são as prefeituras locais, que utilizam a escória na execução de pavimentação de vias públicas nas camadas de infraestrutura (aterro, sub-base e base) até como revestimento betuminoso, isto é, em todas as camadas dos pavimentos, respeitando as normas e os órgãos fiscalizadores de seus estados. (ARAÚJO, 2006).

3 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa consiste em investigar a utilização da escória de aciaria elétrica gerada pela Belgo-Mineira de Piracicaba, como agregado na fabricação de blocos intertravados, produzidos a frio em prensa hidráulica, submetendo-os à avaliação de desempenho para utilização em sistemas construtivos como elemento de vedação. Os objetivos a serem alcançados são:

- Avaliar o comportamento mecânico das misturas binárias e ternárias de escória-cimento e escória-cimento-cal em corpos de prova cilíndricos de maneira acessória;
- Produzir blocos de escória a frio em prensa hidráulica;
- Desenvolver *design* do bloco intertravado, para que possa ser utilizado em alvenarias, sem o emprego de argamassa para assentamento;
- Avaliar as características mecânicas dos blocos produzidos;
- Submeter os blocos produzidos a ensaios de resistência a compressão e absorção de água;
- Relacionar a tecnologia da fabricação de blocos de escória com o contexto de construção sustentável e aproveitamento de resíduos industriais;
- Sistematizar informações para a elaboração de um projeto tecnológico que possibilite a autoconstrução, com os blocos modulares;

- Buscar parcerias para construção de uma casa-conceito, utilizando materiais ecológicos e tecnologia de sustentabilidade.

4 JUSTIFICATIVA

A sociedade moderna encontra-se alicerçada no uso do ferro e aço, como matéria-prima na produção de bens de consumo, que se tornam obsoletos, transforma-se em sucata e alimentam novamente as aciarias na produção de ferro e aço, função principalmente da expressiva economia energética no processo produtivo. Com a crescente produção de aço no mundo, 1.235 Mt em 2006, a geração de escória, corresponde a 12% e 15% da produção de aço, sendo assim em 2006 se produziu aproximadamente 160 Mt. Se estocada ocuparia uma área anual de 4.000 hectares por 2,5 metros de altura. Somente na União Européia foram produzidos em 2004 cerca de 15,2 Mt, conforme apresentado nas Figuras 26 e 27.

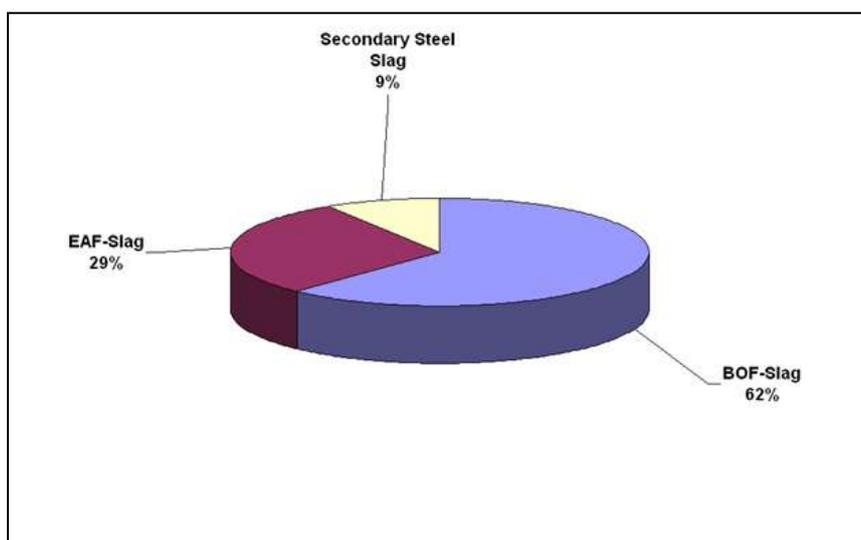


Figura 26 - Geração da Escória de Aciaria – União Européia
15,2 milhões de toneladas em 2004
Fonte: Euroslag

Com o grande volume gerado, a reutilização da escória tornou-se prioritária quanto ao aspecto ambiental, além dos benefícios econômicos e energéticos que novas tecnologias de reaproveitamento da escória de aciaria vêm proporcionando, os países desenvolvidos e grandes produtores de aço reutilizam a escória de aciaria em diversos segmentos, consumindo entre 70% e 80% da escória produzida nas aciarias.

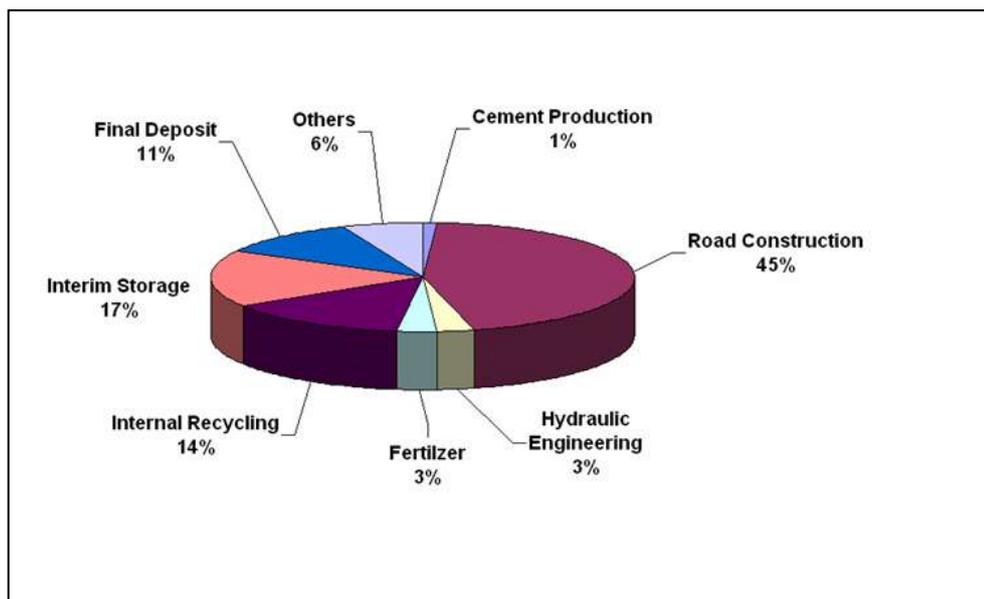


Figura 27 - Reutilização da Escória de Aciaria – União Europeia
72% da escória reciclada em 2004

Fonte: Euroslag

Conforme podemos observar na Figura 27, a União Europeia reutiliza 45% da escória de aciaria no setor de estradas de rodagem, isto acontece devido ao desenvolvimento tecnológico que se tem sobre o material e também a normatização com relação ao uso. (Figura 28 e 29).



Figura 28 - Sub-Base (Alemanha)



Figura 29 - Base (Alemanha)

Cerca de 17% da escória de aciaria é estocada e 14% reciclada internamente dentro das próprias aciarias, outro fator que nos chama a atenção é que apenas 1% da escória é utilizada na produção de cimento, ao contrário do Brasil e Japão que utiliza este material em larga escala na fabricação deste produto. A engenharia naval da União Européia como a Norte Americana utiliza este material de maneira bastante interessante, apesar de percentualmente representar muito pouco, cerca de 3%.



Figura 30 - Contenção em margem de rios (Alemanha)



Figura 31 - Diques marítimos (USA)

Como podemos observar (Figura 30) a escória é reutilizada na Alemanha para contenção de margens de rios, o material é depositado em barcas equipadas com braço hidráulico, que executa o trabalho navegando pelo rio, preservando a vegetação das margens, com muita rapidez, utilizando poucos funcionários. Outra obra que podemos observar

(Figura 31) como exemplo de engenharia naval, é este dique marítimo no EUA, notem que dentro da área cercada pela escória o mar está bastante calmo, enquanto fora do dique a movimentação das ondas é bastante intensa.

Algumas outras curiosidades da reutilização da escória, também no EUA, é a formação de viveiros de ostras em pedras de escória (Figura 33), assim como um sistema de filtragem de água em estação de tratamento (Figura 32).



Figura 32 - Leito de Filtragem de Água (USA)



Figura 33 - Viveiro de Ostras (USA)

Muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas para reutilizar a escória na agricultura, principalmente para neutralizar a acidez dos solos, como já é prática em alguns países como EUA, Japão, China, Coreia, Canadá, entre outros.

Segundo Carvalho (2006), o uso racional do resíduo como fonte de nutrientes para as plantas e ou de matéria orgânica para o solo, em regiões tropicais, onde os solos são predominantemente muito impermeabilizados e pobres, o uso agrícola das escórias como corretivo torna-se ainda mais atrativo.



Figura 34 - Corretivo de Solo (Canadá)

Outra pesquisa bastante relevante sobre a reutilização da escória em concreto de cimento Portland, desenvolvida na EESC – USP², concluiu que a escória de aciaria possui potencial para ser utilizada como agregado de concreto de cimento Portland, em substituição total dos agregados convencionais (areia e brita), em obras que não sejam de responsabilidade e em concretos não-estruturais.

A escória de aciaria possui um potencial muito grande para sua reutilização em diversas áreas, como podemos observar, havendo por parte das aciarias uma campanha para que este material, subproduto do aço, desfaça o estigma de resíduo industrial, uma vez que utilizado dentro das normas e parâmetros ambientais.

O fator que impulsionou o desenvolvimento desta pesquisa, foi o fato de que após a revisão bibliográfica, constatamos que a utilização da escória de aciaria, como agregado para produção de blocos intertravados e elemento de vedação é um tema inédito, e trará ganhos ambientais, pois utilizando a escória, reduziremos o consumo energético no processo produtivo e evitaremos o consumo de produtos provenientes de mineradoras como areia e brita, contribuindo para o processo de sustentabilidade.

² Dissertação de Mestrado Kamila A. L. do Nascimento, 2007.

5 MATERIAIS E METODOS

5.1 Materiais

Os materiais a serem utilizados nesta pesquisa são:

- Escoria de aciaria gerada pela BMP, Cimento Portland e Cal

5.1.1 Características da Escoria da BMP

A análise da composição da escória foi realizada por solicitação da BMP pelo laboratório Bioagri Ambiental Ltda., sediado em Piracicaba - SP, as amostras foram coletadas segundo a NBR 2007 e são apresentadas a seguir na tabela 3.

Tabela 3 - Composição centesimal da escória da BMP

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados
Resultados expressos sobre as Amostras Base Úmida			
Cinzas	% (p/p)	0,05	94,02
Umidade	% (p/p)	0,05	0,69
Fósforo	mg/kg	0,5	257
Nitratos	mg/kg	0,5	1,30
Sulfatos	mg/kg	0,5	60,5
Resultados expressos sobre as Amostras Base Seca			
Alumínio (Al ₂ O ₃)	mg/kg	0,5	6430
Arsênio (As)	mg/kg	0,5	< 0,5
Antimônio (Sb)	mg/kg	0,5	15,3
Bário (BaO)	mg/kg	0,5	410
Bismuto	mg/kg	0,5	< 0,5
Cálcio (CaO)	mg/kg	0,5	39242
Cádmio (Cd)	mg/kg	0,5	< 0,5
Chumbo (Pb)	mg/kg	0,5	33,2
Cromo Total (Cr)	mg/kg	0,5	670
Cobre (CuO)	mg/kg	0,5	75,2
Cobalto (Co)	mg/kg	0,5	0,87
Estanho (Sn)	mg/kg	0,5	< 0,5
Ferro (Fe ₂ O ₃)	% (p/p)	0,05	7,6
Manganês (MnO)	mg/kg	0,5	8649
Magnésio (MgO)	mg/kg	0,5	23973
Mercúrio (Hg)	mg/kg	0,5	< 0,5
Níquel (Ni)	mg/kg	0,5	7,78
Potássio (K ₂ O)	mg/kg	0,5	522
Sílica + Insolúveis	% (p/p)	0,05	78,6
Selênio (Se)	mg/kg	0,5	< 0,5
Sódio (Na ₂ O)	mg/kg	0,5	128
Titânio (Ti)	mg/kg	0,5	877
Tálio (Tl)	mg/kg	0,5	< 0,5
Telúrio (Te)	mg/kg	0,5	< 0,5
Vanádio (V)	mg/kg	0,5	82,3
Zinco (Zn)	mg/kg	0,5	40,5

LQ: Limite de Quantificação

Fonte - Laboratório Bioagri Ambiental Ltda.

O boletim completo da análise da composição da escória da BMP encontra-se no Anexo A.

5.1.1.1 Ensaio de Lixiviação e de Solubilização da Escória da BMP

Os ensaios de lixiviação e de solubilização da escória foram realizados, por solicitação da BMP, pelo laboratório Bioagri Ambiental Ltda., de Piracicaba-SP, e são apresentados nas tabelas 5 e 6, respectivamente. Além desses ensaios, também foram elaboradas avaliações de umidade, inflamabilidade, corrosividade e reatividade, apresentadas na Tabela 4. Todas as análises foram realizadas com base nas normas NBR 10004, NBR 10005, NBR 10006, NBR 10007 E NBR 12988, e o boletim completo encontra-se no Anexo B.

Tabela 4 - Determinação sobre a massa bruta da escória da BMP

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
Unidade	%(p/p)	0,1	0,66	
Inflamabilidade				
Ponto de Fugor	°C		>100	60
Corrosividade				
pH (suspensão a 50%)				
Reatividade			não reativo	não reativo
Cianeto (como HCN)	mg/kg	10	<10	250
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	10	<10	500

LQ: Limite de Quantificação; VMP: Valor Máximo Permitido
 Fonte - Laboratório Bioagri Ambiental Ltda.

Tabela 5 - Determinação sobre o lixiviado obtido da escória da BMP

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Porcentagem de Sólidos	% (p/p)	0,1	99,3	
pH Final			4,8	
Tempo Total de Lixiviação (h)			18	18+2
Inorgânicos				
Arsênio	mg/L	0,05	<0,05	1,0
Bário	mg/L	0,1	0,12	70,0
Cádmio	mg/L	0,05	<0,05	0,5
Chumbo	mg/L	0,05	<0,05	1,0
Cromo Total	mg/L	0,05	<0,05	5,0
Fluoreto	mg/L	1,0	<1,0	150
Mercúrio	mg/L	0,05	<0,05	0,1
Prata	mg/L	0,05	<0,05	5,0
Selênio	mg/L	0,05	<0,05	1,0
Pesticidas				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,001	<0,001	0,003
Clordano (isômeros)	mg/L	0,005	<0,005	0,02
DDT (p,p'DDT + p,p' DDD + p,p'DDE)	mg/L	0,01	<0,01	0,2
2,4 – D	mg/L	0,01	<0,01	3,0
Endrim	mg/L	0,01	<0,01	0,06
Heptacloro e Epoxido	mg/L	0,001	<0,001	0,003
Lindano	mg/L	0,05	<0,05	0,2
Metoxicloro	mg/L	0,05	<0,05	2,0
Pentaclorofenol	mg/L	0,05	<0,05	0,9
Toxafeno	mg/L	0,05	<0,05	0,5
2,4,5 –T	mg/L	0,05	<0,05	0,2
2,4,5 –TP	mg/L	0,05	<0,05	1,0

Tabela 5 - Determinação sobre o lixiviado obtido da escoria da BMP (cont.)

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Outros Orgânicos				
Benzeno	mg/L	0,01	<0,01	0,5
Benzeno (a) pireno	mg/L	0,01	<0,01	0,07
Cloreto de Vinila	mg/L	0,01	<0,01	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,01	<0,01	100
Clorofórmio	mg/L	0,01	<0,01	6,0
o-Cresol	mg/L	1,0	<1,0	200,0
m-Cresol	mg/L	1,0	<1,0	200,0
p-Cresol	mg/L	1,0	<1,0	200,0
1,4 - Diclorobenzeno	mg/L	0,01	<0,01	7,5
1,2 - Dicloroetano	mg/L	0,01	<0,01	1,0
1,1 - Dicloroetano	mg/L	0,01	<0,01	3,0
2,4 - Dinitrotolueno	mg/L	0,01	<0,01	0,13
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,01	<0,01	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,01	<0,01	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,01	<0,01	3,0
Metiletilcetona	mg/L	50,0	<50,0	200,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,01	<0,01	2,0
Clorobenzeno	mg/L	0,01	<0,01	100
Cloroformio	mg/L	0,01	<0,01	6,0
o-Cresol	mg/L	1,0	<0,1	200,0
m-Cresol	mg/L	1,0	<0,1	200,0
p-Cresol	mg/L	1,0	<0,1	200,0
1,4 - Diclorobenzeno	mg/L	0,01	<0,01	7,5
1,2 - Dicloroetano	mg/L	0,01	<0,01	1,0
1,1 - Dicloroetano	mg/L	0,01	<0,01	3,0
2,4 - Dinitrotolueno	mg/L	0,01	<0,01	0,13
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,01	<0,01	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,01	<0,01	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,01	<0,01	3,0
Metiletilcetona	mg/L	50,0	<50,0	200,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,01	<0,01	2,0
Piridina	mg/L	5,0	<5,0	5,0
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	0,01	<0,01	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,01	<0,01	4,0
Tricloroetano	mg/L	0,01	<0,01	7,0
2,4,5 - Triclorofenol	mg/L	0,1	<0,1	400,0
2,4,6 - Triclorofenol	mg/L	0,1	<0,1	20,0

LQ: Limite de Quantificação; **VMP:** Valor Máximo Permitido

Fonte - Laboratório Bioagri Ambiental Ltda.

Tabela 6 - Determinação sobre o solubilizado obtido da escória da BMP

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultado	VMP
pH final				
Inorgânicos				
Alumínio	mg/L	0,05	0,05	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Bário	mg/L	0,1	0,02	0,7
Cádmio	mg/L	0,005	<0,005	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	<0,05	0,07
Cloreto	mg/L	1	<1,0	250,0
Cobre	mg/L	0,05	<0,05	2,0
Cromo Total	mg/L	0,05	<0,05	0,05
Fenóis Totais	mg/L	0,01	0,01	0,01
Ferro	mg/L	0,05	0,15	0,3
Fluoreto	mg/L	0,1	0,37	1,5
Manganês	mg/L	0,05	<0,05	0,1
Merúrio	mg/L	0,001	<0,001	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	<0,1	10,0
Prata	mg/L	0,05	<0,05	0,05
Selênio	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Sódio	mg/L	0,1	1,30	200,0
Sulfato (como SO ₄)	mg/L	1,0	6,26	250,0
Surfactantes	mg/L	0,1	<0,1	0,5
Zinco	mg/L	0,05	<0,05	5,0

LQ: Limite de Quantificação; **VMP:** Valor Máximo Permitido

Fonte - Laboratório Bioagri Ambiental Ltda.

O boletim completo de determinação de Massa Bruta, Lixiviado e Solubilizado da escória da BMP encontra-se no Anexo B.

5.1.1.2 Interpretação dos resultados

- Lixiviado: os parâmetros não ultrapassaram os limites máximos permitidos.
Segundo a NBR 10005, é o lixiviado que determina se o resíduo é perigoso.
Portanto o Resíduo (escória) analisado e considerado Não Perigoso.
- Solubilizado: os parâmetros não ultrapassaram os limites máximos permitidos.
Segundo a NBR 10004/2004, a escória da BMP deve ser considerada, Classe II - B - inerte 2.

5.1.2 Caracterização do Cimento Portland

Para introdução do cimento Portland na fabricação de blocos de escória, é preciso conhecer e compreender algumas características tecnológicas desse material.

A palavra cimento é derivada da palavra latina *coementum*, que os romanos empregavam para denominar a mistura de cal com terra pozolana (cinzas vulcânicas das ilhas gregas de Santorim e da região de Pozzuoli, próximo a Nápoles), resultando em uma massa aglomerante utilizada em obras de alvenaria, pontes e aquedutos.

Conforme Bugalho (2000), coube ao inglês Joseph Aspdin, em 1824, patentear o cimento Portland - ligante hidráulico que possuía aspecto e cor semelhantes às rochas calcárias da Ilha de Portland. Aquele produto, no entanto, possuía características bem distintas do cimento conhecido atualmente, resultante de uma série de pesquisas e implementação tecnológica.

O cimento é tecnicamente definido como um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou o tempo inicial de “pega”) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento. O clínquer é

o resultado da mistura de calcário, argila e, em menor proporção, minério de ferro, submetida a um processo chamado clinquerização.

Neville (1997) relata o processo de fabricação do cimento Portland que consiste, de maneira sucinta, em moer a matéria-prima, misturá-la em determinadas proporções e submetê-la à queima em forno rotativo a elevadas temperaturas. O produto obtido na queima é o clínquer, que é finalmente moído. Para controlar a “pega” e o endurecimento, é acrescentado o gesso. Esse material pode receber outras adições posteriormente, como a escória de alto-forno, as cinzas volantes, as sílicas ativas, etc.

O clínquer, quando reduzido a pó, tem composição química específica e propriedades físicas de cimento, contendo basicamente uma série de compostos anidros, dos quais os principais são:

- Silicato tricálcio, ou alita (C₃S)
- Silicato dicálcio, ou belita (C₂S);
- Aluminato tricálcio (C₃A)
- Ferroaluminato tetracálcio, ou ferrita (C₄AF).

Mehta & Monteiro (1994) destacam a composição potencial em faixas aproximadas dos componentes básicos do cimento Portland, como se observa na Tabela 7.

Tabela 7 - Proporções aproximadas dos principais componentes de uma amostra de cimento

COMPONENTE	PROPORÇÃO
C ₃ S	35% a 65%
C ₂ S	10% a 40%
C ₃ A	0% a 15%
C ₄ AF	5% a 15%

O conhecimento dos produtos formados pela hidratação do cimento, bem como dos diversos fatores (calor liberado e velocidade) que constituem esta reação, é de grande importância para o uso prático do cimento Portland. As propriedades dos componentes principais do cimento em hidratação são as seguintes:

- C_3S - reage nos primeiros minutos e ocasiona elevado calor de hidratação; propicia pouco desenvolvimento de resistência e forte retração;
- C_2S - responsável pelo desenvolvimento de resistência nas idades iniciais e propicia alto desprendimento de calor, libera cerca de 40% em massa de hidróxido de cálcio (CH);
- C_3A - proporciona o desenvolvimento de resistência em idades mais avançadas com baixa liberação de calor, produz cerca de 18% em massa de CH;
- C_4AF - desenvolvimento lento e pequeno de resistência mecânica e boa resistência ao ataque por sulfatos.

O processo de hidratação do cimento é bastante complexo e representado por várias reações químicas simultâneas e que interferem umas nas outras. É fato ainda que o comportamento da hidratação (velocidade, distribuição e formação dos produtos hidratados) é função do tamanho dos grãos do cimento (área específica), temperatura, quantidade de água disponível e procedimentos de mistura.

Conforme Mehta e Monteiro (1994), as principais fases sólidas presentes na pasta de cimento são as seguintes:

- A fase silicato de cálcio hidratado (C-S-H), produzido pela hidratação do C_3S e C_2S . Constitui, em geral, 50% a 60% do volume de sólidos da pasta e é responsável pela resistência mecânica e, conseqüentemente, da durabilidade da matriz de concretos e argamassas;

- A fase hidróxido de cálcio (CH), também liberado na hidratação do C_3S e C_2S , representando de 20% a 25% do volume de sólidos da pasta; porém, sua presença tem efeitos desfavoráveis à durabilidade, devido à sua solubilidade;
- Os sulfoaluminatos de cálcio, resultantes da hidratação do C_3A e do C_4AF na presença do sulfato de cálcio (gipsita) ou gesso. Ocupa de 15% a 20% do referido volume e tem papel menor na estrutura/propriedade.
- Grãos de clínquer não hidratado.

No Brasil, são produzidos cinco tipos de cimento Portland, além do cimento branco, que possuem a seguinte nomenclatura:

- CP I – Cimento Portland comum;
- CP I - S – Cimento Portland comum com adição;
- CP II - E – Cimento Portland composto com escória de alto forno;
- CP II - F – Cimento Portland composto com filer (calcário);
- CP II - Z – Cimento Portland composto com posolana;
- CP III – Cimento Portland de alto forno;
- CP IV – Cimento Portland pozolânico;
- CP V - ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial.

Além desses tipos, existem os cimentos Portland resistentes aos sulfatos; no caso, a nomenclatura acima exposta é acrescida da sigla RS, para identificação na embalagem do produto.

Tabela 8 - Tipo e Composição de cimento Portland

Tipo de Cimento Portland	Classe de Resistência (MPa)	COMPOSIÇÃO (%)				Norma Brasileira
		Clinker + gesso	Escória alto-forno	Pozolana	Materiais Carbonáticos S	
CP I	25; 32	100	-	-	-	NBR 5732
CP I - S	40	95 - 99	1. - 5.	1. - 5.	1. - 5.	
CP II - E	32	56 - 94	6. - 34	-	0 - 10	NBR 11578
CP II - F	32 - 40	90 - 94	-	-	6. - 10	
CP II - Z	32	76 - 94	-	6. - 34	0 - 10	
CP III	25 - 32 - 40	25 - 65	35 - 70	-	0 - 5	NBR 5735
CP IV	25 - 32	45 - 85	-	15 - 50	0 - 5	NBR 5736
CP V - ARI		95 - 100	-	-	0 - 5	NBR 5733

Fonte: Itambé - Cimento e Concreto *apud* BUGALHO (2000)

Tabela 9 - Produção Nacional de cimento Portland

TIPO DE CIMENTO	QUANTIDADE PRODUZIDA (t)	PARTICIPAÇÃO (%)
CP I	1.111.649	3,21
CP II	26.674.053	77,1
CP III	3.479.331	10,06
CP IV	2.463.879	7,12
CP V	836.657	2,42
Branco	31.481	0,09

Fonte - Sindicato nacional das Indústrias de cimento – SNIC, 1996 *apud* BUGALHO (2000)

Ressalta-se que a preocupação com o alto consumo energético durante o processo de fabricação do cimento, aliada aos avanços de pesquisas científicas que visam à

implementação de qualidades tecnológicas, motivou a introdução de escórias e materiais pozolânicos nas composições do cimento Portland. Hoje, a maior parte do mercado corresponde ao cimento Portland composto.

A compreensão dos tipos de cimento e suas propriedades tecnológicas, aliadas ao correto entendimento das variáveis que constituem a escória, significa ampliar as possibilidades de desenvolvimento do bloco de escória, na busca de um material de elevado desempenho.

5.1.3 Caracterização da Cal

A cal foi introduzida na fabricação de blocos de escória, na tentativa de proporcionar maior retenção de água e mais plasticidade ao composto da mistura.

A cal é um aglomerante aéreo, ou seja, é um produto que reage em contato com o ar. Nesta reação, os componentes da cal se transformam em um material rígido como a rocha original (o calcário) utilizada para fabricar o produto.

A cal pode ser considerada o produto manufaturado mais antigo da humanidade. Há registros do uso deste produto que datam de antes de Cristo. Um exemplo disto é a muralha da China, onde se pode encontrar, em alguns trechos da obra, uma mistura bem compactada de terra argilosa e cal.

Para a produção da cal, o calcário, depois de extraído, selecionado e moído, é submetido a elevadas temperaturas em fornos industriais num processo conhecido como calcinação, que dá origem ao CaO (óxido de cálcio: cal) e CO₂ (gás carbônico), a equação química dessa calcinação:



Para essa reação ocorrer, a temperatura do forno da caieira (indústria produtora de cal) deve ser de, no mínimo, 850°C, mas a eficiência total da calcinação se dá à temperatura de 900° a 1000°C. Essa temperatura é garantida pela queima de um combustível, que pode ser lenha (gasogênio), óleo combustível, gás natural, gás de coqueira, carvão e material reciclado. Para a obtenção da cal hidratada é necessário promover a reação da cal virgem com água.



A maioria da cal produzida no Brasil resulta da calcinação de calcários/dolomitos metamórficos de idades geológicas diferentes; geralmente muito antiga (pré-cambriana) e possui pureza variável. As cales provenientes de calcários sedimentares e de concheiros naturais recentes participam de maneira subordinada na produção.

Tabela 10 - Propriedades da cal

PROPRIEDADES GERAIS	
Nome	Óxido de cálcio
Fórmula química	CaO
Cor e aparência	Sólido branco
PROPRIEDADES FÍSICAS	
Massa molecular	56,1 u
Ponto de fusão	2845 K (2572° C)
Ponto de ebulição	2850 K (3123° C)
Densidade	3,35 (solução) (25° C e 1 atm)
Solubilidade	Reage em água
Viscosidade	26,7 cP a 20° C
PROPRIEDADES TERMOQUÍMICAS	
$\Delta_f H^\circ$	43,93 kJ/mol

Fonte: WIKIPEDIA, 2008

O principal produto da calcinação das rochas carbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas é a cal virgem, também denominada cal viva ou cal ordinária. O termo cal virgem é o consagrado na literatura brasileira e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para designar o produto composto predominantemente por óxido de cálcio e óxido de magnésio, resultantes da calcinação, à temperatura de 900 a 1200° C, de calcários, calcários magnesianos e dolomitos. A cal virgem é classificada conforme o óxido predominante:

- Cal virgem cálcica: óxido de cálcio entre 100% e 90% dos óxidos totais presentes;
- Cal virgem magnesiânica: teores intermediários de óxido de cálcio, entre 90% e 65% dos óxidos totais presentes;
- Cal virgem dolomítica: teores de cálcio entre 65% e 58% dos óxidos totais presentes.

No mercado global da cal, a cal virgem cálcica predomina, particularmente pela sua aplicação nas áreas das indústrias siderúrgicas, de açúcar e de celulose. Todas elas são comercializadas em recipientes (plásticos, metálicos e outros) ou a granel, na forma de blocos (tal como sai do forno), britada (partículas de diâmetro 1 cm a 6 cm) ou moída e pulverizada (85% a 95% passando na peneira 0,150 mm). Outro tipo de cal muito comum no mercado é a cal hidratada. Ela é composta por um pó de cor branca resultante da combinação química dos óxidos anidros da cal virgem com a água. É classificada conforme o hidróxido predominante presente ou, melhor, de acordo com a cal virgem que lhe dá origem:

- cal hidratada cálcica;
- cal hidratada magnesiânica;
- cal hidratada dolomítica.

A cal hidratada geralmente é embalada em recipientes plásticos ou em sacos de papel Kraft (com 8,20 kg e 40 kg do produto), possuindo granulometria de 85% abaixo de

0,075 mm. A cal hidratada tem características aglomerantes como o cimento, sendo que, enquanto o cimento reage com água (reação de hidratação do cimento), o endurecimento da cal aérea ocorre pelo contato com o ar. Essa reação transforma a cal hidratada num carbonato tão sólido quanto o calcário que a originou.

Pela diversidade de aplicações, a cal está entre os dez produtos de origem mineral de maior consumo no planeta. Estima-se que sua produção mundial esteja em torno de 145 milhões de toneladas por ano. O Brasil produz cerca de 6 milhões de toneladas por ano, o que significa um consumo per capita de 36 kg por ano. Sua utilização engloba as indústrias siderúrgicas, para remoção de impurezas; o setor ambiental, no tratamento de resíduos industriais; as indústrias de papel e o setor de construção civil. Neste último, o produto é utilizado como pintura, como argamassa para estuques e reboco, onde o uso para restauração de prédios históricos está cada vez mais difundido.

A busca de matérias-primas de baixo impacto faz com que este e outros materiais sejam aos poucos vistos como sustentáveis e, portanto, mais utilizados.

5.2 Metodologia

Neste item são apresentados os métodos utilizados na pesquisa, para preparação do material e moldagem dos blocos e corpos-de-prova. Partiremos de uma mistura utilizada na fabricação de blocos de concreto convencional, substituindo os agregados (areia e brita), pela escória de aciaria produzida pela BMP, que terá a função de agregado. O cimento utilizado foi o CP V ARI-Plus, Marca Ciminas, NBR 5733, pela rapidez no ganho de resistência e cal hidratada CH-III, para obter maior retenção de água na mistura. O bloco foi moldado em prensa hidráulica, portanto a mistura sofrerá um processo de compactação, para reduzir o consumo energético em seu processo produtivo.

5.2.1 Características Físicas da Escória

Primeiramente, o volume de escória calculado para a realização dos ensaios foi retirado do monte de escoria de 20 mm - 5 mm, tal qual é armazenado no pátio da indústria BMP (Figura 35). A escória foi seca ao sol no pátio do laboratório e posteriormente peneirado para se obter uma granulometria uniforme necessária para a moldagem dos blocos.



Figura 35 - Secagem ao sol da escória de aciaria recebida da BMP

Por se tratar de um material ainda não normalizado, o método de separação mecânica utilizado para a determinação da granulometria da escória foi realizado com base na NBR 7217/87 “Agregados - Determinação da composição Granulométrica”. Utilizaram-se as peneiras descritas na norma, de série intermediária, além de um peneirador mecânico. Para isso, o material foi peneirado em partes de 10 kg, pelo tempo de 10 min. em peneirador mecânico existente no laboratório. As Figuras 36 a 39 apresentam as peneiras segundo a série normal.

Aberturas das peneiras intermediárias (NBR 7217/87)

- Malha de 9,5 mm

- Malha de 4,8 mm
- Malha de 2,4 mm
- Bandeja de onde fica o material de fundo ou pó;



Figura 36 - Material retido em malha 9,5 mm



Figura 37 - Material retido em malha 4,8 mm



Figura 38 - Material retido em malha 2,4 mm



Figura 39 - Material passante em malha 2,4 mm
(Aquele a ser utilizado nas moldagens)

Foi analisado que a granulometria ideal para a correta moldagem do bloco na máquina hidráulica, bem como a otimização de sua capacidade mecânica, seria aquela que passasse em malha de 2,4 mm, inclusive o “fundo” ou filer, e o restante do material, ou seja, todo aquele retido em malhas maiores que 2,4 mm foi descartado.

Em amostra de 33 kg de escória caracterizada como em estado “bruto”, ou seja, da maneira como chega da indústria BMP, obteve-se a seguinte caracterização de granulometrias retidas nas diversas malhas:

Tabela 11 - Caracterização das Granulometrias em amostra-padrão

AMOSTRA BRUTA = 33kg		
Malhas	Quantidade (g)	Porcentagem
Retido		
9,5 mm	8.350	25%
4,8 mm	6.550	20%
2,4 mm	3.150	10%
Passante		
2,4 mm e fundo	14.700	45%

Fonte: Ensaio realizado no laboratório LCC da EESC - USP

Como pode ser observado na tabela 11, após a separação mecânica, cerca de 45% de todo o material em “estado bruto” são empregados na moldagem dos blocos, na granulometria mais adequada.

5.2.2 Características do Cimento Portland Utilizado

A escolha do tipo do cimento CP V ARI Plus foi determinada pelos seguintes critérios: a disponibilidade do material na região de São Carlos e interior do estado de São Paulo, e suas características tecnológicas, ou seja, apesar de não ser um cimento ambientalmente correto e aparentemente descontextualizado da discussão sobre o uso de materiais sustentáveis, sua utilização é justificada pelo interesse de se observar o comportamento dos blocos compostos

por cimentos com maior saturação de cal, possibilitando maior compactidade do material. Quanto ao seu emprego em ensaios acessórios, este é justificado pela rapidez de ganho de resistência proporcionada pelo CP V. Não interessava, portanto, nos casos em que se usou esse tipo de cimento, a obtenção da evolução da resistência a longo prazo, mas sim a resistência final após um curto período de tempo.

Tabela 12 - Caracterização do Cimento Portland CP V PLUS

CP V ARI PLUS	
Composição do cimento	Proporções (%/m. de cimento)
Clinker	90.6
Escória	-
Sulfato de Cálcio	6.0
Calcário	3.4
Finura Blaine(cm²/g)	
NBR 7224	4.650
Composição Potencial (%)	
C ₃ S	56.7
C ₂ S	11.7
C ₃ A	8.1
C ₃ AF	9.5
Tempo de “pega” da pasta de cimento - NBR 11581 - MB 3434	
Temperatura (°C)	25
Rel. a/c (MB 3433)	0,29
Início de “Pega” (min)	116
Fim de “Pega” (min)	256
Massa Específica (g/cm³)	
NBR 6474	3,1

Fonte: Holcim Brasil S.A e Companhia de Cimento Ribeirão Grande

5.2.3 Características da Cal Utilizada

A cal utilizada para a moldagem dos blocos foi a CH III, por ser a de maior comercialização, podendo ser encontrada em qualquer casa de materiais de construção. O emprego da cal hidratada no composto foi devido ao fato de a escória ser um material hidrofugante, e a quantidade de cimento empregada não foi suficiente para retenção de água; então, na tentativa de haver maior retenção de água no composto, utilizou-se a cal hidratada.

5.2.4 Composições da Mistura

Após a caracterização dos materiais, definir a granulometria ideal da escória e o tipo de cimento a ser utilizado, iniciaram os testes das misturas escória-cimento e escória-cimento-cal, na tentativa de conseguir um composto que atinja uma resistência satisfatória do material, para que seja atingido o objetivo desta pesquisa, produzir um bloco intertravado, que possa ser utilizado como elemento de vedação em alvenarias e também economicamente viável.

Os traços iniciais foram produzidos de maneira empírica, apenas observando a plasticidade do material e a viabilidade de compactação em prensa hidráulica. Porém a escoria de aciaria se mostrou um material que não retém água (hidrofugante) e como 70% da mistura é composta de escoria como agregado, foi necessário introduzir um material que retenha água na mistura durante o processo de moldagem e cura dos blocos, este fator nos levou a utilização da cal e do saibro. Porém o saibro foi descartado devido a suas características, em um processo de industrialização não conseguiríamos manter uma padronização deste material devido as suas condições geológicas.

Após vários experimentos cinco traços foram escolhidos para moldagem de corpo de prova cilíndrico e posterior análise de resistência à compressão simples, sempre na proporção 1:7 de cimento e escória. A tabela 13 apresenta as composições iniciais das misturas.

Tabela 13 - Composição das misturas e suas proporções

COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS					
TRAÇO	Cimento CP V-ARI PLUS	Escória	Cal	Água	Saibro
T 1:	100g	700g	100g	179,5g	-
	1	7	1		-
T 2:	100g	700g	200g	150g	-
	1	7	2		-
T 3:	100g	700g	-	119.30g	350g
	1	7	-		3,5
T 4:	100g	700g	100g	150g	350g
	1	7	1		3,5
T 5:	100g	700g	-	130	-
	1	7	-		-

Fonte: Ensaios realizados no laboratório LCC da EESC - USP

5.2.5 Ensaios Preliminares de Resistência a Compressão

Por não existir metodologia padronizada para a determinação da resistência à compressão simples e absorção de água para Blocos que utilizam escoria de aciaria como agregado, adotamos os procedimentos empregados para Tijolo Maciço de Solo-Cimento, uma vez que em sua produção, a moldagem é feita no mesmo equipamento (prensa hidráulica) que

estamos utilizando para produzir o bloco de escória. Adotamos como parâmetro as prescrições da NBR-8492 (Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água).



Figura 40 - Corpos de prova de T1, T2, T3 e T4



Figura 41 - Teste de Resistência à Compressão

Tabela 14 - Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Simples em Corpo de Prova Cilíndrico (5 X 10 cm) aos 7 dias

Tempo de Cura - 7 Dias			
Traço	Carga aplicada	Tensão Ruptura	Média das Tensões
T 1:	0,80	4,10	4,10
	0,80	4,10	
T 2:	1,52	7,70	7,20
	1,34	6,80	
T 3:	1,12	5,70	5,30
	0,96	4,90	
T 4:	1,08	5,50	5,70
	1,10	6,00	
T 5:	1,52	7,70	7,50
	1,46	7,40	

Fonte: Ensaios realizados no laboratório LCC da EESC - USP

Comparando-se os traços que apresentaram melhor desempenho mecânico (T2 e T5), foi constatado que a retirada da cal da mistura não seria satisfatória, já que pouco influencia na resistência mecânica e, por outro lado, sua aplicação contribui favoravelmente no momento da moldagem do bloco. A utilização de saibro também contribui para a moldagem, contudo a difícil caracterização geológica deste material e o fato de variar muito de região e tipo de solo, aliado ao seu baixo desempenho na resistência mecânica, fizeram com que os traços T3 e T4 (tabela 14) fossem descartados.

5.2.6 A Compactação da Mistura

O bloco de escória, objeto desta pesquisa, foi produzido em prensa hidráulica; portanto, submetido a um processo de compactação. Como a pesquisa é inédita e por não existir bibliografia a respeito, adotamos como parâmetro os princípios utilizados para compactação do solo, apesar da composição do bloco de escória não conter solo, estes parâmetros, apenas servem para definição da quantidade ideal de água, para compactação da mistura.

“A compactação do solo é um processo pelo qual as suas partículas são forçadas a agruparem-se mais estreitamente, através de uma redução nos vazios de ar, geralmente por meios mecânicos.” (BLÜCHER, 1951, p. 191).

Em 1933, R. Proctor publicou uma série de artigos sobre métodos de controle de compactação. Seus estudos enunciaram um dos mais importantes princípios da mecânica dos solos, ou seja, que a densidade de um solo compactado é função do teor de umidade no momento de sua compactação. Proctor percebeu que, para uma energia de compactação constante, ao se adicionar água ao solo, sua densidade aparente aumentava até um determinado ponto chamado umidade ótima. Ao acrescentar teores de umidade acima do

ótimo, a densidade tornava a se reduzir, pois o excesso de água absorve parte da energia de compactação e redistribui ao sistema, afastando as partículas sólidas.

Na verdade, o teor ótimo promove uma lubrificação das partículas, facilitando, quando se imprime uma energia de compactação, o preenchimento de todos os vazios possíveis.

Entende-se, portanto, que solos com maior quantidade de finos, quando compactados, demandam maiores teores de água para atingir a umidade ótima devido à maior área superficial³ do solo.

Rocha (1996), Silva, M. (2001) e Lins (1994) afirmam que essa nova configuração do solo após a compactação afeta significativamente as características mecânicas e, conseqüentemente, a porosidade e a permeabilidade do material.

Há diversas outras propriedades dos solos; porém, para o entendimento deste trabalho, foram concentrados apenas os principais pontos: distribuição granulométrica e compactação.

5.2.7 Ensaio de Compactação

O Ensaio de Umidade Ótima de Compactação, tendo como base o traço T2 (tabela 14). Iniciou-se com uma umidade de 10%, seguindo incrementos até chegar a 22,5%. O ensaio de compactação - Proctor normal (NBR 7182) e ensaio de compactação (NBR 12023) serviram como base para determinar a curva de compactação e a massa específica da mistura escória-cimento-cal, em função da umidade do composto. Tal curva serve para indicar o teor de umidade ótima para a compactação da mistura, quando submetida a uma energia constante.

Adiciona-se água à mistura, num teor reconhecidamente menor que a umidade ótima e, após realizar-se a homogeneização do material, procede-se ao ensaio de compactação através da moldagem de corpos-de-prova cilíndricos de acordo com materiais e métodos da

³ Área superficial de um solo é a medida de toda a superfície de cada partícula de uma porção de solo. Tal propriedade é expressa em unidades de área por unidades de peso.

NBR 12024. No caso, o teor de umidade inicial foi de 10% em relação à massa da mistura seca; os demais teores usados para a continuidade do ensaio foram 15%, 17,5%, 20% até chegar a 22,5%, totalizando a determinação para o traço T2 em estudo.

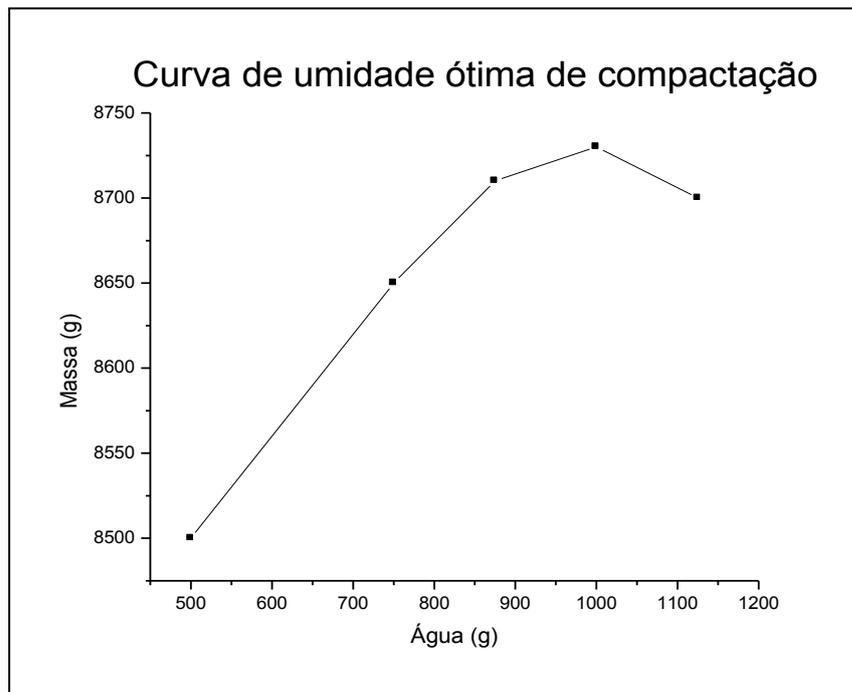


Figura 42 - Curva de umidade ótima, ensaios realizados no laboratório de solos da EESC – USP

Ensaio completo de compactação encontra-se no Anexo C.

- Traço base: T2 (1:7:2) Cimento ARI: 500g Escória: 3500g Cal: 1000g

Massa Total Material Seco = 5000g

Umidade inicial = 10% (500g água)

Umidade final = 22,5% (1125g água)

Através deste ensaio, foi verificado que a melhor umidade para trabalhar com este tipo de material ficou entre 17,5% e 19%. Tendo como base este resultado, ainda se fez necessária a realização de novos testes práticos de moldagem, a fim de verificar qual a umidade ideal para a desforma. O que se encontrou foi uma relação água/cimento de 1,85 para o traço T2 (1:7:2), que possui 7 kg de escória para cada 1 kg de cimento.

5.2.8 Equipamentos Utilizados para Produção dos Blocos

Os equipamentos que utilizamos para a moldagem dos blocos são:

- Prensa hidráulica para produção de blocos, nas dimensões 12,5 cm x 25 cm x 8 cm (largura x comprimento x espessura). Apesar das dimensões não normatizadas, as peças produzidas por esta máquina permitem a amarração direta entre os componentes, para execução de alvenarias. A prensa tem massa aproximadamente 450 kg, capacidade de produção de aproximadamente 480 tijolos/hora.



Figura 43 - Prensa Hidráulica para fabricação de Tijolos de solo-cimento

- Destorroador: destinado a destorrear a mistura de solo-cimento, proporcionando melhor homogeneização da umidade. Motor de 2 HP e lâminas de trituração, massa aproximada 150 kg;
- Peneira elétrica: com malhas de 4,8 mm e 2,4 mm, respectivamente, motor de 1 HP, com massa aproximada de 180 kg;
- Esteira transportadora: com correia de 3m, elevando o material a 2,10 m, motor de 1/2 HP e massa aproximada de 80 kg.

- Misturador : argamassadeira, destinada a homogeneizar mistura de agregado, motor de 1/2 HP e massa aproximada de 90 kg.



Figura 44 - Equipamentos para fabricação de tijolos de solo-cimento

Estes equipamentos compõem uma linha de produção de blocos, a qual será adaptada à produção dos blocos de escória. A princípio o formato da peça será o mesmo da prensa original que estava sendo produzido pela máquina, mas a proposta é mudar para outra peça cujo formato proporcione a execução de alvenarias sem a utilização de argamassa onde as peças sejam intertravadas.

A utilização desse tipo de prensa dialoga com um dos principais objetivos deste trabalho, pois pode proporcionar, por meio de técnicas simples e soluções viáveis, o desenvolvimento de materiais e sistemas de construção sustentáveis. É, portanto, uma grande ferramenta na realização de programas habitacionais de autogestão e autoconstrução.

5.2.9 Produção Experimental de Blocos de Escória

Procedimento de produção dos blocos, primeiramente a escória é seca ao ar livre até que a umidade permaneça próxima a zero. Após a secagem, a escória é peneirada para se obter a granulometria desejada, para os blocos de escória-cimento-cal (ECC) serem produzidos, é necessária a pesagem dos materiais, conforme traço T2 estabelecido (item 5.2.7), nas proporções pré-estabelecidas. Os materiais então são misturados, primeiramente a escória, o cimento e a cal, até a completa homogeneização, e só então se adicionam água à mistura até a homogeneização dos materiais. A mistura (ECC) estará pronta para ser utilizado na fabricação dos blocos, o tempo máximo para sua utilização após a adição de água é de uma hora.

A primeira constatação feita nos ensaios acessórios de moldagem dos blocos de (ECC) determinou que, em função do equipamento utilizado, o teor de umidade ótima da mistura, necessária para obtenção de uma boa plasticidade para que o bloco não quebre ao ser retirado da prensa, é mais baixo que o teor de umidade ótima definido no ensaio de Proctor. Por exemplo, nas tentativas de se moldarem blocos de mistura de (ECC) com traço de (1:7:2) e umidade fixada entre 17,5% e 19%, conforme resultado obtido no ensaio de compactação, os blocos, embora apresentassem boa condição na moldagem, não permitiam sua manipulação durante a sua retirada do compartimento de moldagem.

Antes de proceder a mistura do composto (ECC), é necessário a preparação da prensa hidráulica para moldagem do bloco. Após a devida limpeza das bandejas de alimentação e dos moldes da prensa, iniciamos os testes para observar o comportamento da compactação do composto (ECC), no traço T2 (1:7:2 tabelas 14 e 15), com o teor ótimo de umidade, conforme análise (Figura 44), que facilite a retirada do bloco do compartimento de moldagem, sem

comprometer sua resistência, já que em prensas deste tipo trabalha-se com material “bastante seco”, o que dificulta o manuseio imediato após prensagem.

5.2.10 Dificuldades Encontradas

Nesta etapa, existiu uma dificuldade ao retirar o bloco da bandeja da máquina sem que este se quebrasse, a resistência final está satisfatória, atingindo em média 7,0 MPa em corpo-de-prova cilíndrico 5 cm x 10 cm aos 7 dias. Porém, isso não garantia a compactação necessária para que o bloco não quebrasse ao ser sacado da prensa. A utilização da cal no composto proporcionou melhor retenção de água. Por esses motivos, foi incorporada ao traço; mesmo assim a mistura não está satisfatória.



Figura 45 - Bloco “quebradiço” logo após a prensagem (testes iniciais para avaliação do processo de moldagem)

Inúmeras tentativas foram feitas para dar mais compactação ao composto (ECC), a alteração da quantidade de água, a introdução do saibro na mistura, na tentativa de que a argila pudesse dar mais coesão ao composto, mas após inúmeras tentativas sem sucesso, começamos a observar a primeira amostra a ser compactada. Estava tudo certo, porcentagem

de água com teor ótimo de umidade, a proporção cimento escória-cal, foi quando notamos no interior do bloco compactado grãos de cal que não haviam sido incorporados ao composto. Percebemos, então, que o problema não estava no composto e sim no equipamento utilizado para misturar (betoneira convencional), pois ao colocar o composto no seu interior e acionar o equipamento, notou-se que grande quantidade de cimento fica retido na parede do equipamento e em relação à cal, no momento em que se adiciona água, formam-se pequenas bolinhas que não são incorporadas à mistura, comprometendo assim todo o composto.



Figura 46 - Betoneira utilizada no início da pesquisa

Foi então que resolvemos adotar outro equipamento para promover a mistura do composto (ECC), o misturador de eixo vertical, mais recomendado para misturas mais secas.



Figura 47 e 48 - Misturador de eixo vertical (próprio para mistura de “materiais secos”)

Outra variável que foi considerada importante na produção dos componentes diz respeito ao equipamento de mistura utilizado. Os componentes moldados com o traço T2 (1:7:2) foram misturados utilizando-se betoneira convencional, que mostrou-se insatisfatória, pois a homogeneidade da mistura foi deficiente quando comparada com o misturador de eixo vertical.



Figura 49 - Mistura betoneira convencional



Figura 50 - Misturador de eixo vertical

Como podemos observar na Figura 49, esta demonstrado claramente a deficiência de homogeneidade da mistura quando utilizada a betoneira convencional; os pontos brancos observados são porções de cal que não foram adequadamente dispersados na mistura, o que

comprometeu sua capacidade de reagir com a escória, como também de ser envolvida adequadamente pela água, causando assim uma perda de resistência final do componente. Já na Figura 50 podemos observar a mistura mais homogênea, em que todos os componentes da mistura encontram-se incorporados.

5.2.11 Moldagem dos Blocos de (ECC)

Ao conseguir a homogeneidade do composto, com o traço já pré-estabelecido nos ensaios anteriores T2 (1:7:2), utilizando cimento CP V ARI PLUS, escória e cal, notamos que o resultado de umidade ótima (Figura 44), para este composto, não era satisfatório quando utilizado na prensa hidráulica. Ainda se fez necessária a realização de novos testes práticos de moldagem, a fim de verificar qual a umidade ideal para a retirada do bloco do compartimento de moldagem.

O que se encontrou foi uma relação água/cimento de 1,85 para o traço T2 (1:7:2), que possui 1 kg de cimento para cada 7 kg de escória e 2 kg de cal. Para facilitar a retirada do bloco do compartimento de moldagem, fez-se uso de um dispositivo do equipamento, um mecanismo de aquecimento na mesa de prensagem, que comporta uma resistência, esta gera calor na forma de modo a facilitar a desmoldagem dos componentes depois de serem prensados. Após testes práticos, ficou estabelecida em 60° C a temperatura que mais contribuiu para a retirada do bloco do compartimento de moldagem. Nas Figuras de 51 a 54 pode-se observar a seqüência de moldagem dos blocos.



Figura 51 - Compactação do composto pela prensa



Figura 52 - Bloco pronto para ser retirado



Figura 53 - Bloco sendo retirado da prensa



Figura 54 - Blocos prontos para testes

6 RESULTADOS

6.1 Resultados dos Ensaio do Bloco (ECC)

Os ensaios nos blocos foram: Determinação de resistência à compressão, absorção de água e durabilidade. Com a finalidade de se observar o comportamento do material ao longo do tempo, adotou-se a rotina descrita a seguir.

Os ensaios de resistência à compressão nos blocos foram realizados, na amostra de traço T2 (1:7:2), conforme descrito acima, nas seguintes idades: 7, 14 e 28 dias após a moldagem. Com isso, avaliou-se o ganho de resistência ao longo da idade. Vale ressaltar que o cimento utilizado para a moldagem dos blocos foi o CP V Ari Plus.



Figura 55 - Regularização da Superfície dos Blocos com pasta de cimento



Figura 56 - Teste de Resistência à Compressão com Blocos Superpostos

Tabela 15 - Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Simples com Blocos Superpostos, compondo o Corpo-de-Prova de ensaio.

Traço	IDADE Dias	Dimensões Médias		Área de Trabalho (mm ²)	Carga de Ruptura		Tensão de Ruptura	
		(mm)			(Tf)	(Kn)	(MPa)	
		L	C				Médias	
T2 (1:7:2)	7	122	253	30.866	9,30	91	3,00	
		125	252	31.500	8,26	81	2,60	2,8
	14	127	252	32.004	10,22	100	3,10	
		122	252	30.744	10,70	105	3,40	3,1
	28	125	253	31.625	8,42	83	2,60	
		124	253	31.372	11,40	112	3,60	3,25

Fonte: Ensaios realizados no laboratório LCC da EESC - USP

Como no caso do composto, do bloco de escória não existe metodologia padronizada para a determinação da resistência à compressão simples e absorção de água. Adotamos o procedimento empregado para Tijolo Maciço de Solo-Cimento, seguindo as prescrições da NBR-8492 (Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água).

Tabela 16 - Ensaio de Absorção D'Água

Traço	Amostra	Massa Seca (g)	Massa Saturada	Absorção %	Absorção Média
T2 (1:7:2)					
	1	2975,8	3545,6	19,15	
	2	2927,8	3515,7	20,08	19,61%

Fonte: Ensaios realizados no laboratório LCC da EESC - USP

Podemos notar pela Tabela 16 que o traço ensaiado se encontra dentro da norma estabelecida; porém, sua utilização só poderá ser feita a partir do décimo quarto dia de cura, quando a peça atinge os valores acima dos 3 MPa estabelecidos pela norma.

6.2 Características do Composto (ECC)

Definido os testes de compressão e absorção de água dos blocos produzidos pelo composto (ECC), encaminhamos ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP São Carlos, três amostras de corpos-de-prova do composto escória-cimento, para sua caracterização segundo as normas NBR-10006, ensaios de solubilização de resíduos sólidos, e NBR-10005, ensaio de lixiviação de resíduos sólidos. Entretanto essas análises não são corretas para a classificação do composto, pois usamos uma tecnologia de estabilização do resíduo por solidificação, e ao ser submetida à análise pelas normas NBR-10004, 10005, 10006, da ABNT, os corpos de prova são moídos e perdem todas suas características de estabilização por solidificação.

6.2.1 Ensaio de Lixiviação e de Solubilização do Composto (ECC)

Os ensaios de lixiviação e de solubilização no composto escória-cimento (ECC) foram feitos, por solicitação do pesquisador ao laboratório de Saneamento, Departamento de Hidráulica e Saneamento EESC-USP, de São Carlos-SP, que são apresentados nas Tabelas 18 e 19, respectivamente. Além destes ensaios, também foram feitos ensaios de solubilização em amostras de cimento, que são apresentadas na Tabela 20. Todas as análises foram feitas com base nas normas NBR 10004, NBR 10005, NBR 10006, NBR 10007 da ABNT, e o boletim completo encontra-se no Anexo C.

As amostras ensaiadas têm a seguinte composição:

- Amostra 1 - Traço 1:7 - 1 de cimento para 7 de escória
- Amostra 2 - Traço 1:10 - 1 de cimento para 10 de escória
- Amostra 3 - Traço 1:7:2 - 1 de cimento para 7 de escória e 2 de cal

Tabela 17 - Determinação sobre o lixiviado obtido do composto (ECC)
Ensaio efetuado de acordo com a 20ª edição do Standad Methods

PARÂMETROS		AMOSTRAS		
		1	2	VMP
ph inicial		9,75	9,48	x
ph final		4,90	5,03	x
Volume de Acético 0,5 N Adicionado	(mL)	18,0	15,0	x
Tempo de Lixiviação	(Horas)	24	24	x
Chumbo	(mg Pb/L)	< 0,02	< 0,02	1,0
Cádmio	(mg Cd/L)	< 0,0006	< 0,0006	0,5
Cromo total	(mg Cr/L)	< 0,005	< 0,005	5,0
Prata	(mg Ag/L)	< 0,001	< 0,001	5,0
Fluoretos	(mg F/L)	0,67	0,53	150,0

Fonte: Ensaio completo do Lixiviado e Solubilizado do composto ECC, encontra-se no Anexo D

Lixiviado: Conforme dados da Tabela 17, observamos que os parâmetros não ultrapassaram os limites máximos permitidos. Portanto segundo a NBR 10005, como o lixiviado que determina a toxicidade do resíduo, o composto (ECC) é considerado: Não Tóxico.

Tabela 18 - Determinação sobre o solubilizado obtido do composto (ECC)
Ensaio efetuado de acordo com a 20ª edição do Standad Methods

PARÂMETROS		AMOSTRAS		
		1	2	VMP
ph inicial		9,80	9,65	9,73
ph final		10,43	10,41	10,53
ZINCO	(mg Zn/L)	< 0,002	< 0,002	< 0,002
CHUMBO	(mg Pb/L)	0,09	0,12	0,13
CADMIO	(mg Cd/L)	0,01	0,01	0,03
FERRO TOTAL	(mg Fé/L)	0,54	< 0,005	<0,005
MANGANÊS	(mg Mn/L)	0,02	0,01	0,01
COBRE	(mg Cu/L)	< 0,003	0,01	<0,003
CROMO TOTAL	(mg Cr/L)	< 0,005	< 0,005	<0,005
PRATA	(mg Ag/L)	< 0,001	< 0,001	<0,001
ALUMINIO	(mg Al/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
SÓDIO	(mg Na/L)	12,3	11,7	19,5
FLUORETOS	(mg F/L)	1,70	1,35	1,73
NITRATOS	(mg N/L)	4,10	5,43	10,17
CLORETOS	(mg Cr/L)	63	90	180
DUREZA TOTAL	(mg CaCo/L)	136	142	128
SULFATOS	(mg SO4 /L)	16	14	28
CIANETOS	(mg CN/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
FENÓIS	(mg C4H2OH)	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Fonte: Ensaio completo do Lixiviado e Solubilizado do composto ECC, encontra-se no Anexo D

Ao examinar a análise de solubilizados, notamos que havia presença de elementos que ultrapassam os valores mínimos permitidos pela norma, e que até então não estavam presentes ao resíduo escória quando feita a análise inicial (Tabela 6).

Solubilizados: Conforme dados Tabela 18, observamos que os parâmetros chumbo, cádmio e fluoretos ultrapassaram o limite máximo permitido

Na tentativa de neutralizar o composto, a primeira medida foi aumentar a dosagem de cimento para que os elementos não ultrapassem os parâmetros estabelecidos na norma NBR 10006. Nota-se que, com o aumento da dosagem de cimento nas amostras, aumenta no composto os índices dos elementos que ultrapassam os valores mínimos permitidos pela norma. A partir dos dados obtidos com as amostras produzidas, resolvemos fazer um ensaio de solubilização segundo a NBR-10006, com amostras de cimentos mais consumidos no mercado da construção e comparar os resultados com a amostra da escoria utilizada no ensaio.

6.2.2 Ensaio de Solubilização do Cimento Portland

Tabela 19 - Determinação sobre o solubilizado obtido

PARAMETROS		AMOSTRAS				
		CP V	CPII-E32	CPIII-32RS	ESCORIA	VMP
ph inicial		12,58	12,45	12,48	12,46	x
ph final		12,67	12,78	12,54	12,34	x
ZINCO	(mg Zn/L)	0,22	0,2	0,01	0,08	5
CHUMBO	(mg Pb/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,05
CADMIO	(mg Cd/L)	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	0,005
FERRO TOTAL	(mg Fé/L)	0,15	0,18	0,09	0,15	0,3
MANGANÊS	(mg Mn/L)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,1
COBRE	(mg Cu/L)	0,01	< 0,003	0,01	0,02	1
CROMO TOTAL	(mg Cr/L)	0,29	0,28	0,08	0,04	0,05
PRATA	(mg Ag/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,05
ALUMÍNIO	(mg Al/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,52	0,2
SÓDIO	(mg Na/L)	603,3	235,3	293,8	28	200
FLUORETOS	(mg F/L)	1,2	1,83	1,8	2,6	1,5
NITRATOS	(mg N/L)	0,46	0,51	13,2	15,48	10
CLORETOS	(mg Cr/L)	700	300	2300	2900	250
DUREZA TOTAL	(mg CaCo/L)	1358	1455	2328	1698	500
SULFATOS	(mg SO ₄ /L)	< 1	< 1	1800	< 1	400
CIANETOS	(mg CN/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1
FENÓIS	(mg C ₄ H ₂ OH)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,06	0,001

Fonte: Ensaio completo do Solubilizado dos Cimentos Portland existentes no mercado encontra-se no Anexo E

As amostras de cimento ensaiadas; CP V - Cimento Portland, utilizado na composição do composto (ECC), no traço T2 (1:7:2), analisado acima; CPII - E32; CP III - 32RS e Escória de aciaria de forno elétrico BMP.

Solubilizados: Conforme os dados obtidos Tabela 20, observamos que as amostras dos cimentos analisadas possuem vários parâmetros que ultrapassaram o limite máximo permitido pela norma, principalmente o CPIII-32RS, que, comparado com a escória, possui mais elementos que ultrapassam os valores mínimos permitidos pela norma.

Observando a análise dos cimentos acima citados disponíveis no mercado, descobrimos que o cimento está contaminando o composto ECC. Submetido à análise de solubilização, seus parâmetros ultrapassam os valores mínimos permitidos (VMP) pelas normas NBR 10004;10005;10006/2004 da ABNT.

6.3 Resultados Definitivos de Ensaio do Bloco (ECC)

Com a constatação de que quanto maior a dosagem de cimento na amostra maior serão os parâmetros que ultrapassam os VMP, iniciamos novos testes com compostos reduzindo a porcentagem de cimento no traço, e que ao mesmo tempo não diminua a resistência do bloco e desse modo o composto se enquadre dentro dos parâmetros das normas NBR 10004; 10005; 10006/2004 da ABNT e dos objetivos pretendidos pela pesquisa.

Após inúmeros experimentos com compostos mais pobres de cimento, chegamos a um traço que mais se aproxima às características desejadas, T9 (1:9:2), composto por: Uma porção de cimento CP V ARI PLUS, nove porções de escória BMP e duas porções de cal. Submetemos este novo traço aos ensaios de resistência à compressão nos blocos nas seguintes idades: 7, 14 e 28 dias após a moldagem, fizemos um comparativo com os dados obtidos no traço T2 (1:7:2) anteriormente usado.

Tabela 20 - Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Simples com Blocos

Traço	IDADE Dias	Dimensões Médias		Área de Trabalho (mm ²)	Carga de Ruptura		Tensão de Ruptura	
		(mm)			(Tf)	(Kn)	(MPa)	
		L	C				Médias	
T2 (1:7:2)	7	122	253	30.866	9,30	91	3,00	2,8
		125	252	31.500	8,26	81	2,60	
	14	127	252	32.004	10,22	100	3,10	3,1
		122	252	30.744	10,70	105	3,40	
	28	125	253	31.625	8,42	83	2,60	3,25
		124	253	31.372	11,40	112	3,60	
T9 (1:9:2)	7	126	254	32.004	13,26	130	4,14	4,27
		124	255	31.620	13,90	136	4,39	
	14	125	254	31.750	18,80	177	5,60	5,03
		125	253	31.625	14,52	142	4,50	
	28	125	252	31.500	16,16	158	5,13	5,05
		125	252	31.500	15,54	152	4,93	

Fonte: Ensaio realizado no laboratório LCC da EESC - USP

Verifica-se na Tabela 20 que o traço com menor consumo de cimento apresentou maior resistência à compressão. Isto se deve à diminuição da relação água/cimento do traço T9 (1:9:2) em relação ao do traço T2 (1:7:2), que foi necessária para permitir que o traço mais “pobre” apresentasse melhor compacidade sob prensagem nessas condições.

Tabela 21 - Ensaio de absorção de água

Traço	Amostra	Massa	Massa	Absorção	Absorção
		Seca (g)	Saturada	%	Média
T2 (1:7:2)	1	2975,8	3545,6	19,15	
	2	2927,8	3515,7	20,08	19,61%
T9 (1:9:2)	1	3379,5	3920,5	16,00	
	2	3482,2	4066,7	16,78	
	3	3483,3	4064,4	16,68	16,49%

Fonte: Ensaio realizado no laboratório LCC da EESC - USP

Ao analisar os aspectos de absorção de água, Tabela 21, notamos que o traço mais pobre T9 tem melhor comportamento quanto à absorção de água, comparado ao traço T2. Ficará estabelecido que o traço T9 será definido como padrão na fabricação dos blocos de escória.

6.3.1 Classificação do Bloco (ECC)

No dia 31 de maio de 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a nova versão da sua norma NBR 10004 - Resíduos Sólidos. Esta norma classifica os resíduos os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

Nas atividades de gerenciamento de resíduos, a NBR 10004 é uma ferramenta imprescindível, sendo aplicada por instituições e órgãos fiscalizadores. A partir da classificação estipulada pela norma, o gerador de um resíduo pode facilmente identificar o seu potencial de risco, bem como identificar as melhores alternativas para destinação final e/ou

reciclagem. Esta nova versão classifica os resíduos em três classes distintas: Classe I (perigosos), Classe II A (não-inertes) e Classe II B (inerte).

- Classe I - Resíduos perigosos: são aqueles que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- Classe II A - Resíduos não-inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- Classe II B - Resíduos inertes: são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR-10007), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são reutilizados, estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (ou se degradam muito lentamente). Estão nesta classificação, por exemplo, os entulhos de demolição, pedras e areia retirados de escavações.

6.3.2 Ensaio de Lixiviação, Solubilização e Teste de Toxicidade

6.3.2.1 Aguda com *Vibrio Fischeri* do Bloco (ECC)

Os ensaios de lixiviação e de solubilização do composto do bloco escória-cimento ECC, adotado como padrão T9 (1:9:2), foram feitos, por solicitação da BMP, pelo laboratório Bioagri Ambiental Ltda., de Piracicaba-SP, e são apresentados nas Tabelas 23, 24 e 25,

respectivamente. Além destes ensaios, também foram feitos testes de Toxicidade Aguda com *Vibrio Fischeri*, por solicitação da Bioagri Ambiental Ltda., de Piracicaba-SP, pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. O boletim completo das análises da composição do bloco de escória-cimento (ECC) encontra-se no Anexo C.

Tabela 22 - Determinação sobre a massa bruta do bloco de escória-cimento ECC NBR 10004/2004 - Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
Porcentagem de Sólidos	%(p/p)	0,05	90,1	
Inflamabilidade				
Ponto de Fugor	°C		>60	60 (a,d)
Corrosividade				
pH (suspensão 1:1)		0-14	12,2	2,0-12,5 (b)
Reatividade			Não reativo	Não reativo
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,2	<0,2	250 (c)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1	<1	500 (c)

LQ: Limite de Quantificação; **VMP:** Valor Máximo Permitido
 Fonte: Laboratório Bioagri Ambiental Ltda

Tabela 23 - Determinação sobre o lixiviado do bloco de escória ECC - NBR 10005/2004 - Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
Tempo Total de Lixiviação (h)	h		18	16-20
Solução de Extração			2	
pH Final do lixiviado			8,65	
Inorgânicos				
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	1,6	70
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	1,0
Cromo	mg/L	0,01	<0,041	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	1,7	150
Mercúrio	mg/L	0,0001	<0,0001	0,1
Prata	mg/L	0,005	<0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	1,0
Orgânicos				
1,1 - Dicloroetano	mg/L	0,001	<0,001	3,0
1,2 - Dicloroetano	mg/L	0,001	0,017	1,0
1,4 - Diclorobenzeno	mg/L	0,001	<0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	<0,001	0,002
2,4,5-TP	mg/L	0,001	<0,001	0,03
2,4,5 - Triclorofenol	mg/L	0,001	<0,001	400,0
2,4,6 - Triclorofenol	mg/L	0,0005	<0,0005	20,0
2,4 - D	mg/L	0,0005	<0,0005	3,0
2,4 - Dinitrotolueno	mg/L	0,001	<0,001	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	3E-05	< 3E-05	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Benzeno (a) pireno	mg/L	0,0003	<0,0003	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	<0,0001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	<0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	0,006	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	<0,0005	0,2
Endrim	mg/L	0,0001	<0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	<0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	<0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	<0,001	3,0
m-Cresol	mg/L	0,001	<0,001	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	<0,0005	2
Nitrobenzeno	mg/L	0,001	<0,001	2,0
o-Cresol	mg/L	0,001	<0,001	200,0
p-Cresol	mg/L	0,001	<0,001	200,0
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	<0,0005	0,9
Piridina	mg/L	5	< 5	5
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	0,001	<0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	<0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,001	<0,001	0,5

LQ: Limite de Quantificação; **VMP:** Valor Máximo Permitido

Fonte: Laboratório Bioagri Ambiental Ltda.

Tabela 24 - Determinação sobre o solubilizado do bloco de escória ECC - NBR 10006/2004 - Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados	VMP
pH final			12,95	
Inorgânicos				
Alumínio	mg/L	0,01	0,368	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Bário	mg/L	0,01	1,8	0,7
Cádmio	mg/L	0,001	<0,001	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	<0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,025	<0,025	0,07
Cloreto	mg/L	10	<10	250
Cobre	mg/L	0,005	<0,005	2
Cromo Total	mg/L	0,01	0,011	0,05
Ferro	mg/L	0,01	<0,01	0,3
Fluoreto	mg/L	1	<1	1,5
Índices e Fenóis	mg/L	0,002	0,05	0,01
Manganês	mg/L	0,01	<0,01	0,1
Mercurio	mg/L	0,0001	<0,0001	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	1	<1	10
Prata	mg/L	0,005	<0,005	0,05
Selênio	mg/L	0,008	<0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	26,3	200
Sulfato (como SO ₄)	mg/L	10	<10	250
Surfactantes	mg/L	0,1	<0,1	0,5
Zinco	mg/L	0,01	<0,01	5,0

LQ: Limite de Quantificação; **VMP:** Valor Máximo Permitido

Fonte: Laboratório Bioagri Ambiental Ltda. A análise completa de determinação de Massa Bruta, Lixiviado e Solubilizado do bloco ECC encontra-se no Anexo F

6.3.2.2 Resultados

- Massa Bruta: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004: 2004, podemos afirmar que os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

- Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004: 2004, podemos afirmar que os parâmetros satisfazem os limites permitidos. Portanto segundo a NBR 10005, como o lixiviado que determina a toxicidade do resíduo, o composto (ECC) é considerado: Não Tóxico.

- Solubilizado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004: 2004, podemos afirmar que os parâmetros Alumínio, Bário, Índices e Fenóis ultrapassam os limites máximos permitidos.

Em função dos resultados obtidos, a amostra deve ser classificada como: Classe II A - Não-Inerte

Toxicidade Aguda com *Vibrio Fischeri*: Resultados Analíticos, realizados segundo a norma técnica CETESB L5.227, em concentração máxima da amostra testada de 81,9%.

Tabela 25 - Resultado Analítico, Teste de Toxicidade Aguda-*Vibrio fischeri* do bloco de escória ECC - NT CETESB L5.227

	Resultado	Unidade	Data do ensaio	Hora do ensaio
CE20, 15min (pH) corrigido	N.T.(---)	%	22/06/06	10:05
CE50, 15 min Controle Positivo	3,49(2,30-5,29)	mg/L	-	-

A análise completa dos Parâmetros de Microtox encontra-se no Anexo G
Fonte: Laboratório Bioagri Ambiental Ltda.

Conclusões: O solubilizado da amostra analisada não apresentou efeito tóxico agudo diante da cultura de *Vibrio fischeri*. A amostra deve ser classificada como: Não-Tóxica

6.4 A Normatização de Resíduos Estabilizados por Solidificação

No Brasil não existem normas para avaliar resíduo estabilizado por solidificação com critérios e parâmetros, necessitando-se de regulamentação e normatização da tecnologia de estabilização por solidificação (E/S). A necessidade de implementação de diretrizes para regular e normatizar a tecnologia (E/S) deverá proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

As principais normas existentes para avaliar resíduo estabilizado por solidificação são as normas canadenses desenvolvidas pelo WTC, em Ontário, e pelo Environment Canadá (EC), e a francesa desenvolvida pelo grupo POLDEN do INSA de LYON.

Um resíduo não é, por princípio, algo nocivo. Muitos resíduos podem ser transformados em subprodutos ou em matérias-primas para outras linhas de produção, como é o caso desta pesquisa.

Todo produto desenvolvido a partir da reutilização de um resíduo industrial, no Brasil, deverá obter uma licença dos órgãos fiscalizadores de meio ambiente; no caso do bloco de escória, esta licença deverá ser solicitada à CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

Por não existir uma norma que avalie a reutilização da escória, utilizaremos as exigências técnicas estabelecidas na normativa nº 152/2007/C/E, de 8 de agosto de 2007, que dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de areia de fundição (AF), como comparativo para o composto do bloco de escória-cimento (ECC).

No item 3.5 - Procedimentos para avaliação de proposta de reutilização do resíduo areia de fundição (AF) deverá obedecer aos seguintes critérios:

A - O resíduo (AF) deverá ser classificado como classe II - A ou II - B, de acordo com a norma NBR 10004/2004. O caso da escória da BMP e do composto bloco de escória-cimento se enquadram neste item.

B - O resíduo (AF) deverá apresentar concentrações de poluentes no extrato lixiviado, obtido conforme a norma NBR 10005/2004, menores ou iguais às concentrações constantes da tabela 26.

Tabela 26 - Concentração Máxima de Poluentes no Lixiviado (CMP) - NBR 10005/2004

Parâmetros	Unidade	Escória	Bloco	CMP
Arsênio	mg/L	<0,01	<0,01	0,50
Bário	mg/L	0,02	1,6	10,00
Cádmio	mg/L	<0,005	<0,001	0,10
Cromo Total	mg/L	<0,05	<0,041	0,50
Chumbo	mg/L	<0,01	<0,01	0,50
Mercúrio	mg/L	<0,001	<0,0001	0,02
Selênio	mg/L	<0,01	<0,008	0,10

Fonte: Laboratório Bioagri Ambiental Ltda

Lixiviado: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela normativa Nº 152/2007/C/E, podemos afirmar que os parâmetros da escória e do bloco (ECC) satisfazem os limites permitidos.

C - O resíduo (AF) deverá apresentar concentrações de poluentes no extrato lixiviado neutro obtido conforme metodologia descrita no anexo B (da normativa), menores ou iguais às concentrações máximas constantes da tabela abaixo.

Tabela 27 - Concentração Máxima de Poluentes no Lixiviado Neutro (CMP)

Parâmetros	Unidade	Escória	Bloco	CMP
Cloreto	mg/L	<1,0	< 10	2500,0
Cobre	mg/L	<0,05	<0,005	2,5
Cianeto	mg/L	<0,05	<0,025	2
Fluoreto	mg/L	0,37	<1	14
Ferro	mg/L	0,15	<0,01	15
Manganês	mg/L	<0,05	<0,01	0,5
Fenóis Totais	mg/L	0,01	0,05	3
Sódio	mg/L	1,30	26,3	2500,0
Sulfato (como SO ₄)	mg/L	6,26	<10	2500,0
Sólidos dissolvidos Totais	%p/p	99,1	90,1	5000
Zinco	mg/L	<0,05	< 0,01	25,0

Fonte: Laboratório Bioagri Ambiental Ltda

Lixiviado Neutro: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela normativa N° 152/2007/C/E, podemos afirmar que os parâmetros da escória e do bloco satisfazem os limites permitidos.

D - O resíduo (AF) deverá apresentar pH na faixa entre 5,0 e 10,0, determinado conforme procedimento Anexo B (da normativa).

Tabela 28 - pH conforme procedimento constante Anexo B (da Normativa)

Parâmetros	Unidade	Escória	Bloco	VP
pH final	-	7,4	8,65	5,0 - 10,0

Fonte: Laboratório Bioagri Ambiental Ltda. VP - Valores permitidos

pH: Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela normativa N° 152/2007/C/E, podemos afirmar que os parâmetros da escória e do bloco (ECC) satisfazem os limites permitidos.

Toxicidade Aguda com *Vibrio Fischeri*: Resultados Analíticos, realizado segundo a norma técnica CETESB L5.227, em concentração máxima da amostra testada de 81,9%. Conforme Tabela 26, as conclusões do solubilizado da amostra do composto de bloco escória-cimento ECC analisada não apresentaram efeito tóxico agudo diante da cultura de *Vibrio fischeri*. A amostra deve ser classificada como: Não-tóxica.

Analisando os comparativos dos resultados da escoria e do bloco escória-cimento ECC, podemos concluir que a reutilização da escória para fabricação de blocos, objeto desta pesquisa, enquadra-se dentro das exigências técnicas da normativa 152/2007/C/E de 01/08/2007 – CETESB, com relação aos procedimentos para avaliação de proposta de reutilização do resíduo (AF).

7 A INDUSTRIALIZAÇÃO DO BLOCO (ECC)

Após experimentos realizados para desenvolvimento do bloco de escória, a etapa a seguir consiste no estudo do desenvolvimento da industrialização do bloco ECC, que vai da matéria-prima ao produto final. A escória de aciaria consiste na principal matéria-prima do composto, corresponde a 90% dos componentes da mistura. Por ser o maior volume do material consumido, a linha de produção deverá ser implantada o mais próximo das aciarias, quando possível no interior da planta siderúrgica, locado logo após o beneficiamento da escória, para evitar o custo com transporte. As instalações prediais para montagem da linha de produção do bloco deverá ter no mínimo uma área de aproximadamente 400m², pois grande parte desta área deverá ser destinada ao estoque de escória seca, pois em experimentos realizados observamos que o controle de umidade é de primordial importância para a produção do bloco.

7.1 Equipamentos Necessários para Industrialização

Os equipamentos necessários para compor uma linha de produção de blocos de escória com capacidade para aproximadamente 480 peças/hora:

- Uma máquina pá carregadeira, para movimentação da escória do ponto onde é depositada até o reservatório que transporta a escória através de correias a uma

peneira giratória que seleciona a granulometria ideal para a produção dos blocos. Esta mesma máquina irá levar esta escória já beneficiada ao depósito coberto, onde será estocada seca pronta para ser utilizada;

- Caçamba metálica que servirá como reservatória para condução da escória até a peneira giratória;
- Correia transportadora de aproximadamente 5 m, com desnível de 3m, para transportar a escória até a peneira giratória;
- Peneira giratória com malha 2,4 mm, com capacidade para 10m³/hora, que irá beneficiar a escória na granulometria ideal para a produção dos blocos;
- Balança digital para pesar os componentes da mistura;
- Misturador de eixo vertical com capacidade de 500 L para desenvolver a homogeneização da mistura;
- Correia transportadora com aproximadamente 4m de comprimento por 2 m de desnível, para conduzir o composto da mistura até o triturador;
- Triturador com capacidade para 500 L;
- Correia transportadora com aproximadamente 4m de comprimento por 2 m de desnível, para conduzir o composto da mistura até a prensa hidráulica, onde o composto irá receber a forma;
- Prateleiras metálicas com rodas para movimentar os blocos recém-produzidos, para serem submetidos à cura úmida;
- Cerra mármore, para produção de peças especiais, como meio bloco e blocos canaleta;
- Paletes de madeira para movimentação do estoque;
- Empilhadeira para movimentação do estoque e carregar caminhões.

7.2 A Linha de Produção dos Blocos

Para simular a industrialização dos blocos de escória, construímos ao lado do Laboratório de Construção Civil, no Departamento de Arquitetura e Urbanismo, campus da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, uma pequena área coberta com aproximadamente 70m², onde montamos uma linha de produção dos blocos (ECC).



Figura 57 - Área destinada a linha de produção dos blocos

A planta de uma linha de produção foi montada na seguinte ordem dos equipamentos: 1 Misturador de eixo vertical, 2 destorroador, 3 peneira, 4 esteira transportadora e 5 prensa (Figura 58). Esta linha de produção tem capacidade para 480 blocos/hora. Em uma mesma fábrica poderão ser implantadas várias linhas de produção no mesmo ambiente.



Figura 58 - Linha de produção de blocos (ECC)

Todos os equipamentos utilizados nesta linha de produção, tiveram de ser adaptados, no próprio laboratório, para utilização deste material. Durante os ensaios os materiais eram pesados para definição do traço, porem para agilizar o processo de fabricação, transformou-se o peso dos materiais em volumes e medida, utilizamos um recipiente plástico, com graduação para cada material a ser utilizado. O traço adotado para o processo de industrialização dos blocos, foi o T9 (1:9:2), que demonstrou maior resistência.



Figura 59 - Cimento-1

Escoria - 9

Cal - 2

A água é o principal elemento na produção do bloco (ECC), pois ela que ira definir a compactação ideal da mistura, nos testes realizados definiu que a umidadeótima, relação água-cimento é 1,85.



Figura 60 - Água

Porém antes do início da produção deverá ser observada a umidade já existente no material, principalmente no agregado escória de maior volume na mistura e normalmente armazenado ao tempo, a umidade deste material poderá variar de acordo com as condições climáticas. Todo material é colocados no misturador para se transformar em um composto homogeneizado.



Figura 61 - Misturador sendo abastecido

Com o composto homogeneizado, inicia-se o processamento do material no destorroador, peneira até chegar na prensa onde o composto é moldado. A prensa foi o equipamento que ocasionou a maior dificuldade para ser adaptado, a princípio era um equipamento que moldava tijolos de solo-cimento, material que tem um comportamento e composição completamente diferente do material do bloco de escória. Os primeiros blocos moldados neste equipamento, foram feitos ainda utilizando a estampa original da prensa, ou

seja, o formato que o tijolo de solo-cimento era produzido. Como o objetivo desta pesquisa é desenvolver um sistema construtivo de bloco intertravado que não necessite de argamassa para execução de alvenaria, mudamos a estampa da prensa, ou seja, o formato do bloco, esta atitude ocasionou inúmeras alterações em peças estampa e no próprio software de automação do equipamento.



Figura 62 - Tijolo original da prensa (primeiro plano)

Com estes obstáculos superados conseguimos iniciar a moldagem dos blocos com o novo formato, auxiliados por acessório com compressor de ar, para promover a limpeza do equipamento durante o processo produtivo, chapas de aço de 3 mm, que auxilia a remoção do bloco da prensa até o local de armazenamento para cura, como veremos nas Figuras 63 e 64.



Figura 63 - Abastecimento da prensa



Figura 64 - Compactação do bloco

O abastecimento e a compactação do bloco são feitos automaticamente pelo software do equipamento, que completa seu ciclo após a moldagem de duas peças por compactação. O ciclo automático do equipamento é interrompido após a moldagem para que as peças produzidas sejam retiradas do equipamento manualmente.



Figura 65 - Peças sendo retirada manualmente



Figura 66 - Blocos prontos

A movimentação dos blocos prontos, só foi possível após a colocação de chapas metálicas de 3 mm na saída dos blocos após ser compactados. Os blocos prontos são depositados em palet, onde deveram ser umedecidos durante os sete primeiros dias completando seu processo de cura.



Figura 67 - Chapa utilizada para sacar o bloco



Figura 68 - Blocos colocados em palet

Durante o processo de cura dos blocos, o ideal é a utilização de paletes de plástico, como os blocos são umedecidos nos primeiros sete dias estes paletes tem maior durabilidade.

Em uma produção em larga escala o ideal seria os blocos ficarem em câmara úmida, que possibilita uma aceleração no processo de cura.



Figura 69 - Blocos armazenados em palet de madeira

Após a cura os blocos poderão ser armazenados em palete de madeira, agilizam a movimentação do estoque dentro da usina e poderão ir com as peças para a obra. Os blocos deveram ser armazenados em pátio descoberto.

8 O SISTEMA CONSTRUTIVO

A idéia de produzir um sistema construtivo com peças pré-fabricadas de pequeno porte atende às necessidades de montar o espaço projetado em função dos elementos e componentes do sistema industrializado, posto a disponibilidade do projetista pelas várias unidades produtivas. A industrialização de peças de pequeno porte produz um sistema aberto, devido ao não-condicionamento prévio do espaço projetado do tipo standartizado, produzido em série são os elementos, componentes e eventualmente subsistemas do sistema e não o próprio espaço.

Esta proposta pode parecer complexa de se realizar, pois demanda a elaboração do sistema quase como um “meta-sistema de construção”, que permite a possibilidade de conciliar as necessidades da produção industrial em massa com os requisitos de preservação da capacidade criativa e inovadora por parte de quem utiliza o sistema construtivo, podendo inclusive e esta é a idéia principal, que a tarefa de projetar e construir os espaços sejam acessível a todos os indivíduos da sociedade e não somente àqueles que detenham um conhecimento tecnológico.

8.1 O *Design* do Bloco de Escória

O *design* do bloco de escória foi concebido para compor um sistema construtivo pré-fabricado de pequeno porte. A condição para se obter um produto pré-fabricado para ser utilizado no contexto de vários outros elementos de uma obra tem como condição ser preciso em suas medidas. O principal fator para que o bloco de escória obtenha êxito como sistema construtivo é a precisão nas suas dimensões, pois sendo assim as peças poderão ser montadas sem a utilização de massas ou qualquer outro elemento que tem como função regularização e nivelamento das peças.



Figura 70 - O Bloco de escoria

Prevendo sua interface com outros elementos construtivos, o bloco de escória possui duas aberturas no seu interior para serem utilizadas como passagens de rede elétrica, tubulações de água e receber ferro e concreto para reforço estrutural. Seu acabamento permite que o bloco seja utilizado aparente, recebendo apenas uma camada de pintura impermeabilizante. Suas dimensões foram concebidas respeitando-se as medidas de outros componentes (subsistemas), como batentes de portas e janelas, interruptores elétricos, etc.

8.2 A Modulação do Projeto

O bloco de escória propõe a coordenação modular, conceito que subentende a possibilidade de geração de dimensões múltiplas e submúltiplos de um módulo adotado como base.

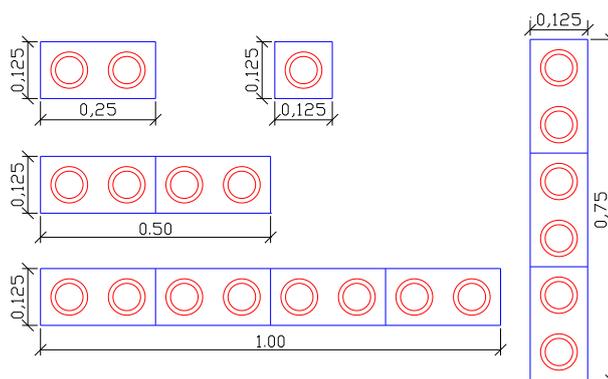


Figura 71 - A modulação proposta para utilizar o bloco de escória

A modulação proposta estabelece que as medidas de projeto para utilização do bloco de escória sejam múltiplos de 0,125 m, pois com este módulo de pequena proporção conseguiremos obter uma infinidade de medidas, criando um sistema dimensional que permitirá a aditividade e a integração geométrico-espacial dos diferentes elementos e componentes produzidos por diferentes usinas ou unidades produtivas.

A pequena dimensão do módulo propicia um sistema construtivo mais livre e, portanto, com maiores condições do exercício da criatividade de composição estético-formal do espaço, um sistema aberto, que fornece invariantes que proporcionem sempre o dinamismo necessário a um sistema gerador de propostas de espaços específicos e que, mesmo nesses espaços específicos, permitam também alterações, isto é, espaços dinâmicos que permitam alterações e crescimento dimensional.



Figura 72 - A amarração da montagem dos blocos

A par da introdução da racionalização de atividades específicas, como as de produção, montagem, projeto do espaço e o design do sistema, introduz ao conceito de planeamento de todas as atividades referentes à construção no seu conjunto.

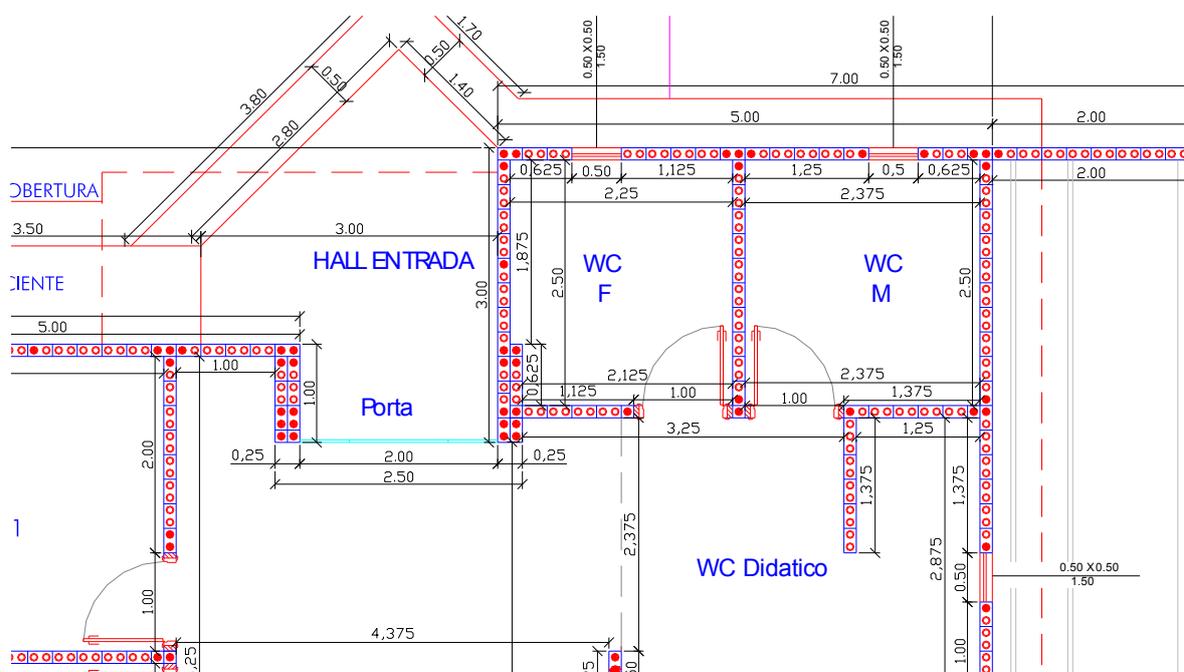


Figura 73 - A integração geométrica espacial do bloco de escória

A racionalização não diz respeito somente à organização das atividades e meios de utilização dos recursos disponíveis na sociedade, mas implica uma mudança na própria maneira de pensar o espaço como elemento dinâmico, acompanhando as mutações estético-culturais da sociedade. Implicam, também, uma “democratização” do espaço, uma vez que a produção industrializada, ao exigir uma produção em série, necessariamente exige um aumento de consumidores, isto é, mais acesso ao espaço planejado, por parte da população.

9 PROJETANDO COM O BLOCO DE ESCÓRIA

Para atingir mais um dos objetivos desejados no início da pesquisa, a sistematização das informações para a elaboração de um projeto tecnológico que possibilite a autoconstrução com os blocos de escória, elaboramos um projeto arquitetônico que coloque em prática o comportamento dos blocos em uma edificação. Para isto buscamos parcerias para construção de uma casa-conceito, utilizando materiais ecológicos e tecnologia de sustentabilidade, contamos com o apoio do departamento de meio ambiente da usina ArcelorMittal de Piracicaba, produtora de aço, que até então fornecia a escória para o desenvolvimento desta pesquisa. Foi através desta que contatamos outras empresas interessadas a participar deste projeto, e uma em especial o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - PCJ demonstraram interesse e acabaram adotando a gestão e execução do projeto da casa modelo. A casa modelo com bloco de escória, será construída na cidade de Americana - SP, em terreno cedido pela Companhia Paulista de Força e Luz CPFL, que irá participar do projeto. Após visita ao local e reuniões e exposições dos objetivos, desenvolvi o projeto arquitetônico que atende às necessidades e aos objetivos demonstrados. (Anexo I)

9.1 Projeto a Casa Modelo

O nosso objetivo com este projeto é relacionar a tecnologia da fabricação de blocos de escória com o contexto de construção sustentável e aproveitamento de resíduos industriais. Porém os participantes do projeto têm como objetivo relacionar o nome de suas empresas com a produção de uma nova tecnologia de construção que está atenta a preservação ambiental e a reutilização de materiais descartáveis como resíduos industriais que se transformaram em materiais de construção, e irá compor os elementos construtivos da casa modelo.

A casa modelo terá incorporado no seu projeto, questões de sustentabilidade, como tratamento do esgoto doméstico, aproveitamento de águas pluviais para consumo, geração de energia elétrica através de placas solares, aquecimento de água através de energia solar, utilização de componentes de uso doméstico com características de sustentabilidade, como torneiras de água com sensor óptico, interruptores elétricos com sensor de presença, etc.

O projeto da casa modelo deverá ser utilizado de forma didática para visita pública. Os aparelhos sanitários serão equipados com caixas de acrílico graduadas, indicando o consumo de água imediatamente durante sua utilização; os ambientes serão equipados com relógios que indicam o consumo de energia conforme a utilização dos equipamentos elétricos que compõem o ambiente, etc.

10 CONCLUSÃO

As avaliações de desempenho do material foram obtidas por meio de uma metodologia baseada em procedimentos de ensaios em laboratório, fundamentados em normas técnicas e recomendações práticas, e que se mostraram eficientes para o desenvolvimento de análise e orientações que devem ser consideradas em novas pesquisas que tenham como objeto de estudo a utilização de escória de aciaria.

Após os experimentos realizados, observamos que o comportamento da escória utilizada como agregado na fabricação de blocos modulares é bastante satisfatório, o bloco de escória atingiu resistência a compressão acima do esperado e quando submetido a comparativos com normas de alvenaria estrutural e alvenaria de elevação, se comportou de maneira bastante satisfatória, atendendo as exigências normativas a que foi submetido, podendo ser utilizado em diversas áreas da construção civil.

Há de se destacar que os resultados obtidos permitem uma série de considerações, dentre as quais merece destaque a importância do controle de umidade na qualidade da mistura de escória-cimento e, conseqüentemente, de qualquer componente resultante desta matéria-prima. Foi demonstrado que o teor de umidade é tão importante quanto à porcentagem de cimento que deve ser adotada para que se alcancem características de resistência a compressão e absorção de água para um determinado patamar de utilização.

Observou-se, também, que para obtenção de uma mistura mais homogênea, deverão ser utilizados equipamentos de eixo vertical para misturas a seco.

Quanto à produtividade da alvenaria, observou-se que o emprego do bloco de escória propicia um melhor rendimento de mão-de-obra e material em comparação com a utilização de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto, uma vez que seu design compensa a baixa capacitação técnica da mão-de-obra empregada na construção civil brasileira.

No entanto, é necessária uma investigação mais detalhada, ensaios em paredes em escala 1:1 submetidas à compressão. Por se tratar de um elemento de vedação, deverá ser observado seu comportamento a longo prazo, quando exposto ao tempo sem revestimento e também revestido com diversos tipos de acabamento, como reboco, gesso, pintura, textura, resina, revestimento cerâmico, etc.

A conclusão que chegamos é que a utilização da escoria de aciaria para fabricação de blocos é perfeitamente viável, tecnicamente e economicamente e esta inserido no contexto de sustentabilidade, trazendo benefícios nos requisitos de projetos e necessidades dos usuários.

10.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

A utilização do bloco de escória, constitui um tema que merece ser explorado por ser uma pesquisa inédita, possui pouquíssima literatura a respeito, o que permite diversas abordagens interessantes, como as sugeridas a seguir:

- Estudo para normatização do uso da escoria de aciaria;
- Estudar a evolução das propriedades mecânicas de blocos de escória em diferentes condições de cura e armazenamento;
- Elaborar análises estruturais de ligações de paredes em amarração direta e indireta;

- Avaliar o comportamento dos blocos de escória na execução de paredes de vedação e estrutural, sem utilização de argamassa;
- Sugerir e avaliar detalhes construtivos em pontos críticos da alvenaria, por exemplo, nas aberturas de portas e janelas, quando submetidas a esforços de compressão e flexo-compressão;
- Avaliar o desenvolvimento da microestrutura do sistema escória-cimento em função da dispersão de materiais que compõem essa mistura e suas interfaces;
- Desenvolver portas e janelas com sistema de encaixe, que trabalhe e complemente o bloco de escória;
- Estudar as peças do bloco de escória que compõem um sistema construtivo, facilitando a execução de vergas e contra-vergas;
- Desenvolver bloquetes de pavimentação com escória-cimento;
- Desenvolver telhas com escória-cimento;
- Desenvolver sub-base para pavimentação com escória-cimento;
- Desenvolver argamassa armada com escória-cimento;
- Desenvolver artefatos para saneamento básico, como tubulações para escoamento de esgoto e águas pluviais, com escória-cimento.
- Desenvolver novos ensaios de Solubilização do composto escoria-cimento após anos de uso.

REFERÊNCIAS

AGENDA 21. **Conferência das nações unidas sobre ambiente e desenvolvimento urbano**. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal, 1998.

ALBUQUERQUE Neto, A. J. P. C. **A reciclagem de resíduos sólidos na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em M.B.E.). COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, I. R. Superplastificantes, microssílica e durabilidade dos concretos. **Téchne**, São Paulo: Pini, nº 24, p 30-33, set-out. 1996.

ANDRADE, M. L. A. **Mercado mundial de sucata**. Gerência Setorial de Mineração e Metalurgia - Editoração - AO2-GESIS - Novembro de 2000. Disponível em: <<http://www.bnds.gov.br>>. Acesso em: 20 ago 2006.

ÂNGULO, S. C. **Viabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, J. A. Introdução e organização. **I Workshop sobre escória**. Piracicaba: Anais, 2006.

ARAÚJO, M. **IDHEA** - Instituto para o desenvolvimento da habitação ecológica. Disponível em: <<http://www.idhea.com.br>>. Acesso em: 05 mai. 2007.

ASSIS, J. B. S. Bloco intertravado de solo cimento “Tijolito”. **Workshop arquitetura de terra**. São Paulo: Anais. NUTAU-FAU USP, 1995. p 149-162.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Casas de parede de solo-cimento. **Boletim**, nº 54. São Paulo: ABCP, 1948.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Evolução das pesquisas de laboratórios sobre solo-cimento**. São Paulo: ABCP, 1960

_____. **Dosagem das misturas de solo-cimento**: Normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo: ABCP, 1980

_____. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. São Paulo: ABCP, 1985.

_____. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais:** prática recomendada. São Paulo: ABCP, 1988.

_____. **Mãos à obra.** Dicas importantes para você construir ou reformar sua casa. São Paulo: ABCP, s/d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual técnico de alvenaria.** São Paulo: ABCI-Projetos, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** - Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 10005** - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 10006** - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 10007** - Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 12023** - Solo-cimento: ensaio de compactação. Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 12024** - Solo-cimento: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 12988** - Líquidos livres – Verificação em amostras de resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

_____. **NBR 5019** - Escoria - Produto líquido ou pastoso produzido durante operações pirometalúrgicas, geralmente contendo sílica, que se torna sólido a temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. **NBR 5734** - Peneira para ensaio com tela metálica. Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

_____. **NBR 5735** - Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. **NBR 5739** - Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

_____. **NBR 7182** - Solo- Ensaio de compactação. Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 7810** - Agregado em estado compactado e seco – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

_____. **NBR 8492** - Tijolos – maciços de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e a absorção de água. Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. **NBR7217** - Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standard. **Test Method for Hydraulic Activity of Ground Slag by Reaction with Alkali**. ASTM C 1073-97.

BARBOSA, V. F. F. **Síntese e Caracterização de Polissialatos**. 150p. Tese de (doutorado). Instituto Militar de Engenharia - IME. Rio de Janeiro, 1999.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

BLUCHER, E. **Mecânicas dos solos para engenheiros rodoviários**. São Paulo: Blucher, 1951. v. 1.

BOSI, F. J. F. Processo de fabricação de aço, geração de escoria e suas características. I **Workshop Sobre Escória**, Anais. Piracicaba-SP, 2006.

BUGALHO, A. Competitividade das indústrias de cimento do Brasil e da América do Norte. **Estudos Econômicos da Construção**. São Paulo: Sinduscon-SP, v. 4, n. 1, p. 7, 2000.

CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. C. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

CARNEIRO, F. L. L. **Norma para cálculo e execução de alvenaria armada ou parcialmente armada**. (anteprojeto). Rio de Janeiro: CE-02:03:04. ABNT, 1968

CARVALHO, A. R. O.; POROCA, J. S. **Como fazer e usar tijolos prensados de solo estabilizado**. Brasília: IBICT, 1995.

CARVALHO, F. C. O. Uso da escoria de siderurgia na agricultura. Piracicaba. **I Workshop Sobre Escoria**. Biossolo - Agricultura & Ambiente Ltda, p. 32-48, Nov. 2006.

CAVALCANTE, J. R.; CHERIAF, M.; Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. **Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil, 1996, São Paulo**. Anais. São Paulo: EPUSP-ANTAC, 1997. p 31-37.

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (CEPED). **Solo-cimento na habitação popular: relatório final do Projeto Tecnologias Alternativo para Habitações de Baixo Custo - Fase 2**. Camaçari: BNH - URBIS - CEPED, 1978.

CENTRO INTERAMERICANO DE VIVENDA Y PLANEJAMENTO CINVA. **Guia de auto-construção**. Bogotá: CINVA, 1961.

FARIA, J. R. G. **Unidade de produção de tijolos de solos estabilizados**. Dissertação de Mestrado, EESC - USP, São Carlos, 1990.

FERRAZ JUNIOR, F. de A. C. Equipamentos modernos para a produção de tijolos de terra prensada. **Workshop Arquitetura de Terra**. São Paulo. Anais. NATAU-FAU-USP. p. 163-179, 1995.

FLESCHE, L. A. Utilização de resíduos sólidos na construção civil. Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - Comitê Pardo. **Boletim Informativo**, n. 10, Ano VI, Outubro 2004.

GARCIA, P. D. **Contribuição ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais**. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos (dissertação de Mestrado), 2000.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (Dissertação de Mestrado), 1983.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado), 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Casa evolutiva em mutirão concentrado com tijolos de solo-cimento**: Fase I - aplicação de solo-cimento à habitação. São Paulo: Relatório 10.641 - IPT, 1977.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Implementação técnica de tijolos de solo-cimento através de máquina automática TOR-HPT-30**. São Paulo: Relatório 11.273 - IPT, 1978.

JOHN, V. M. Panorama Sobre a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. **Seminário desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil, 2.**, São Paulo: Anais. IBRACON, 1999. p 44-55.

JOHN, V. M.; Pesquisa e Desenvolvimento de Mercado para Resíduos: **Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil, 1996**, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP-ANTAC, 1997. p 21-31.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na Construção Civil** - Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 102p. Tese (livre docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V. Novos mercados para as escórias de alto-forno. **V Encontro Regional de Meio Ambiente na Indústria Siderúrgica**. Vitória-ES: Anais, 1995.

LINS, A. H. P. Comportamento tensão-deformação-resistência dos solos compactados não saturados. **21ª Reunião anual de pavimentação**. Salvador: Anais. p. 160-175, set, 1994.

MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C.; VILELA, A.; Resíduos da indústria coureira: Caracterização e potencialidade de uso da cinza de serragem cromada. **Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil, 1996, São Paulo**. Anais: São Paulo, EPUSP-ANTAC, 1997. p 61-68.

MASUERO, A. B.; VILELA, A. C.; DAL MOLIN, D. **Emprego de escória de aciaria elétrica como adição a concretos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: CPGEC-NORTE, 2001. p 1-18.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estruturas, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MENDONÇA, R. L. Uso adequado de escória de aciaria na pavimentação. **I Workshop sobre escória**. Piracicaba-SP: Anais, 2006.

NACIMENTO, K. A. L. **Utilização de escória proveniente da reciclagem do aço em concreto de cimento Portland**. Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado). São Carlos, 2007.

NEVES, C. M. M. Habitação e saneamento com materiais alternativos. **Seminário latino-americano de alternativas tecnológicas para habitação e saneamento**. Olinda: Anais. MHU - PNUD - p 273-282, 1987.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

NORMATIVA - Nº 152/2007/C/E. **Procedimentos para gerenciamento de areia de fundição**. São Paulo, 8 de agosto de 2007.

OLIVEIRA, L. C. P. Tecnologia mundial aplicada a escória de siderurgia. **I Workshop sobre escória**. Piracicaba-SP: Anais, 2006.

PINTO, C. S. **Estudo das propriedades estabilizadoras do cimento Portland e da cal hidratada**. São Paulo: IPT, pub. n. 687, 1977.

ROCHA, A. F. **Estudo experimental sobre misturas de solo-cimento para a região de Campos Novos dos Parecis. MT**. Dissertação de Mestrado. EESC USP, São Carlos, 1996.

SICHERI, E. P. et al. O aço na arquitetura e na construção civil. **Materiais de construção II - Grupo de pesquisa Arqtema - Arquitetura tecnologia e materiais**. São Carlos: EESC - USP, 2004

SILVA, M. S. **A terra crua como alternativa sustentável para habitação social**. Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo, 2001.

SIMEÃO, L. Situação alarmante. **Revista Brasileira do Aço**, v. 64, 2003. Disponível em: <<http://www.inda.org.br/revista>>. Acesso em: 10 out. 2004.

SINDINESFA - **Sindicato do comércio atacadista de sucata ferrosa e não-ferrosa do Estado de São Paulo-SP**. Disponível em: <<http://www.sindinesfa.org.br>>. Acesso em: 12 out. 2004.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. SERVIÇO DE BIBLIOTECA. **Diretrizes para a elaboração de dissertação e teses na EESC-USP**. 2. ed. Revisada e Ampliada. São Carlos: SVBIBL, 1996.

WIKIPÉDIA. **Cal**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Cal>>. Acesso em: 15 mai. 2008.

ANEXOS

ANEXO - A

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA ESCÓRIA DA BMP

BOLETIM DE ANÁLISE N° 07271/04
Proposta N° 2004003836-27

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

<i>Empresa solicitante:</i>	BMP Siderúrgica S/A
<i>Endereço:</i>	Av. Marechal Castel Branco, 101 – Piracicaba / SP.
<i>Nome do Solicitante:</i>	Sandra Nogueira

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

<i>Identificação da Bioagri</i>	19712/04		
<i>Identificação do cliente:</i>	Escória		
<i>Amostra rotulada como:</i>	Resíduo		
<i>Coletor:</i>	Edson – Bioagri Ambiental	<i>Data Coleta:</i>	02.08.04
		<i>Hora coleta:</i>	15:08
<i>Data da entrada no laboratório:</i>	03.08.04	<i>Data Elaboração B.A.:</i>	13.08.04

Resultados Analíticos: Composição Centesimal

<i>Parâmetros</i>	<i>Unidade</i>	<i>LQ</i>	<i>Resultados Analíticos da Amostra: 19712/04</i>
			<i>Escória</i>
Resultados expressos sobre as Amostras Base Úmida			
Cinzas	% (p/p)	0,05	94,2
Umidade	% (p/p)	0,05	0,69
Fósforo	mg/kg	0,5	257
Nitratos	mg/kg	0,5	1,30
Sulfatos	mg/kg	0,5	60,5
Resultados expressos sobre as Amostras Base Seca			
Alumínio (Al ₂ O ₃)	mg/kg	0,5	6430
Arsênio (As)	mg/kg	0,5	< 0,5
Antimônio (Sb)	mg/kg	0,5	15,3
Bário (BaO)	mg/kg	0,5	410
Bismuto	mg/kg	0,5	< 0,5
Cálcio (CaO)	mg/kg	0,5	39242
Cádmio (Cd)	mg/kg	0,5	< 0,5
Chumbo (Pb)	mg/kg	0,5	33,2
Cromo Total (Cr)	mg/kg	0,5	670
Cobre (CuO)	mg/kg	0,5	75,2
Cobalto (Co)	mg/kg	0,5	0,87
Estanho (Sn)	mg/kg	0,5	< 0,5
Ferro (Fe ₂ O ₃)	% (p/p)	0,005	7,60
Manganês (MnO)	mg/kg	0,5	8649
Magnésio (MgO)	mg/kg	0,5	23973
Mercurio (Hg)	mg/kg	0,5	< 0,5
Níquel (Ni)	mg/kg	0,5	7,78
Potássio (K ₂ O)	mg/kg	0,5	522
Silica + Insolúveis	% (p/p)	0,005	78,6
Selênio (Se)	mg/kg	0,5	< 0,5
Sódio (Na ₂ O)	mg/kg	0,5	128
Titânio (Ti)	mg/kg	0,5	877
Tálio (Tl)	mg/kg	0,5	< 0,5
Telúrio (Te)	mg/kg	0,5	< 0,5
Vanádio (V)	mg/kg	0,5	82,3
Zinco (ZnO)	mg/kg	0,5	40,5

LQ: Limite de Quantificação

Nota 1: O(s) resultado(s) refere(m)-se somente à(s) amostra(s) analisada(s)

Este Boletim de Análise só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

- Nota 2: Data de realização das análises**
A Bioagri Ambiental garante que todas as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro segundo o Guia de Coleta e Preservação de Amostra SQB 008 da Bioagri Ambiental, e condições descritas na proposta comercial referente a este trabalho. Todas estas datas constam nos dados brutos das análises e estão à disposição para serem solicitadas a qualquer momento pelo interessado.
- Nota 3: Plano de Amostragem (Coleta Bioagri)**
Local da Coleta: Belgo Mineira – Piracicaba / SP
Tipo de Amostra: Pontual
Ocorrência de Chuva nas últimas 24 h: Não

Referências Metodológicas:

- Metals (Solo):** USEPA 3050 B – Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils
USEPA 6010 B – Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry
- Ânions:** EPA Method 300.1 – Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
- Sódio:** SMEWW 3111 B – Direct Air-Acetylene Flame Method
- Potássio:** SMEWW 3111 B – Direct Air-Acetylene Flame Method

Nereida Ap. Bongiorno
Coordenadora Técnica
CRQ. 04409149 – 4ª Região

Data

Marcos Donizete Ceccatto
Gerente Técnico
CRQ. 04432847- 4ª Região

Data

ANEXO - B

DETERMINAÇÃO DE MASSA BRUTA, LIXIVIADO E SOLUBILIZADO DA ESCÓRIA DA BMP

**OBS: Nota-se no Boletim de Análise N° 5000882-A: o material é
classificado como Classe II - B - Inerte**



BOLETIM DE ANÁLISE N° 5000882-A
OS: 2005001418-27

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

<i>Empresa solicitante:</i>	BMP Siderúrgica S/A
<i>Endereço:</i>	Avenida Marechal Castelo Branco, 101 – Vila Rezende – Piracicaba / SP – CEP: 13412-901
<i>Nome do Solicitante:</i>	Sandra Nogueira

ESCÓRIA

Amostra N° 05003569-40

Análise Solicitada: Caracterização de Resíduo segundo NBR 10004

Realizado por
 Bioagri Ambiental Ltda.
 Rua Aujovil Martini, 201 – Bairro Dois Córregos
 Piracicaba / SP

Data de Entrada no Laboratório

03.02.05

Data de Conclusão

02.03.05



Informações Gerais

- **Identificação da Amostra:** Resíduo (Escória)
- **Coletor:** João Carlos - Bioagri Ambiental Ltda.
A amostragem foi realizada com base na NBR 10007:2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos
- **Data/Hora da Coleta:** 02.02.04 / 17:10h
- **Metodologia:** As metodologias utilizadas pela BIOAGRI foram baseadas “SW 846 (USEPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number 846, Washington, DC)” e as referências:
Norma NBR 10004:2004 da ABNT - Classificação de Resíduos Sólidos
Norma NBR 10005:2004 da ABNT - Ensaio de Lixiviação
Norma NBR 10006:2004 da ABNT - Ensaio de Solubilização
Norma NBR 12988 da ABNT – Líquidos Livres

As determinações sobre os extratos do Solubilizado e Lixiviado foram realizadas com base nos seguintes métodos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th Edition – 1998:

VOC's:	USEPA SW 846 – 8260B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS); USEPA SW 846 – 5021 Volatile Organic Compounds in Soils and Other Solid Matrices Using Equilibrium Headspace Analysis.
SVOC's:	USEPA SW 846 – 8270C Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) SMEWW 6410 B Extration Liquid / Liquid - GC / MS
Ânions:	EPA Method 300.1 – Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
Sódio:	SMEWW 3111 B – Direct Air-Acetylene Flame Method
Metais:	SMEWW 3120 B – Inductively Coupled Plasma (ICP) Method
Mercúrio:	SMEWW 3112 B – Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method
Cianetos:	SMEWW 4500 – CN ⁻ - C – Total Cyanide after Distillation SMEWW 4500 – CN ⁻ - F – Cyanide-Selective Electrode Method
Fenóis Totais:	USEPA SW 846 – 9065 – Phenolics (Spectrophotometric, Manual 4-AAP with Distillation)
pH:	SMEWW 4500 – H ⁺ - B – Electrometric Method
Sólidos:	SMEWW 2540 – B Total Solids Dried at 103 – 105 °C.
Sulfeto:	SMEWW 4500 S ²⁻ F – Iodometric Method
Surfactantes:	SMEWW 5540 C – Anionic Surfactants as MBAS



Informações Gerais

- **Identificação da Amostra:** Resíduo (Escória)
- **Coletor:** João Carlos - Bioagri Ambiental Ltda.
A amostragem foi realizada com base na NBR 10007:2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos
- **Data/Hora da Coleta:** 02.02.04 / 17:10h
- **Metodologia:** As metodologias utilizadas pela BIOAGRI foram baseadas “SW 846 (USEPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number 846, Washington, DC” e as referências:
Norma NBR 10004:2004 da ABNT - Classificação de Resíduos Sólidos
Norma NBR 10005:2004 da ABNT - Ensaio de Lixiviação
Norma NBR 10006:2004 da ABNT - Ensaio de Solubilização
Norma NBR 12988 da ABNT – Líquidos Livres

As determinações sobre os extratos do Solubilizado e Lixiviado foram realizadas com base nos seguintes métodos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th Edition – 1998:

VOC's:	USEPA SW 846 – 8260B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS); USEPA SW 846 – 5021 Volatile Organic Compounds in Soils and Other Solid Matrices Using Equilibrium Headspace Analysis.
SVOC's:	USEPA SW 846 – 8270C Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) SMEWW 6410 B Extration Liquid / Liquid - GC / MS
Ânions:	EPA Method 300.1 – Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
Sódio:	SMEWW 3111 B – Direct Air-Acetylene Flame Method
Metais:	SMEWW 3120 B – Inductively Coupled Plasma (ICP) Method
Mercúrio:	SMEWW 3112 B – Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method
Cianetos:	SMEWW 4500 – CN ⁻ - C – Total Cyanide after Distillation SMEWW 4500 – CN ⁻ - F – Cyanide-Selective Electrode Method
Fenóis Totais:	USEPA SW 846 – 9065 – Phenolics (Spectrophotometric, Manual 4-AAP with Distillation)
pH:	SMEWW 4500 – H ⁺ - B – Electrometric Method
Sólidos:	SMEWW 2540 – B Total Solids Dried at 103 – 105 °C.
Sulfeto:	SMEWW 4500 S ²⁻ F – Iodometric Method
Surfactantes:	SMEWW 5540 C – Anionic Surfactants as MBAS



Resultados Analíticos da Amostra Escória (05003569-40)

Tabela 1. Determinações sobre a Massa Bruta.

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Umidade	% p/p	0,1	0,66	
Inflamabilidade ^a				
Ponto de Fulgor	°C		> 100	60 ^d
Corrosividade ^b				
pH (suspensão a 50%)			9,6	2,0 – 12,5
Reatividade ^c				
Cianeto (como HCN)	mg/kg	10	< 10	250
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	10	< 10	500

(a) = Para a avaliação da Inflamabilidade foi monitorado o item "a" do tópico 4.2.1.1 da NBR 10004:2004

(b) = Para a avaliação da Corrosividade foi monitorado o item "a" do tópico 4.2.1.2 da NBR 10004:2004

(c) = Para a avaliação da Reatividade do Resíduo foram monitorados os itens "a", "b", "c" e "e" do tópico 4.2.1.3 da NBR 10004:2004

(d) = Valor Máximo para Resíduos Líquidos

Tabela 2. Determinações sobre o Lixiviado obtido de acordo com NBR 10005:2004

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,1	99,3	
pH Final			4,8	
Tempo Total de Lixiviação (h)			18	18 ± 2
Inorgânicos				
Arsênio	mg/L	0,05	< 0,05	1,0
Bário	mg/L	0,1	0,12	70,0
Cádmio	mg/L	0,05	< 0,05	0,5
Chumbo	mg/L	0,05	< 0,05	1,0
Cromo Total	mg/L	0,05	< 0,05	5,0
Fluoreto	mg/L	1,0	< 1,0	150,0
Mercúrio	mg/L	0,05	< 0,05	0,1
Prata	mg/L	0,05	< 0,05	5,0
Selênio	mg/L	0,05	< 0,05	1,0
Pesticidas				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,001	< 0,001	0,003
Clordano (isômeros)	mg/L	0,005	< 0,005	0,02
DDT (p,p' DDT + p,p' DDD + p,p' DDE)	mg/L	0,01	< 0,01	0,2
2,4-D	mg/L	0,01	< 0,01	3,0
Endrin	mg/L	0,01	< 0,01	0,06
Heptacloro e Epóxidos	mg/L	0,001	< 0,001	0,003
Lindano	mg/L	0,05	< 0,05	0,2
Metoxicloro	mg/L	0,05	< 0,05	2,0
Pentaclorofenol	mg/L	0,05	< 0,05	0,9
Toxafeno	mg/L	0,05	< 0,05	0,5
2,4,5-T	mg/L	0,05	< 0,05	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,05	< 0,05	1,0



Tabela 2 (cont.). Determinações sobre o Lixiviado obtido de acordo com NBR 10005:2004

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Outros Orgânicos				
Benzeno	mg/L	0,01	< 0,01	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	0,01	< 0,01	0,07
Cloreto de Vinila	mg/L	0,01	< 0,01	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,01	< 0,01	100
Clorofórmio	mg/L	0,01	< 0,01	6,0
o-Cresol	mg/L	1,0	< 1,0	200,0
m-Cresol	mg/L	1,0	< 1,0	200,0
p-Cresol	mg/L	1,0	< 1,0	200,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,01	< 0,01	7,5
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,01	< 0,01	0,13
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,01	< 0,01	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,01	< 0,01	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	3,0
Metilacetona	mg/L	50,0	< 50,0	200,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,01	< 0,01	2,0
Piridina	mg/L	5,0	< 5,0	5,0
Tetracloro de Carbono	mg/L	0,01	< 0,01	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	4,0
Tricloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	7,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,1	< 0,1	400,0
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,1	< 0,1	20,0

Tabela 3. Determinações sobre o Solubilizado obtido de acordo com NBR 10006:2004

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
pH Final			10,6	
Inorgânicos				
Alumínio	mg/L	0,05	0,05	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Bário	mg/L	0,1	0,20	0,7
Cádmio	mg/L	0,005	< 0,005	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	< 0,05	0,07
Cloreto	mg/L	1,0	< 1,0	250,0
Cobre	mg/L	0,05	< 0,05	2,0
Cromo Total	mg/L	0,05	< 0,05	0,05
Fenóis Totais	mg/L	0,01	0,01	0,01
Ferro	mg/L	0,05	0,15	0,3
Fluoreto	mg/L	0,1	0,37	1,5
Manganês	mg/L	0,05	< 0,05	0,1
Mercurio	mg/L	0,001	< 0,001	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,1	< 0,1	10,0
Prata	mg/L	0,05	< 0,05	0,05
Selênio	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Sódio	mg/L	0,1	1,30	200,0



Tabela 3 (cont.) Determinações sobre o Solubilizado obtido de acordo com NBR 10006:2004

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Sulfato (como SO ₄)	mg/L	1,0	6,26	250,0
Surfactantes	mg/L	0,1	< 0,1	0,5
Zinco	mg/L	0,05	< 0,05	5,0
Orgânicas				
Aldrin e Dieldrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,00003
Clordano (Isômeros)	mg/L	0,0002	< 0,0002	0,0002
2,4-D	mg/L	0,001	< 0,001	0,03
DDT (Isômeros)	mg/L	0,001	< 0,001	0,002
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,0006
Heptaclororo e Epóxidos	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,00003
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,001
Lindano (γ-BHC)	mg/L	0,001	< 0,001	0,002
Metoxicloro	mg/L	0,005	< 0,005	0,02
Toxafeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,005
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,002
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	0,03

LQ*: Limite de Quantificação

VMP** Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004:2004.

Nota 1: Os resultados referem-se somente à amostra analisada.
Este Boletim Analítico só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Este Boletim Analítico cancela e substitui o de N°5000882.

Nota 2: **Interpretação dos resultados:**

Solubilizado: Os parâmetros não ultrapassaram os Limites Máximos Permitidos. Limites baseados na listagem N°. 8 da ABNT NBR 10.004.

Lixiviado: Os parâmetros não ultrapassaram os Limites Máximos Permitidos. Limites baseados na listagem N°. 7 da ABNT NBR 10.004.

Em relação aos parâmetros monitorados, a amostra de resíduo identificada como "Resíduo de Escória.", deve ser considerado como de Classe II - B - Inerte. Salientamos, porém que a disposição desse resíduo deverá ser recomendada pelo órgão de controle ambiental. Para a interpretação dos dados obtidos para Lixiviado e Solubilizado, foram consultadas os anexos "F" e "G" da Norma ABNT NBR 10.004:2004.

Boletim Analítico revisado em 18.03.05


 André Alêx Colletti
 Técnico Químico
 CRQ 04447446 - 4ª Região
 18/03/05
 Data


 Nereida Ap. Bongiorno
 Responsável pelo Projeto
 CRQ 04409149 - 4ª Região
 18/03/05
 Data

ANEXO - C

ENSAIO COMPLETO DE COMPACTAÇÃO ESCÓRIA- CIMENTO-CAL

Escola de engenharia de São Carlos - USP							
Departamento de Transportes - STT							
Laboratório de estradas							
Ensaio de compactação de solos							
Identificação: Amostra	75% - Escoria						Cilindro: 12
	16,7% - Cal						Tara: 2300 g
	8,3% - Cimento						VOLUME: 1013 cm ³
Compactação							
Determinação		1	2	3	4	5	6
Volume do cilindro	(cm ³)	1013	1013	1013	1013	1013	
Cilindro com solo úmido	(g)	4250	4340	4385	4385	4365	
Tara do cilindro	(g)	2300	2300	2300	2300	2300	
Solo úmido	(g)	1950	2040	2085	2085	2065	
ρ_w	(g/cm ³)	1,925	2,014	2,058	2,058	2,038	
ρ_d	(g/cm ³)	1,695	1,735	1,753	1,722	1,681	
Teor de umidade							
Cápsula	(g)	31	39	45	67	84	
Cápsula com solo úmido	(g)	104,29	98,50	100,36	95,74	100,13	
Cápsula com solo seco	(g)	95,42	88,63	89,75	84,59	87,88	
Água	(g)	8,87	9,87	10,61	11,15	12,25	
Tara da cápsula	(g)	30,16	27,27	28,87	27,40	30,21	
Solo seco	(g)	65,26	61,36	60,88	57,19	57,67	
Umidade	(%)	13,59	16,09	17,43	19,50	21,24	
Umidade ótima (w _{ot})		17,80 %			Massa específica aparente seca máxima (ρ_{dmax})		
					1,755 g/cm ³		
Energia: Normal				Data: 25-set-06			
Operador:							

ANEXO - D

**ENSAIO COMPLETO DO LIXIVIADO E SOLUBILIZADO DO
COMPOSTO ECC**

 Ensaio Físico-Químico Para Caracterização e Classificação de Resíduos Sólidos Industriais

Índice

1 – Objetivo.....	2
2 – Metodologia de coleta e ensaios.....	2
3 – Coleta da amostra.....	2
4 – Ensaio físico-químico – extrato da lixiviação.....	3
5 – Ensaio físico-químico – extrato da solubilização.....	3
6 – Avaliação do resíduo.....	4
7 – Classificação dos resíduos.....	4

1 – Objetivo.

O objetivo do presente trabalho foi a Caracterização Físico-Química do Resíduo Sólido Industrial da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira Ltda - Piracicaba – SP para fins de Classificação quanto aos riscos à saúde e ao meio ambiente, quando de sua manipulação e disposição final.

O resíduo foi encapsulado nas proporções 1:7 e 1:10 (uma parte de cimento e sete partes de resíduo e uma parte de cimento e dez partes de resíduo).

2 – Metodologia de Coleta e Ensaio.

Coleta do resíduo sólido de acordo com a Norma NBR 10007 – Amostragem de Resíduos.

As metodologias utilizadas para lixiviação e solubilização são as descritas nas normas NBR 10005 e NBR 10006, respectivamente.

Os ensaios foram realizados de acordo com os métodos da 20ª Edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA – AWWA – WEF.

O critério de qualificação adotado foi a Norma ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos.

3 – Coleta da Amostra

Foi coletada, pelo Interessado, 01 amostra representativa do resíduo para os ensaios de lixiviação e solubilização assim identificada:

01 – Corpo de prova – 1:7.

02 – Corpo de prova – 1:10.

03 – Corpo de prova – escória calcário.

Ensaio Físico-Químico Para Caracterização e Classificação de Resíduos Sólidos Industriais

4 – Ensaio físico-químico – Extrato da Lixiviação.

Foi executado o ensaio de lixiviação do resíduo sólido conforme Norma NBR 10005. Para estes ensaios foi utilizada uma proporção de 100 gramas de amostra para 1600 mililitros de água destilada.

Agitou-se pôr cinco minutos e verificou-se o pH inicial.

Esta mistura foi submetida a agitação constante e ajustou-se o pH para $5,0 \pm 0,2$, quando necessário, com ácido acético 0,5 Normal após espaços de tempo de 5, 15, 30, 60 minutos e 24 horas.

Adiciono-se um volume de água destilada a cada frasco em função do volume de ácido acético adicionado para correção do pH e filtrou-se em membrana de $0,45 \mu\text{m}$, gerando assim o extrato da lixiviação.

Os resultados do Ensaio de Lixiviação e os Resultados Analíticos podem ser vistos em anexo.

5 – Ensaio Físico-Químico – Extrato da Solubilização

Foram executados os ensaios de solubilização do resíduo conforme Norma NBR 10006. Para estes ensaios foi utilizada uma proporção de 250 gramas de amostra para 1000 mililitros de água destilada.

A mistura foi agitada pôr cinco minutos, deixada em repouso pôr sete dias e filtrada pôr membrana de $0,45 \mu\text{m}$, gerando assim o extrato da solubilização.

Os resultados do Ensaio de Solubilização e os Resultados Analíticos podem ser vistos em anexo.

Ensaio Físico-Químico Para Caracterização e Classificação de Resíduos Sólidos Industriais

6 – Avaliação dos Resíduos

Nos ensaios efetuados no extrato da lixiviação, nenhum parâmetro ultrapassou o limite fixado na Norma NBR 10004.

Nos ensaios efetuados no extrato da solubilização, os parâmetros *Chumbo*, *Cádmio*, *Ferro Total* e *Fluoreto* ultrapassaram o limite fixado na Norma NBR 10004.

7 – Classificação do Resíduo

De acordo com as Características Físico-Químicas apresentadas, e segundo a Avaliação, este resíduo é **Classificado como:**

Classe II – Não Inerte.

SÃO CARLOS, 14 DE SETEMBRO DE 2005


P/LAB. DE SANEAMENTO-SHS-EESC-USP
JULIO CESAR TROFINO
CRQ – 04216517 – 4ª REGIÃO



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
 Departamento de Hidráulica e Saneamento
 Laboratório de Saneamento

INTERESSADO **COMPANHIA SIDERÚRGICA BELGO MINEIRA LTDA
 PIRACICABA – SP**

AMOSTRA **RESÍDUO SÓLIDO ENCAPSULADO**
 DATA DA COLETA **16.08.2005**
 COLETADA POR **INTERESSADO**

ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS-NBR-10.005

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 20ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETROS		AMOSTRAS (*)		
		01	02	VMP
pH INICIAL		9,75	9,48	X
pH FINAL		4,90	5,03	X
VOLUME ÁC. ACÉTICO 0,5 N ADICIONADO	(mL)	18,0	15,0	X
TEMPO DE LIXIVIAÇÃO	(HORAS)	24	24	X
CHUMBO	(mg Pb/L)	< 0,02	< 0,02	1,0
CÁDMIO	(mg Cd/L)	< 0,0006	< 0,0006	0,5
CROMO TOTAL	(mg Cr/L)	< 0,005	< 0,005	5,0
PRATA	(mg Ag/L)	< 0,001	< 0,001	5,0
FLUORETOS	(mg F ⁻ /L)	0,67	0,53	150,0

(*) 01 – CORPO DE PROVA – 1:7.
 02 – CORPO DE PROVA – 1:10.
 VMP – VALOR MÁXIMO PERMITIDO – ANEXO G LISTAGEM N^o 7 – CONCENTRAÇÃO – LIMITE
 MÁXIMO NO EXTRATO OBTIDO NO TESTE DE LIXIVIAÇÃO (mg/L).

OS RESULTADOS APRESENTADOS NESTE CERTIFICADO REFEREM-SE EXCLUSIVAMENTE ÀS AMOSTRAS ENVIADAS AO LABORATÓRIO, NA DATA DA COLETA INFORMADA PELO INTERESSADO.

OBS: O ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO FOI EXECUTADO SEGUNDO A NORMA NBR-10.005/1987 POR SOLICITAÇÃO DO REQUERENTE, CABENDO AO MESMO TODA E QUALQUER RESPONSABILIDADE QUANTO A CLASSIFICAÇÃO E DISPOSIÇÃO DO RESÍDUO.

SÃO CARLOS, 14 DE SETEMBRO DE 2005

P/LAB. DE SANEAMENTO-SHS-EESC-USP
 JULIO CESAR TROFINO
 CRQ – 04216517 – 4ª REGIÃO



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Hidráulica e Saneamento
Laboratório de Saneamento

INTERESSADO

COMPANHIA SIDERÚRGICA BELGO MINEIRA LTDA
PIRACICABA – SP

AMOSTRA
DATA DA COLETA
COLETADA POR

RESÍDUO SÓLIDO ENCAPSULADO
16.08.2005
INTERESSADO

ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS-NBR-10.006

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 20ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETROS	AMOSTRAS (*)				
	01	02	03	VMP	
pH INICIAL	9,80	9,65	9,73	X	
pH FINAL	10,43	10,41	10,53	X	
ZINCO (mg Zn/L)	< 0,002	< 0,002	< 0,002	5,0	
CHUMBO (mg Pb/L)	0,09	0,12	0,13	0,05	
CÁDMIO (mg Cd/L)	0,01	0,01	0,03	0,005	
FERRO TOTAL (mg Fe/L)	0,54	< 0,005	< 0,005	0,3	
MANGANÊS (mg Mn/L)	0,02	0,01	0,01	0,1	
COBRE (mg Cu/L)	< 0,003	0,01	< 0,003	1,0	
CROMO TOTAL (mg Cr/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05	
PRATA (mg Ag/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,05	
ALUMÍNIO (mg Al/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,2	
SÓDIO (mg Na/L)	12,3	11,7	19,5	200,0	
FLUORETOS (mg F/L)	1,70	1,35	1,73	1,5	
NITRATOS (mg N/L)	4,10	5,43	10,17	10,0	
CLORETOS (mg Cl/L)	63	90	180	250,0	
DUREZA TOTAL (mg CaCO ₃ /L)	136	142	128	500,0	
SULFATOS (mg SO ₄ ²⁻ /L)	16	14	28	400,0	
CIANETOS (mg CN/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1	
FENÓIS (mg C ₆ H ₅ OH)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	

- (*) 01 – CORPO DE PROVA – 1:7.
02 – CORPO DE PROVA – 1:10.
03 – CORPO PROVA – ESCÓRIA CALCÁRIO.
VMP – VALOR MÁXIMO PERMITIDO – ANEXO H LISTAGEM Nº 8 – PADRÕES PARA O TESTE DE SOLUBILIZAÇÃO – LIMITE MÁXIMO NO EXTRATO (mg/L).

OS RESULTADOS APRESENTADOS NESTE CERTIFICADO REFEREM-SE EXCLUSIVAMENTE ÀS AMOSTRAS ENVIADAS AO LABORATÓRIO, NA DATA DA COLETA INFORMADA PELO INTERESSADO.

OBS: O ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO FOI EXECUTADO SEGUNDO A NORMA NBR-10.006/1987 POR SOLICITAÇÃO DO REQUERENTE, CABENDO AO MESMO TODA E QUALQUER RESPONSABILIDADE QUANTO A CLASSIFICAÇÃO E DISPOSIÇÃO DO RESÍDUO.

SÃO CARLOS, 14 DE SETEMBRO DE 2005

PILAB. DE SANEAMENTO-SHS-EESC-USP
JULIO CESAR TROFINO
CRO – 04216517 – 4ª REGIÃO

ANEXO - E

**ENSAIO COMPLETO DO SOLUBILIZADO DOS CIMENTOS
PORTLAND**

INTERESSADOPESQUISADOR : **ANTONIO CARLOS GIOCONDO CESAR**
Dep. ARQUITETURA E URBANISMO – LCC**AMOSTRAS**Novembro / 2005
COLETADA POR

RESIDUO – ESCÓRIA

CIMENTOS – CP 05, CPII-E32, CPIII-32RS
INTERESSADO**ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS – NBR- 10006****ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 20.ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS**

PARAMETROS	AMOSTRAS					VMP
	CP 05	CPII-E32	CPIII-32RS	ESCORIA		
ph inicial	12,58	12,45	12,48	12,46		x
ph final	12,67	12,78	12,54	12,34		x
ZINCO (mg Zn/L)	0,22	0,20	0,01	0,08		5,0
CHUMBO (mg Pb/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02		0,05
CADMIO (mg Cd/L)	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006		0,005
FERRO TOTAL (mg Fé/L)	0,15	0,18	0,09	0,15		0,3
MANGANÊS (mg Mn/L)	0,02	0,02	0,01	0,01		0,1
COBRE (mg Cu/L)	0,01	< 0,003	0,01	0,02		1,0
CROMO TOTAL (mg Cr/L)	0,29	0,28	0,08	0,04		0,05
PRATA (mg Ag/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		0,05
ALUMINIO (mg Al/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,52		0,2
SÓDIO (mg Na/L)	603,3	235,30	293,8	28,0		200,0
FLUORETOS (mg F/L)	1,20	1,83	1,80	2,60		1,5
NITRATOS (mg N/L)	0,46	0,51	13,20	15,48		10,0
CLORETOS (mg Cr/L)	700	300	2300	2900		250
DUREZA TOTAL (mg CaCo/L)	1358	1455	2328	1698		500
SULFATOS (mg SO ₄ /L)	< 1	< 1	1800	< 1		400
CIANETOS (mg CN/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		0,1
FENÓIS (mg C ₆ H ₅ OH)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,060		0,001

DATA: NOVEMBRO/2005

- SOLUBILIZAÇÃO -

INTERESSADO: ANTONIO CARLOS GIOCONDO - SAP - USP - SÃO CARLOS - SP.

ENSAIOS → AMOSTRAS ↓	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	Na (mg/L)
01 - CP 05	0,22	< 0,02	< 0,0006	0,15	0,02	0,01	0,29	< 0,001	< 0,01	603,3
02 - CP II - E 32	0,20	< 0,02	< 0,0006	0,18	0,02	< 0,003	0,29	< 0,001	< 0,01	235,3
03 - CP III - 32 RS	0,01	< 0,02	< 0,0006	0,09	0,01	0,01	0,08	< 0,001	< 0,01	293,8
04 - ESCÓRIA	0,08	< 0,02	< 0,0006	0,15	0,01	0,02	0,04	< 0,001	0,52	28,0

DATA: NOVEMBRO/2005

- SOLUBILIZAÇÃO -

INTERESSADO: ANTONIO CARLOS GIOCONDO - SAP - USP - SÃO CARLOS - SP.

ENSAIOS → AMOSTRAS ↓	Cianeto	Fenol	Fluoreto	Nitrato	Cloreto	Dureza Total	Sulfato	pH Inicial	pH Final
01 - CP 05	< 0,001	< 0,001	1,20	0,46	700	1358	< 1	12,58	12,67
02 - CP II - E 32	< 0,001	< 0,001	1,83	0,51	300	1455	< 1	12,45	12,78
03 - CP III - 32 RS	< 0,001	< 0,001	1,80	13,20	2300	2328	1800	12,48	12,54
04 - ESCÓRIA	< 0,001	0,050	2,60	15,48	2900	1698	< 1	12,48	12,34

ANEXO - E

ENSAIO COMPLETO DO SOLUBILIZADO DOS CIMENTOS

PORTLAND

INTERESSADOPESQUISADOR : **ANTONIO CARLOS GIOCONDO CESAR**
Dep. ARQUITETURA E URBANISMO – LCC**AMOSTRAS**Novembro / 2005
COLETADA POR

RESIDUO – ESCÓRIA

CIMENTOS – CP 05, CPII-E32, CPIII-32RS
INTERESSADO**ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS – NBR- 10006****ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 20.ª EDIÇÃO DO STANDARD METHODS**

PARAMETROS	AMOSTRAS					VMP
	CP 05	CPII-E32	CPIII-32RS	ESCORIA		
ph inicial	12,58	12,45	12,48	12,46		x
ph final	12,67	12,78	12,54	12,34		x
ZINCO (mg Zn/L)	0,22	0,20	0,01	0,08		5,0
CHUMBO (mg Pb/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02		0,05
CADMIO (mg Cd/L)	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006		0,005
FERRO TOTAL (mg Fé/L)	0,15	0,18	0,09	0,15		0,3
MANGANÉS (mg Mn/L)	0,02	0,02	0,01	0,01		0,1
COBRE (mg Cu/L)	0,01	< 0,003	0,01	0,02		1,0
CROMO TOTAL (mg Cr/L)	0,29	0,28	0,08	0,04		0,05
PRATA (mg Ag/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		0,05
ALUMINIO (mg Al/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,52		0,2
SÓDIO (mg Na/L)	603,3	235,30	293,8	28,0		200,0
FLUORETOS (mg F/L)	1,20	1,83	1,80	2,60		1,5
NITRATOS (mg N/L)	0,46	0,51	13,20	15,48		10,0
CLORETOS (mg Cr/L)	700	300	2300	2900		250
DUREZA TOTAL (mg CaCo/L)	1358	1455	2328	1698		500
SULFATOS (mg SO ₄ /L)	< 1	< 1	1800	< 1		400
CIANETOS (mg CN/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001		0,1
FENÓIS (mg C ₆ H ₅ OH)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,060		0,001

DATA: NOVEMBRO/2005

- SOLUBILIZAÇÃO -

INTERESSADO: ANTONIO CARLOS GIOCONDO - SAP - USP - SÃO CARLOS - SP.

ENSAIOS → AMOSTRAS ↓	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	Na (mg/L)
01 - CP 05	0,22	< 0,02	< 0,0006	0,15	0,02	0,01	0,29	< 0,001	< 0,01	603,3
02 - CP II - E 32	0,20	< 0,02	< 0,0006	0,18	0,02	< 0,003	0,29	< 0,001	< 0,01	235,3
03 - CP III - 32 RS	0,01	< 0,02	< 0,0006	0,09	0,01	0,01	0,08	< 0,001	< 0,01	293,8
04 - ESCÓRIA	0,08	< 0,02	< 0,0006	0,15	0,01	0,02	0,04	< 0,001	0,52	28,0

DATA: NOVEMBRO/2005

- SOLUBILIZAÇÃO -

INTERESSADO: ANTONIO CARLOS GIOCONDO - SAP - USP - SÃO CARLOS - SP.

ENSAIOS → AMOSTRAS ↓	Cianeto	Fenol	Fluoreto	Nitrato	Cloreto	Dureza Total	Sulfato	pH Inicial	pH Final
01 - CP 05	< 0,001	< 0,001	1,20	0,46	700	1358	< 1	12,58	12,67
02 - CP II - E 32	< 0,001	< 0,001	1,83	0,51	300	1455	< 1	12,45	12,78
03 - CP III - 32 RS	< 0,001	< 0,001	1,80	13,20	2300	2328	1800	12,48	12,54
04 - ESCÓRIA	< 0,001	0,050	2,60	15,48	2900	1698	< 1	12,48	12,34

ANEXO – F

DETERMINAÇÃO DE MASSA BRUTA, LIXIVIADO E SOLUBILIZADO DO COMPOSTO ECC

Traço Definitivo



BOLETIM DE ANÁLISE N° 29327/2006-0 A
Processo Comercial: 3221/2006-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

<i>Empresa solicitante:</i>	Belgo Siderurgia S.A
<i>Endereço:</i>	Avenida Marechal Castelo Branco, 101 – Vila Rezende - Piracicaba / SP – CEP: 13.412-901
<i>Nome do Solicitante:</i>	Sandra Nogueira

RESÍDUO TIJOLO CONCRETO + CAL (CORPO DE PROVA)

Análise Solicitada: Caracterização de Resíduo segundo NBR 10004.

Realizado por
 Bioagri Ambiental Ltda.
 Rua Aujovil Martini, 201 – Bairro Dois Córregos
 Piracicaba / SP

Data de Entrada no Laboratório

09.06.2006

Data de Conclusão

25.07.06



Informações Gerais

- **Identificação da Amostra:** Resíduo (Tijolo Concreto + Cal – Corpo de Prova)
- **Coletor:** Interessado
- **Data/Hora da Coleta:** 08.06.06
- **Metodologia:** As metodologias utilizadas pela BIOAGRI foram baseadas “SW 846 (USEPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number 846, Washington, DC)” e as referências:
 Norma NBR 10004:2004 da ABNT - Classificação de Resíduos Sólidos
 Norma NBR 10005:2004 da ABNT - Ensaio de Lixiviação
 Norma NBR 10006:2004 da ABNT - Ensaio de Solubilização

As determinações sobre os extratos do Solubilizado e Lixiviado foram realizadas com base nos seguintes métodos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 20th Edition – 1998:

VOC's:	USEPA SW 846 – 8260B Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS); USEPA SW 846 – 5021 Volatile Organic Compounds in Soils and Other Solid Matrices Using Equilibrium Headspace Analysis.
SVOC's:	USEPA SW 846 – 8270C Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) SMEWW 6410 B Extration Liquid / Liquid - GC / MS
Ânions:	EPA Method 300.1 – Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
Sódio:	SMEWW 3111 B – Direct Air-Acetylene Flame Method
Metais:	SMEWW 3120 B – Inductively Coupled Plasma (ICP) Method
Mercúrio:	SMEWW 3112 B – Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method
Cianetos:	SMEWW 4500 – CN ⁻ - C – Total Cyanide after Distillation SMEWW 4500 – CN ⁻ - F – Cyanide-Selective Electrode Method
Fenóis Totais:	USEPA SW 846 – 9065 – Phenolics (Spectrophotometric, Manual 4-AAP with Distillation)
pH:	SMEWW 4500 – H ⁺ - B – Electrometric Method
Sólidos:	SMEWW 2540 – B Total Solids Dried at 103 – 105 °C.
Sulfeto:	SMEWW 4500 S ²⁻ F – Iodometric Method
Surfactantes:	SMEWW 5540 C – Anionic Surfactants as MBAS



Resultados Analíticos da Amostra de Resíduo de Tijolo e Concreto + Cal – Corpo de Prova

Tabela 1. Determinações sobre a Massa Bruta.

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Umidade	% p/p	0,1	2,00	
Inflamabilidade *				
Ponto de Fulgor	°C		> 60	60 ^d
Corrosividade ^b				
pH (suspensão a 50%)			11,6	2,0 – 12,5
Reatividade ^c				
			Não Reativo	Não reativo
Cianeto (como HCN)	mg/kg	0,2	< 0,2	250
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/kg	1,0	< 1,0	500

(a) = Para a avaliação da Inflamabilidade foi monitorado o item "a" do tópico 4.2.1.1 da NBR 10004:2004

(b) = Para a avaliação da Corrosividade foi monitorado o item "a" do tópico 4.2.1.2 da NBR 10004:2004

(c) = Para a avaliação da Reatividade do Resíduo foram monitorados os itens "a", "b", "c" e "e" do tópico 4.2.1.3 da NBR 10004:2004

(d) = Valor Máximo para Resíduos Líquidos

Tabela 2. Determinações sobre o Lixiviado obtido de acordo com NBR 10005:2004

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,1	98,0	
pH Final			7,96	
Solução de Extração			2	
Tempo Total de Lixiviação (h)			18	18 ± 2
Inorgânicos				
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,1	0,337	70,0
Cádmio	mg/L	0,01	< 0,01	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Cromo Total	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	4,2	150,0
Mercurio	mg/L	0,001	< 0,001	0,1
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0
Pesticidas				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,003	< 0,003	0,003
Clordano (isômeros)	mg/L	0,003	< 0,003	0,02
DDT (p,p' DDT + p,p' DDD + p,p' DDE)	mg/L	0,01	< 0,01	0,2
2,4-D	mg/L	0,01	< 0,01	3,0
Endrin	mg/L	0,01	< 0,01	0,06
Heptacloro e Epóxidos	mg/L	0,001	< 0,001	0,003
Lindano	mg/L	0,05	< 0,05	0,2
Metoxicloro	mg/L	0,05	< 0,05	2,0
Pentaclorofenol	mg/L	0,05	< 0,05	0,9
Toxafeno	mg/L	0,05	< 0,05	0,5
2,4,5-T	mg/L	0,05	< 0,05	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,05	< 0,05	1,0



Tabela 2 (cont.). Determinações sobre o Lixiviado obtido de acordo com NBR 10005:2004

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Outros Orgânicos				
Benzeno	mg/L	0,1	< 0,1	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	0,01	< 0,01	0,07
Cloro de Vinila	mg/L	0,01	< 0,01	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,1	< 0,1	100
Clorofórmio	mg/L	0,5	< 0,5	6,0
o-Cresol	mg/L	1,0	< 1,0	200,0
m-Cresol	mg/L	1,0	< 1,0	200,0
p-Cresol	mg/L	1,0	< 1,0	200,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,01	< 0,01	7,5
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,01	< 0,01	0,13
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,01	< 0,01	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,01	< 0,01	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	3,0
Metilcetonona	mg/L	5,0	< 5,0	200,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,01	< 0,01	2,0
Piridina	mg/L	5,0	< 5,0	5,0
Tetracloro de Carbono	mg/L	0,01	< 0,01	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	4,0
Tricloroetano	mg/L	0,01	< 0,01	7,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,1	< 0,1	400,0
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,1	< 0,1	20,0

Tabela 3. Determinações sobre o Solubilizado obtido de acordo com NBR 10006:2004

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
pH Final			12,69	
Inorgânicos				
Alumínio	mg/L	0,05	1,0	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Bário	mg/L	0,1	0,43	0,7
Cádmio	mg/L	0,005	< 0,005	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,025	< 0,025	0,07
Cloro	mg/L	1,0	11,2	250,0
Cobre	mg/L	0,05	< 0,05	2,0
Cromo Total	mg/L	0,01	< 0,01	0,05
Fenóis Totais	mg/L	0,01	0,04	0,01
Ferro	mg/L	0,05	< 0,05	0,3
Fluoreto	mg/L	0,5	0,7	1,5
Manganês	mg/L	0,01	< 0,01	0,1
Mercurio	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,5	< 0,5	10,0
Prata	mg/L	0,005	< 0,005	0,05
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	20,9	200,0



Tabela 3 (cont.) Determinações sobre o Solubilizado obtido de acordo com NBR 10006:2004

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	VMP
Sulfato (como SO ₄)	mg/L	5	< 5	250,0
Surfactantes	mg/L	0,1	< 0,1	0,5
Zinco	mg/L	0,01	0,037	5,0
Orgânicas				
Aldrin e Dieldrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,00003
Clordano (Isômeros)	mg/L	0,0002	< 0,0002	0,0002
2,4-D	mg/L	0,001	< 0,001	0,03
DDT (Isômeros)	mg/L	0,001	< 0,001	0,002
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,0006
Heptaclororo e Epóxidos	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,00003
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,001
Lindano (γ-BHC)	mg/L	0,001	< 0,001	0,002
Metoxicloro	mg/L	0,005	< 0,005	0,02
Toxafeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,005
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,002
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	0,03

LQ*: Limite de Quantificação

VMP** Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004:2004.

Nota 1: Os resultados referem-se somente à amostra analisada.
Este Boletim Analítico só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
Este Boletim Analítico cancela e substitui o de N° 29327/2006.

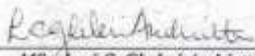
Nota 2: **Interpretação dos resultados:**

Solubilizado: Os parâmetros Alumínio e Índice de Fenóis ultrapassaram os Limites Máximos Permitidos. Limites baseados no Anexo G. da ABNT NBR 10.004.

Lixiviado: Os parâmetros não ultrapassaram os Limites Máximos Permitidos. Limites baseados no Anexo F. da ABNT NBR 10.004.

Em relação aos parâmetros monitorados, a amostra de resíduo identificada como "Resíduo de Tijolo e Concreto + Cal - Corpo de Prova.", deve ser considerado como de Classe II A - Não Inerte. Salientamos, porém que a disposição desse resíduo deverá ser recomendada pelo órgão de controle ambiental. Para a interpretação dos dados obtidos para Lixiviado e Solubilizado, foram consultadas os anexos "F" e "G" da Norma ABNT NBR 10.004:2004.

Boletim Analítico Revisado em 07.08.06


MSc. Luci C. Gheleri Andrietta
Química
CRQ 04253374 - 4ª Região

07/08/06
Data


Nereida Ap. Bongiorno
Coordenadora do Projeto
CRQ 04409149 - 4ª Região

07/08/06
Data

ANEXO - G

**ANÁLISE COMPLETA DOS PARÂMETROS DE MICROTOX
NO COMPOSTO ECC**



BOLETIM DE ANÁLISE Nº 29328/2006-0
Processo Comercial Nº 3221/2006-1

DADOS REFERENTES AO CLIENTE

Empresa solicitante:	Belgo Siderurgia S/A.
Endereço:	Avenida Marechal Castelo Branco, 101 - Vila Rezende - Piracicaba - SP - CEP: 13.412-901
Nome do Solicitante:	Sandra Nogueira

DADOS REFERENTES A AMOSTRA

Identificação do Cliente:	Tijolo Concreto + Cal (Corpo de Prova)		
Amostra Rotulada como:	Resíduo		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	8/6/2006 09:00:00
Data da entrada no laboratório:	09/06/2006	Data de Elaboração do BA:	10/08/2006

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	98,2
Microtox			Resultado em Anexo

Notas

LQ = Limite de Quantificação.

Abrangência

O(s) resultado(s) referem-se somente à(s) amostra(s) analisada(s).

Este Boletim de Análise só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Data de realização das análises

A Bioagri Ambiental garante que todas as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro segundo Guia de Coleta e Preservação de Amostra SQB 008 da Bioagri Ambiental, e condições descritas na proposta comercial referente este trabalho. Todas estas datas constam nos dados brutos das análises e estão à disposição para serem solicitadas a qualquer momento pelo interessado.

Plano de Amostragem

Plano de amostragem de responsabilidade do interessado.

Trabalhos Subcontratados

As análises dos parâmetros Microtox foram executadas em laboratório subcontratado autorizados pela GQL - Bioagri Ambiental.

Não conformidades, desvios e observações

Resultado de Toxicidade no Boletim Nº EAMM/43554/2006 da CETESB em anexo.

Referências Metodológicas

Sólidos Totais: SMEWW 2540 - B Total Solids Dried at 103 - 105 °C

Revisores

Marcos Ceccatto

Nereida Aparecida Bongiorno


 Marcos Donizete Ceccatto
 Coordenador de Projeto
 CRQ 04432847 - 4ª Região



CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
EAMM - SETOR DE ANÁLISES TOXICOLÓGICAS
BOLETIM DE ANÁLISES

Pág: 1 / 2

N.º EAMM/43554/2006

DADOS GERAIS

Amostra: 0630394
 OS: 71100100
 Programa: VENDA-ANÁLISE DE LABORATÓRIO
 SS/Processo: 682/2006/APPC
 Emissão do Boletim: 07/07/2006

COM CAL**DADOS DO CLIENTE**

Nome: BIOAGRI AMBIENTAL LTDA
 Endereço: R. AUJOVIL MARTINI, 201
 Município: PIRACICABA Estado: SP

DADOS DA COLETA

Descrição: 96719 - Tijolo concreto + corpo de prova.
 Coletor (es): Interessado
 Data da coleta: 08/06/2006 Hora da coleta: 09:00
 Tipo: material sólido

DADOS DO RECEBIMENTO DA AMOSTRA NO LABORATÓRIO

Condições da amostra: Conforme
 Data/hora do recebimento: 14/06/2006 16:11

RESULTADOS ANALÍTICOS**Teste Toxicidade Aguda-Vibrio fischeri**

	Resultado	Unidade	Data do ensaio	Hora do ensaio
CE20, 15 min (pH corrigido)	N.T. (---)	%	22/06/2006	10:05
CE50, 15 min Controle Positivo	3,49 (2,30 - 5,29)	mg/L		

LEGENDAS

CE20 15 min: concentração efetiva da amostra que causa 20% de redução na quantidade de luz emitida por *Vibrio fischeri* a 15 °C, após 15 minutos de exposição.
 CE50 15 min: concentração efetiva da amostra que causa 50% de redução na quantidade de luz emitida por *Vibrio fischeri* a 15 °C, após 15 minutos de exposição.
 N.T. : Não tóxica.

OBSERVAÇÕES

O pH do solubilizado da amostra analisada foi alterado de 11,8 para 6,5 utilizando-se uma solução de HCl 1N.

CONCLUSÕES

O solubilizado da amostra analisada não apresentou efeito tóxico agudo frente a cultura de *Vibrio fischeri*.

MÉTODOS

Análise de toxicidade segundo SO PR/LB-018 - Bioensaio de Toxicidade Aguda com *Vibrio fischeri* em amostras aquosas - Sistema Microtox
 Solubilização aquosa segundo EPA - USA Permit Guidance Manual on Hazardous Waste Land Treatment Demonstration (1986).

NOTAS

Concentração máxima da amostra testada: 81,9%.
 Controle positivo: Solução de ZnSO₄.7H₂O 100 mg/L.

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração
 Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada

Atendimento ao cliente: fone: 11-3030 7065, fax: 11-3030 6103 e-mail: apdq@cetesb.sp.gov.br

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Sede: Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - CEP 05459-900 - São Paulo - SP - Tel.: (0xx11) 3030-6000, Fax: (0xx11) 3030-6402 - Telex: 1183063 - C.N.P.J. n.º 42.776.491/0001-70 - Ins. Est. n.º 109.091.375-118 - Ins. Munic. n.º 8.000.315-7 - Site: www.cetesb.sp.gov.br



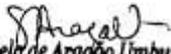
CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
EAMM - SETOR DE ANÁLISES TOXICOLÓGICAS
BOLETIM DE ANÁLISES

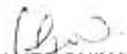
Pág

N.º EAMM/43554/2006

DADOS GERAIS

Amostra: 0630394
OS: 71100100
Programa: VENDA-ANÁLISE DE LABORATÓRIO
SS/Processo: 682/2006/APPC
Emissão do Boletim: 07/07/2006


Gisela de Aragão Umbuzeiro
Gerente da Divisão de Toxicologia,
Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental
Reg. 01 4491-D - CRB 02.110/01-D


GILSON ALVES QUINAGLIA
Químico
Registro CETESB: 4486-5
CRQ:04220481

Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração

Os resultados desta análise referem-se tão somente à amostra encaminhada

Atendimento ao cliente: fone: 11-3030 7065, fax: 11-3030 6103 e-mail: apdq@cetesb.sp.gov.br

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Sede: Av. Prof. Frederico Normano Jr., 345 - CEP 05459-900 - São Paulo - SP - Tel.: (0xx11) 3030-
Fax: (0xx11) 3030-6402 - Telex: 1183053 - C.N.P.J. n.º 43.776.491/0001-70 - Insc. Est. n.º 109.091.375-118 - Insc. Munic. n.º 8.030.313-7 - Site: www.cetesb.sp.gov.br

ANEXO - H

PROJETO CASA MODELO

ANEXO - I

MEMORIAL DESCRITIVO CASA MODELO

ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO CASA MODELO

Os colaboradores que participam do projeto são:

Consórcio PCJ, Belgo-Mineira de Piracicaba, USP, CPFL, Amanco Brasil Ltda., Unilever Brasil, Reciplac, etc.

A especificação do projeto da casa modelo será conforme memorial descritivo, sujeito a alterações, como segue:

1 - Serviços Iniciais:

Constarão de limpeza do terreno, terraplenagem e montagem do canteiro de obras;

2 - Fundação:

Será feita sondagem no solo para definição da profundidade das brocas; em seguida serão executadas as sapatas e vigas baldrames, conforme indicado no projeto executivo de fundação. Os serviços devem ser executados de acordo com as normas técnicas apropriadas;

3 - Estrutura:

Será em alvenaria estrutural com blocos de escória 4 mpa, espessura da parede de $\frac{1}{2}$ =12,50 cm e parede de 1 = 25,00 cm. Serão executados grautes com ferro $\frac{1}{4}$ " no interior dos blocos indicados no projeto de execução. O mezanino será em estrutura metálica, conforme indicação no projeto arquitetônico.

4 - Alvenaria:

A alvenaria será executada com blocos de escória 4mpa, com espessura da parede de $\frac{1}{2}$ =12,50 cm e parede de 1 =25,0 cm, assentados a seco sem argamassa, somente encaixados.

Obs.: Os blocos serão doados pela **Belgo e EESC_USP**;

5 - Lajes:

Será do tipo pré-fabricada, com lajotas em cerâmica e capa de concreto esp.= 5 cm, somente nos dormitórios e banheiros. O acabamento final na parte inferior da laje será com gesso (e=2 cm) desempenado para receber 2 (duas) demãos de látex;

6 - Telhado:

O telhado será executado com estrutura metálica, telhas de material reciclado nas dimensões de 0,90 m x 2,20 m, sobreposição de 15 cm a 20 cm, fixadas sobre a estrutura metálica de acordo com projeto de execução. A estrutura metálica do telhado deverá receber uma proteção anticorrosiva e pintura na cor preta fosca. Na área externa, as vigotas e telhas serão aparentes, sendo que na parte interna será revestida com forro de PVC branco e manta térmica.

Obs.: As telhas serão doadas pela **Unilever**;

7 - Pisos Internos:

O piso interno será de cerâmica 40 cm x 40 cm do tipo porcelanato, na área do *hall*, dormitórios, salão, estar, cozinha, *wc* didático e parte do mezanino; os *wcs* funcionais terão piso cerâmico antiderrapante;

8 - Pisos Externos:

O piso da área externa será de concreto estampado nas cores ocre e branco;

9- Revestimento:

O revestimento de azulejo nos banheiros, cozinha e área de serviço será de cerâmica na dimensão 20 cm x 20 cm de cor branca, com arremate de faixa 10 cm x 15 cm até a altura de 1,50 m, sendo o restante da parede revestido com gesso (e = 2 cm). As paredes internas dos

dormitórios serão revestidas com gesso (e = 2 cm) desempenado e as paredes externas com tijolo aparente e textura;

10 - Pintura:

Tinta látex PVA na cor branca e Marrocos na fachada, aplicada em duas demãos; na parte interna, tinta látex na cor branca e palha nas paredes, forros de laje na cor branca, aplicada em duas demãos. As tintas das ferragens e estrutura metálica serão esmalte sintético na cor preto fosco e a caixilharia esmalte sintético na cor branco acetinado;

11 - Caixilharia:

As janelas e portas dos dormitórios serão de madeira imbuia para verniz, assim como as portas dos banheiros; as janelas de cozinha e banheiros didáticos terão batentes em madeira com vidros temperados e com abertura do tipo basculante, variando dimensões e modelos conforme descrito em projeto. As fachadas terão detalhes em estrutura metálica e vidro temperado, conforme o projeto e as portas de entradas serão em chapas metálicas. As janelas de ventilação localizadas na parte superior do telhado serão de tipo veneziano em acrílico branco leitoso, nas dimensões indicadas no projeto;

12 - Fechaduras:

Em todas as portas, dormitórios, banheiros e portas de entrada, as fechaduras serão da marca Arouca ou Papaiz, ambas cromadas;

13- Vidros:

O vidro dos dormitórios será transparente com espessura de 3 mm, e os vidros restantes serão temperados na cor bronze com espessura de 8 mm, nas dimensões descritas no projeto;

14 - Instalação Hidráulica e Esgoto:

Todo o sistema de água fria, águas pluviais, esgoto primário e secundário serão executados com tubos e conexões de PVC da marca Amanco, nas dimensões especificadas no projeto hidráulico, em conformidade com as normas da ABNT.

Os pontos de água fria serão os seguintes:

- **Entrada de água:** com hidrômetro individual, padrão da concessionária local;
- **Jardim interno:** dois pontos de torneira para limpeza externa e irrigação de jardim;
- **Banheiros funcionais:** quatro pontos de água fria e quente para lavatórios, dois ponto para as bacias com caixa acoplada e dois pontos para ducha higiênica em cada banheiro, sendo um masculino e outro feminino;
- **Banheiro didático:** seis pontos de água nos lavatórios, sendo um ponto de água quente e cinco de água fria; dois pontos de água para bacias sanitárias, sendo um para válvula hidra e um para caixa acoplada, além de um ponto para ducha higiênica e três pontos de água para chuveiro, sendo um de água quente e dois de água fria;
- **Cozinha:** três pontos de água para pia de cozinha, sendo um de água quente e dois de água fria;
- **Lavanderia:** dois pontos de água fria, sendo um para o tange e outro para a máquina de lavar roupas;
- **Casa de máquinas:** o sistema hidráulico terá uma caixa d'água de 1000 L e um sistema de aquecedor solar composto por 4 placas de 1,20 m x 2,00 m e um boiler de 500 L.

Obs.: Por se tratar de uma casa ecológica, será executado um sistema de cisterna para captação e armazenamento de água de chuva, o qual irá abastecer uma caixa d'água de 1000L para redistribuição desta água. Outro dispositivo hidráulico será o sistema de tratamento de esgoto, que tratará o esgoto doméstico e o conduzirá para irrigação do viveiro de plantas, conforme projeto de execução.

Os tubos e conexões, assim como as caixas d'água e cisternas, serão doadas pela **Amanco**;

15 – Louças e Metais

As louças serão na cor branca e os metais serão cromados; nas bancadas de cozinha bica móvel e fixa nos lavatórios, bancadas de granito cinza andorinha, medidas especificadas em projeto-executivo;

- **Banheiros funcionais:** duas bacias de louça com caixa acoplada na cor branca, duas duchas higiênicas cromadas e três cubas de louça na cor branca fixadas na bancada do lavatório, que será em granito cinza andorinha. O lavatório terá três torneiras cromadas com misturador para água quente e fria;
- **Banheiro didático:** terá uma bancada em granito cinza andorinha, com três cubas de louça branca e três torneiras, uma com misturador água quente e água fria, outra somente com água fria, e outra com sensor de movimento que controla o abrir e fechar da água;
- **Cozinha:** pia com bancada de granito cinza andorinha, nas dimensões de acordo com projeto; cuba dupla em inox e duas torneiras com misturador água quente e fria, ambas com bica móvel;
- **Lavanderia:** tanque de louça com coluna na cor branca, torneiras cromadas para máquina de lavar roupa e tanque;
- **Área externa:** terá duas torneiras para irrigação de jardim e limpeza.

Obs.: Por se tratar de uma casa ecológica e didática, será executado um sistema de acrílico transparente com graduação numérica para medir o consumo de água nos pontos hidráulicos do banheiro didático, na cozinha e na área de serviço.

17 - Instalações Elétricas:

Serão executadas de acordo com a concessionária local, segundo as normas técnicas.

As instalações elétricas serão descritas a seguir, de acordo com o projeto elétrico:

- **Fachadas:** constarão nas fachadas frontais dois pontos elétricos para tomadas 110 V e 220 V, além de dois pontos para arandelas de parede e um ponto para arandela de teto;
- **Hall de exposição:** constarão de cinco pontos de tomadas 110 V, dois pontos para telefone (internet), um ponto para luminária de teto, caixa de interruptores e ponto para medidor de energia no ambiente;
- **Salão de painéis:** constarão de quatro pontos de tomadas 110 V, caixa de distribuição com capacidade para doze disjuntores, nove pontos para iluminação embutida dicróica e incandescente, além de seis pontos para iluminação fluorescente; no jardim interno 3 pontos para iluminação de jardim, além de interruptores do próprio ambiente e dos ambientes de acesso. Constarão também os medidores de energia do próprio ambiente como os dos ambientes de acesso.
- **Dormitórios:** em cada dormitório haverá quatro pontos de tomadas 110 V, um ponto de telefone (internet), um ponto de TV, um ponto de iluminação incandescente no teto e caixa de interruptores, além do medidor de energia do ambiente;
- **Estar:** constarão quatro pontos de tomadas 110 V, um ponto de TV, ponto de iluminação incandescente no teto e caixa de interruptores, além do medidor de energia do ambiente;
- **Cozinha:** constarão cinco pontos de tomadas, sendo três 110 V e duas 220 V, ponto de iluminação incandescente no teto e caixa de interruptores, além do medidor de energia do ambiente;

- **Área de serviço:** constarão três pontos de tomada 110 V, ponto de iluminação incandescente no teto e caixa de interruptores, além do medidor de energia do ambiente;
- **Banheiro didático:** constarão três tomadas, sendo uma 110 V e duas 220 V, ponto de iluminação incandescente no teto caixa de interruptores, além do medidor de energia do ambiente;
- **Banheiro funcional:** constarão dois pontos de tomadas 110 V, ponto de iluminação incandescente no teto, ponto de iluminação incandescente de parede e caixa de interruptores em cada banheiro;
- **Mezanino** constarão seis pontos de tomadas 110 V, seis pontos de iluminação incandescente, três pontos de iluminação fluorescente e caixa de interruptores;
- **Casa de máquinas** contarão quatro pontos de tomadas, sendo duas 110 V e duas 220 V, um ponto de iluminação incandescente no teto, caixa de interruptores e caixa para seis disjuntores.

Obs.: Por se tratar de uma casa ecológica e didática, em todos os ambientes haverá um medidor de consumo de energia, com exceção da casa de máquinas, mezanino, banheiro funcional e fachadas.

ANEXO - J

HISTÓRICO DO AÇO

HISTÓRICO DO AÇO

O período em que se constituem as bases técnicas das nossas civilizações corresponde ao chamado Período Neolítico ou Nova Idade da Pedra, quando alguns povos tiveram um embrião de metalurgia, fazendo o uso acidental de metais nativos, especialmente o ouro. As transições de um grande período histórico para o seguinte são sempre graduais, e assim ocorreu com a transição da Idade da Pedra para a Idade dos Metais: o uso do cobre, depois do bronze e em seguida do ferro vai se definindo pouco a pouco na evolução dessas culturas, sem introduzir uma brusca modificação.

A origem da metalurgia é desconhecida, pois pressupõe uma síntese do uso coerente de um conjunto de processos. A forja consiste em percussões (martelo), o fogo (fornalha), a água (têmpera), o ar (fole) e os princípios da alavanca; no início a raridade dos metais era tão grande que apenas armas eram forjadas. Ao mencionar a descoberta do ferro, ultrapassamos os limites dos tempos pré-históricos e invadimos a era da história escrita. O vestígio mais remoto deste metal é um conjunto de quatro esferas de ferro, datadas de 4.000 a.C., encontradas em El-Gezivat, no Egito.

Antes de saber como obter o ferro pela fusão de seus minérios, o homem por vezes construía ferramentas e armas de pedaços de meteoritos de ferro batido - ao ferro assim obtido davam o nome de celeste. Antes da Grécia e de Roma, os Cálibes, estabelecidos sobre a costa meridional do Mar Negro, iniciaram por volta do 17º século antes de Cristo a extrair o minério do solo e a trabalhá-lo, suplantando assim a utilização do bronze. A fusão começou a existir na Ásia Menor por volta de 1.500 a.C., e a arte se tornou amplamente conhecida por volta de 1.000 a.C.

Todo o ferro primitivo seria hoje em dia classificado como ferro forjado (batido). O método de obtê-los consistia em abrir um buraco em uma encosta, forrá-lo com pedras, enchê-

lo com minério de ferro e madeira ou carvão vegetal e atear fogo ao combustível. Uma vez que todo o combustível era queimado, encontrava-se uma massa porosa, pedregosa e brilhante entre as cinzas. Essa massa era colhida e batida a martelo, o que tornava o ferro compacto e expulsava as impurezas em uma chuva de fagulhas. Os tarugos acabados, chamados “lupa”, tinham aproximadamente o tamanho de uma batata das grandes. Com o tempo, o homem aprendeu como tornar o fogo mais quente soprando-o com um fole, e a construir um forno permanente de tijolos em vez de meramente fazer um buraco no chão. O aço era feito pela fusão do minério de ferro com grande excesso de carvão vegetal ou juntando ferro maleável e carvão vegetal e cozinhando o conjunto durante vários dias, até que o ferro absorvesse carvão suficiente para se transformar em aço. Como esse processo era oneroso e incerto e os fundidores nada sabiam da química do metal com que trabalhavam, o aço permaneceu por muitos anos um metal escasso e dispendioso.

Durante as civilizações clássicas, no domínio das técnicas industriais, as civilizações do Egito e Mesopotâmia foram na verdade os “professores” da Grécia, que com suas habilidades técnicas fez de Atenas a grande escola da precisão e da perfeição, tanto no domínio das formas como no domínio das idéias. Assim, a ciência nascia das livres especulações gregas - o pensamento matemático, a criação da “mecânica racional”, (Arquimedes 287 - 212 a. C.) - elucidando completamente os princípios gerais da alavanca. O estudo geral do equilíbrio dos sólidos fundado nas experiências das primeiras máquinas simples constitui o ponto de partida racional de todos os processos da mecânica aplicada, preparando a transformação técnica do mundo e o desenvolvimento industrial.

Após a queda do Império Romano, desenvolveu-se na Espanha a chamada Forja Catalã, que veio a dominar todo o processo de obtenção de ferro e aço durante a Idade Média, espalhando-se notadamente pela Alemanha, Inglaterra e França. Assim, da aurora da Idade do Ferro até a última parte da Idade Média, o ferro era feito na fornalha ou “forja para fiar o

ferro”. Ocasionalmente resultava o aço, conhecido como aço “natural”; porém, o que de modo geral se obtinha era o ferro doce e soldável, rico em escória e impurezas.

O fim da Idade Média, que prepara a Europa moderna pela extensão do maquinismo, é também testemunha das primeiras intervenções do capitalismo no esforço para a produção industrial. O grande impulso na metalurgia foi a força hidráulica aplicada aos foles da forja a partir dos princípios do século XIII. Assim se obteve uma temperatura mais elevada e regular; com a carburação mais ativa deu origem à fundição, correndo na base do forno o ferro fundido susceptível de fornecer peças moldadas.

O progresso técnico mais importante na história da indústria siderúrgica foi a invenção do alto-forno. O primeiro foi construído no século XV, provavelmente na Renânia, região da atual Alemanha. A invenção alterou a escala e a natureza do trabalho em ferro. O alto-forno a carvão mineral apareceu por volta de 1630. O primeiro laminador remonta aproximadamente ao ano 1700. O processo de refinação do ferro chamado pudlagem (transformação de gusa em ferro) foi patenteado na Inglaterra em 1781 por Henry Cort, difundindo-se com rapidez inusitada; desenvolveu-se também a técnica do aço de cadinho - Krupp é um dos reivindicantes da patente em 1815. O rápido desenvolvimento dos métodos de refinação e trabalho do ferro abriu caminho a novas utilizações do metal e à construção de máquinas industriais. A verdadeira máquina é o metal - o desenvolvimento da metalurgia condicionará todo o desenvolvimento do maquinismo.

A Revolução Industrial provocou a desaparecimento das florestas europeias na produção do ferro; como substituto surgiu a utilização do carvão de pedra. A partir de 1774, iniciou-se o uso do coque (combustível oriundo da destilação de carvão de pedra) para redução do minério de ferro. Isso veio determinar, por privilégios geológicos, a Grã-Bretanha, que foi a maior beneficiária dessa conquista científica por possuir, em territórios economicamente próximos, jazidas de minério de ferro e de carvão de pedra, dominando o mercado internacional de ferro

a ponto de ser considerada a “oficina mecânica do mundo”. A expansão da Revolução Industrial modificou totalmente a metalurgia e o mundo; o uso de máquinas a vapor para injeção de ar no alto-forno, laminadores, tornos mecânicos e o aumento de produção transformaram o ferro e o aço nos mais importantes materiais de construção.

No início da década de 1890, os Estados Unidos e a Alemanha ultrapassavam a indústria britânica na sua mercadoria essencial, o aço. Em 1957, os Estados Unidos e o Canadá produziram conjuntamente 36,6% do ferro gusa e 36,5% do aço bruto do mundo. Na segunda metade do século XIX, o desenvolvimento siderúrgico foi muito rápido, aparecendo os processos Siemens Martin (1865), Bessemer (1870) e Thomas (1888) de obtenção do aço em escala industrial. Outro método de fabricação do aço que ganhou ampla aceitação foi o forno elétrico. Mas, devido às suas pesadas demandas de energia, é de operação dispendiosa. Embora seja capaz de fabricar o ferro gusa, é normalmente utilizado para o ulterior refino do metal já refinado. Atualmente o processo mais utilizado na obtenção do aço é o LD (Linz-Donawitz) e, nas aciarias espalhadas pelo mundo, são produzidas centenas de milhões de toneladas por ano de aços das mais diversas qualidades e propriedades mecânicas, sob a forma de chapas, perfis, barras, tubos, trilhos, etc. A marca de um milhão de toneladas por ano foi conseguida em 1876; em 1926 já se fabricavam cem milhões de toneladas ao ano, chegando-se atualmente a níveis de 900 milhões de toneladas ou mais.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)