



FLÁVIO ANDREOTE DOS SANTOS

**GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
INDUSTRIAIS: ANÁLISE DE RESÍDUO
SIDERÚRGICO**

LAVRAS – MG

2015

FLÁVIO ANDREOTE DOS SANTOS

**GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: ANÁLISE DE
RESÍDUO SIDERÚRGICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, Curso Mestrado Profissional, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Marcio Pozzobon Pedroso

Coorientador

Dr. André Geraldo C. Ribeiro

LAVRAS – MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Flávio Andreote dos.

Gestão de resíduos sólidos industriais : análise de resíduo
siderúrgico / Flávio Andreote dos Santos. – Lavras : UFLA, 2015.
90 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador: Marcio Pozzobon Pedroso.

Bibliografia.

1. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2. Cinzas Volantes.
3. Resíduos Sólidos de Construção e Demolição. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

FLÁVIO ANDREOTE DOS SANTOS

**GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: ANÁLISE DE
RESÍDUO SIDERÚRGICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, Curso Mestrado Profissional, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 09 de julho de 2015.

Dra. Iara do Rosário Guimarães UFLA

Dr. Anderson Alves Santos IFMG

Dr. Marcio Pozzobon Pedroso
Orientador

LAVRAS – MG

2015

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais (PGTIA), pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

Aos Departamentos de Química (DQI) e de Ciências do Solo (DCS). Ao professor Paulo Fernando Trugilho e à Isabel Cristina Nogueira Alves Melo, do Departamento de Ciências Florestais (DCF), pela disponibilização de equipamentos.

Aos professores que compõem o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais (PGTIA), pela compreensão, dedicação e ensinamentos transmitidos.

Aos professores Marcio Pozzobon Pedroso e André Geraldo C. Ribeiro, pela paciência, compromisso e motivação, durante a orientação e realização deste trabalho, com relevante contribuição para minha qualificação profissional.

Ao amigo graduando Carlos Alberto Rios, pela indispensável ajuda na condução dos experimentos.

Aos membros da banca de defesa, professores Iara do Rosário Guimarães e Anderson Alves Santos, pela atenção e compromisso demonstrados.

À coordenadora do curso Prof^a. Adelir Aparecida Saczk e à secretária do PGTIA Gisele pela dedicação, presteza e apoio proporcionados durante o desenvolvimento da pesquisa e trâmites acadêmicos.

E principalmente, agradeço a Deus e a minha família, pelo amparo incondicional, sem o qual não seria possível a realização da pesquisa e a conclusão deste trabalho.

RESUMO GERAL

A gestão ambiental de resíduos sólidos industriais (RSI) e resíduos de construção e demolição (RCD), no Brasil e nos estados, não está devidamente caracterizada devido à falta de dados sobre a geração da padronização das informações obtidas pelos órgãos de controle e da não conferência das declarações prestadas pelos geradores e gestores. A precária caracterização da gestão do RSI e RCD, somada à incorporação do resíduo siderúrgico em artefatos cerâmicos, uma alternativa à disposição final, indica a destinação irregular de RSI e aponta um lapso de gestão no que tange aos RCD incorporados com cinzas volantes siderúrgicas. Gestão que se apresenta inadequada em relação a Política Nacional de Resíduos Sólidos e maximiza os potenciais danos ambientais decorrentes das atividades siderúrgicas. Diante desse contexto, a pesquisa teve por objetivo analisar a gestão do RSI proveniente da indústria siderúrgica e RCD incorporados com RSI siderúrgico no estado de Minas Gerais (MG). Foram coletadas amostras de cinzas volantes, provenientes do sistema de tratamento de gases dos altos-fornos em três empresas siderúrgicas na cidade de Divinópolis/MG, que utilizam carvão vegetal como fonte de calor. As amostras foram submetidas a ensaios de lixiviação e solubilização para avaliação da concentração de elementos traços nos extratos obtidos, em conformidade com as normatizações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com o objetivo de caracterizar o RSI e analisar a gestão aplicada. Os resultados indicam que o resíduo se caracteriza como perigoso, devido a sua toxicidade e sua atual gestão no estado de MG está ambientalmente inadequada.

Palavras-chave: Política Nacional de Resíduos Sólidos. Cinzas Volantes. Resíduos Sólidos de Construção e Demolição.

GENERAL ABSTRACT

Environmental management of industrial solid waste (ISW) and building waste (BW) in Brazil and its states is not properly characterized due to the lack of data on generation, standardization of information obtained by the control system and conference of the statements made by solid residue generators and managers. The precarious characterization of the management of ISW and BW, in addition to the incorporation of steel residue into ceramic artifacts, an alternative for disposal, indicates the irregular allocation of ISW and a lapse in management regarding BW built with steel fly ash. Inadequate management concerning the National Solid Waste Policy maximizes potential environmental damage caused by steel activities. In this context, the research aimed to analyze the management of ISW in the steel industry and BW containing steel ISW in the State of Minas Gerais (MG), Brazil. Samples were collected from fly ash obtained in gas treatment systems of blast furnaces in three steel companies in Divinópolis - MG, using charcoal as a heat source. The samples were subjected to leaching and solubilization tests to evaluate the concentration of trace elements in the extracts obtained in accordance with the norms of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), in order to characterize the ISW and analyze the applied management. The results indicates that the residue is characterized as hazardous due to its toxicity and its current management in the State of MG is environmentally inadequate.

Keywords: National Solid Waste Politics. Fly Ash. Building Solid Waste.

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1	Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte.....	19
Tabela 2	Empresas declarantes no Inventário RSI do estado de MG – 2010 a 2013.....	20
Tabela 3	Empresas siderúrgicas e resíduos do sistema de controle de emissão gasosa declarados no Inventário RSI do estado de MG – 2010 a 2013.....	22
Tabela 4	Resíduos sólidos incorporados à fabricação de artefatos cerâmicos	23
Tabela 5	Análise comparativa do lixiviado das cinzas volantes siderúrgicas, com os resultados obtidos no trabalho de Oliveira e Martins (2003) e os limites máximos estabelecidos pela ABNT NBR 10004/2004.....	25
Tabela 6	Análise comparativa do solubilizado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos no trabalho de Oliveira e Martins (2003) e normatizados pela ABNT NBR 10004/2004.....	26
Tabela 7	Análise comparativa do lixiviado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003)	35
Tabela 8	Análise comparativa do solubilizado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003)	36

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Classificação e características dos Resíduos Sólidos.	51
Tabela 2 - Limites Máximos para Lixiviação e Solubilização.	52
Tabela 3 - Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição.....	53
Tabela 4 - Massa Total de Resíduos Sólidos Coletados, Recebidos e Destinados – RCD e RSI	54
Tabela 5 - Produção de Produtos Siderúrgicos e Artefatos Cerâmicos.....	55
Tabela 6 - Empresas declarantes no Inventário RSI do estado de MG – 2010 a 2013.....	56
Tabela 7 - Destinação de RCD e RSI nos Municípios Brasileiros.....	58

ARTIGO 2

Tabela 1 Concentração de metais no lixiviados das cinzas volantes siderúrgicas	77
Tabela 2 Concentração de metais no solubilizados das cinzas volantes siderúrgicas	77
Tabela 3 Análise comparativa do lixiviado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003)	81
Tabela 4 Análise comparativa do solubilizado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003)	81

LISTA DE SIGLAS

AAF	Autorização Ambiental de Funcionamento
ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
LD	Limite de Detecção
ATT	Área de Transbordo e Triagem
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Políticas Ambientais de Minas Gerais
CTR	Controle de Transporte de Resíduo
DN	Deliberação Normativa
FGV	Fundação Getúlio Vargas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LO	Licença de Operação
MG	Estado de Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PVC	Policloreto de Vinila
RSI	Resíduo Sólido Industrial
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
SINIR	Sistema Nacional de Informações de Resíduos
SINISA	Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico
UFLA	Universidade Federal de Lavras

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Célsius
mg L ⁻¹	Miligramas por Litro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
pH	Potencial Hidrogeniônico
t	Tonelada
t/ano	Tonelada por Ano
un.	Unidades
µm	Micrometro

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO 12
2	REFERENCIAL TEÓRICO 15
2.1	Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos 15
2.2	Gestão e regularização ambiental estadual dos RSI 17
2.3	Geração de cinzas volantes (charcok) no estado de Minas Gerais 21
2.4	Incorporação de RSI na produção de artefatos cerâmicos 22
2.5	Caracterização das cinzas volantes (charcok) 24
2.6	Elementos traço, impactos ambientais e a gestão de RSI 26
3	MATERIAIS E MÉTODOS 29
4	CONSIDERAÇÕES GERAIS 35
	REFERÊNCIAS 39
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS 45	
	ARTIGO 1 Gestão de resíduos sólidos no Brasil: análise dos resíduos sólidos siderúrgicos e da construção e demolição 45
	ARTIGO 2 Gestão de resíduos sólidos industriais: análise de resíduo sólido siderúrgico 68

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída no Brasil no ano de 2010, objetiva de forma hierárquica, a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e, sendo inevitável, a disposição final adequada dos resíduos gerados durante o processo de produção e após o ciclo de vida do produto. Regula aspectos da fabricação, importação, transporte, tratamento e destinação final de todos os resíduos sólidos no território brasileiro, com o intuito de nortear, em norma geral, a regularização e a gestão ambiental, contemplando os resíduos sólidos industriais (RSI) e os resíduos de construção e demolição (RCD).

O processo de fabricação de vários produtos industriais gera RSI que ainda não possuem tecnologias adequadas para sua reutilização ou reciclagem, sendo necessário à sua disposição final ou intermediária, objetivando a posterior utilização. Alguns RSI já possuem alternativas para sua reutilização ou reciclagem, para outros, são desenvolvidos procedimentos de gestão e tecnologias que viabilizem a extensão do ciclo de vida. Esse aumento do ciclo de vida pode ocorrer por meio da reinserção do RSI na cadeia de produção nativa, por meio do reaproveitamento como matéria-prima ou da reciclagem e inserção nos processos de fabricação de outros produtos, ou ainda, com o emprego direto em atividades alternativas, como a utilização de RSI na fertilização do solo.

No Brasil, há um expressivo setor produtivo voltado para a siderurgia, que além de utilizar uma grande quantidade de matéria-prima de origem mineral, gera, durante o processo de produção, uma grande quantidade de resíduos sólidos, os quais devem seguir para uma destinação ambiental adequada.

Entretanto, devido ao grande volume gerado, a disposição final em aterros industriais torna-se onerosa, bem como demanda uma crescente expansão

de células para contenção dos resíduos junto à acomodação no solo. Faz-se necessário a busca por alternativas mais sustentáveis para a destinação dos resíduos gerados, como as cinzas volantes “pó de balão”, as quais são provenientes do sistema de controle de emissão gasosa dos altos-fornos empregados nos processos siderúrgicos.

A reutilização ou reciclagem dos RSI deve atender aos quesitos da sustentabilidade: social, econômico e ambiental. Apesar dos aspectos sociais e econômicos ser mais facilmente identificáveis, as questões ambientais são mais complexas de se verificar, podendo demandar mais tempo e recursos para sua correta caracterização. Todavia, o empreendedor e a sociedade, em grande parte, querem uma solução rápida para o problema. No entanto, soluções ambientais que não são amparadas em uma forte base científica ou que não verificam todos os aspectos envolvidos, podem gerar sérios danos ambientais.

Uma alternativa para a destinação das cinzas volantes siderúrgicas é a sua reciclagem, por meio do seu emprego em substituição a argila, utilizada no processo de produção da cerâmica vermelha. Observa-se que o processo de fabricação de tijolos e telhas, permite a incorporação de resíduos em sua produção, apresentando-se atualmente como uma alternativa ambiental adequada para a incorporação de resíduos provenientes de siderúrgicas, como o “pó de balão” e a lama de alto-forno, segundo a visão do órgão de controle ambiental do estado de Minas Gerais. Contudo, vários empreendimentos cerâmicos já empregam estes resíduos na atividade de produção, não havendo ainda uma regularização ambiental específica junto ao órgão de controle ambiental. Em complementação, estudos apontam a inserção de outros resíduos junto a fabricação de tijolos como forma de resolver o problema inerente a destinação adequada dos RSI.

Uma política ambiental estratégica focada para a gestão de resíduos sólidos no Brasil, somente foi implantada a partir do ano de 2010, com o

advento da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Atualmente, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) ainda está em processo de implantação, fato que indica uma grande preocupação no que tange ao correto tratamento e disposição adequada dos resíduos, principalmente em pequenos municípios e provenientes de pequenas empresas, que não são contempladas pelo processo de regularização ambiental, na modalidade de licenciamento. A disposição irregular de resíduos, os quais podem conter uma grande variedade de materiais perigosos ou não inertes, devido a concentração de elementos traço, pode causar a poluição de mananciais e aquíferos, além de potenciais danos a fauna, flora e à saúde humana.

O RSI proveniente do sistema de controle de emissão gasosa em altos-fornos siderúrgicos, cinzas volantes, conhecido amplamente no estado de Minas Gerais como “pó de balão”, foi analisado durante a realização deste trabalho quanto a concentração de elementos traço nos extratos lixiviados e solubilizados, em relação a atual gestão aplicada pelos órgãos ambientais.

Neste contexto, a gestão atualmente aplicada aos RSI deve ser amplamente analisada, desde a política de resíduos sólidos, a regularização ambiental junto ao órgão ambiental de controle, a gestão nas empresas que geram os resíduos, até o processo de fabricação de produtos cerâmicos com RSI, e a posterior destinação dos RCD incorporados.

O presente trabalho objetivou analisar as cinzas volantes geradas em altos-fornos que utilizam carvão vegetal como fonte de calor e a atual gestão aplicada a esse RSI no estado de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos

A Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), por meio da definição de princípios, objetivos, metas e instrumentos, além de apresentar diretrizes inerentes a gestão integrada de resíduos e estabelecer responsabilidades. Deste modo, as pessoas físicas e jurídicas, de direito privado ou público, que efetivamente ou indiretamente promovem a geração, ou aqueles que estejam envolvidos com a gestão integrada ou com o gerenciamento de resíduos sólidos, devem pautar suas atividades por meio das normas contidas no dispositivo legal em epígrafe. Compete à União, com a colaboração dos demais entes federativos, o efetivo cumprimento do direcionamento almejado à gestão de resíduos sólidos no Brasil.

A Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos trata-se de um tema multidisciplinar e transdisciplinar que envolve modificações substanciais na rotina social, econômica e ambiental a nível nacional, e demandou um extenso debate com o envolvimento de partes distintas, as quais de forma antagônica, buscavam o melhor posicionamento para a proteção de seus interesses. Neste contexto, desde a elaboração do Projeto de Lei até o texto final, verificou-se inúmeras normas que motivaram a atual redação da legislação em vigor. Contudo, a norma ainda necessita de uma regulamentação, sobretudo, em pontos polêmicos que motivam mudanças de hábito, de cultura e tecnologias.

A definição de logística reversa disposta na presente lei se caracteriza como um instrumento de desenvolvimento econômico, social e de proteção ambiental, direcionada por um conjunto de processos destinados à reciclagem do produto pela fonte geradora, seja no ciclo nativo ou em outros processos de

produção, focando além da coleta seletiva e da reciclagem, ao almejar uma “pré-reciclagem” pelo consumidor.

A reciclagem de cinzas volantes siderúrgicas, atualmente realizada por meio da incorporação de RSI em artefatos cerâmicos, pode dificultar esta “pré-reciclagem” do consumidor, devido ao fato da não identificação das peças cerâmicas que empregam RSI na sua produção e impedem a sua segregação visual daqueles artefatos cerâmicos clássicos, compostos apenas por argila. A produção de peças cerâmicas pode indicar uma solução ambiental para a destinação atual de RSI. Entretanto, a gestão dos RCD incorporados poderá causar potencialmente maiores danos ambientais, se não forem tomadas medidas adequadas de precaução, prevenção e mitigação dos impactos ambientais negativos.

Os princípios elencados para a Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos ratificam conceitos já estabelecidos por outras normas, tais como: a prevenção e a precaução, o poluidor-pagador e o protetor-recebedor, desenvolvimento sustentável, visão sistêmica, dentre outros. Além de estabelecer princípios novos, como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Os RSI devem ser segregados e destinados adequadamente, conforme disposto na norma legal, com responsabilidade ambiental compartilhada entre todos os responsáveis pela geração, coleta, transporte e triagem, tratamento, reutilização e reciclagem, além da disposição final. Deste modo, os responsáveis pela destinação dos RCD incorporados com RSI, devem atentar para a correta gestão desse resíduo, pois, a gestão clássica pode ser alterada se os constituintes dos RCD incorporados classificarem o resíduo não mais como inerte, mas sim, como não inerte ou perigoso.

Os objetivos estabelecidos na Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos corroboram com a visão estratégica nacional em relação à Política Nacional de Meio Ambiente e incluem finalidades com o intuito de sensibilizar a

não geração de resíduos sólidos, redução, reutilização, reciclagem e tratamento. E em última instância hierárquica, estar à disposição final adequada dos rejeitos.

Observa-se que a Política Nacional de Gestão Resíduos Sólidos imputou responsabilidades a todos os envolvidos na gestão, desde a extração de recursos naturais até a disposição final adequada de rejeitos. Estas obrigações são interligadas por meio de uma complexa teia que enfatiza a colaboração mútua, estimula a contratação de produtos e serviços ambientalmente sustentáveis, mediados por um enfático processo de educação ambiental.

Os instrumentos estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos vão desde os planos de resíduos sólidos até os incentivos de consórcios entre os entes federativos, com o intuito de maximizar o aproveitamento e reduzir os custos. Apresentam inovações como a obrigatoriedade do automonitoramento por meio de inventários e sistema declaratório anual de resíduos sólidos, incentivo à cooperação de catadores e à coleta seletiva, parceria público-privada com vistas ao fomento técnico para pesquisa de produtos, métodos e tecnologias. Além disso, a sistematização de banco de dados, contendo informações da gestão de resíduos sólidos junto ao Sistema Nacional de Informações de Resíduos (Sinir) e ao de informações de saneamento básico, o Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico (Sinisa) e bancos de dados que deveriam compilar todos os dados sobre os RSI, principalmente, a efetiva geração e gestão posterior.

2.2 Gestão e regularização ambiental estadual dos RSI

Os órgãos ambientais estaduais coletam informações sobre as fontes geradoras de resíduos industriais com o intuito de alimentar banco de dados e viabilizar a gestão adequada dos resíduos, em decorrência à imposição da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA 313/2002

(BRASIL, 2002), a qual dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Entretanto, pode-se observar que a malha de gestão do órgão de controle ambiental no estado de Minas Gerais contempla, atualmente, somente os grandes geradores. Isso está em conformidade com a Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Políticas Ambientais de Minas Gerais (COPAM) de nº 90/2005 (MINAS GERAIS, 2005), a qual determina que os empreendimentos classe 3 e 4 efetuem a declaração de forma bienal e as atividades classe 5 e 6, anualmente, as quais necessitam da Licença de Operação (LO), excluindo as classes 1 e 2, sujeitas a regularização ambiental por meio da Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF).

As classes das atividades potencialmente poluidoras e degradadoras do meio ambiente foram definidas no estado de Minas Gerais, pela Deliberação Normativa do COPAM 74/2004 (MINAS GERAIS, 2004), a qual estabelece a classificação por meio da relação entre o porte do empreendimento e o potencial poluidor e degradador geral da atividade. As atividades estão separadas e codificadas em grupos por tipologias, inerentes aos ramos desenvolvidos nos empreendimentos e serviços.

O porte da atividade está relacionado a diversos fatores diferentes para cada conjunto de códigos, como a capacidade de produção instalada, matéria processada, número de funcionários, área construída e quantidade de artefatos produzidos, dentre outros. O porte possui três níveis, pequeno, médio e grande, em algumas tipologias não se contempla as atividades abaixo do pequeno porte, denominadas de porte inferior. Para a siderurgia e elaboração de produtos siderúrgicos com redução de minérios, inclusive ferro-gusa, é empregada a codificação B-02-01-1, atividade com grande potencial poluidor e degradador, com definição de pequeno, médio e grande porte, de acordo com a capacidade de produção instalada, quantificada em toneladas por dia.

A interpolação dos dados obtidos na Tabela 1, indica o ato autorizativo que regulariza a atividade, para aquelas classificadas abaixo da classe 1, não é obrigatória a expedição de documento autorizativo. Para as classes 1 e 2 é requerida a Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF), e para as atividades classificadas de 3 a 6 é obrigatório o acobertamento por meio da Licença de Operação (LO). A AAF trata-se de um ato autorizativo precário, devido a sua natureza autodeclaratória, com dados informados pelos empreendedores. A LO requer um prévio Estudo de Impacto Ambiental e consequente Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), apresenta-se como um ato autorizativo mais protetivo ao meio ambiente.

Tabela 1 Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte

		Potencial poluidor/degradador geral da atividade		
		P	M	G
Porte do empreendimento	P	1	1	3
	M	2	3	5
	G	4	5	6

Fonte: Minas Gerais (2004).

A declaração da geração de RSI junto ao órgão ambiental estadual, somente contempla as atividades elencadas junto à DN do COPAM 74/2004, que estejam condicionadas ao licenciamento ambiental para seu funcionamento, ou seja, somente para aquelas atividades classificadas nas classes 3 a 6.

O Banco de Dados Ambientais – BDA, implantado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais – SEMAD, apresenta-se como uma ferramenta de gestão ambiental do estado. Porém, contempla apenas uma parcela do total de empreendimentos e possui suas informações pautadas nas declarações informadas pelos usuários. Deste modo, as empresas que se classificam como não passíveis de autorização

ambiental, classe 1 e 2, não precisam realizar o preenchimento anual do inventário, deixando uma grande parte de RSI fora do banco de dados.

A Tabela 2 apresenta a quantidade total de empresas que efetuaram a autodeclaração no Inventário de RSI no estado de Minas Gerais entre 2010 e 2013 (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014), dados que não indicam o total de empresas que deveriam realizar a declaração, não descrevem a geração por classes e referem-se aos mais atuais disponibilizados pelo inventário.

Tabela 2 Empresas declarantes no Inventário RSI do estado de MG – 2010 a 2013

Classes DN 74/04	Ato Autorizativo Aplicado	Periodicidade das Declarações	Empresas Declarantes – ED			
			2010	2011	2012	2013
Inferior	Não passível	Não declara	-*	-*	-*	-*
1	AAF	Não declara	-*	-*	-*	-*
2	AAF	Não declara	-*	-*	-*	-*
3	LO	Bienal	-*	ED	-*	ED
4	LO	Bienal	-*	ED	-*	ED
5	LO	Anual	ED	ED	ED	ED
6	LO	Anual	ED	ED	ED	ED
Quantidade Total de Empresas Declarantes			456	1.083	442	1.094

Fonte: Adaptada da FEAM (2010, 2011, 2012, 2013, 2014) e Minas Gerais (2004).
 “-*” – Quantidade de empresas não avaliada no período.

Os valores totais são inerentes ao somatório das empresas que declararam a geração de resíduos, conforme a periodicidade da obrigatoriedade de suas declarações. Observa-se que os empreendimentos de classe inferior, 1 e 2, não possuem a quantidade total de empresas declarantes, devido a não quantificação destas informações junto ao inventário. As atividades classe 3 e 4 apresentaram a geração de RSI em 2011 e 2013, já os empreendimentos classificados como 5 e 6 efetuaram a declaração em todo o período avaliado.

2.3 Geração de cinzas volantes (charcok) no estado de Minas Gerais

As cinzas volantes siderúrgicas, conhecidas no estado de Minas Gerais como “pó de balão” e internacionalmente como “charcok”, são RSI provenientes do sistema de controle de emissão dos gases dos altos-fornos siderúrgicos, com constituintes provenientes do carvão e do minério de ferro utilizados na produção do ferro gusa.

O total de empresas da tipologia B02 – Siderurgia com redução de minério, conforme codificação contida na DN do COPAM 74/2004 e o total de resíduos do sistema de controle de emissão gasosa declarados no Inventário de RSI no estado de Minas Gerais, entre os anos de 2010 e 2013 (FEAM, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014), estão apresentados na Tabela 3. Verifica-se que houve uma redução entre o total de empresas declarantes no ano de 2013, em relação ao ano de 2010, apesar do aumento da amplitude da pesquisa, conforme foi demonstrado na Tabela 2. As cinzas volantes listadas são descritas como não tóxicas, todavia, a sua caracterização é informada pelos geradores, os quais têm o dever de efetuar a gestão adequada de seus RSI ao órgão de fiscalização.

Observa-se que o total de empresas declarantes teve uma redução no ano de 2012 em relação ao ano de 2010, quando foram avaliadas as atividades classe 5 e 6, com redução da quantidade de toneladas de resíduos gerados no sistema de controle de emissão gasosa. Pode-se observar que o número de empresas declarantes em 2011 e 2013 praticamente se manteve, entretanto, o total de toneladas de resíduos gerados no sistema de controle de emissão gasosa foi superior a somatória de todos os períodos anteriormente apresentados.

Tabela 3 Empresas siderúrgicas e resíduos do sistema de controle de emissão gasosa declarados no Inventário RSI do estado de MG – 2010 a 2013

Descrição	Período			
	2010	2011	2012	2013
Quantidade de empresas declarantes da tipologia B-02 - Siderurgia com redução de minério	55	44	44	45
Toneladas de resíduos gerados no sistema de controle de emissão gasosa contendo substâncias não tóxicas (precipitadores, filtros de manga, dentre outros)	874.470	640.967	548.021	7.548.087

Fonte: Adaptada da FEAM (2010, 2011, 2012, 2013, 2014).

Infere-se que as quantidades não seguem uma tendência entre o número de empresas declarante e o total de resíduos gerados, fato que pode ter origem na não vinculação estrita do resíduo avaliado à atividade siderúrgica, com possíveis interferências de outros tipos de empreendimentos, devido a metodologia e apresentação de dados nos Inventários de Resíduos Sólidos Industriais no estado de Minas Gerais.

O processo de obtenção, sistematização e disponibilização das informações de dados referentes ao RSI no estado de Minas Gerais ainda é deficitário, pois como foi apresentado, não efetua o somatório de todos os RSI gerados, apenas efetua o somatório de informações obtidas em períodos, por meio de rotinas de declarações realizadas pelos grandes empreendimentos, com descarte dos pequenos geradores.

2.4 Incorporação de RSI na produção de artefatos cerâmicos

Atualmente, vários empreendimentos cerâmicos empregam RSI siderúrgicos na produção de artefatos cerâmicos, sem existir uma regularização ambiental específica junto ao órgão de controle ambiental nacional. Alguns

estudos apontam a inserção de outros resíduos junto à fabricação de tijolos, conforme apresentado na Tabela 4, como forma de resolver os problemas inerentes a destinação adequada dos RSI. A Minuta de Modificação da DN COPAM 74/2004 (MINAS GERAIS, 2013), está direcionada para o emprego de RSI siderúrgicos na incorporação, junto a produção de artefatos de cerâmica, na proporção de 10% de cinzas volantes ou de lama de alto-forno. Contudo, não apresenta medidas de identificação e controle das peças cerâmicas incorporadas com RSI.

Tabela 4 Resíduos sólidos incorporados à fabricação de artefatos cerâmicos

Tipo de Resíduo	Autores das Pesquisas
Rejeito da produção de tijolos	(DEMIR; ORHAN, 2003)
Cinza do bagaço de azeitona	(DE LA CASA ; CASTRO, 2014)
Resíduos de chá processado	(DEMIR, 2006)
Resíduos de café moído	(ELICHE-QUESADA et al., 2011)
Resíduo de pedras ornamentais	(VIEIRA ; MONTEIRO, 2009)
Lodo da estação de tratamento de água	(TEIXEIRA et al., 2011)
Resíduos de vidro	(LORYUENYONG et al., 2009)
Resíduos da produção de papel	(RAUT et al., 2012)
Resíduos da indústria têxtil	(VIEIRA; MONTEIRO, 2009)
Resíduos da indústria de fertilizantes	(JONKER ; POTGIETER, 2005)
Resíduo da indústria de ferro-liga e de aço	(JONKER ; POTGIETER, 2005)
	(LINGLING et al., 2005)
Cinzas volantes de usinas termoeletricas	(SENA DA FONSECA; GALHANO; SEIXAS, 2015)
	(CULTRONE; SEBASTIÁN, 2009)
Cinzas de incinerador	(ANDERSON et al., 1996)
	(MONTEIRO et al., 2007; MONTEIRO ; VIEIRA, 2005; PINHEIRO; HOLANDA, 2009)

As peças cerâmicas incorporadas com RSI apresentam-se visualmente similares aos artefatos clássicos, sem adição de resíduos. Conforme descreve

Anderson et al. (1996), os tijolos incorporados com cinzas volantes geradas durante a operação de incineradores são indistinguíveis dos artefatos cerâmicos comuns.

2.5 Caracterização das cinzas volantes (charcok)

O alto-forno siderúrgico possui um sistema de controle de emissão dos gases resultantes da queima do carvão para derretimento e redução do minério de ferro. Os particulados gerados no sistema contêm finos de carvão e minérios de ferro, que são recolhidos por meio de um coletor conhecido como “balão” e depositados temporariamente em vagões e recipientes, para uma posterior destinação do RSI, conforme esquema referenciado na Figura 1 (OLIVEIRA; MARTINS, 2003).

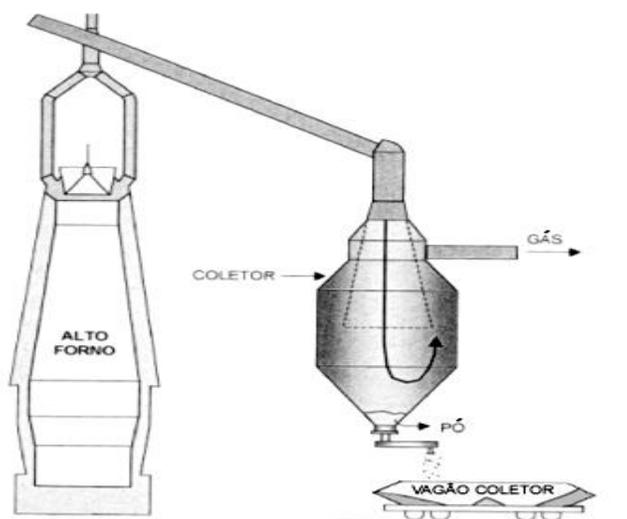


Figura 1 Representação esquemática do processo de geração do pó de balão
Fonte: Oliveira e Martins (2003).

Esta pesquisa avaliou as cinzas volantes siderúrgicas, conhecidas por “pó de balão”, provenientes do coletor do sistema de limpeza a seco dos gases do alto-forno siderúrgico, que emprega o carvão vegetal como fonte de calor. A denominação “Charcok” é usada internacionalmente para se referenciar ao RSI proveniente da indústria siderúrgica não integrada, que emprega o carvão vegetal (Charcoal) como redutor. A constituição das cinzas volantes siderúrgicas está relacionada às características do carvão e do minério de ferro utilizado na produção do ferro gusa.

A caracterização deste RSI é pautado, entre outras normas, nas Normas Brasileiras de Regulamentação (NBR) de números: 10004(ABNT, 2004a), 10005(ABNT, 2004b), 10006(ABNT, 2004c) e 10007(ABNT, 2004d), com o intuito de utilizar o padrão de análises responsável pelo direcionamento dos órgãos de controle e gestão ambiental.

Os ensaios de lixiviação em meio ácido e da solubilização em meio aquoso, apresentados nas Tabelas 5 e 6 compararam os valores da normatização estabelecida pela NBR 10004 (ABNT, 2004a), com resultados obtidos em ensaios realizados com amostras na cidade de Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais, no Brasil (OLIVEIRA; MARTINS, 2003).

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos pelos autores, durante os ensaios com o extrato lixiviado.

Tabela 5 Análise comparativa do lixiviado das cinzas volantes siderúrgicas, com os resultados obtidos no trabalho de Oliveira e Martins (2003) e os limites máximos estabelecidos pela ABNT NBR 10004/2004

Parâmetro	Limite Máximo NBR 10004/2004	Valores obtidos por Oliveira e Martins (2003)
Cádmio	0,5 mg L ⁻¹	<0,004 mg L ⁻¹
Chumbo	1 mg L ⁻¹	<0,05 mg L ⁻¹
Cromo Total	5 mg L ⁻¹	<0,016 mg L ⁻¹
Fenóis	10 mg kg ⁻¹	54,5 mg kg ⁻¹

Fonte: Adaptada de Oliveira e Martins (2003) e ABNT (2004a).

Os resultados indicam que a concentração dos metais analisados no extrato lixiviado está abaixo dos limites máximos estabelecidos. Além da determinação de metais pesados, os valores obtidos no trabalho realizado em Sete Lagoas classificam as amostras analisadas como resíduo classe I, perigoso, devido a quantidade de fenóis obtidos durante as análises.

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos por Oliveira e Martins (2003), no trabalho realizado em Sete Lagoas, em comparação com os limites máximos de concentração dos elementos traços presentes nos extratos solubilizados, conforme previsão contida na NBR 10004/2004 (ABNT, 2004a).

Tabela 6 Análise comparativa do solubilizado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos no trabalho de Oliveira e Martins (2003) e normalizados pela ABNT NBR 10004/2004

Parâmetro	Limite Máximo (mg L⁻¹) NBR 10004/2004	Valores obtidos (mg L⁻¹) por Oliveira e Martins (2003)
Manganês	0,1	0,389
Chumbo	0,01	<0,05
Cádmio	0,005	<0,004
Ferro	0,3	<0,164
Cobre	2	<0,010
Zinco	5	<0,001
Cromo Total	0,05	<0,016

Fonte: Adaptada de Oliveira e Martins (2003) e ABNT (2004a).

2.6 Elementos traço, impactos ambientais e a gestão de RSI

A degradação da qualidade ambiental é apresentada por meio de qualquer modificação nas características ambientais, conforme estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente, disposta na Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981). A gestão inadequada de RSI apresenta um grande potencial para a geração da poluição ambiental, sobretudo, no que tange a dispersão de

elementos traço, com a consequente contaminação do solo, atmosfera, recursos hídricos e danos à fauna e flora. Deve-se aplicar uma gestão ambiental aos RSI mais protetiva ao meio ambiente, a qual busque a mitigação dos impactos ambientais negativos.

Os elementos traço presentes nos RSI podem ser transportados por meio do lançamento de efluentes industriais, do escoamento de águas pluviais, da drenagem de materiais e de acidentais com substâncias químicas. Os agentes contaminantes podem contaminar o solo, os recursos hídricos e impactar severamente os ecossistemas, principalmente os costeiros (NASCIMENTO et al., 2000; NIPPER, 2000), devido à bioacumulação de diversos elementos traços nos vegetais e animais marinhos.

Os RCD incorporados com cinzas volantes siderúrgicas com concentrações de elementos traço similares às analisadas neste trabalho, podem lixiviar e solubilizar Pb e Mn para o ambiente e promover impactos ambientais negativos. O chumbo proveniente de atividades industriais, caso presente no solo poderá ser absorvido pelas plantas e animais, acumulando-se a cada nível trófico, conforme pesquisa desenvolvida com ovelhas em locais contaminados com este elemento traço (PAREJA-CARRERA; MATEO; RODRÍGUEZ-ESTIVAL, 2014). O metal se acumula gradativamente nos níveis tróficos, e consequentemente, o consumo da carne dessas ovelhas leva ao repasse desta carga para os seres humanos, processo denominado de magnificação na cadeia trófica. Outro caso de contaminação por metais se refere ao uso de águas superficiais e subterrâneas contaminadas com manganês em Huangxing Town, na China Oriental, apresenta um grande risco potencial à saúde humana, devido a seu potente caráter neurotóxico (ZENG et al., 2009).

A gestão aplicada aos RSI deve ser protetiva ao meio ambiente e precaver-se de possíveis impactos ambientais, por meio da aplicação da legislação específica, das normatizações pelos órgãos de controle, do

desencadeamento de ações mitigadoras das atividades potencialmente poluidoras e degradadoras, com o intuito de evitar severos danos ambientais e de aumentar a sustentabilidade ambiental dos empreendimentos e atividades.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As análises realizadas objetivaram identificar elementos traços nos extratos lixiviados e solubilizados, com o foco de caracterizar as cinzas volantes siderúrgicas por meio da NBR 10004 (ABNT, 2004a) e verificar a atual gestão ambiental aplicada ao resíduo siderúrgico.

As amostras de cinzas volantes analisadas foram obtidas junto a três empreendimentos siderúrgicos localizados na cidade de Divinópolis, no estado de Minas Gerais, no Brasil, as quais empregam em sua produção, o carvão vegetal, como fonte de calor.

A metodologia foi aplicada com base nas NBR 10004 (ABNT, 2004a), 10005 (ABNT, 2004b), 10006 (ABNT, 2004c) e 10007 (ABNT, 2004d), com o uso de equipamentos, vidraria e procedimentos definidos pelas normas. Todos os reagentes usados foram grau P.A. ou superior. Água tipo II foi usada para os ensaios de solubilização.

A concentração de elementos traço foi obtida por meio do espectrômetro de absorção atômica com chama Varian, SpectrAA 110 (Melbourne, Austrália), existente no Laboratório de Análises Foliar do Departamento de Química, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

As análises de Cd e Pb realizadas no Laboratório de Pedologia e Geoquímica Ambiental, do Departamento de Ciências do Solo da UFLA, utilizaram um espectrômetro de absorção atômica com forno de grafite (Perkin Elmer AAnalyst 800, EUA). Para o Cd as temperaturas foram: secagem 110 e 130°C, pirólise 500°C e atomização 1500°C. Para o Pb: secagem 110°C e 130°C, pirólise 850°C e atomização 1600°C. Para ambos os modificadores são 50 $\mu\text{g L}^{-1}$ de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ + 3 $\mu\text{g L}^{-1}$ de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ e a temperatura de limpeza 2400°C. A determinação dos demais metais foi realizada no Laboratório de Análises Folieares do Departamento de Química (UFLA), nas quais foi usado um

espectrômetro de absorção atômica com chama (Varian, SpectrAA 110, Melbourne, Australia)

A amostragem de resíduos sólidos está normatizada através da NBR 10007 (ABNT, 2004d), a qual fixa requisitos exigíveis, objetivando a coleta representativa do resíduo, permitindo determinar as suas características quanto a classificação e métodos de tratamento.

Foi estabelecido um plano de amostragem das cinzas volantes, dentro do grupo de três empresas distintas envolvidas no processo siderúrgico, com utilização de carvão vegetal como fonte de calor, no município de Divinópolis, no Estado de Minas Gerais.

Com o intuito de obter a concentração média do resíduo, foi realizada uma amostra composta. Foram retiradas quatro alíquotas das amostras de três seções: topo, meio, base, através da introdução oblíqua do amostrador, ou, sendo possível foi efetuado o espalhamento da pilha/monte e, a coleta foi realizada por quarteamento acondicionada em recipiente de polietileno, previamente higienizado com solução de ácido nítrico a 10%. As coletas foram realizadas com emprego de amostrador de pilhas e montes “Trier” e uma pá de polietileno, em volume de 2 litros para cada empreendimento. Não foram utilizados métodos adicionais de preservação das amostras, devido as coletas terem sido realizadas em amostras sólidas, destinada a análise de metais, com prazo previsto para armazenagem de 180 dias.

O procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos é descrito junto a NBR 10005 (ABNT, 2004b), a qual objetiva diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10004 (ABNT, 2004a), entre classe I, perigosos, e classe II, não perigosos. Definindo como lixiviação o processo de determinação da capacidade de transferência, através da dissolução no meio extrator ácido, de substâncias presentes no resíduo sólido, sejam orgânicas, ou inorgânicas.

Para a execução do procedimento de lixiviação foram aplicadas as normatizações contidas junto a NBR 10005 (ABNT, 2004b), pertinentes às cinzas volantes, conforme roteiro a seguir, com o ensejo de quantificar a concentração de Pb, Cd e Cr Total:

- a) Determinação preliminar das amostras, com uma alíquota de 100 gramas, para verificação da necessidade de reduzir os tamanhos das partículas, considerando o peneiramento em malha de 9,5 mm;
- b) A solução de extração foi determinada através de uma pequena quantidade de resíduos com tamanho inferior a 9 mm, a qual foi transferida a um béquer, com adição de 96,5 mL de água desionizada, coberta com vidro de relógio e agitada vigorosamente por 5 minutos com um agitador magnético.

Posteriormente foi medido o pH e, se o potencial constatado estava inferior a 5,0, utilizou-se a solução de extração nº 1, da norma em questão. Todavia, se o pH foi superior a 5,0, adicionou-se 3,5 ml de HCL 1 mol L⁻¹, homogeneizando-se a solução, cobrindo-se com vidro de relógio e aquecendo a 50 °C por 10 minutos. Após o resfriamento verificou-se se o pH reduziu abaixo de 5,0 e, utilizou-se a solução nº 1, se o pH permanecer acima de 5,0, foi empregada a solução nº 2.

As soluções de extração acima descritas são:

- a) nº 1: água ultrapurificada, destilada, deionizada e isenta de orgânicos, adicionada a 5,7 mL de ácido acético glacial e, 64,3 mL de NaOH 1,0 mol L⁻¹, completando-se o volume a 1 L, com o pH da solução entre $4,93 \pm 0,05$;

- b) nº 2: água ultrapurificada, destilada, deionizada e isenta de orgânicos adicionada a 5,7 mL de ácido acético glacial, sendo completado para o volume de 1 L. O pH da solução estava entre $2,88 \pm 0,05$.

3) Inicialmente a pesquisa contemplou somente a lixiviação de não voláteis dos resíduos, metais, sendo pesado 100 gramas ($\pm 0,1$) de resíduo e, acondicionado no frasco de lixiviação para metais (polietileno de alta densidade). E adicionado uma quantidade de solução de extração igual a 20 vezes a massa do resíduo, observando o pH em relação ao tipo de solução, nº 1, ou nº 2. O frasco foi lacrado com fita de PTFE para evitar o vazamento e, submetido à agitação durante 18 horas ($\pm 0,2$), com temperatura inferior a 25 °C e, rotação de 30 ($\pm 0,2$) rpm no agitador rotatório.

Após o período a amostra foi filtrada em um aparelho de filtração a vácuo, com filtro de fibra de vidro isento de resinas, com porosidade de 0,6 μm a 0,8 μm , sendo os filtros lavados com solução de HNO_3 1 mol L^{-1} .

4) Após a obtenção do extrato lixiviado foi determinado o pH e, retiradas alíquotas para preservação. Uma pequena alíquota foi acidificada, para verificação da ocorrência de precipitação. O extrato lixiviado foi encaminhado para determinação de analítica dos elementos traço, no prazo inferior ao limite máximo de 180 dias. Os extratos lixiviados seguiram para o laboratório de análises foliar do Departamento de Química da UFLA, onde ocorreu a quantificação decorrente da análise realizada através da espectrometria de absorção atômica. O controle de qualidade do ensaio foi realizado através do emprego de uma amostra em branco na série a ser analisada, empregando-se a solução extratora similar. Bem como, através da adição de contaminantes para

cada tipo de resíduo, após o lixiviado ser filtrado, conforme os padrões estabelecidos junto ao anexo “F” da ABNT NBR 10004:2004.

O procedimento para obtenção de extrato solubilizado, em meio aquoso, dos resíduos sólidos, é normatizado pela NBR 10006 (ABNT, 2004c) a qual tem o objetivo de distinguir os resíduos entre classe II-A, não-inertes e, classe II-B, inertes, conforme classificação contida junto ao “G” da NBR 10004(ABNT, 2004a). Foram realizadas as seguintes etapas para a obtenção do extrato solubilizado das amostras norteadas para a quantificação de Mn, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn e Cr Total:

- a) As amostras foram peneiradas em peneira de malha 9,5 mm. Depois foram secas a uma temperatura de 42°C, em uma estufa de circulação forçada de ar e exaustão, e posteriormente, foi realizada a determinação da percentagem de umidade;
- b) Amostras representativas de 250 gramas de base seca do resíduo foram colocadas em um frasco de 1500 mL, sendo realizada a operação em duplicata;
- c) Foi adicionado 1000 mL de água destilada, deionizada e isenta de orgânicos a amostra, e agitada em baixa velocidade por 5 min;
- d) O frasco foi coberto com filme de PVC e deixado em repouso por 7 dias, em temperatura de 25°C;
- e) A solução resultante foi filtrada com filtro de membrana filtrante de porosidade igual a 0,45 µm;
- f) O extrato filtrado obtido foi considerado como extrato solubilizado, o qual teve seu pH determinado. Uma pequena alíquota foi acidificada, para verificação da ocorrência de precipitação. Os extratos solubilizados foram encaminhados em prazo inferior ao limite máximo de 180 dias, para o laboratório de análises ambientais

foliares do Departamento de Química da UFLA, para quantificação analítica através da espectrometria de absorção atômica.

Para a classificação do resíduo quanto à classe II-A, ou, classe II-B, os resultados obtidos decorrentes da quantificação analítica do extrato solubilizado foram analisados conforme os padrões estabelecidos junto ao anexo “G” da NBR 10004(ABNT, 2004a).

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Objetivou-se na presente pesquisa, identificar elementos traços nos extratos lixiviados e solubilizados, com o intuito de caracterizar as cinzas volantes siderúrgicas por meio da NBR 10004 (ABNT, 2004a), e verificar a atual gestão ambiental aplicada a esse RSI, com o intuito de sensibilizar os órgãos de controle e gestão ambiental estadual, para a aplicação de adequações e mudanças necessárias junto a gestão do RSI siderúrgico.

Os resultados obtidos na presente pesquisa foram comparados com os valores descritos no trabalho realizado na cidade de Sete Lagoas, o qual caracteriza as amostras analisadas como resíduo classe I, perigoso, devido a quantidade de fenóis obtidos durante as análises. A Tabela 7 apresenta os valores obtidos pelos autores Oliveira e Martins (2003), durante os ensaios com o extrato lixiviado, em comparação com a média dos elementos traços analisados nesta pesquisa.

Tabela 7 Análise comparativa do lixiviado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003)

Parâmetro	Limite Máximo (mg L ⁻¹)	
	NBR 10004/2004	Valores em mg L ⁻¹ Concentração Máxima Verificada
Cádmio	0,5	0,000
Chumbo	1	2,460
Cromo Total	5	0,000

Fonte: Adaptada de Oliveira e Martins (2003) e ABNT (2004a).

A Tabela 8 apresenta os valores obtidos pelos autores Oliveira e Martins (2003), no trabalho realizado na cidade de Sete Lagoas, em comparação com os elementos traços analisados nesta pesquisa, referentes a média dos extratos solubilizados.

Tabela 8 Análise comparativa do solubilizado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003)

Parâmetro	Valores em mg L ⁻¹	
	Limite Máximo (mg L ⁻¹) NBR 10004/2004	Concentração Máxima Verificada Oliveira e Martins (2003)
Manganês	0,1	6,095
Chumbo	0,01	0,046
Cádmio	0,005	0,00
Ferro	0,3	0,275
Cobre	2	<0,1
Zinco	5	0,170
Cromo Total	0,05	<0,05

Fonte: Adaptada de Oliveira e Martins (2003) e ABNT (2004a).

Os resultados apresentados na presente pesquisa indicam que as amostras de cinzas volantes analisadas estão classificadas como resíduo classe I, perigoso, junto a NBR 10004 (ABNT, 2004a), devido a toxicidade proveniente da concentração do elemento traço chumbo, presente nos extratos lixiviados. Os valores verificados nos extratos solubilizados indicam o RSI como não inerte, devido à concentração de manganês e chumbo acima dos limites máximos estabelecidos pela norma em epígrafe. Caracterização que norteia a gestão adequada e mais protetiva ao meio ambiente, inviabilizando a disposição em locais não específicos aos RSI perigosos.

Análises realizadas nesta pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003) indicam diferentes composições das cinzas volantes, apesar de ambas as atividades desenvolvidas estarem localizadas no estado de Minas Gerais, não sendo possível uma padronização específica, obtida de forma simples e pontual, que caracterize amplamente todos os resíduos. Entretanto, sua composição amostral indica a existência de compostos lixiviados e solubilizados que apontam o caráter perigoso e não inerte deste RSI. Os elementos traços obtidos

por meio dos extratos lixiviados e solubilizados das cinzas volantes indicam que este RSI pode causar severos danos ambientais, com impactos aos ecossistemas, recursos hídricos e à saúde humana.

As cinzas volantes provenientes das siderúrgicas que empregam o carvão vegetal como fonte de calor, apresentam sua geração descrita no Inventário de Resíduos Sólidos Industriais do Estado de Minas Gerais. Entretanto, a obtenção dos dados não é sistematizada, apresenta inconsistências e indica uma grande geração de RSI descrito como não tóxico, apesar da inexistência da obrigatoriedade da realização de análises de lixiviação e solubilização e do pequeno número amostral de empreendimentos declarantes.

A incorporação de cinzas volantes na fabricação de artefatos cerâmicos é empregada atualmente no estado de Minas Gerais, com previsão de normatização e autorização do órgão de controle ambiental, sem a necessidade de ensaios de lixiviação e solubilização. A política de gestão dos resíduos sólidos no estado de MG, não contempla atualmente, a segregação e destinação ambiental dos RCD incorporados com cinzas volantes siderúrgicas, distinta daquela aplicada à gestão do RCD clássicos, sem adição de resíduos de outras atividades potencialmente poluidoras e degradadoras de meio ambiente.

Os RCD incorporados com RSI siderúrgico serão segregados visualmente e encaminhados para as destinações normatizadas para os RCD clássicos, potencializando os impactos ambientais negativos inerentes a disposição irregular de RSI siderúrgico, principalmente, aqueles classificados como perigosos e não inertes.

O RSI siderúrgico apresenta atualmente uma gestão inadequada no estado de Minas Gerais, devido a falta da caracterização dos cenários da geração de resíduos, da sua eficaz segregação e da correta destinação posterior do RSI. Situação que inviabiliza a gestão ambiental adequada atual e em longo prazo, devido a inexistência de informações concretas que possibilitem os

planejamentos e execuções operacionais eficazes, contrariando o disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A gestão atual aplicada às cinzas volantes deve ser rapidamente aprimorada, com o intuito de possibilitar uma adequada quantificação da geração destes resíduos, a proposição de normatizações específicas, a identificação e segregação adequada dos RCD incorporados e possibilitar a adequação das destinações e disposições finais das cinzas volantes, em locais específicos para RSI perigosos e não inertes.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. et al. Case study involving using fluidised bed incinerator sludge ash as a partial clay substitute in brick manufacture. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 34, n. 3/4, p. 507-515, 1996. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/027312239600618X>>. Acesso em: 20 out. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004a. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: lixiviação de resíduos – procedimento. Rio de Janeiro, 2004b. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: solubilização de resíduos – procedimento. Rio de Janeiro, 2004c. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos = Sampling of solid wasterequirements . 2. ed. Rio de Janeiro, 2004d. 21 p.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 17 jun. 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 16 jun. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos sólidos Industriais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 nov. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>>. Acesso em: 17 jun. 2014.

CULTRONE, G.; SEBASTIÁN, E. Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 23, n. 2, p. 1178-1184, Feb. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061808001827>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

DE LA CASA, J. A.; CASTRO, E. Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 61, n. 30, p. 320-326, June 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814002803>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

DEMIR, I. An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. **Building and Environment**, Oxford, v. 41, n. 9, p. 1274-1278, Sept. 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305001757>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

DEMIR, I.; ORHAN, M. Reuse of waste bricks in the production line. **Building and Environment**, Oxford, v. 38, n. 12, p. 1451-1455, Dec. 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132303001409>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

ELICHE-QUESADA, D. et al. Incorporation of coffee grounds into clay brick production. **Advances in Applied Ceramics**, London, v. 110, n. 4, p. 225-232, May 2011. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79957619538&partnerID=40&md5=6ecaa603ba744a647e4b3b3bdeb1c837>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de resíduos sólidos industriais**: ano base 2010. Belo Horizonte, 2011. 61 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/inventarios/relatorio_inventario_industrial_2010.pdf>. Acesso em: 20 maio 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de resíduos sólidos industriais**: ano base 2011. Belo Horizonte, 2012. 65 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/inventario/relatorio_inventario_2012_ano_base_2011.pdf>. Acesso em: 20 maio 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de resíduos sólidos industriais**: ano base 2012. Belo Horizonte, 2013. 60 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios_industriais/inventario_estadual_de_resduos_solidos_da_industria_2013.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de resíduos sólidos industriais**: ano base 2013. Belo Horizonte, 2014. 65 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios_industriais/inventario_resduos_industriais_2014_ano_base_2013.pdf>. Acesso em: 20 maio 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Inventário de resíduos sólidos industriais e minerários**: ano base 2009. Belo Horizonte, 2010. 105 p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/Flavia/inventario_2010_ano_base_2009_verso_final_1.pdf>. Acesso em: 20 maio 2015.

JONKER, A.; POTGIETER, J. H. An evaluation of selected waste resources for utilization in ceramic materials applications. **Journal of the European Ceramic Society**, Oxford, v. 25, n. 13, p. 3145-3149, Aug. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221904003127>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

LINGLING, X. et al. Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 19, n. 3, p. 243-247, Apr. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006180400114X>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

LORYUENYONG, V. et al. Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 10, p. 2717-2721, Oct. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09002062>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa nº 74, de 09 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2 out. 2004. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=32335>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa nº 90, de 15 de setembro de 2005. Dispõe sobre a declaração de informações relativas às diversas fases de gerenciamento dos resíduos sólidos industriais no Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 30 set. 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5181>>. Acesso em: 16 jun. 2014.

MONTEIRO, S. N. et al. Red ceramic industrial products incorporated with oily wastes. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 21, n. 11, p. 2007-2011, Nov. 2007. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000249048500006 >. Acesso em: 15 jun. 2014.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Effect of oily waste addition to clay ceramic. **Ceramics International**, Faenza, v. 31, n. 2, p. 353-358, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884204003128>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

NASCIMENTO, A. et al. Integration of varying responses of different organisms to water and sediment quality at sites impacted and not impacted by the petroleum industry. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, London, v. 3, n. 4, p. 449-458, Dec. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463498800000452>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

NIPPER, M. Current approaches and future directions for contaminant-related impact assessments in coastal environments: Brazilian perspective. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, London, v. 3, n. 4, p. 433-447, Dec. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463498800000464>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

OLIVEIRA, M. R. C. de; MARTINS, J. Caracterização e classificação do resíduo sólido "pó do balão", gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal: estudo de um caso na região de Sete Lagoas/MG. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 05-09, jan./fev. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0100-40422003000100002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 20 out. 2014.

PAREJA-CARRERA, J.; MATEO, R.; RODRÍGUEZ-ESTIVAL, J. Lead (Pb) in sheep exposed to mining pollution: implications for animal and human health. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 108, p. 210-216, June 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651314003066>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Processing of red ceramics incorporated with encapsulated petroleum waste. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 209, n. 15/16, p. 5606-5610, Aug. 2009. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000269275500018 >. Acesso em: 15 jun. 2014.

RAUT, S. P. et al. Reuse of recycle paper mill waste in energy absorbing light weight bricks. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 27, n. 1, p. 247-251, Feb. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811004077>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

SENA DA FONSECA, B.; GALHANO, C.; SEIXAS, D. Technical feasibility of reusing coal combustion by-products from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 104, p. 189-195, Feb. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131714004566>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

TEIXEIRA, S. R. et al. The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 53, n. 4, p. 561-565, Oct. 2011. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000295113800005 >. Acesso em: 15 jun. 2014.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. Incorporation of solid wastes in red ceramics - an updated review. **Revista Materia**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 881-905, 2009. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-74249096391&partnerID=40&md5=37d36ad7677b356c3745ec57dbc7fc96>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

ZENG, G. et al. Spatial analysis of human health risk associated with ingesting manganese in Huangxing Town, Middle China. **Chemosphere**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 368-375, Oct. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509007954>>. Acesso em: 19 set. 2014.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 Gestão de resíduos sólidos no Brasil: análise dos resíduos sólidos siderúrgicos e da construção e demolição

Artigo normalizado de acordo com as normas para submissão da Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, adaptado para a versão final de dissertações da UFLA.

Foram redigidos dois artigos destinados à submissão no periódico: “Revista Engenharia Sanitária e Ambiental” (RESA). O primeiro artigo com o título: “**GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL: Análise dos Resíduos Sólidos Siderúrgicos e da Construção e Demolição.**”, trata sobre uma análise da gestão de RSI siderúrgicos e RCD com o foco na geração, segregação, transporte e disposição final ambientalmente adequada, com ênfase na destinação de RCD incorporados com RSI.

O segundo artigo possui o título: “**GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: Análise de Resíduo Sólido Siderúrgico.**” A proposta deste artigo foi norteada para a caracterização das cinzas volantes, com a consequente classificação, por meio de ensaios realizados com coletas de amostras em empreendimentos siderúrgicos localizados na cidade de Divinópolis/MG, além de analisar a gestão atual e esperada para o RSI amostrado e os RCD incorporados com cinzas volantes e, os impactos ambientais negativos relacionados ao resíduo siderúrgico.

Os dois artigos apresentam em conjunto a legislação e normatização aplicável ao RSI siderúrgico, à caracterização do cenário atual da gestão de resíduos sólidos no Estado de Minas Gerais, a composição amostral dos extratos lixiviados e solubilizados, com a consequente classificação de cinzas volantes amostradas, a omissão na gestão de RCD incorporados com RSI e os danos ambientais decorrentes de uma inadequada gestão ambiental.

1 **GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL:**
2 **Análise dos Resíduos Sólidos Siderúrgicos e da**
3 **Construção e Demolição.**

4 **(SOLID WASTE MANAGEMENT IN BRAZIL: ANALYSIS OF**
5 **THE SIDERURGY AND BUILDING SOLID WASTE)**
6

7 MÁRCIO POZZOBON PEDROSO¹, Químico, Doutor em Ciências pela
8 Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Professor Adjunto do
9 Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras (UFLA) -
10 Lavras (MG), Brasil.

11 FLÁVIO ANDREOTE DOS SANTOS², Biólogo, mestrando do
12 Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais na
13 Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Lavras (MG), Brasil.

14 ANDRÉ GERADO CORNÉLIO RIBEIRO³, Engenheiro Civil, Doutor
15 em Geotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Professor
16 Adjunto do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de
17 Lavras (UFLA) - Lavras (MG), Brasil
18

19 Marcio Pozzobon Pedroso. Universidade Federal de Lavras,
20 Departamento de Química, Caixa Postal 3037 – Lavras (MG), CEP
21 37200-000, Telefone: (35) 3829-1835. Fax (35) 3829-1271 E-mail:
22 marciopedroso@dqi.ufla.br
23

24 **RESUMO:** *O presente trabalho objetiva avaliar a gestão de resíduos*
25 *sólidos industriais (RSI) e os provenientes da construção e demolição*
26 *civil (RCD), enfatizando-se a destinação ambientalmente adequada dos*
27 *RCD incorporados com RSI siderúrgicos. Procedeu-se com um estudo*
28 *sobre o cenário atual da geração desses resíduos no Brasil e no estado*
29 *de Minas Gerais, após a avaliação das informações apresentadas pelos*
30 *órgãos oficiais de controle ambiental e estatística. Conforme constatado,*
31 *tal panorama ainda não foi devidamente caracterizado pelo sistema de*
32 *gestão governamental, devido às falhas verificadas no processo de*
33 *obtenção, padronização e sistematização das informações, em nível*
34 *federal e estadual, situação que maximiza os potenciais danos ambientais*
35 *e à saúde humana.*
36

37 **ABSTRACT:** *This study aims to evaluate the management of industrial*
38 *solid waste (ISW) and those from construction and civil demolition*
39 *(CDW), with emphasis on the environmentally sound disposal of CDW*
40 *built with steel ISW. Proceeded to a study on the current situation of the*
41 *generation of waste in Brazil and the state of Minas Gerais, after*
42 *evaluation of the information provided by official agencies of*
43 *environmental control and statistics. As noted, such a scenario has not*
44 *been properly characterized by the government management system*
45 *because of the shortcomings found in the procurement process,*
46 *standardization and systematization of information, the federal and state*
47 *level, a situation that maximizes the potential environmental damage and*
48 *human health.*

49

50 **Palavras-chave:** Política Nacional de Resíduos Sólidos. Reciclagem.
51 Resíduos Perigosos.

52

53 **Keywords:** National Solid Waste Politics. Recycling. Hazardous waste.

54

55

56 **INTRODUÇÃO**

57

58 A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída no Brasil
59 por meio da Lei Federal nº 12.305/2010¹, objetiva de forma hierárquica a
60 não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e, sendo inevitável, a
61 disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos gerados
62 durante o processo de produção e após o ciclo de vida do produto, com o
63 intuito de nortear os aspectos relacionados a regularização e gestão
64 ambiental.

65

66 A produção industrial gera inúmeros RSI que ainda não
67 possuem tecnologias adequadas para sua reutilização e reciclagem, sendo
68 necessária à sua disposição final ou intermediária, para posterior
69 utilização. No Brasil há um expressivo setor siderúrgico², o qual gera uma
70 grande quantidade de RSI que devem seguir para uma destinação
71 ambiental adequada. Devido ao grande volume gerado, a disposição final
72 em aterros industriais torna-se onerosa e demanda uma crescente
73 expansão de células para contenção. Deste modo, é necessária a busca por
74 alternativas mais sustentáveis para a destinação dos RSI gerados. A
reutilização e a reciclagem dos RSI são alternativas à disposição final

75 adequada, mas devem atender aos quesitos da sustentabilidade: social,
76 econômico e ambiental.

77 Um dos processos que permite em sua produção a
78 incorporação de RSI é a fabricação cerâmica, com amplo emprego
79 nacional, contudo, sem regulamentação no país. Para o Conselho Estadual
80 de Políticas Ambientais de Minas Gerais - COPAM, a incorporação de
81 RSI siderúrgicos apresenta-se como uma alternativa adequada, porém
82 ainda não regulamentada³. Estudos apontam a inserção de outros resíduos
83 na fabricação de tijolos, como a lama de estações de tratamento de água,
84 resíduos oleosos, da produção de celulose e da metalurgia^{4; 5; 6; 7}, com o
85 intuito de sanar os problemas ligados à destinação adequada dos RSI.

86 O tratamento e a disposição adequada dos RSI são questões
87 preocupantes, sobretudo em pequenos municípios e empresas que não são
88 contempladas pelo processo de regularização ambiental com
89 licenciamento. Nesses casos, verifica-se uma grande disposição irregular
90 de RSI, que podem apresentar uma elevada concentração de elementos
91 traço, com a conseqüente poluição de mananciais, potenciais danos à
92 fauna, flora, e a saúde humana.

93 Diante desse contexto, a gestão de resíduos sólidos no Brasil
94 deve ser amplamente analisada, sobretudo, no que se refere à
95 regularização ambiental e o controle da destinação ambiental adequada de
96 RSI, principalmente daqueles caracterizados como perigos e não inertes,
97 em um cenário nacional ainda não efetivamente diagnosticado.

98

99

100 **METODOLOGIA**

101

102 O presente trabalho foi desenvolvido por meio de
103 levantamentos realizados referentes à legislação, normatização e
104 diagnósticos, decorrentes da consulta junto aos órgãos governamentais de
105 origem: Ministério do Meio Ambiente, Ministérios das Cidades, Instituto
106 Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
107 (IBAMA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE),
108 Secretaria de Estado e Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
109 (Semad), além da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a
110 Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
111 (ABRELPE).

112 A verificação das informações disponibilizadas nos sites
113 oficiais buscou analisar o Plano Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos
114 e de Saneamento Básico, dados estatísticos da produção siderúrgica,
115 cerâmica, e da geração e destinação dos RSI e RCD, além da
116 regulamentação e destinação final das peças cerâmicas incorporadas com
117 RSI.

118

119

Gestão de Resíduos Sólidos Industriais

120

121

122 Resíduo Sólido segundo a Associação Brasileira de Normas
123 Técnicas -ABNT, em sua Normatização Brasileira - NBR 10004:2004 ⁸ é
124 definido como todo material que nos estados sólidos ou semissólidos
125 resultam das atividades da comunidade de origem: industrial, comercial,
126 hospitalar, agrícola, doméstica, de serviços de varrição, além dos lodos
127 gerados durante o tratamento de água e resultantes do controle de
128 poluição e líquidos que possuem características que inviabilizem o
lançamento na rede pública de esgoto ou em cursos d'água.

129

130 A crescente industrialização promoveu o aumento expressivo
131 de resíduos industriais perigosos, sendo necessário o adequado
132 gerenciamento destes resíduos, com o intuito de minimizar os impactos
133 negativos junto aos ecossistemas e ao próprio homem ⁹, o descarte desses
134 resíduos é uma grande preocupação social ¹⁰.

134

135 A compreensão dos benefícios ambientais provenientes da
136 avaliação e da redução na geração de resíduos remete a uma gestão
137 ambiental sustentável do processo. Uma pequena redução quantitativa dos
138 resíduos pode levar a uma expressiva redução nos impactos gerados pela
139 produção. A prevenção da produção de resíduos apresenta uma
140 importante diminuição de emissões e dos problemas ambientais
decorrentes ¹¹.

141

142 Existem informações científicas que tratam sobre a geração e
143 a destinação final adequada de resíduos sólidos, contudo, apesar de
144 existirem tecnologias capazes de minimizar os impactos ambientais
145 gerados nas atividades produtivas, é visível a inadequada gestão deste
146 resíduos ¹². O sistema de gestão dos resíduos sólidos constitui-se numa
147 das principais ferramentas que garantem a preservação e proteção
148 ambiental. Contudo, a atual gestão de resíduos sólidos brasileira apresenta
149 prejuízos ambientais e econômicos ¹³.

149

150 **Classificação de RSI e RCD**

151

152 As questões ambientais e o desenvolvimento sustentável
 153 apresentam uma ascendente preocupação para a sociedade
 154 contemporânea. Nesse contexto, a ABNT descreve na NBR 10004:2004 ⁸
 155 que a classificação de resíduos sólidos deve avançar além da indicação do
 156 norte para a disposição final, e se iniciar na identificação da atividade ou
 157 processo que lhes deram origem, na comparação com os grupos de
 158 substâncias de conhecido impacto à saúde e ao meio ambiente, com o
 159 objetivo de caracterizar o resíduo por meio da identificação da matéria-
 160 prima e seus insumos. A Tabela 1 apresenta as classes definidas pela
 161 ABNT:

162

163 Tabela 1 – Classificação e características dos Resíduos Sólidos.

Classe	Descrição	Características
I	Resíduos perigosos	Inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade
II	Resíduos não perigosos	Não apresenta as características acima descritas
II-A	Resíduos não inertes	Extrato solubilizado é superior à delimitação estabelecida
II-B	Resíduos inertes	Extrato solubilizado é inferior à delimitação estabelecida

164 Fonte: Adaptada da ABNT – NBR 10004/2004.

165

166 O fluxograma de caracterização e classificação de resíduos
 167 utilizado pela NBR 10004:2004 descreve que, se o resíduo possui origem
 168 conhecida e consta nos anexos “A” e “B” da referida norma, este deve ser
 169 classificado como resíduo perigoso, classe I. O anexo “B” apresenta a
 170 relação de resíduos perigosos de fontes específicas e descreve, para as
 171 fontes ligadas a produção de ferro e aço, os resíduos inerentes ao lodo e
 172 poeiras provenientes dos sistemas de controle de emissão de gases, tendo
 173 como constituintes perigosos: cromo, chumbo, arsênio e cádmio,
 174 conferindo toxicidade e corrosividade.

175

176 Ressalta-se que a norma em pauta prioriza a origem do
 177 resíduo para realizar sua classificação, baseando-se em uma listagem de
 resíduos perigosos, que apresentam constituintes que possuem

178 características de periculosidade. Todavia, se a matéria prima, a atividade
 179 ou o processo não são conhecidos, faz-se necessário verificar as
 180 características que podem identifica-lo como perigoso, fato que demanda
 181 maior esforço financeiro, operacional e tempo, em relação àqueles
 182 resíduos de origem conhecida.

183 O limite máximo de concentração de parâmetros que
 184 conferem periculosidade aos resíduos sólidos está inserido no anexo “F”
 185 da NBR 10004:2004. Os padrões para o ensaio de solubilização estão
 186 descritos junto ao anexo “G” da norma em questão, normatizando os
 187 limites máximos no extrato solubilizado para vários parâmetros. A Tabela
 188 2 exemplifica e compara os limites máximos estabelecidos para lixiviação
 189 e solubilização.

190

191 Tabela 2 - Limites Máximos para Lixiviação e Solubilização.

Parâmetro	Limites Máximos (mg L ⁻¹)	
	Lixiviação - Anexo “F”	Solubilização - Anexo “G”
Arsênio	1,0	0,01
Cádmio	0,5	0,005
Chumbo	1,0	0,01
Cobre	-*	2,0
Cromo total	5,0	0,05
Ferro	-*	0,3
Manganês	-*	0,1

192 “-*” - Valores não avaliados para limites do extrato lixiviado.

193 Fonte: Adaptada da ABNT – NBR 10004:2004

194

195 A gestão e classificação de RCD foram estabelecidas pela
 196 Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA n°
 197 30/2002¹⁴. As classes são similares ao descrito na ABNT – NBR
 198 15112:2004¹⁵, conforme Tabela 3. Entretanto, a resolução apresenta a
 199 classe “D” acrescida de telhas e materiais produzidos em amianto, e
 200 produtos nocivos à saúde.

201

202 Tabela 3 - Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição.

Classe	Caracterização	Exemplo
A	Resíduos reutilizáveis, ou, recicláveis como agregados	Tijolos e telhas
B	Resíduos recicláveis para outras destinações	Plástico, vidro e metais
C	Resíduos que ainda não possuem tecnologia ou aplicações economicamente viáveis para recuperação ou reciclagem	Gesso
D	Resíduos perigosos	Óleos e solventes

203 Fonte: Adaptada da Resolução CONAMA nº 307/2002 e ABNT – NBR 15112:2004.

204

205

206

RESULTADOS

207

208

Geração RSI Siderúrgicos e de RCD

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

A versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)¹⁶ descreve que a construção civil é um indicador de crescimento socioeconômico brasileiro. A atividade consome uma grande quantidade de recursos naturais, promove alterações na paisagem e gera resíduos, com alta potencialidade de gerar impactos ambientais negativos. A massa de RCD pode representar de 50% a 70%, em peso, dos resíduos sólidos urbanos, e causar grandes transtornos devido ao volume gerado¹⁶. Em relação aos RSI, a versão preliminar do PNRS aponta a inviabilidade atual da realização do diagnóstico completo, devido à falta de elaboração do inventário junto aos órgãos ambientais estaduais, a falta de padronização e atualização dos dados obtidos. A Tabela 4 descreve os dados mais recentes sobre a massa de RCD e RSI coletados, recebidos e destinados pelos municípios brasileiros.

224 Tabela 4 - Massa Total de Resíduos Sólidos Coletados, Recebidos e
 225 Destinados – RCD e RSI

Massa de RCD e RSI Gerada / Coletada / Recebida (t/ano)	Fonte		
	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008	Plano Nacional de Resíduos Sólidos	Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2012
Total de Municípios declarantes	136	- ¹	2.978
RCD gerados	- ¹	- ¹	- ¹
RCD coletados	- ¹	36.264.210 ³	- ¹
RCD recebidos nas ATT ²	- ¹	- ¹	462.001
RCD destinados à reciclagem	- ¹	- ¹	445.955
RCD recebidos em aterros (inertes)	- ¹	- ¹	2.528.289
RSI gerados	- ¹	97.655.438 ⁴	- ¹
RSI coletados	1.257.060	- ¹	- ¹
RSI recebidos em aterros industriais	- ¹	- ¹	0

226 ^{“1”} A fonte não apresentava os dados analisados.

227 ^{“2”} Área de Transbordo e Triagem

228 ^{“3”} Os dados baseiam-se em estudos da ABRELPE, são relativos ao ano de 2010 e não
 229 consideram nas projeções os RCD provindos de serviços privados.

230 ^{“4”} O valor apresentado na versão preliminar do PNRS foi obtido junto aos Inventários
 231 Estaduais de RSI e Panorama das Estimativas de Geração de Resíduos Industriais –
 232 ABETRE/FGV.

233 Fontes: PNSB 2008, Versão preliminar do PNRS e Diagnóstico de Manejo de Resíduos
 234 Sólidos Urbanos 2012.

235

236 As fontes geradoras de RSI siderúrgicos e RCD inerentes à
 237 extração e o beneficiamento de minerais metálicos e argila no Brasil,
 238 possuem uma expressiva influência no setor industrial, fato que aponta
 239 uma grande geração de resíduos decorrentes das atividades. Conforme
 240 descreve a Pesquisa Industrial, realizada pelo Instituto Brasileiro de
 241 Geografia e Estatística – IBGE^{2; 17}, pode-se observar na Tabela 5 a série
 242 histórica inerente à produção de ferro-gusa e a produção de artefatos
 243 cerâmicos.

244 Tabela 5 - Produção de Produtos Siderúrgicos e Artefatos Cerâmicos.

Classes de produtos	Quantidade produzida (milhões)				
	2008	2009	2010	2011	2012
Ferro-gusa (t)	10,04	5,19	6,67	7,00	6,49
Escórias da produção de gusa (t)	-*	-*	-*	1,99	1,94
Telhas de Cerâmica (un.)	2.204	2.216	2.416	2.597	2.427
Tijolos Perfurados e outros (un.)	4.670	4.451	5.059	5.309	6.146

245 “-*” - Valores não mensurados durante o período.

246 Fonte: Adaptada da Pesquisa Industrial Anual – Produto - IBGE

247

248 Devido à necessidade de quantificar e gerenciar os RSI foi
 249 proposto a partir do ano de 2002 o Inventário Nacional de Resíduos
 250 Sólidos Industriais, por meio da Resolução CONAMA 313/2002¹⁸, em
 251 consonância com a Lei Federal nº 6.938/1981⁹. A resolução define que as
 252 atividades sujeitas ao licenciamento ambiental devem ser instadas pelos
 253 órgãos ambientais estaduais a prestarem declarações periódicas sobre os
 254 resíduos industriais gerados, em atividades listadas no anexo II da
 255 resolução.

256 A quantificação nacional dos RSI é pautada nos inventários
 257 estaduais de resíduos sólidos gerados. Tal fato apresenta uma grande
 258 dificuldade de integração das informações, devido às metodologias de
 259 obtenção das informações por parte dos órgãos estaduais de controle
 260 ambiental, pelas diferentes consultas, entrevistas e relatórios utilizados, a
 261 não utilização dos códigos propostos e a amplitude do escopo empregado
 262 por cada ente federativo, além da participação efetiva de apenas 14
 263 estados, conforme a versão preliminar do PNRS¹⁶.

264 Pode-se avaliar como exemplo a declaração de RSI junto ao
 265 órgão ambiental estadual em Minas Gerais, a qual contempla as
 266 atividades elencadas na Deliberação Normativa - DN do COPAM
 267 74/2004¹⁹ que estejam condicionadas à Licença de Operação (LO) para
 268 seu funcionamento, classes 3 a 6. Essa DN define critérios para
 269 classificação dos empreendimentos e atividades que utilizam recursos
 270 ambientais. As classes são pautadas na relação potencial poluidor e porte
 271 da atividade, resultante nas classes de 1 a 6. A obtenção de dados
 272 atualmente aplicada abstém de coletar informações de todas as atividades

273 classificadas abaixo dessa DN, não passíveis de Ato Autorizativo para
 274 funcionamento, além daquelas que se enquadram nas classes 1 e 2,
 275 sujeitas a Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF).

276 Somente os empreendimentos de grande porte, classificados
 277 nas classes de 3 a 6, devem efetuar a declaração da geração de RSI. A
 278 amplitude da gestão do órgão de controle ambiental no Estado de Minas
 279 Gerais contempla atualmente somente os grandes geradores, em
 280 conformidade com a DN do COPAM de nº 90/2005²⁰. Contudo, há um
 281 grande número de empreendimentos geradores de RSI que não efetuam a
 282 declaração e podem apresentar uma geração superior à atualmente
 283 declarada. A Tabela 6 apresenta o total de empresas que efetuaram a
 284 declaração no Inventário de RSI no estado entre os anos de 2010 e 2013²¹,
 285 ²².

287 Tabela 6 - Empresas declarantes no Inventário RSI do estado de MG –
 288 2010 a 2013

Classes DN 74/04	Ato Autorizativo Aplicado	Periodicidade das Declarações	Empresas Declarantes – ED			
			2010	2011	2012	2013
Inferior	Não passível	Não declara	_*	_*	_*	_*
1	AAF	Não declara	_*	_*	_*	_*
2	AAF	Não declara	_*	_*	_*	_*
3	LO	Bienal	_*	ED	_*	ED
4	LO	Bienal	_*	ED	_*	ED
5	LO	Anual	ED	ED	ED	ED
6	LO	Anual	ED	ED	ED	ED
Quantidade Total de Empresas Declarantes			456	1.083	442	1.094

289 “_*” – Quantidade de empresas não avaliada no período.

290 Fonte: Adaptada do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais de MG e da DN
 291 74/2004 – COPAM / MG.

292
 293 O setor da construção é um grande gerador de resíduos
 294 sólidos e consumidor de recursos naturais. Deste modo, é necessária a
 295 adequação de atitudes rotineiras, no que tange ao descarte de materiais, na
 296 busca da sustentabilidade produtiva²³. A Associação Brasileira de
 297 Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE
 298 apresentou no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013¹³ um

299 levantamento que indica a coleta de 117 mil toneladas/dia de RCD em
300 404 municípios brasileiros pesquisados. Contudo, descreve que a
301 quantidade deve ser ainda maior devido ao fato da maioria dos
302 municípios efetuarem a coleta somente dos resíduos dispostos nos
303 logradouros públicos, não sendo possível avaliar a quantidade total gerada
304 de RCD e sua adequada destinação ambiental.

305 Há uma grande deficiência de informações sobre a massa total
306 de resíduos recebidos pelas unidades de processamento, devido à carência
307 e precariedade dos dados disponibilizados, a falta de informações junto
308 aos pequenos municípios, com menos de 30 mil habitantes e ao difícil
309 diagnóstico dos RCD, motivado pelo alto peso específico apresentado.

310

311 **Gestão dos RCD e RSI**

312

313 A gestão adequada dos RCD e RSI é dificultada pelo
314 desconhecimento da natureza dos resíduos, pela deficiência cultural na
315 segregação apropriada, entre outros motivos que levam à falta de
316 conhecimento e do adequado diagnóstico dos resíduos gerados,
317 inviabilizando um gerenciamento eficaz e promovendo a acumulação do
318 RCD em terrenos baldios e Áreas de Preservação Permanente – APP, e
319 disposições irregulares dos RSI. Os RCD são vistos como resíduos de
320 baixa periculosidade, contudo podem apresentar outros resíduos devido à
321 separação ineficiente, conforme apresenta a versão preliminar do PNRS¹⁶.
322 Fato que dificulta a gestão estratégica dos resíduos em horizonte de 20
323 anos, observando que o cenário atual ainda é impreciso. Nesse caso, é
324 apontada como solução a utilização do Sistema Nacional de Informações
325 dos Resíduos (SINIR), como forma de padronizar o banco de dados
326 referente aos RSI gerados e o emprego de outras medidas, com o intuito
327 de adequar a regulamentação ambiental e proporcionar uma maior
328 participação dos estados.

329 A gestão de resíduos sólidos no município deve identificar e
330 efetuar o controle dos resíduos gerados por todas as fontes distintas. O
331 sistema de informação inerente aos dados de geração, coleta, reciclagem,
332 tratamento e disposição de RCD e RSI ainda é deficitário, conforme
333 pode-se verificar na Tabela 7, obtida por meio do Diagnóstico do Manejo
334 de Resíduos Sólidos Urbanos – 2012, do Sistema Nacional de
335 Informações sobre Saneamento – SNIS²⁴ e a Pesquisa Nacional de
336 Saneamento Básico – PNSB-2008, realizada pelo IBGE²⁵.

337 Tabela 7 - Destinação de RCD e RSI nos Municípios Brasileiros.

MUNICÍPIOS	FONTE	
	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008	Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2012
Total brasileiro	5.564	5.565
Total declarante	5.564	2.978
Com manejo de RCD	4.031	- ¹
Sem manejo de RCD	1.533	- ¹
Com processamento de RCD Classe “A” e “B”	392	22
Com destinação de RCD Classe “A” à aterro (inerte)	795	41
Com disposição de RCD com outros resíduos	1.772	- ¹
Com outras formas de disposição	1.235	118
Com coleta/recebimento de RSI	159	- ¹
Com processamento de RSI	26	- ¹
Com aterro de RSI	- ¹	2
Com encapsulamento de RSI	3	- ¹
Com incineração de RSI	6	- ¹
Com queima a céu aberto de RSI	7	- ¹

338 “-¹” A fonte não apresentava os dados coletados.

339 Fontes: Adaptada do PNSB 2008 e Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos
340 2012.

341

342 A Resolução CONAMA nº 307/2002 indica como objetivo
343 primário para os geradores de RCD a não geração, e de forma secundária,
344 a redução, reutilização, a reciclagem e, por último a destinação final
345 adequada. A destinação final ambientalmente adequada deve ser realizada
346 em locais apropriados, em conformidade com a classificação dos
347 resíduos, sendo as Classes “A” e “B” destinadas para locais que permitam
348 a sua posterior reutilização ou reciclagem. Já as Classes “C” e “D” devem
349 ser destinadas em conformidade com a legislação ambiental pertinente,

350 sendo vedada a disposição em aterros de resíduos domiciliares, em áreas
351 de “bota-fora”, em encostas, corpos d’água, áreas protegidas pela
352 legislação e lotes vagos.

353 O prazo para que os municípios elaborassem e
354 implementassem os Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos da
355 Construção Civil, determinado pela Resolução CONAMA nº 307/2002
356 findou-se em julho de 2004, juntamente com o prazo para que os
357 municípios deixassem de realizar a disposição de RCD em aterros de
358 resíduos domiciliares e em áreas irregulares (bota-foras). No ensejo de
359 motivar alternativas mais nobres para o destino final dos resíduos
360 gerados, a ABNT desenvolveu normas que pautam os limites a serem
361 resguardados e o potencial aproveitamento destes.

362 As normas inerentes aos requisitos essenciais para a
363 realização de projetos, implantação e operação de áreas destinadas ao
364 transbordo, triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos,
365 estão contidas na ABNT NBR 15112:2004¹⁵. As diretrizes para
366 implantação e operação de aterros de RCD, classificados como classe “A”
367 e inertes, são normatizados pela ABNT – NBR 15113:2004²⁶. O aterro de
368 RCD e de resíduos inertes é definido como uma área onde são
369 empregadas técnicas direcionadas para a disposição de resíduos da
370 construção civil classe “A”, considerando a possibilidade do futuro uso
371 dos materiais ou da área de armazenagem, sem causar danos à saúde
372 pública e ao meio ambiente. Deste modo, os resíduos classe “D”
373 recebidos devem ser segregados e dispostos temporariamente em locais
374 cobertos, até o seu encaminhamento adequado. Dentre os vários critérios
375 para a localização e implantação de aterros de resíduos da construção
376 civil classe “A” e resíduos inertes, destaca-se a minimização de impactos
377 ambientais, sobretudo, da proteção das águas subterrâneas e superficiais.

378 A área de reciclagem de resíduos da construção civil é
379 definida como sendo um local destinado ao recebimento e transformação
380 de resíduos da construção civil classe “A”, devidamente triados,
381 objetivando-se a produção de agregados reciclados, conforme descreve a
382 ABNT – NBR 15114:2004²⁷. Os agregados reciclados são definidos
383 como materiais granulares resultantes do beneficiamento de resíduos de
384 construção, destinados ao aproveitamento em obras de engenharia,
385 provenientes de resíduos classe “A”. Desta forma, excetua-se os demais
386 resíduos na produção de agregados, sobretudo, os classificados como
387 classe D. Verifica-se que a ABNT – NBR 15115:2004²⁸ e ABNT – NBR

388 15116:2004 ²⁹ normatizam a utilização do agregado reciclado de resíduos
389 da construção civil classe “A”, junto a camadas de reforço de subleito,
390 sub-base, base e revestimento primário em obras de pavimentação e, junto
391 ao preparo de concreto sem função estrutural.

392 Neste contexto, a segregação dos resíduos em classes se pauta
393 na gestão visual, não sendo realizadas análises específicas, separando-se
394 os resíduos que não podem ser transformados em agregados e
395 direcionando-os para uma disposição transitória. Na implantação da área
396 de reciclagem de resíduos verifica-se a preocupação com a prevenção de
397 impactos ambientais negativos junto às águas subterrâneas e superficiais,
398 bem como durante a operação, com o intuito de evitar a contaminação e
399 carreamento, principalmente dos resíduos classe “D”, os quais devem ser
400 depositados em locais cobertos. Observa-se que o controle de transporte
401 de resíduo – CTR, descrito na norma em questão, apresenta a descrição
402 do material predominante de forma objetiva e concisa, para a célere
403 operação junto a ATT; ou seja, a gestão se norteia em resíduos
404 previamente caracterizados.

405 Os Planos Estaduais e Nacional de Resíduos Sólidos estão em
406 fase de implantação e o inventário de RSI ratificado pela Política
407 Nacional de Resíduos Sólidos não foi estabelecido. A responsabilidade
408 compartilhada e a logística reversa carecem de regulamentação e acordos
409 setoriais e a destinação e disposição final dos RSI não foi devidamente
410 caracterizada, devido a inadequação do Inventário Nacional de Resíduos
411 Sólidos Industriais. O processamento dos RSI mostra-se inferior ao
412 esperado, conforme apresentado na Tabela VII, além de empregar a
413 queima de RSI a céu aberto, cenário que inviabiliza a correta gestão
414 integrada e estratégica.

415 A degradação da qualidade ambiental é apresentada por meio
416 de qualquer modificação nas características ambientais, conforme
417 estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente, disposta na Lei
418 6938/81 ³⁰. A gestão inadequada de RSI apresenta um grande potencial
419 para a geração da poluição ambiental, sobretudo, no que tange à dispersão
420 de elementos traço, a contaminação do solo, atmosfera, recursos hídricos
421 e danos à fauna e flora.

422 Atualmente vários empreendimentos cerâmicos empregam
423 RSI siderúrgicos na produção de artefatos cerâmicos, sem existir uma
424 regularização ambiental específica junto ao órgão de controle ambiental
425 nacional. Alguns estudos apontam a inserção de outros resíduos junto à

426 fabricação de tijolos ^{4; 5; 6; 7}, como forma de resolver os problemas
427 inerentes a destinação adequada dos RSI. A Minuta de Modificação da
428 DN COPAM 74/2004 ³, do Estado de Minas Gerais, está direcionada para
429 o emprego de RSI siderúrgicos na incorporação junto à produção de
430 artefatos de cerâmica, na proporção de 10%. Contudo, não apresenta
431 medidas de identificação e controle das peças cerâmicas incorporadas
432 com RSI.

433

434

435

DISCUSSÃO

436

437 Após a análise da legislação federal e estadual e dos
438 diagnósticos realizados pelos órgãos de controle ambiental e estatística,
439 verificou-se que o cenário nacional e do Estado de Minas Gerais,
440 referente a geração de RSI e RCD ainda não foi devidamente definido.
441 Não são tácitas as quantidades geradas, o volume tratado e a disposição
442 dos resíduos sólidos.

443

444 A falta do diagnóstico da geração dos resíduos dificulta o
445 processo de gestão ambiental dos RSI e RCD, e prejudica uma política de
446 gestão estratégica. A deficiente caracterização do cenário se deve ao
447 processo de obtenção e tratamento das informações. Os dados são
448 fornecidos pelos empreendimentos, sem qualquer tipo de contraprova.
449 Observa-se que os informantes são responsáveis pela destinação final
450 adequada de seus resíduos e prestam contas ao órgão ambiental
451 fiscalizador. Fato similar é verificado nos municípios, onde as Prefeituras
452 Municipais são fiscalizadas pelo órgão ambiental estadual.

452

453 Apesar da falta do diagnóstico fidedigno, os levantamentos
454 apontam a disposição final inadequada de RSI e de RCD, e indicam
455 impactos ambientais negativos, que podem ser maximizados pela política
456 inerente ao processo de regularização ambiental. Verifica-se que um RCD
457 será segregado conforme a definição de sua classe, deste modo, a gestão é
458 pautada nas características esperadas junto ao resíduo. Todavia, se um
459 resíduo possui modificações nas características habitualmente esperadas
460 na sua composição e, tal informação não é disponibilizada para os
461 gestores, corre-se o risco de ocorrer a destinação final inadequada, ou, da
462 inserção do resíduo de forma equivocada no ciclo de reutilização, ou,
463

463

464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501

CONCLUSÃO

Não há uma fidedigna caracterização da total geração de RSI siderúrgicos e RCD no Brasil. A falta de conhecimento do real cenário de resíduos inviabiliza uma adequada gestão, tratamento e disposição final ambientalmente correta, devido à impossibilidade de executar um planejamento sólido, que contemple a totalidade de resíduos gerados. Os dados disponíveis indicam uma inadequada gestão e disposição final irregular, fato que maximiza os impactos ambientais negativos, no que se refere à disposição irregular dos RSI e RCD.

A incorporação de RSI siderúrgicos na produção cerâmica não está devidamente regulamentada, situação que indica a segregação visual dos RCD classe “A” incorporados com RSI, juntamente com os demais resíduos da construção civil. Gestão que pode destinar inadequadamente resíduos perigosos utilizados na fabricação de artefatos cerâmicos e gerar graves danos ambientais.

REFERÊNCIAS

¹ BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 ago. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm >. Acesso em: 16 jun. 2014.

² PESQUISA INDUSTRIAL EMPRESA. Rio de Janeiro: IBGE, v. 28, n. 1, 2009. Anual. ISSN 0100-5138, ISSN 0100-5138. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/empresas/2009/piaempresa2009.pdf> >. Acesso em: 15 jun. 2014.

³ CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas Gerais). Minuta de Revisão da Deliberação Normativa nº 74, de 09 de setembro de 2004. **Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD**, Belo Horizonte, MG, 09 ago. 2013. Disponível em: < <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/MINUTA/minuta-de-revisao-da-dn-74.04-1.pdf> >. Acesso em: 15 jun. 2014.

- 502 ⁴ SILVA, N. I. et al. Caracterização de cinzas volantes para
503 aproveitamento cerâmico. **Cerâmica**, v. 45, p. 296, 1999. Disponível
504 em: < [www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69131999000600004&lng=en&nrm=iso)
505 [69131999000600004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69131999000600004&lng=en&nrm=iso) >. Acesso em: 10 jun. 2014.
506
- 507 ⁵ VIEIRA, C. M. F. et al. Incorporation of blast furnace sludge into red
508 ceramic. Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha.
509 **Cerâmica**, v. 53, p. 328, 2007. ISSN 03666913. Disponível em: <
510 [http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-41149147503&partnerID=40&md5=72113f44985667b1eef589b6ee8c1f2)
511 [41149147503&partnerID=40&md5=72113f44985667b1eef589b6ee8c1f2](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-41149147503&partnerID=40&md5=72113f44985667b1eef589b6ee8c1f2)
512 [e](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-41149147503&partnerID=40&md5=72113f44985667b1eef589b6ee8c1f2) >. Acesso em: 15 jun. 2014.
513
- 514 ⁶ _____. Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic.
515 **Materials Science and Engineering A**, v. 427, n. 1-2, p. 142-147, jul.
516 2006. ISSN 0921-5093. Disponível em: < <Go to
517 ISI>://WOS:000239019000018 >. Acesso em: 15 jun. 2014.
518
- 519 ⁷ _____; Monteiro, S. N. Incorporation of solid wastes in red
520 ceramics - an updated review. **Materia-Rio De Janeiro**, v. 14, n. 3, p.
521 881-905, 2009. ISSN 1517-7076. Disponível em: <
522 <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-70762009000300002> >. Acesso em: 15
523 jun. 2014.
524
- 525 ⁸ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR**
526 **10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro 2004. 71 p.
527
- 528 ⁹ BRITO, A. L. F.; Soares, S. R. Assessment of integrity and retention
529 of heavy metals in materials stabilized by solidification. Avaliação da
530 integridade e da retenção de metais pesados em materiais estabilizados
531 por solidificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 39-
532 48, 2009. Disponível em: <
533 [http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-66249088710&partnerID=40&md5=ad9dd64eb124a8b4b21312c5341b9066249088710&partnerID=40&md5=ad9dd64eb124a8b4b21312c5341b90)
534 [66249088710&partnerID=40&md5=ad9dd64eb124a8b4b21312c5341b90](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-66249088710&partnerID=40&md5=ad9dd64eb124a8b4b21312c5341b9066249088710&partnerID=40&md5=ad9dd64eb124a8b4b21312c5341b90)
535 [28](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-66249088710&partnerID=40&md5=ad9dd64eb124a8b4b21312c5341b9066249088710&partnerID=40&md5=ad9dd64eb124a8b4b21312c5341b90)>. Acesso em: 15 jun. 2014.
536
- 537 ¹⁰ OLIVEIRA, G. E. et al. Utilization of solid waste from siderurgical
538 industry in red ceramic. **Cerâmica**, v. 50, n. 314, p. 75-80, 06/2004. ISSN
539 0366-6913. Disponível em: <

540 [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132004000200002)
541 [69132004000200002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132004000200002) >. Acesso em: 25 mai. 2015.

542

543 ¹¹ GENTIL, E. C.; Gallo, D.; Christensen, T. H. Environmental
544 evaluation of municipal waste prevention. **Waste Management**, v. 31, n.
545 12, p. 2371-2379, Dec 2011. ISSN 0956-053X. Disponível em: < <Go to
546 ISI>://WOS:000297485700002 >.

547

548 ¹² NAGASHIMA, L. A. et al. Integrated management of urban solid
549 waste - A proposal for Paranavaí, Paraná State, Brazil. Gestão integrada
550 de resíduos sólidos urbanos - Uma proposta para o município de
551 Paranavaí, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum - Technology**, v.
552 33, n. 1, p. 39-47, 2011 Disponível em: <
553 [http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79952801933&partnerID=40&md5=44218dd73dc6fee122d37ae8d310308)
554 [79952801933&partnerID=40&md5=44218dd73dc6fee122d37ae8d3103](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79952801933&partnerID=40&md5=44218dd73dc6fee122d37ae8d310308)
555 [08](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79952801933&partnerID=40&md5=44218dd73dc6fee122d37ae8d310308)>. Acesso em: 15 jun. 2014.

556

557 ¹³ PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2013. São
558 Paulo: ABRELPE, 2014. Anual. Disponível em: <
559 http://www.abrelpe.org.br/noticias_detalhe.cfm?NoticiasID=2091>.
560 Acesso em: 15 jun. 2014.

561

562 ¹⁴ CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil).
563 Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. **Diário Oficial da República**
564 **Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 jul. 2002.
565 Disponível em: <
566 <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307> >.
567 Acesso em: 15 jun. 2014.

568

569 ¹⁵ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR**
570 **15112**: resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de
571 transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
572 Rio de Janeiro, 2004. 7 p.

573

574 ¹⁶ MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Versão Preliminar do
575 Plano Nacional de Resíduos Sólidos, de agosto de 2012. **Site Oficial do**
576 **Ministério do Meio Ambiente**, Poder Executivo, Brasília, DF, ago.
577 2012. Disponível em: <

578 [http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS Revisao Decret](http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657)
579 [o_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657](http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657) >. Acesso em: 18
580 jun. 2014.

581
582 ¹⁷ IBGE. Pesquisa Industrial Anual - Produto. Disponível em: <
583 [http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=22&i=P&c=3](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=22&i=P&c=3463)
584 [463](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=22&i=P&c=3463) >. Acesso em: 03 de nov.

585
586 ¹⁸ CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil).
587 Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002. **Diário Oficial da**
588 **República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 nov.
589 2002. Disponível em: <
590 <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335> >.
591 Acesso em: 17 jun. 2014.

592
593 ¹⁹ CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (Minas
594 Gerais). Deliberação Normativa nº 74, de 09 de setembro de 2004. **Diário**
595 **do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 02 out. 2004.
596 Disponível em: <
597 <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=32335> >. Acesso
598 em: 18 jun. 2014.

599
600 ²⁰ _____. Deliberação Normativa nº 90, de 15 de setembro de 2005.
601 **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 30 set.
602 2005. Disponível em: <
603 <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5181> >. Acesso
604 em: 16 Jun. 2014.

605
606 ²¹ INVENTÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: ANO
607 BASE 2012. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente,
608 2013. Anual. Disponível em: <
609 [http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios in](http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios_industriais/inventrio%20estadual%20de%20resduos%20slidos%20da%20industria%20-%202013.pdf)
610 [dustriais/inventrio%20estadual%20de%20resduos%20slidos%20da%20in](http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios_industriais/inventrio%20estadual%20de%20resduos%20slidos%20da%20industria%20-%202013.pdf)
611 [dstria%20-%202013.pdf](http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios_industriais/inventrio%20estadual%20de%20resduos%20slidos%20da%20industria%20-%202013.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

612
613 ²² INVENTÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: ANO
614 BASE 2013. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente,
615 2014. Anual. Disponível em: <

616 http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios_in
617 [dustriais/inventrio%20resduos%20industriais%202014_ano%20base_201](http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios_in)
618 [3.pdf](http://www.feam.br/images/stories/declaracoes_ambientais/inventarios_in) >. Acesso em: 03 fev. 2015.

619

620 ²³ ROCHA, C. G.; Sattler, M. A. A discussion on the reuse of building
621 components in Brazil: An analysis of major social, economical and legal
622 factors. **Resources Conservation and Recycling**, v. 54, n. 2, p. 104-112,
623 Dec 2009. ISSN 0921-3449. Disponível em: < <Go to
624 ISI>://WOS:000272568200005 >.

625

626 ²⁴ DIAGNÓSTICO DO MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
627 URBANOS - 2012. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Básico,
628 2014. Anual. Disponível em: <
629 <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=104> >.
630 Acesso em: 15 jun. 2014.

631

632 ²⁵ PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO 2008. Rio de
633 Janeiro: IBGE, 2010. Anual, 2010. ISSN 978-85-240-4135-8. Disponível
634 em: <
635 <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2>
636 [008/PNSB_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2) >. Acesso em: 16 jun. 2014.

637

638 ²⁶ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR**
639 **15113**: resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros –
640 Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004. 12
641 p.

642

643 ²⁷ _____. **NBR 15114**: resíduos sólidos da construção civil – Áreas
644 de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de
645 Janeiro, 2004 7 p.

646

647 ²⁸ _____. **NBR 15115**: agregados reciclados de resíduos sólidos da
648 construção civil – Execução de camadas de pavimentação –
649 Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004. 10 p.

650

651 ²⁹ _____. **NBR 15116**: agregados reciclados de resíduos sólidos da
652 construção civil – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004. 12 p.

653

654 ³⁰ BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário Oficial da**
655 **República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 set.
656 1981. Disponível em: <
657 http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm >. Acesso em: 17
658 jun. 2014.

(VERSÃO PRELIMINAR)

**ARTIGO 2 Gestão de resíduos sólidos industriais: análise de resíduo sólido
siderúrgico**

Márcio Pozzobon Pedroso¹
Flávio Andreote dos Santos²
André Gerado Cornélio Ribeiro³
Carlos Alberto Dias⁴

Artigo normalizado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003), conforme
orienta o Manual de Normatização da UFLA.

-
- ¹ Químico, Doutor em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Professor Adjunto do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Departamento de Química, Caixa Postal 3037 – Lavras (MG), CEP 37200-000, Telefone: (35) 3829-1835. Fax (35) 3829-1271 E-mail: marciopedroso@dqi.ufla.br
- ² Biólogo, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais na Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Lavras (MG), Brasil.
- ³ Engenheiro Civil, Doutor em Geotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Professor Adjunto do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Lavras (MG), Brasil.
- ⁴ Graduando do Programa de Graduação em Química da Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Lavras (MG), Brasil.

GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: Análise de Resíduo Sólido Siderúrgico.

RESUMO

A pesquisa objetiva analisar um resíduo sólido industrial (RSI), proveniente da produção siderúrgica na cidade de Divinópolis, no estado de Minas Gerais (MG), enfatizando-se a sua destinação ambientalmente adequada e a gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD) incorporados com RSI siderúrgicos. Foi realizada a análise da lixiviação e solubilização de elementos traço das cinzas volantes provenientes de empreendimentos siderúrgicos, a qual ratifica a classificação deste resíduo como classe I, conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Por apresentar periculosidade devido a sua toxicidade, proveniente da elevada concentração de Pb no extrato lixiviado e de Mn no extrato solubilizado, que indicam a inserção de metais bioacumuláveis que trazem impactos ambientais negativos e danos à saúde humana, provenientes dos RSI siderúrgicos, o que torna-se preocupante diante de um cenário estadual caracterizado pela gestão ambiental inadequada dos RSI siderúrgicos.

Palavras-chave: Cinzas volantes, Elementos traço, Poluição Ambiental.

1 INTRODUÇÃO

O processo de fabricação de produtos industriais gera inúmeros resíduos sólidos industriais (RSI) que ainda não possuem tecnologias adequadas para sua reutilização e reciclagem, sendo necessária à sua disposição final ou intermediária, com o intuito da posterior utilização. A crescente industrialização promoveu o aumento expressivo de resíduos industriais perigosos, necessitando-se adequar seu gerenciamento, com o intuito de minimizar os impactos negativos junto aos ecossistemas e ao próprio homem (BRITO; SOARES, 2009). Assim, o descarte desses resíduos torna-se uma grande preocupação social e ambiental (OLIVEIRA et al., 2004).

No Brasil, e no estado de Minas Gerais, há um expressivo setor siderúrgico (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2009), o qual gera grande quantidade de RSI que devem seguir para uma destinação ambiental adequada. Devido ao grande volume gerado de cinzas volantes, a disposição final em aterros industriais torna-se onerosa e demanda uma crescente expansão de células para contenção dos resíduos. Assim, torna-se necessário a busca por alternativas mais sustentáveis para a destinação dos resíduos gerados. Uma alternativa à disposição final adequada é a reutilização ou reciclagem dos RSI, que deve atender aos quesitos da sustentabilidade: social, econômico e ambiental. Apesar dos aspectos socioeconômicos serem mais facilmente identificáveis, as questões ambientais são mais complexas de se verificar e demandam mais tempo e recursos para a sua correta caracterização.

Ressalta-se do exposto, a necessidade de caracterizar adequadamente o RSI e promover a correta destinação das cinzas volantes siderúrgicas, com o intuito de efetivamente executar a gestão ambiental adequada de um dos principais resíduos siderúrgicos e maximizar a sustentabilidade ambiental da atividade industrial. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Normatização Brasileira (NBR) 10004 (ABNT, 2004a) prioriza a origem do resíduo para realizar sua classificação, baseando-se em uma listagem de resíduos perigosos, que apresentam constituintes que possuem características de periculosidade. Todavia, se a matéria-prima, a atividade, o processo ou os insumos não são conhecidos, faz-se necessário verificar as características que podem identificá-los como perigosos, o que demanda um maior esforço financeiro, operacional e de tempo, em relação àqueles resíduos de origem conhecida.

Atualmente, vários empreendimentos cerâmicos empregam RSI siderúrgicos na produção de artefatos cerâmicos, sem existir uma regularização ambiental específica junto ao órgão de controle ambiental nacional e estadual. Alguns estudos apontam a inserção de RSI siderúrgicos à fabricação de tijolos (JONKER; POTGIETER, 2005; OLIVEIRA et al., 2004; OLIVEIRA; MARTINS, 2003; VIEIRA et al., 2007; VIEIRA; MONTEIRO, 2009), como forma de resolver os problemas inerentes a destinação adequada dos RSI. As peças cerâmicas incorporadas com RSI apresentam-se visualmente similares aos artefatos clássicos, sem adição de resíduos (ANDERSON et al., 1996). Os tijolos incorporados com cinzas volantes geradas durante a operação de incineradores é indistinguível dos artefatos cerâmicos comuns.

A Minuta de Modificação da DN COPAM 74/2004 (MINAS GERAIS, 2013), está direcionada para o emprego de RSI siderúrgicos na incorporação junto à produção de artefatos de cerâmica, na proporção de 10%. Tal destinação apresenta-se ambientalmente adequada para os empreendimentos siderúrgicos, e na visão dos órgãos de regularização e controle ambiental do Estado de MG (MINAS GERAIS, 2013), pautados em pesquisas que apresentaram a incorporação de resíduos na produção cerâmica como uma alternativa ambientalmente correta para a destinação do RSI. Entretanto, deve-se ressaltar que a normatização junto a NBR 10004 ABNT (2004a) classifica as cinzas volantes como perigosas.

Deste modo, faz-se necessário a caracterização deste RSI e a análise da gestão aplicada às cinzas volantes, com o intuito de verificar a classificação do resíduo e a viabilidade da atual reciclagem proposta. Logo, o presente trabalho tem como objetivo analisar amostras de cinzas volantes em três empreendimentos distintos, na cidade de Divinópolis/MG, com o intuito de fomentar a adequada caracterização e gestão do RSI pelos órgãos ambientais estaduais, e sensibilizar os geradores e gestores para a aplicação de medidas mais protetivas ao meio ambiente e à saúde humana.

2 METODOLOGIA

As amostras de cinzas volantes analisadas foram obtidas junto a três empreendimentos siderúrgicos localizados na cidade de Divinópolis, no Estado de Minas Gerais, no Brasil, as quais empregam em sua produção, o carvão vegetal como fonte de calor.

A coleta, transporte e ensaios realizados foram pautados nas NBR de números: 10004(ABNT, 2004a), 10005(ABNT, 2004b), 10006(ABNT, 2004c) e 10007 (ABNT, 2004d), com o intuito de utilizar o padrão de análises responsável pelo direcionamento dos órgãos de controle e gestão ambiental. As análises realizadas buscaram identificar elementos traços nos extratos lixiviados e solubilizados, com o objetivo de caracterizar o RSI por meio da NBR 10004, e verificar a atual gestão ambiental aplicada ao resíduo siderúrgico, propondo adequações e mudanças (ABNT, 2004a).

A metodologia foi aplicada com base nas NBR da ABNT com o uso de equipamentos, vidraria e procedimentos definidos pela norma. A concentração de elementos traço foi obtida por meio do espectrômetro de absorção atômica com chama: Varian, SpectrAA 110, Melbourne, Austrália, existente no Laboratório de Análises Foliar do Departamento de Química, da Universidade Federal de Lavras.

2.1 Amostragem

A amostragem de resíduos sólidos está normatizada pela NBR 10007(ABNT, 2004d) que fixa requisitos exigíveis, objetivando a coleta

representativa do resíduo, permitindo determinar as suas características quanto a classificação e métodos de tratamento.

Foi estabelecido um plano de amostragem das cinzas volantes, dentro do grupo de três empresas distintas envolvidas no processo siderúrgico, com utilização de carvão vegetal como fonte de calor, no município de Divinópolis, em Minas Gerais.

Com o intuito de obter a concentração média para cada resíduo, foi realizada uma amostra composta. Foram retiradas quatro alíquotas das amostras de três seções: topo, meio e base, por meio da introdução oblíqua do amostrador, ou sendo possível, foi efetuado o espalhamento da pilha/monte e a coleta foi realizada por quarteamento, acondicionada em recipiente de polietileno, previamente descontaminado com solução de ácido nítrico a 10%. As coletas foram realizadas com emprego de amostrador de pilhas e montes “Trier” e uma pá de polietileno, em volume de 2 litros para cada empreendimento. Não foram utilizados métodos adicionais de preservação das amostras, devido as coletas terem sido realizadas em amostras sólidas, destinada a análise de metais, com prazo previsto para armazenagem de 180 dias.

2.2 Procedimento de Lixiviação

O procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos é descrito pela NBR 10005(ABNT, 2004b), norma que objetiva diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10004(ABNT, 2004a), entre classe I, perigosos, e classe II, não perigosos. Definindo como lixiviação, o processo de determinação da capacidade de transferência,

por meio da dissolução no meio extrator, de substâncias presentes no resíduo sólido, sejam orgânicas ou inorgânicas.

Para a execução do procedimento de lixiviação foram aplicadas as normatizações contidas junto a NBR 10005(ABNT, 2004b), pertinentes às cinzas volantes, com o intuito de quantificar as concentração de Pb, Cd e Cr Total. Após a determinação preliminar das amostras, uma alíquota de 100 gramas ($\pm 0,1$) foi acondicionada em frasco de lixiviação e adicionada uma quantidade de solução de extração igual a 20 vezes a massa do resíduo. O frasco foi submetido a agitação durante 18 horas ($\pm 0,2$), com temperatura inferior a 25 °C e, rotação de 30 ($\pm 0,2$) rpm no agitador rotatório. Após o período a amostra foi filtrada em um aparelho de filtração a vácuo, e encaminhada para determinação de analítica dos elementos traço, no prazo inferior ao limite máximo de 180 dias.

A concentração de elementos traço foi obtida por meio do espectrômetro de absorção atômica com chama Varian, SpectrAA 110 (Melbourne, Austrália), existente no Laboratório de Análises Foliar do Departamento de Química, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.3 Procedimento de Solubilização

O procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos é normatizado pela NBR 10006(ABNT, 2004c), a qual tem o objetivo de distinguir os resíduos entre classe II-A, não-inertes e, classe II-B, inertes, conforme classificação contida junto ao “G” da NBR 10004(ABNT, 2004a). Para a obtenção do extrato solubilizado das amostras, norteadas para a quantificação de Mn, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn e Cr

Total, alíquotas de 250 gramas de base seca e peneirada do resíduo foram colocadas em um frasco de 1500 mL, adicionado 1000 mL de água destilada e agitada em baixa velocidade por 5 min. O frasco foi coberto com filme de PVC e deixado em repouso por 7 dias, em temperatura de 25 °C, com posterior filtragem e encaminhamento para em prazo inferior ao limite máximo de 180 dias, para quantificação analítica por meio da espectrometria de absorção atômica.

A concentração de elementos traço Mn, Fe, Cu, Zn e Cr Total foi obtida por meio do espectrômetro de absorção atômica com chama Varian, SpectrAA 110 (Melbourne, Austrália), existente no Laboratório de Análises Foliar do Departamento de Química, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

As análises de Cd e Pb realizadas no Laboratório de Pedologia e Geoquímica Ambiental, do Departamento de Ciências do Solo da UFLA, utilizaram um espectrômetro de absorção atômica Perkin Elmer AAnalyst 800. Para o Cd as temperaturas foram: secagem 110 e 130°C, pirólise 500°C e atomização 1500°C. Para o Pb: secagem 110°C e 130°C, pirólise 850°C e atomização 1600°C. Para ambos os modificadores são 50 micrograma/L de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ + 3 micrograma/L de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ e a temperatura de limpeza 2400°C.

Para a classificação do resíduo quanto a classe II-A, ou classe II-B, os resultados obtidos decorrentes da quantificação analítica do extrato solubilizado, foram analisados conforme os padrões estabelecidos junto ao anexo “G” da NBR 10004(ABNT, 2004a).

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos para os ensaios de lixiviação e de solubilização estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, nas quais também estão expostos os limites máximos estabelecidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004a).

Tabela 1 Concentração de metais no lixiviados das cinzas volantes siderúrgicas

Parâmetro	Limite Máximo NBR 10004/2004 (mg L ⁻¹)	Concentração das amostras (mg L ⁻¹)		
		1	2	3
Cádmio	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chumbo	1,0	0,20 ± 0,01	2,46 ± 0,01	< 0,5
Cromo total	5,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Fonte: Adaptada da ABNT (2004a).

Tabela 2 Concentração de metais no solubilizados das cinzas volantes siderúrgicas

Parâmetro	Limite Máximo NBR 10004/2004 (mg L ⁻¹)	Concentração das amostras (mg L ⁻¹)		
		1	2	3
Cádmio	0,005	0,000	0,000	0,000
Chumbo	0,01	0,002 ± 0,00	0,046 ± 0,01	0,002 ± 0,01
Cobre	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cromo total	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ferro	0,3	0,016	0,275 ± 0,007	< 0,1
Manganês	0,1	5,715 ± 1,082	6,095 ± 1,336	0,505 ± 0,148
Zinco	5	0,130 ± 0,028	0,170 ± 0,113	< 0,1

Fonte: Adaptada da ABNT (2004a).

Os resultados apresentados na pesquisa indicam que as amostras de cinzas volantes analisadas estão classificadas como resíduo classe I, perigoso, junto à NBR 10004 (ABNT, 2004a), devido a toxicidade dos elementos traço Pb, presente no extrato lixiviado. Os valores verificados nos extratos solubilizados indicam o RSI como não inerte, devido a concentração de manganês e chumbo, acima dos limites máximos estabelecidos.

4 DISCUSSÃO

As análises realizadas nas cinzas volantes indicam que o RSI é perigoso, devido a sua toxicidade decorrente da presença de chumbo no extrato lixiviado acima dos limites máximos estabelecidos. Além de apresentar subsidiariamente característica não inerte devido à solubilização de Pb e Mn. Caracterização que norteia a gestão adequada e mais protetiva ao meio ambiente, inviabilizando a disposição em locais não específicos aos RSI perigosos.

Análises realizadas neste, e em outros trabalhos, indicam diferentes composições das cinzas volantes, apesar das atividades desenvolvidas estarem localizadas ambas no Estado de MG, não sendo possível uma padronização específica que caracterize amplamente todos os resíduos. Contudo, sua composição indica a existência de compostos lixiviados e solubilizados, que apontam o caráter perigoso e não inerte deste RSI. Os elementos traços obtidos por meio dos extratos lixiviados e solubilizados das cinzas volantes indicam que este RSI pode causar impactos negativos aos ecossistemas, recursos hídricos e à saúde humana.

Atualmente, vários empreendimentos cerâmicos empregam RSI siderúrgico na produção de artefatos cerâmicos, por meio da substituição parcial da argila utilizada na produção de tijolos, por cinzas volantes siderúrgicas, sem existir uma regularização ambiental específica junto ao órgão de controle ambiental nacional. A incorporação de cinzas volantes na fabricação de artefatos cerâmicos é empregada atualmente no Estado de Minas Gerais, com previsão de normatização e autorização do órgão de controle ambiental, sem a necessidade de ensaios de lixiviação e

solubilização, ensejando a disposição irregular de RSI incorporados nos RCD, com possíveis impactos ambientais negativos, devido a segregação atual dos RCD incorporados com RSI, seguir a gestão para os RCD clássicos, sem adição de RSI.

A gestão atual aplicada às cinzas volantes e aos RCD incorporados com RSI, deve ser rapidamente aprimorada, com o intuito de possibilitar uma adequada quantificação da geração destes resíduos, a proposição de normatizações específicas, principalmente no que tange aos RCD incorporados, e possibilitar a adequação das destinações e disposições finais das cinzas volantes, em locais específicos para RSI perigosos e não inertes.

Os valores obtidos no trabalho realizado na cidade de Sete Lagoas, no Estado de Minas Gerais, no Brasil, apresentaram a concentração de 54,5 mg/kg de fenóis, valor que está acima do limite máximo de 10 mg/kg, estabelecido pela NBR 10004 (ABNT, 2004a) e apontam as amostras analisadas como resíduo classe I, perigoso, devido a quantidade de fenóis obtidos durante as análises. A Tabela 3 apresenta os valores obtidos por Oliveira e Martins (2003), nos ensaios com o extrato lixiviado, em comparação com os elementos traços analisados nesta pesquisa.

Tabela 3 Análise comparativa do lixiviado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003)

Parâmetro	Limite Máximo	Valores em mg L ⁻¹	
	NBR 10004/2004 (mg L ⁻¹)	Concentração	Oliveira e Martins(2003)
Cádmio	0,5	0,000	<0,004
Chumbo	1	2,460	<0,05
Cromo	5	0,000	<0,016
Total			

Fonte: Adaptada de Oliveira e Martins (2003) e ABNT (2004a).

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos por Oliveira e Martins (2003), no trabalho realizado na cidade de Sete Lagoas, em comparação com os elementos traços analisados nesta pesquisa, referentes à média dos extratos solubilizados.

Tabela 4 Análise comparativa do solubilizado das cinzas volantes siderúrgicas, resultados obtidos na presente pesquisa e no trabalho de Oliveira e Martins (2003)

Parâmetro	Limite Máximo	Valores em mg L ⁻¹	
	NBR 10004/2004 (mg L ⁻¹)	Concentração Máxima Verificada	Oliveira e Martins (2003)
Manganês	0,1	6,095	0,389
Chumbo	0,01	0,046	<0,05
Cádmio	0,005	0,00	<0,004
Ferro	0,3	0,275	<0,164
Cobre	2	<0,1	<0,010
Zinco	5	0,170	<0,001
Cromo Total	0,05	<0,05	<0,016

Fonte: Adaptada de Oliveira e Martins (2003) e ABNT (2004a).

Os valores de elementos traço lixiviados e solubilizados dos extratos obtidos na presente pesquisa, e no trabalho de Oliveira e Martins (2003), indicam que há uma grande variação na concentração de metais nas amostras analisadas, coletadas no estado de Minas Gerais. Esta variação pode decorrer da matéria-prima utilizada, das pequenas modificações no processo produtivo, e na correta estocagem do RSI. Uma fidedigna caracterização das cinzas volantes deve contemplar amostras de inúmeros empreendimentos localizados no estado, com o objetivo de se obter grande número de variações na concentração dos elementos traço e possibilitar uma ponderação média dos valores obtidos.

A gestão ambiental aplicada às cinzas volantes não pode ser direcionada a partir de amostras que apresentaram uma baixa concentração de elementos traço, mas sim, até que seja realizado o diagnóstico estadual da geração e classificação do RSI, ou normatizada a incorporação nas peças cerâmicas, pautar-se em medidas de prevenção e precaução, devido ao caráter perigoso e não inerte das amostras que apresentam extratos lixiviados e solubilizados acima dos limites máximos normatizados.

Observa-se que o extrato solubilizado da cinza volante siderúrgica analisada apresentou a concentração de 6 mg L^{-1} para Mn, elemento traço que está 60 vezes acima do limite de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ estabelecido pela normatização, Anexo “G” da NBR 10004 (ABNT, 2004a). Numa proporção de 10%, conforme proposto pela Minuta de Modificação da DN COPAM 74/2004 (MINAS GERAIS, 2004), a concentração de Mn na cerâmica incorporada com esse resíduo ainda ficaria 6 vezes acima do limite, teoricamente, em torno de $0,6 \text{ mg L}^{-1}$, sem considerar a

concentração de Mn na argila ou se o elemento traço é perdido, ou fixado na cerâmica durante a queima. Entretanto, no caso de resíduos com alto teor de qualquer um dos contaminantes, a sugestão seria não usá-los, como medida de prevenção e precaução dos potenciais impactos ambientais negativos. Já no caso do chumbo, para o mesmo resíduo, a concentração encontrada foi de $0,046 \text{ mg L}^{-1}$ e o limite normatizado é de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. Ou seja, ao preparar a cerâmica incorporada a 10%, a concentração de chumbo diminui para $0,0046$, dez vezes menos, e estaria inferior ao limite máximo estabelecido pela norma.

A gestão dos resíduos sólidos no estado de Minas Gerais, não contempla atualmente a segregação e destinação ambiental dos RCD incorporados com RSI, distinta daquela aplicada à gestão do RCD clássicos, sem adição de resíduos de outras atividades potencialmente poluidoras e degradadoras de meio ambiente. Deste modo os RSI incorporados nos RCD serão segregados visualmente e encaminhados para as destinações normatizadas para os RCD clássicos, potencializando os impactos ambientais negativos inerentes a disposição irregular de RSI, principalmente, aqueles classificados como perigosos e não inertes.

A degradação da qualidade ambiental é apresentada por meio de qualquer modificação nas características ambientais, conforme estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente, disposta na Lei 6938/81 (BRASIL, 1981). A gestão inadequada de RSI apresenta um grande potencial para a geração da poluição ambiental, sobretudo, no que tange a dispersão de elementos traço, com a consequente contaminação do solo, atmosfera, recursos hídricos e danos à fauna e flora.

Os elementos traço presentes nos RSI podem ser transportados por meio do lançamento de efluentes industriais, do escoamento de águas pluviais, da drenagem de materiais e de acidentais com substâncias químicas. Os agentes contaminantes podem contaminar o solo, os recursos hídricos, e impactar severamente os ecossistemas, principalmente os costeiros (NASCIMENTO et al., 2000; NIPPER, 2000), devido a biocumulação dos elementos traços nos vegetais e animais bentônicos.

Os RCD incorporados com cinzas volantes siderúrgicas com concentrações de elementos traço similares às analisadas neste trabalho, podem lixiviar e solubilizar Pb e Mn para o ambiente e promover impactos ambientais negativos. O chumbo proveniente de atividades industriais presente no solo poderá ser absorvido pelas plantas, animais domésticos e silvestres, acumulando-se a cada nível trófico, conforme pesquisa desenvolvida com ovelhas, em locais contaminados com este elemento traço (PAREJA-CARRERA; MATEO; RODRÍGUEZ-ESTIVA, 2014). O metal acumula gradativamente e, conseqüentemente, repassa está carga para os seres humanos, processo denominado de magnificação na cadeia trófica. Outro caso de contaminação por metais se refere ao uso de água superficiais e subterrâneas, contaminadas com manganês, em Huangxing Town, na China Oriental, apresenta um grande risco potencial à saúde humana, devido a seu potente caráter neurotóxico (ZENG et al., 2009).

A gestão aplicada aos RSI deve ser protetiva ao meio ambiente e precaver-se de possíveis impactos ambientais, por meio da aplicação da legislação específica, das normatizações pelos órgãos de controle, do

desencadeamento de ações mitigadoras das atividades potencialmente poluidoras e degradadoras. Com o intuito de evitar severos danos ambientais, de aumentar a sustentabilidade ambiental dos empreendimentos e atividades, com a consequente proteção dos recursos naturais, à fauna e flora silvestre, e à saúde humana.

5 CONCLUSÃO

As amostras de cinzas volantes siderúrgicas analisadas apresentaram lixiviação e solubilização de elementos traço: Pb e Mn, acima dos limites máximos normatizados, fato que caracteriza o RSI como perigoso e não inerte.

A reciclagem do RSI siderúrgico analisado, aplicada na produção de artefatos cerâmicos no Estado de MG, indica uma inadequada gestão e disposição final irregular do RSI industrial perigoso, fato que maximiza os impactos ambientais negativos esperados, no que se refere à disposição irregular dos RSI e RCD incorporados.

Os RCD incorporados com cinzas volantes siderúrgicas não apresentam visualmente diferenças com os RCD clássicos, fato que dificulta a segregação e destinação ambiental adequada. Atualmente, a incorporação do RSI siderúrgico na produção cerâmica, apresenta-se como uma solução ambientalmente benéfica para os órgãos de controle ambiental, entretanto, o resíduo classifica-se como perigoso e deve ser aplicada uma gestão mais protetiva ao meio ambiente.

INDUSTRIAL SOLID WASTE MANAGEMENT: ANALYSIS OF THE SIDERURGY SOLID WASTE IN THE STATE OF MINAS GERAIS

ABSTRACT

This research aims at analyzing industrial solid waste (ISW) obtained from the steel production in Divinópolis, Minas Gerais (MG), Brazil, with emphasis on the environmentally sound disposal and management of building waste (BW) containing steel ISW. Analyses of leaching and solubilization of trace elements was conducted on fly ash obtained from steel companies. We confirmed the classification of this waste as a class I, according to the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), due to its toxicity from the high concentration of Pb in the leachate and of Mn in the solubilized extract, indicating the insertion of bio accumulative metals, causing negative environmental impacts and damage to human health. ISW becomes worrying in a scenario characterized by its inadequate environmental management.

Keywords: Fly Ash, Trace Element, Environmental Pollution.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. et al. Case study involving using fluidised bed incinerator sludge ash as a partial clay substitute in brick manufacture. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 34, n. 3/4, p. 507-515, 1996. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/027312239600618X>>. Acesso em: 20 out. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004a. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: lixiviação de resíduos – procedimento. Rio de Janeiro, 2004b. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: solubilização de resíduos – procedimento. Rio de Janeiro, 2004c. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos = Sampling of solid wasterequirements . 2. ed. Rio de Janeiro, 2004d. 21 p.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 17 jun. 2014.

BRITO, A. L. F.; SOARES, S. R. Assessment of integrity and retention of heavy metals in materials stabilized by solidification. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 39-48, Jan./Mar. 2009. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-66249088710&partnerID=40&md5=ad9dd64eb124a8b4b21312c5341b9028>>. Acesso em: 25 maio 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Empresa. **Pesquisa Industrial**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 1-182, 2009.

Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/empresas/2009/piaempresa2009.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

JONKER, A.; POTGIETER, J. H. An evaluation of selected waste resources for utilization in ceramic materials applications. **Journal of the European Ceramic Society**, Oxford, v. 25, n. 13, p. 3145-3149, Aug. 2005. Disponível em:

Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221904003127>>. Acesso em: 20 out. 2014.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa nº 74, de 09 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2 out. 2004. Disponível em:

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=32335>>.

Acesso em: 15 jun. 2014.

NASCIMENTO, A. et al. Integration of varying responses of different organisms to water and sediment quality at sites impacted and not impacted by the petroleum industry. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, London, v. 3, n. 4, p. 449-458, Dec. 2000. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463498800000452>>. Acesso em: 15 jun. 2014.

NIPPER, M. Current approaches and future directions for contaminant-related impact assessments in coastal environments: Brazilian perspective. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, London, v. 3, n. 4, p. 433-447, Dec. 2000. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463498800000464>>. Acesso em: 20 out. 2014.

OLIVEIRA, G. E. et al. Utilization of solid waste from siderurgical industry in red ceramic. **Cerâmica**, São Paulo, v. 50, n. 314, p. 75-80, Apr./June 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132004000200002>. Acesso em: 25 maio 2015.

OLIVEIRA, M. R. C. de; MARTINS, J. Caracterização e classificação do resíduo sólido "pó do balão", gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal: estudo de um caso na região de Sete Lagoas/MG. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 05-09, jan./fev. 2003.

PAREJA-CARRERA, J.; MATEO, R.; RODRÍGUEZ-ESTIVAL, J. Lead (Pb) in sheep exposed to mining pollution: implications for animal and human health. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 108, p. 210-216, June 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651314003066>>. Acesso em: 20 maio 2015.

VIEIRA, C. M. F. et al. Incorporation of blast furnace sludge into red ceramic. **Cerâmica**, São Paulo, v. 53, n. 328, p. 381-387, Oct. 2007. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-41149147503&partnerID=40&md5=72113f44985667b1eef589b6ee8c1f2e>>. Acesso em: 20 out. 2014.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. Incorporation of solid wastes in red ceramics - an updated review. **Revista Materia**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 881-905, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-70762009000300002>>. Acesso em: 20 out. 2014.

ZENG, G. et al. Spatial analysis of human health risk associated with ingesting manganese in Huangxing Town, Middle China. **Chemosphere**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 368-375, Oct. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509007954>>. Acesso em: 19 set. 2014.