

VI-009 – GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS NA PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA

Isabela Solana⁽¹⁾

Acadêmica de Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Claudia Luiza Manfredi Gasparovic

Acadêmica de Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Fernanda Fonseca da Silva

Acadêmica de Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Elias Lira dos Santos Junior

Mestre em Ciências de Engenharia pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF; 2002). Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira/PR.

Juliana Bortoli Rodrigues Mess

Doutora em Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE/PR (2010). Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira/PR.

Endereço⁽¹⁾: Av. Soledade, 2181 - Centro - Medianeira - PR - CEP: 85884-000 - Brasil - Tel: (45) 99193430 - e-mail: isabela_solan@hotmail.com

RESUMO

As usinas siderúrgicas são conhecidas por serem altamente poluidoras, surgindo assim à preocupação de gerenciar os seus resíduos de forma adequada. Por isso esta pesquisa de caráter qualitativo, tem por objetivo identificar os resíduos gerados na produção de ferro-gusa, classificá-los conforme a norma de resíduos sólidos (NBR 10.004/04) e indicar alternativas de reciclagem, tratamento e disposição final, bem como identificar as fontes de poluição gasosa e os limites máximos de lançamento apontando alternativas de reutilização/reciclagem e tratamento, baseadas em bibliografias de siderúrgicas típicas e/ou padrão. A etapa da redução envolve a produção do coque, do sínter e a produção do ferro-gusa, assim, a partir do conhecimento da origem e composição dos resíduos gerados nesses processos, percebeu-se que a maioria dos resíduos foram classificados como resíduos perigosos de classe I, e não perigosos de classe II B, devido poderem causar danos a saúde humana e ao meio ambiente. Entre as alternativas de disposição e tratamento estão presentes a reciclagem interna, venda, transformação em um subproduto, recuperação de produtos e destinação final em aterro industrial. Entre as alternativas de tratamento das emissões estão o ciclone, o filtro de manda, o precipitador eletrostático e também como alternativa a geração de energia térmica e elétrica. Com isso, nota-se a redução significativa dos impactos ambientais negativos oriundos dos resíduos por optar por soluções adequadas, podendo trazer além de ganhos ambientais, também econômicos.

PALAVRAS-CHAVE: Usina siderúrgica, ferro-gusa, resíduos sólidos, emissões atmosféricas, meio ambiente.

INTRODUÇÃO

As usinas siderúrgicas, na sua maioria, são classificadas segundo seu processo produtivo em integradas, que operam as etapas de redução, refino e laminação, produzindo o aço a partir do ferro-gusa em alto-forno com o uso de coque ou carvão vegetal como redutor; semi-integradas, que operam duas fases do processo, o refino e a laminação e; as não-integradas, não produzem aço, e operam apenas no processo de redução ou processamento.

As principais operações na fabricação do aço são: produção de coque (coqueria); produção do sínter (sinterizações); produção do gusa (altos-fornos); pré-tratamento do gusa (dessulfuração, dessiliciação e/ou desfosforação); produção do aço (aciaria) - refino primário, secundário e lingotamento; conformação de produtos semi-acabados (laminações) - a quente e a frio; e serviços auxiliares (fábrica de oxigênio, manutenção industrial, fornos de calcinação, manuseio de matérias primas, produção de energia, tratamento de água e de resíduos industriais). Em cada uma dessas operações há o consumo de matérias-primas, insumos e energia, que

acabam gerando resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Siderurgia, as indústrias no Brasil geram, em média, 420 kg de resíduos sólidos para cada tonelada de aço produzida (FIOCRUZ, 2009 apud IBS, 2007).

Para o minério de ferro ser transformado em aço ele precisa passar por uma redução em alto-forno, onde vai formar o ferro-gusa (estado líquido), e depois passar pela acaria. O ferro gusa é a matéria-prima de todos os produtos siderúrgicos, ferro fundido, aços, aços ligados, entre outros. A Figura 1 mostra o funcionamento de um alto-forno, as matérias-primas são adicionadas na parte superior e, na descida, devido a elevada temperatura e a entrada de ar quente, obtém-se, em estado líquido, a escória e ferro gusa no cadrinho na base inferior, enquanto as poeiras e gases no topo.

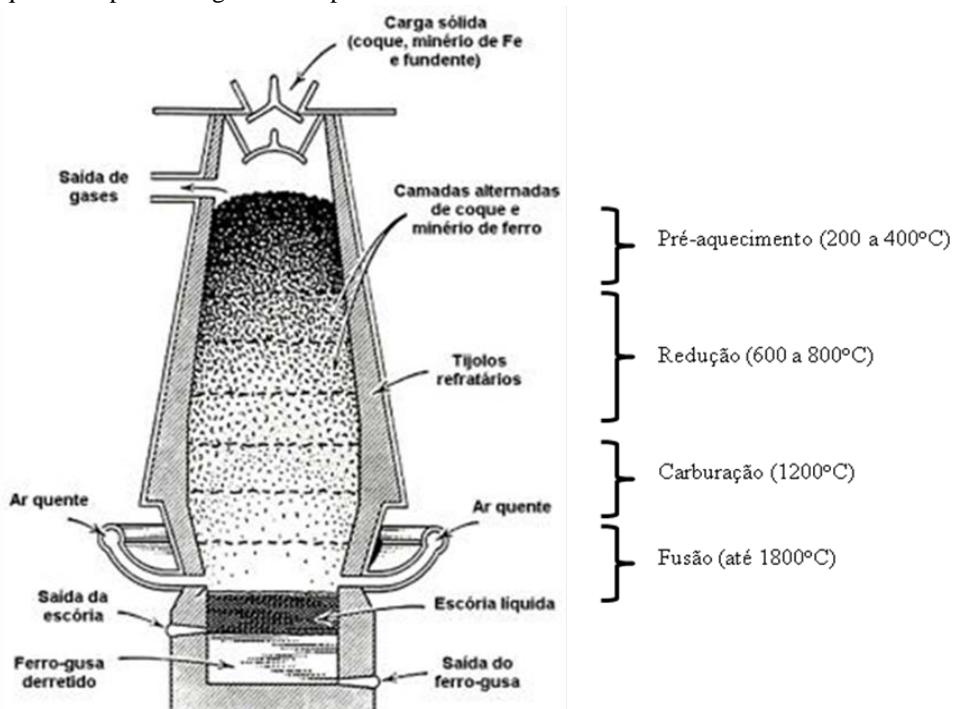


Figura 1: Zonas de aquecimento e funcionamento do alto-forno a coque.

Fonte: Adaptado de Pavanati, 2010.

Na primeira zona, a de pré-aquecimento, ocorre a evaporação da umidade; na zona de redução é onde se separa o oxigênio da combinação química que forma o minério; na região da carburação tem-se um enriquecimento de ferro com carbono; e finalmente, na zona de fusão obtém-se o ferro-gusa líquido que cai no cadrinho. Como a escória é mais leve que o ferro-gusa, ela sobrenada no cadrinho, permitindo a sua separação (BRAILE; CAVALCANTE, 1993).

Entre as etapas de produção de uma usina siderúrgica a que foi estudada é a de redução, esta etapa é concluída quando se transforma o minério de ferro e o carvão em um metal primário líquido, para posterior transformação em aço. Na etapa de redução as operações envolvidas são a produção do coque (coqueria) e produção do sínter (sinterização), e a produção do gusa (alto-forno), como mostra a Figura 2.

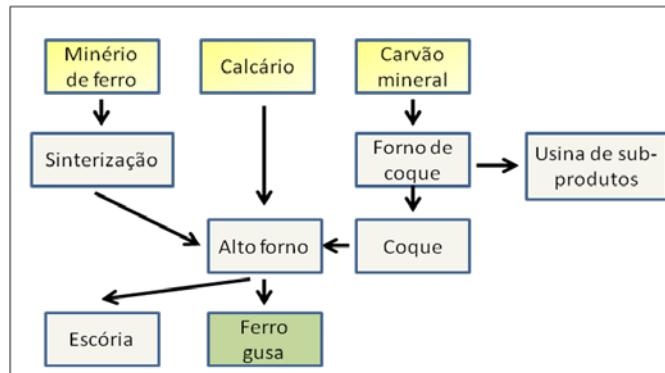


Figura 2: Fluxograma da produção de ferro-gusa.

O primeiro processo é a coqueria, que consiste no carvão como matéria-prima para a produção do coque metalúrgico, gases e inúmero subprodutos. A sinterização consiste na aglomeração a quente de finos de minério de ferro com o objetivo de formar uma massa sólida (sínter) com características de porosidade, resistência mecânica e granulometria adequadas a sua utilização nos altos fornos.

No alto-forno ocorre a redução e fusão do minério de ferro, na presença do coque e do fundente, como o calcário, que serve para reduzir o ponto de fusão, e formar o ferro-gusa, uma liga de ferro-carbono. O ferro-gusa possui uma temperatura de aproximadamente 1480 a 1530°C e é composto de 94,5% de Fe, 4,5 a 5% de C, 0,04% de Si e 0,045% de S, sendo a principal matéria-prima para a fabricação de aço na Aciaria (CST, 2013).

Durante o processo de produção do ferro-gusa tem-se a geração de diversos tipos e quantidades de resíduos. Segundo Machado (2006) estes resíduos podem ser classificados em 3 grupos: os recicláveis, os resíduos carboquímicos e as escórias. Os recicláveis são os que contém ferro, como as poeiras e lama de alto-forno, e poeiras de sinterização; as escórias são as geradas no alto-forno; e os resíduos carboquímicos são os gerados pelas etapas de produção e manuseio do coque.

As indústrias buscam adotar as melhores soluções para uma produção com maior eficiência, como: reduzindo o consumo de insumos, matérias-primas e de logística; minimizando a produção de resíduos, evitando desperdício e perda de produto na linha de produção; reutilizando o máximo os efluentes líquidos e resíduos; vendendo resíduos que não são aproveitáveis na própria usina para utilização em outros processos ou até comprando resíduos de outras usinas para utilização no processo, entre outras atitudes (ABM, 2008).

Assim, este trabalho tem por objetivo identificar os resíduos sólidos gerados na produção de ferro-gusa, classificá-los conforme a legislação nacional e indicar alternativas de reciclagem, destinação e disposição final. Bem como, identificar as emissões atmosféricas, suas fontes, seu padrão de emissão e alternativas de tratamento, com a finalidade de transformar um resíduo, que em muitos casos fica exposto a céu aberto, trazendo riscos à saúde e impactos negativos ao meio ambiente, em um insumo ou até mesmo matéria-prima no mesmo ou em um novo processo, mas sem acarretar elevados gastos à indústria.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é de caráter qualitativo, ou seja, usa um método indutivo, que utiliza a subjetividade do pesquisador. Por meio de dados bibliográficos de siderúrgicas típicas e/ou padrão, mapeou-se o processo produtivo do ferro-gusa; classificou-se os resíduos sólidos gerados em cada etapa de acordo com a NBR 10.004/04 e, propôs-se sua reciclagem interna e alternativas de destinação e disposição final, transformando o resíduo em um insumo ou subproduto para a usina siderúrgica ou em outras indústrias.



XII SIBESA

XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

2014



Entende-se por resíduos sólidos, segundo a ABNT NBR 10.004/04 como:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

A partir dessa mesma norma, os resíduos sólidos foram classificados como: Perigosos (Classe I): que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade; Não perigosos (Classe IIA – não inertes): apresentam propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água e, Não perigosos (Classe IIB – inertes): resíduos que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água desionizada, à temperatura ambiente, não solubilizam a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Também foram considerados os resíduos gasosos, ditos como emissões atmosféricas. A legislação de referência foi a Resolução CONAMA Nº 436/11, que permitiu a identificação dos padrões de emissão de acordo com a sua fonte e composição. E os dados bibliográficos possibilitaram propor a reciclagem/reuso interno e alternativas de tratamento usuais dos poluentes atmosféricos, visando eliminar ou reduzir os impactos sobre a saúde e ao meio ambiente.

A Resolução CONAMA 003/90 aponta a seguinte definição para poluente atmosférico:

“Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.”

RESULTADOS

Conhecendo a origem e a composição de cada resíduo, tornou-se possível classificá-los quanto a sua periculosidade e proporcionar uma tomada de decisão a respeito de sua destinação ou de seu reuso de forma correta e viável, trazendo além de ganhos ambientais, também econômicos. Dessa forma, com o propósito de uma gestão de resíduos no processo produtivo de ferro-gusa com vistas à minimização dos impactos ao meio ambiente foi construída as Tabelas 1 e 2, que contém todos esses resultados.

A Tabela 1 contempla os resultados encontrados para a gestão dos resíduos sólidos, oriundos das etapas de preparação da matéria-prima e de redução, para a produção do ferro gusa. Foram analisados os resíduos ou subprodutos gerados, sua composição e classificação, e partir disso, discernido a ação a ser tomada com estes.

Tabela 1: Classificação, reciclagem/reuso e destinação/tratamento/disposição final dos resíduos sólidos

Origem	Resíduos/ subprodutos	Composição (aproximada)	Classe	Reciclagem/ reuso interno	Alternativas de destinação/tratamento/ disposição final
COQUEIFICAÇÃO	Alcatrão bruto	piche (63%) naftaleno(10%) antraceno(10%) óleo pesado (7%) óleo leve (5%) alcatrão ácido e básico (5%)	Classe I – perigoso	Recuperação de alguns produtos na destilação do alcatrão	Os produtos destilados são usados como piche, desinfetante, nafta, etc. E os não recuperados são destinado para aterro industrial
	Moinha de coque	C (85%) Cinzas (13%)	Classe II B – não perigoso inerte	Sinterização	Destinado à caldeiras de cimenteiras ou siderúrgicas
SINTERIZAÇÃO	Finos de minério de ferro	Fe _(t)	Classe II B – não perigoso não inerte	Retorno a sinterização ou produção de briquetes	Pavimentação de estradas
ALTO FORNO	Escória	Impurezas Fe e outros metais (Al, Sb, Cd, Cr, Mn)	Classe II B – não perigoso e não inerte	Sinterização	escória bruta (aterros); escória granulada é usada na indústria cimenteira,, agregados, pavimentação de estradas, tijolos, indústria de vidros, agricultura e outros
	Pó de coletores	Fe _(t) (35%) C (22%) SiO ₂ (7%) Fenóis	Classe I - perigoso	Reciclagem na sinterização e retornam ao alto- forno como matéria-prima	Fabricação de briquetes usados como fonte energética em diversas indústrias
	Lama	Fe _(t) (40%) C (30%) SiO ₂ (7%) Fenóis	Classe I - perigoso	Sinterização	Agricultura (pastagens ou ração) e indústria cerâmica

Fonte: adaptado de Braile & Cavalcante (1993); Takano *et al.* (2000); Almeida & Melo (2001); Oliveira & Martins (2003); Machado (2006).

A principal reciclagem observada é em sinterização, onde “os resíduos e fundentes são aglomerados, possibilitando obter, por fusão parcial, à temperatura de 1200-1400°C, um produto, denominado sínter, com propriedades físico-químicas e metalúrgicas ideais para o alto-forno”, ou seja, os resíduos voltam para o processo da fabricação do gusa (ALMEIDA, 2001).

Embora seja uma prática comum a reciclagem da maior parte dos resíduos sólidos ricos em ferro via sinterização, devido suas características granulométricas (maioria inferior a 0,105 mm), tal prática não é a mais

recomendada, por diminuir a permeabilidade do leito da carga e consequentemente a perda da produtividade da sinterização (TAKANO *et al.*, 2000).

Os finos com alto poder calorífico são transformados em pellets ou briquetes, que consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligante, e com ou sem tratamento térmico posterior, aglomerando esse material e dando uma dimensão definida. Esses briquetes dependendo de sua composição final são utilizados como fonte energética no próprio processo produtivo ou mesmo vir a ser utilizado em outros setores.

Os resíduos classificados como Classe I – perigoso, necessitam de cuidados especiais na estocagem, manuseio e transporte. Como é o caso do pó de coletor e lama do alto-forno e do alcatrão da coqueria. Estes dois primeiros resíduos só tiveram essa classificação porque estão contaminados por fenóis, mas mesmo assim estão sendo utilizados com cuidado na agricultura e na indústria cerâmica.

Na agricultura há casos destes resíduos serem aplicados diretamente no solo para a plantação de milho, que posterior é usado na ração para gado leiteiro. E no setor cerâmico os resíduos são incorporados à massa da argila, auxiliando na coloração dos tijolos, devido à quantidade existente de óxidos de ferro nos resíduos, e contribuindo com um ganho energético de até 50% no processo. Mas essas aplicações ainda precisam ser mais avaliadas (Oliveira, 2001).

Entre os materiais produzidos em maior quantidade esta a escória de alto forno. A escória é um subproduto e possui uma grande quantidade de metais como alumínio, antimônio, cádmio, cromo, estanho, manganês, molibdênio, selênio, tálio e vanádio. Ela também possui propriedades semelhantes ao clínquer e, por isso, é principalmente vendida para empresas de cimento. Porém, ainda não são claros os impactos para a saúde de trabalhadores da indústria de cimento e da construção civil da inalação ou contato dérmico constante com pó de cimento com elevada concentração desses metais (FIOCRUZ, 2009).

A recuperação dos valores metálicos contidos nesses resíduos passou a ser muito importante tanto do ponto de vista das legislações de proteção do meio ambiente, como do ponto de vista econômico, por contribuírem para a compensação dos custos de instalação e operação de equipamentos antipoluição instalados nas usinas (TAKANO *et al.*, 2000).

Logo, com a construção da Tabela 1, pôde-se observar que a maioria dos resíduos industriais de uma siderúrgica, especificamente nos processos de produção do coque e do gusa, são classificados como perigosos ou não perigosos, mas não inertes, que significa que podem trazer risco à saúde pública e riscos ao meio ambiente, se o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Mas devido a riqueza e valor que esses resíduos possuem, sua maioria também pode receber outra destinação diferente de um aterro industrial, como a reciclagem interna, venda, transformação em um subproduto, recuperação de produtos, entre outros.

Na Tabela 2 os resultados encontrados são referentes as emissões atmosféricas no processo de produção do ferro-gusa, também oriundos das etapas de preparação da matéria-prima e de redução. Foram analisadas as principais composições dos gases, sua fonte de geração e o padrão de emissão definido na legislação nacional para indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas e, partir dessas informações, sugeriu-se formas de reciclagem ou reuso interno e alternativas de tratamento desses poluentes.

Tabela 2: Padrão de emissão, reciclagem/reuso e tratamento das emissões atmosféricas

Origem	Composição	Fonte	Padrão de emissão	Reciclagem/reuso interno	Alternativas de tratamento usuais
COQUEIFICAÇÃO	$H_2, CH_4, N_2, CO_2, CO, C_2H_4, Fenóis, H_2S, SO_x, NO_x, NH_3$	Câmara de combustão dos fornos de coque	40 mg /Nm ³ de MP	Queima no forno de aquecimento ou produção de energia termoelétrica , devido o alto poder calorífico da ordem de 4.200 a 4500 kcal/m ³ . Recuperação da amônia a partir do sulfato de amônio ou fosfato de amônio, e recuperação de outros gases	Controle do processo de combustão Filtro de mangas
		Sistema de despoieiramento do desenfornamento	50 mg /Nm ³ de MP 800 mg /Nm ³ de SO_2 700 mg /Nm ³ de NO_x 7% de O_2		
SINTERIZAÇÃO	CO, CO_2 , SO_2 , NO_x , VOCs, MP, dioxinas	Chaminé do sistema primário	70 mg /Nm ³ de MP 600 mg /Nm ³ de SO_2 700 mg /Nm ³ de NO_x	Queima no forno de aquecimento ou produção de energia termoelétrica	Ciclone e Precipitador eletrostático Precipitador eletrostático ou Filtro de manga
		Chaminé do sistema secundário	70 mg /Nm ³ de MP		
ALTO-FORNO	$N_2, CO, CO_2, H_2, CH_4, MP, SO_x, NO_x$	Chaminé do sistema de despoieiramento da casa de estocagem e de corrida	40 mg /Nm ³ de MP	Recuperação e utilização no preaquecimento do ar nos recuperadores, acionamento de motores ou na produção de energia elétrica, entre outros, devido ao alto poder calorífico de até 800 kcal/Nm ³	Filtro de mangas

Fonte: adaptado de Braile & Cavalcante (1993); FioCruz (2009); MMA (2011).

Na coqueificação os gases liberados são recuperados e tratados, obtendo-se o gás de coqueria, que possui alto poder calorífico (PCI da ordem de 4.200 a 4500 kcal/m³) e também produtos carboquímicos que são processados na unidade de recuperação de subprodutos (MMA, 2011). Na sinterização as emissões são constituídas principalmente por MP e pelo SO_2 resultante da queima do enxofre presente nas matérias primas, que são oriundos basicamente das operações de manuseio, preparação e transferência das matérias primas e do produto (sínter) e das reações de combustão (MMA, 2011). Já nos altos fornos o poluente mais importante é o material particulado emitido tanto a partir dos processos de manuseio e transferência das matérias primas quanto no vazamento do gusa líquido.

A emissão de CO_2 , CH_4 , SO_x e NO_x deve-se, principalmente, à queima do carvão no processo de redução do minério de ferro. Estes gases contribuem para o aumento da quantidade de carbono na atmosfera e, consequentemente, para as mudanças climáticas. E também reagem com a umidade presente no ar formando ácidos de enxofre e de nitrogênio dando origem à chamada chuva ácida, que pode afetar plantas, aumentar a acidez de rios e lagos e danificar prédios e construções (FIOCRUZ, 2009).

O principal uso desses gases é através de sua queima para a produção de energia térmica ou elétrica, que pode ser utilizada na própria indústria ou em outras próximas, e também alguns componentes podem ser recuperados como a amônia, o hidrogênio, enxofre, etileno, gás sulfídrico e outros.

Esses gases se lançados à atmosfera sem passar por um tratamento ou acima dos valores de emissão permitidos podem afetar toda a região onde está implantada a usina, tanto no aspecto ambiental como trazer problemas de saúde, principalmente respiratória.

Segundo a FioCruz (2009) apud Gioda et al. (2004) os materiais particulados com diâmetro igual ou menor a 10 µm, também chamado de material particulado inalável, está associado a diferentes problemas de saúde, como os problemas respiratórios e aumento da incidência de câncer. Assim como “na presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), que são produzidos pela combustão incompleta da matéria orgânica presente no carvão e adsorvidos no material particulado” (FIOCRUZ, 2009 apud TERRA FILHO e KITAMURA, 2006).

Com relação aos impactos sobre a saúde da população, diferentes artigos apontam para a relação entre várias doenças e a poluição atmosférica emitida por siderúrgicas, devido ao grande número de substâncias tóxicas: poeira mineral, cromo, níquel, benzeno, tolueno, xileno, HPAs, ácido sulfúrico, componentes voláteis de piche de carvão, todos potencialmente cancerígenos (FIOCRUZ 2009 apud AHN, PARK et al., 2006). Por esses motivos, a existência e eficiência do sistema de tratamento de emissões é de suma importância em uma usina siderúrgica, além de serem indispensáveis para se conseguir atender a legislação ambiental.

Uma das alternativas de tratamento é o ciclone. Esse equipamento é recomendado para a remoção de particulados mais grosseiros. Com diâmetro de partícula acima de 44 µm ele apresenta eficiência de 90% de remoção. É indicado para chaminés que possuem alta vazão de emissão, e normalmente é usado como tratamento anterior ao filtro de manga.

O filtro de manga é uma opção para o tipo de indústria estudada, pois é excelente para remover partículas mais finas, com diâmetro abaixo de 10 µm, apresentando eficiência de até 100%. Mas não pode operar em saída de gases que apresentam características corrosivas, nem em condições úmidas ou em elevadas temperaturas, dependendo do material do filtro utilizado.

E quanto ao precipitador eletrostático também apresenta uma ótima eficiência com aproximadamente 99% de remoção de partículas de 10 µm, além de remover partículas sólidas ou gotas de líquidos. Este tipo de equipamento pode operar a temperaturas de até 650°C e pode processar altas vazões de gases, com uma faixa ampla de concentrações. Apenas não se aplica o precipitador eletrostático com gases ou partículas combustíveis pois corre riscos de explosões, devido sua forma de funcionamento.

Os equipamentos de tratamento de gases permitem coletar o material que foi separado da parte gasosa, esse material é armazenado para posterior condicionamento ou reintrodução no processo produtivo como matéria-prima.

A partir da Tabela 2, pode-se observar que a maioria dos gases liberados nesse processo produtivo são tóxicos e perigosos por isso necessitam de um controle das emissões, para evitar ou reduzir danos ao meio ambiente e à saúde da população.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

É muito importante gerenciar corretamente os resíduos de cada processo de uma usina siderúrgica, não somente do apresentado, por conter resíduos sólidos classificados como perigosos que podem trazer inúmeros riscos para o ecossistema onde for disposto e poluentes gasosos que podem prejudicar a saúde da população se não tratados corretamente.

Pôde-se notar que apesar da siderurgia consumir grandes quantidades de recursos naturais, ela tem a possibilidade de dar finalidades de forma satisfatória à grande parte dos seus resíduos industriais gerados ao longo do processo. Sendo que, aqueles que não podem ser reutilizados/reciclados, na maioria das vezes são

comercializados como fonte de matéria-prima para outros setores, como a indústria de cerâmica e a indústria cimenteira.

Por fim, as emissões gasosas também são fontes de matéria-prima para outros setores da indústria, por se conseguir coletar as partículas no tratamento de gases e também por ser fonte de energia elétrica e térmica para a própria usina, reduzindo custos.

Assim, as usinas siderúrgicas conhecidas por serem altamente poluidoras, passam a ter uma significativa redução de seus impactos ambientais por optar por soluções que favorecem ao meio ambiente, transformando um resíduo como um subproduto, ou até mesmo como um produto.

AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem a UTFPR, campus Medianeira, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABM. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos . 64 páginas. 2008.
2. ABNT NBR 10004:2004. Resíduos Sólidos – classificação. 71 páginas.
3. ALMEIDA, M. L. B., MELO, G. C. B. Alternativas de Usos e Aplicações dos Resíduos Sólidos das Indústrias independentes de Produção de Ferro-Gusa do Estado de Minas Gerais. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Geral – Minas Gerais. 2001. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/brasil/iii-094.pdf>>. Acesso em 13 de março de 2014.
4. BRAILE, Pedro Marcio. CAVALCANTI, José Eduardo W. A. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. São Paulo. 1993.
5. CST. Fluxo de Produção. Disponível em: <http://www.cst.com.br/usina/fluxo_producao/popfluxo.htm> Acesso em 12 de agosto de 2013.
6. FIOCRUZ. Fundação Osvaldo Cruz. Parecer Técnico sobre o Relatório de Impacto Ambiental da Usina da Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA). Autores: Marcelo Firpo Porto e Bruno Milanez – pesquisadores do Centro de estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana da escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. 2009. Disponível em <<http://www.observatoriopresal.com.br/wp-content/uploads/2011/05/Parecer-FIOCRUZ-CSA.pdf>>. Acesso em 13 março 2014.
7. MACHADO, Marcelo Lucas Pereira. Apostila de Siderurgia da matéria prima ao aço laminado. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo – CEFET/ES. Vitória. 2006. Disponível em: <<ftp://ftp.cefetes.br/cursos/EngenhariaMetalurgica/Marcelolucas/SIDERURGIA%20da%20Mat%20Prima%20a%20Lam.pdf>> Acesso em 08 de agosto de 2013.
8. MMA – Ministério do Meio Ambiente. Proposição de limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos de fontes fixas para a indústria siderúrgica em nível nacional. Proposta para discussão – Sub-grupo de Minas Gerais. 2011. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/198FC8A8/PropFinalSiderurgia.pdf>>. Acesso em 13 de março de 2014.
9. OLIVEIRA, Míriam Regina Cardoso de. MARTINS, Jader. 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. Quím. Nova, São Paulo , v. 26, n. 1, Jan. 2003 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000100002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 13 março 2014.
10. PAVANATI, Henrique Cezar. Apostila Introdução à Tecnologia dos Materiais. Instituto Federal de Santa Catarina Departamento Acadêmico de Metal. 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfwLEAI/introducao-a-tecnologia-dos-materiais?part=6>>. Acesso em 12 de agosto de 2013.
11. Resolução CONAMA Nº 003 de 1990.
12. Resolução CONAMA Nº 436 de 2011.
13. TAKANO, Cyro. CAPOCCHI, J. D. T., NASCIMENTO, R. C., MOURÃO, M. B., LENZ, Guilherme, SANTOS, D. M. A reciclagem de resíduos siderúrgicos sólidos. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais. São Paulo. 2000.