



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E DA SUSTENTABILIDADE EM USINAS SIDERÚRGICAS INTEGRADAS A COQUE

Rodrigo da Silveira Gomes

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Metalúrgico.

Orientador: Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Rio de Janeiro
Dezembro de 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais

DEMMPOLI/UFRJ



**ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E DA SUSTENTABILIDADE EM
USINAS SIDERÚRGICAS INTEGRADAS A COQUE**

Rodrigo da Silveira Gomes

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA METALÚRGICA E MATERIAIS DA ESCOLA POLITÉCNICA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO METALÚRGICO.

Aprovado por:

Achilles Dutra

Prof. Achilles Junqueira Bourdot Dutra, D.Sc.

Giselle de Mattos Araújo

Prof^a. Giselle de Mattos Araújo, D.Sc.

Maria Cecília de Souza Nóbrega

Prof^a. Maria Cecília de Souza Nóbrega, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2016

Gomes, Rodrigo da Silveira

Análise dos impactos ambientais e da sustentabilidade em usinas siderúrgicas integradas a coque / Rodrigo da Silveira Gomes – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

X 36 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Metalúrgica, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 36.

1.Siderurgia. 2.Sustentabilidade. 3.Impactos Ambientais. 4.Mitigação. I. Achilles Junqueira Bourdot Dutra. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Metalúrgica. III. Análise dos Impactos Ambientais e da Sustentabilidade em Usinas Siderúrgicas Integradas a Coque

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradecer imensamente aos meus pais, por todo o apoio e todo o suporte dado, principalmente nos momentos mais difíceis, onde vocês não deixaram que eu fraquejasse.

À minha namorada, Maria Clara, pelo companheirismo e pelo exemplo de dedicação e cumplicidade que sempre me transmitiu em todo o tempo de relacionamento.

Aos meus padrinhos Clarice e Maurício, pelo carinho, pelas companhias nas tardes de domingo, e pelos finais de ano em família.

Ao professor Achilles Dutra, pelo suporte e paciência na orientação deste trabalho, o qual significa o fim de uma jornada árdua e ao mesmo tempo gratificante.

Aos professores do curso de Engenharia, por todo o conhecimento acadêmico e profissional transmitido ao longo do curso e que me fizeram sair da faculdade muito mais maduro do que entrei.

A todos os professores que passaram pela minha vida, sejam eles acadêmicos ou não, por todo o conhecimento, de qualquer natureza, que me transmitiram ao longo dos meus 24 anos de idade.

Aos amigos do Posto 5, pela paciência nas vezes em que tive que me ausentar pelos estudos e pelo trabalho, em busca dos meus objetivos, mas sempre levando a amizade no coração.

Aos amigos de curso, pelas conversas, estudos em grupo e brincadeiras, que fizeram esses anos muito mais agradáveis.

À Hercília Alves da Silveira, minha querida avó, meu eterno muito obrigado, esteja onde estiver, eu sempre vou te amar.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Metalúrgico.

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E DA SUSTENTABILIDADE EM USINAS SIDERÚRGICAS INTEGRADAS A COQUE

Rodrigo da Silveira Gomes

Dezembro/2016

Orientador: Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Curso: Engenharia Metalúrgica

A siderurgia, apontada como uma das indústrias mais nocivas ao meio ambiente, constitui um dos grandes pilares da indústria mundial, servindo de base para diversos setores da sociedade extremamente importantes, o que se configura como uma grande fonte de oportunidades, visto que todos os setores estão se mobilizando através dos anos em encontrar soluções mais sustentáveis para diversas indústrias.

Este trabalho propõe uma análise de como a sustentabilidade está se firmando como um conceito chave no século XXI, e de como a siderurgia pode se adaptar a esse conceito, através de uma análise de como o setor siderúrgico se desenvolveu no Brasil, as práticas que estão sendo implantadas ao redor do mundo, os impactos ambientais causados pela mesma, para enfim analisar oportunidades em processos e em políticas governamentais e privadas para que se alcance o objetivo de mitigar esses impactos, gerando uma indústria mais limpa sem perder competitividade.

Palavras-chave: siderurgia, sustentabilidade, impactos ambientais, mitigação.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS AND SUSTAINABILITY IN
COKE INTEGRATED STEEL MILLS

Rodrigo da Silveira Gomes

December/2016

Advisor: Achilles Junqueira Bourdot Dutra

Course: Metallurgical Engineering

The steel industry is one of the major pillars of the world industry, serving as a base for various sectors of society which are extremely important, being cited as one of the industries most harmful to the environment, which is configured as a major source of opportunities, given that all sectors of society are mobilizing through the years in finding sustainable solutions for various industries. This paper proposes a reflection of how sustainability is firming as a key concept in the 21st century, and how the steel industry can adapt to this concept, through an analysis of how the steel industry developed in Brazil, the practices which are being used around the world, the environmental impacts caused, to finally analyze opportunities and processes in government policies and private to achieve the goal of mitigating those impacts generating a cleaner industry without losing competitiveness.

Keywords: steel, sustainability, environmental impacts, mitigation.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 HISTÓRICO DA SIDERURGIA NO BRASIL	3
2.1. O início no Brasil colonial	3
2.2. Início do século XX	4
2.3. Expansão	5
2.4. Década de 90	6
2.5. Os anos de 2013 a 2016 – A recessão brasileira	6
3 PROCESSOS SIDERÚRGICOS	7
3.1. Redução do minério de ferro	8
3.2. Refino	9
3.2.1. Conversor a oxigênio (LD/BOF)	9
3.2.2. Forno elétrico a arco (EAF- Eletric Arc Furnace)	9
3.3. Conformação (Laminação)	10
4 SUSTENTABILIDADE	11
4.1. O conceito de sustentabilidade	11
4.2. Sustentabilidade na siderurgia	12
4.3. O caso brasileiro	12
4.3.1. Estados Unidos da América	13
4.3.2. União Europeia	14
4.3.3. China	14
5 DADOS DE EMISSÕES	15
5.1. Principais insumos e efluentes	15
5.2. Classificação dos efluentes	16
5.3. Material particulado	17
5.3.1. Classificação do material particulado	20
5.3.2. Danos ao ser humano causados pelo MP	21
5.4. Dióxido de enxofre	22
5.5. Hidrocarbonetos	23
5.6. Óxidos de carbono	24
5.7. Consumo energético	25

6	ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS	28
6.1.	Prevenção de emissões.....	29
6.2.	Controle de emissões	30
6.2.1.	Métodos de dessulfurização.....	30
6.2.2.	Controle de particulados	31
6.3.	Medidas para diminuição do consumo energético.....	34
6.3.1.	Processo de sinterização	35
6.3.2.	Processo de coqueificação	35
6.3.3.	Alto-forno (AF) e aciaria.....	36
6.3.4.	Lingotamento.....	36
6.3.5.	Laminação	36
7	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	37
7.1.	CONAMA.....	37
7.2.	Organização Mundial da Saúde (OMS).....	39
8	DISCUSSÃO: COMPANHIA SIDERÚRGICA DO ATLÂNTICO (CSA)	42
9	CONCLUSÃO.....	48
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	APÊNDICE	52
	A. TEXTO DO PROTOCOLO DE SUSTENTABILIDADE DO CARVÃO VEGETAL	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Esquema dos processos siderúrgicos integrados e semi-integrados	7
Figura 5.1: Emissão de MP em kg/t de aço produzido.....	18
Figura 5.2: Emissão de MP em kg/t de aço produzido.....	19
Figura 5.3: Emissões de PM ₁₀ provenientes da coqueria e do alto forno.....	21
Figura 5.4: Riscos oferecidos à saúde para concentrações de MP.	22
Figura 5.5: Histórico da emissão de benzeno.	24
Figura 5.6: Emissão de CO ₂ em kg/t de aço líquido.	25
Figura 5.7: Consumo energético da siderurgia brasileira (em GJ/t).....	26
Figura 6.1: Diagrama de possibilidades de mitigação na fonte de poluição.	28
Figura 6.2: Esquema simplificado de um separador ciclônico.....	31
Figura 6.3: Esquema simplificado de um lavador de gás, ou <i>scrubber</i>	33
Figura 6.4: Esquema simplificado de um precipitador eletrostático.	34
Figura 8.1: Rotas alternativas gusa líquido	43
Figura 8.2: CSA – Emissão de PM ₁₀	44
Figura 8.3: CSA – Emissão de PM ₁₀ após início da operação da usina	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Principais insumos e efluentes siderúrgicos	15
Tabela 5.2: Produção mundial de aço e emissão de efluentes atmosféricos	18
Tabela 5.3: Composição do MP proveniente da coqueria e sinterização em g/ton	19
Tabela 5.4: Balanço de energia elétrica da siderurgia brasileira	27
Tabela 7.1: Resolução CONAMA 003 de 1990.	39
Tabela 7.2: Diretrizes da qualidade do ar.	40
Tabela 8.1: Investimentos para redução de emissões	46

1 INTRODUÇÃO

As usinas siderúrgicas constituem um dos grandes pilares da indústria brasileira, com forte presença tanto no mercado interno quanto nas exportações do país. O aço é um material que possui diversas aplicações, sendo considerado por muitos como o material mais utilizado na indústria, sendo obtido pelo processamento do minério de ferro encontrado na natureza.

Trata-se de uma liga de ferro com baixo teor de carbono, apresentando-se em diferentes formas e especificações, visando atender à demanda de diferentes setores da economia e da sociedade, como construção civil, indústria automobilística, entre outros. Dentre as diversas matérias-primas necessárias à produção do aço, o minério de ferro é a mais importante. O Brasil possui uma das maiores reservas de minério de ferro do mundo: acima de 30 bilhões de toneladas. China e Rússia aparecem como outros destaques mundiais.

O ferro aparece sob diversas formas minerais na natureza. Entretanto, apenas algumas dessas têm valor comercial. Dentre elas, os minerais formados por óxidos de ferro representam a grande maioria das fontes de ferro para a indústria siderúrgica. São eles:

- Magnetita (Fe_3O_4) – corresponde a aproximadamente 72% de ferro e 28% de oxigênio, de coloração cinza escura a preta, com densidade $5,16 \text{ g/cm}^3$. É altamente magnética, permitindo facilmente a exclusão de resíduos indesejáveis do minério (ganga).

- Hematita (Fe_2O_3) – corresponde à composição, aproximada de 70% de ferro e 30% de oxigênio, sua cor varia de cinzenta à avermelhada, tendo densidade de $5,26 \text{ g/cm}^3$. É o mineral mais empregado na siderurgia.

Em tempos onde a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente são questões de grande importância, a indústria siderúrgica é sistematicamente apontada como uma das mais poluidoras, visto que a mesma é responsável por um grande consumo de energia e recursos naturais não-renováveis, além de responder também por um grande volume de efluentes gasosos e líquidos, assim como de resíduos sólidos, que ocorrem em diferentes etapas do processo.

Este trabalho propõe uma análise desses impactos, tendo como foco as usinas siderúrgicas integradas a coque, assim como apresentar alternativas que venham a trazer mitigação dos problemas ambientais, sem comprometer a competitividade e eficiência dos meios produtivos, relacionando esses aspectos com a dinâmica econômico-social da

nossa sociedade. Na parte final do texto, é apresentada uma discussão que envolve um exemplo prático na cidade do Rio de Janeiro.

2 HISTÓRICO DA SIDERURGIA NO BRASIL

2.1. O início no Brasil Colonial

Quando as terras brasileiras foram descobertas, as práticas mercantilistas imperavam na Europa. Os portugueses chegaram ao Brasil com a esperança da extração de metais como ouro, prata e cobre. No entanto, nenhum tipo de metal foi encontrado em um primeiro momento. Os poucos ferreiros que vieram para o Brasil utilizavam o ferro originário da Europa para produzir os instrumentos usados na lavoura.

Em 1554, os padres jesuítas relataram, em um informe ao rei de Portugal, a existência de depósitos de prata e minério de ferro no interior da capitania de São Vicente (atual estado de São Paulo).

Quem primeiro trabalhou na redução desse minério de ferro foi um dos pioneiros no tratamento de metais no Brasil, Afonso Sardinha. Em 1587, ele descobriu magnetita na atual região de Sorocaba, no interior de São Paulo, e iniciou a produção de ferro a partir da redução do minério. É a primeira fábrica de ferro que se tem notícia no Brasil.

As forjas construídas por Sardinha operaram até a sua morte, em 1616. Após essa data, a siderurgia brasileira entrou em um período de estagnação que durou até o século seguinte.

Foi a descoberta de ouro no atual Estado de Minas Gerais que desencadeou um novo estímulo à siderurgia. Fundições foram abertas para a construção de implementos de ferro utilizados no trabalho das minas.

Contudo, as mesmas práticas mercantilistas que impulsionaram a descoberta de metais em nossas terras fizeram com que a construção de uma indústria siderúrgica brasileira fosse reprimida. A colônia deveria ser explorada ao máximo e comercializar apenas ouro e produtos agrícolas. Portugal chegou a proibir a construção de novas fundições e ordenou a destruição das existentes.

A situação mudou com a ascensão de Dom João VI ao trono de Portugal. Em 1795, foi autorizada a construção de novas fundições. Em 1808, a família real portuguesa desembarcou fugitiva no Rio de Janeiro, temendo o avanço das tropas napoleônicas às terras lusitanas. Diversas indústrias siderúrgicas foram construídas a partir desse período.

Em 1815, ficou pronta a usina do Morro do Pilar, em Minas Gerais. Em 1818, a fábrica de Ipanema, nos arredores de Sorocaba, começou a produzir ferro forjado. Outras indústrias foram abertas em Congonhas do Campo, Caeté e São Miguel de Piracicaba,

todas em Minas Gerais. Antes da abertura das fábricas locais, o ferro era exclusivamente importado de países europeus, especialmente da Suécia, da Alemanha e da Espanha.

Após o promissor início do século XIX, houve um declínio na produção de ferro. A competição com os produtos importados da Inglaterra (que eram favorecidos com uma diminuição no imposto de importação) era desigual e travava o desenvolvimento da siderurgia brasileira. Além disso, havia escassez de mão-de-obra, já que os trabalhadores, em sua maioria, estavam alocados nas lavouras do açúcar e, mais tarde, do café.

Mesmo assim, um marco importante para o posterior progresso da siderurgia brasileira data desse período: a fundação, em 1876, da Escola de Minas de Ouro Preto, que formaria engenheiros de minas, engenheiros civis, geógrafos e geólogos (apenas após 1957).

2.2. Início do Século XX

As primeiras décadas do século XX foram de avanços para a siderurgia brasileira, impulsionados pelo surto industrial verificado entre 1917 e 1930. O mais importante foi a criação, na cidade de Sabará (MG), da Companhia Siderúrgica Mineira. Em 1921, a CSBM-Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira foi criada como resultado da associação da Companhia Siderúrgica Mineira com o consórcio industrial belgo-luxemburguês ARBED-Acières Réunies de Bubach-Eich-dudelange que, em 1922, associou-se a capitais belgas e se transformou na Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira.

Os governos brasileiros dos primeiros 30 anos do século XX, mais preocupados com o café, davam pouca atenção ao crescimento da indústria nacional. A siderurgia era exceção: decretos governamentais concederam às empresas de ferro e aço diversos benefícios fiscais. Na ocasião, a produção brasileira era de apenas 36 mil toneladas anuais de gusa.

A década de 30 registrou um grande aumento na produção siderúrgica nacional, principalmente incentivada pelo crescimento da Belgo-Mineira que, em 1937, inaugurava a usina de Monlevade, com capacidade inicial de 50 mil toneladas anuais de lingotes de aço. Ainda em 1937, são constituídas a companhia siderúrgica de Barra Mansa e a Companhia Metalúrgica de Barbará. Apesar disso, o Brasil continuava muito dependente de aços importados.

2.3. Expansão

O cenário de permanente dependência brasileira de produtos siderúrgicos importados começou a mudar nos anos 40, com a ascensão de Getúlio Vargas à presidência do Brasil. Era uma das suas metas fazer com que a indústria de base brasileira crescesse e se nacionalizasse.

Um dos grandes exemplos desse esforço foi a inauguração, em 1946, no município de Volta Redonda (RJ), da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), que começou a produzir coque metalúrgico. No mesmo ano, foram ativados os altos-fornos e a aciaria.

As laminações entraram em atividade em 1948 e marcaram o início da autonomia brasileira na produção de ferro e aço. Erguida com financiamentos americanos e fundos do Governo, a gigante estatal do setor nascia para preencher um vazio econômico.

O ano de 1950, quando a usina já funcionava com todas as suas linhas, pode ser tomado como marco de um novo ciclo de crescimento da siderurgia brasileira. A produção nacional de aço bruto alcançava 788 mil toneladas e tinha início uma fase de crescimento continuado da produção de aço no país. Dez anos depois, a produção triplicava e passados mais dez anos, em 1970, eram entregues ao mercado 5,5 milhões de toneladas.

A oferta estimulou a expansão da economia, que passou a fazer novas e crescentes exigências às usinas. Outra conseqüência foi o acentuado aumento das importações de aço. Foi este cenário que deu origem, em 1971, ao Plano Siderúrgico Nacional (PSN), com o objetivo de iniciar novo ciclo de expansão e quadruplicar a produção. Caberia responsabilidade maior por esta meta às empresas estatais, que então respondiam por cerca de 70% da produção nacional e detinham exclusividade nos produtos planos. Parte da produção era destinada à exportação.

Em 1973, foi inaugurada no país a primeira usina integrada produtora de aço que utiliza o processo de redução direta de minérios de ferro a base de gás natural, a Usina Siderúrgica da Bahia (Usiba). No mesmo ano foi criada a Siderurgia Brasileira S.A (Siderbrás). Dez anos depois, entrou em operação, em Vitória (ES), a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST). Em 1986, foi a vez da Açominas começar a funcionar em operação em Ouro Branco (MG).

Na década de 80, o mercado interno estava em retração e a alternativa era voltar-se para o exterior. De uma hora para outra, o Brasil passava de grande importador a exportador de aço, sem ter tradição no ramo. Mas a crise que atingia a siderurgia brasileira tinha amplitude mundial. Por toda parte, os mercados se fechavam com

medidas restritivas às importações. Na época, começaram a freqüentar as páginas dos jornais termos como restrições voluntárias, sobretaxas antidumping, direitos compensatórios e salvaguardas.

2.4. Década de 90

O parque siderúrgico nacional iniciou a década de 90 contando com 43 empresas estatais e privadas, cinco delas integradas a coque, nove a carvão vegetal, duas integradas a redução direta e 27 semi-integradas, além de produtores independentes de ferro-gusa e carvão vegetal, que somavam cerca de 120 altos-fornos. A instalação dessas unidades produtoras se concentrou principalmente no Estado de Minas Gerais e no eixo Rio-São Paulo, devido à proximidade de regiões ricas em matérias-primas empregadas na fabricação do aço, ou de locais com grande potencial de consumo.

Nos primeiros anos da década de 90, era visível o esgotamento do modelo com forte presença do Estado na economia. Em 1991, começou o processo de privatização das siderúrgicas. Dois anos depois, oito empresas estatais, com capacidade para produzir 19,5 milhões de toneladas (70% da produção nacional), tinham sido privatizadas.

2.5. Os anos de 2014 a 2016 – A recessão brasileira

Com a deflagração da crise econômica e consequente desaceleração na economia, impulsionada, entre outros fatores, pela queda do preço de commodities em geral, além de instabilidade política que limitou muitos investimentos estrangeiros no país, o cenário do setor siderúrgico sofreu grande impacto, com diversas demissões no setor e fechamento de diversas unidades produtivas. O Instituto Aço Brasil, estipula uma queda de 4% nas vendas para 2016, em cima de uma estatística já desfavorável em 2015, não acreditando em uma recuperação para o setor no próximo biênio.

O levantamento do Instituto Aço Brasil revela que 47 unidades produtoras de aço – dois alto-fornos, quatro aciarias, oito laminadores, quatro mineradoras, entre outros equipamentos- foram desativados ou estão paralisados no país, o que significou cerca de 25.000 demissões e 2.200 postos de trabalho suspensos desde 2014. A estimativa do instituto, que reúne grupos como Usiminas, Gerdau, ArcelorMittal e CSN, é que esse número continue crescendo.

3 PROCESSOS SIDERÚRGICOS

O processo de produção do aço pode ser dividido em três etapas básicas: redução, refino e conformação mecânica. A divisão do processo produtivo nessas três etapas permite, ainda, uma classificação da siderurgia em dois segmentos: as usinas integradas e usinas semi-integradas.

Usinas integradas: as usinas integradas utilizam, para a redução do minério de ferro, os alto-fornos(AF), que também são alimentados com o coque obtido a partir do carvão mineral, podendo também ser alimentados com carvão vegetal, resultando o ferro-gusa que é transformado em aço líquido na aciaria.

Usinas semi-integradas: são aquelas que operam somente as etapas de refino e laminação. Em geral, o aço é obtido essencialmente a partir da fusão de insumos metálicos (sucata, gusa e/ou ferro esponja) e refinado em forno elétrico.



Figura 3.1:Esquema dos processos Siderúrgicos Integrados e Semi-Integrados.

Fonte: IABr(2010)

Como o objetivo deste trabalho é focado em análises referentes à rota integrada, a partir de agora iremos tratar diretamente da mesma, a começar pela descrição das etapas do processo.

A seguir, apresentam-se de forma sumariada as três etapas de produção do aço.

3.1. Redução do Minério de Ferro

O processo de redução consiste na transformação do minério de ferro, geralmente na forma de um óxido de ferro, em uma liga metálica de ferro-carbono, a partir do uso de um agente redutor – coque ou carvão vegetal, ambos ricos em carbono. Do processo de redução, obtém-se o chamado ferro primário ou ferro de primeira fusão (liga de ferro e carbono), também conhecido por ferro gusa.

A obtenção do ferro primário ou ferro reduzido pode ser feita por meio de diversas rotas tecnológicas. As mais comumente utilizadas são:

- a) Redução do minério (na forma de granulado, de sinter ou de pelota) em altos fornos, com uso do coque de carvão mineral como agente termorredutor, tendo como produto o ferro-gusa líquido, que é transportado à aciaria, unidade na qual é transformado em aço;
- b) Redução do minério (na forma de sinter ou pelota) a partir do carvão vegetal como termorredutor, em fornos menores, tendo como produto o ferro-gusa líquido, que pode ou não ser solidificado na forma de pão de gusa, para ser usado em etapa posterior, na produção do aço, geralmente em fornos elétricos;
- c) Produção de ferro-esponja (ferro primário sólido), a partir do minério na forma de pelotas ou granulado, com uso de gás reformado como agente redutor (em geral, obtido a partir do gás natural), no processo conhecido como redução direta, cuja tecnologia mais usada é a Midrex;
- d) Produção de ferro primário através de fusão redutora, cuja tecnologia mais usada é a Corex .

Em unidades integradas a coque – rota mais utilizada mundialmente na produção de aço – o minério de ferro, o coque e os fundentes são carregados pelo topo, no alto-forno, enquanto pelas ventaneiras, localizadas próximas da base do forno, é injetado ar quente, dando início ao processo de fusão da carga sólida. A temperatura nos alto-fornos varia de 200°C no topo a 1.500°C na base.

A combinação do carbono do coque com o oxigênio do minério e do ar libera o calor necessário para fundir o metal. Na base do alto-forno, vai se depositando o ferro-

gusa, que, depois, é retirado e levado aos conversores para seu refino, onde se obtém o aço propriamente dito.

Cabe observar que, no Brasil, de acordo com a configuração técnica das usinas, a produção de aço apresenta forte concentração em unidades integradas a coque, chegando a representar 80,3% da produção em 2014.

3.2. Refino

Trata-se da etapa em que o ferro primário é convertido em aço líquido. Utiliza-se o chamado refino secundário ou metalurgia de panela quando se deseja conferir ao aço características mais nobres, seja pela adição de elementos de liga, pela utilização de atmosferas controladas para tratamento do aço líquido.

Basicamente, existem três processos de produção de aço líquido, caracterizados pelo emprego de diferentes fornos de refino: o conversor a oxigênio (LD/BOF), o forno elétrico a arco (EAF – Electric Arc Furnace) e o forno Siemens-Martin (OH – Open Heart).

O processo Siemens-Martin está praticamente em desuso por causa de sua baixa produtividade e ao alto potencial poluidor, razão pela qual não será objeto de detalhamento neste trabalho. Atualmente, tal processo é utilizado apenas na Ucrânia e na Rússia.

3.2.1. Conversor a Oxigênio (LD/BOF)

O processo de refino do aço em conversores a oxigênio (processo LD/BOF) tem por objetivo reduzir os teores de carbono do ferro-gusa, na fase líquida, através de injeção de oxigênio com lanças de sopro. Nessa fase, também ocorre redução dos teores de outros elementos, como silício, enxofre e fósforo.

3.2.2. Forno Elétrico a Arco (EAF- Electric Arc Furnace)

O processo de produção do aço em forno elétrico (EAF) consiste na fusão de sucata de aço e de ferro primário (gusa ou ferro-esponja) a partir do calor gerado por um arco elétrico formado entre eletrodos de grafita ou entre os eletrodos e a carga metálica.

Depois da fusão da carga, injeta-se oxigênio por meio de uma lança, afim de promover a reação de oxidação de carbono, silício e fósforo, visando a diminuição do teor

desses elementos. A transformação de gusa em aço, tanto nos conversores como nos fornos elétricos, sempre libera monóxido (CO) e dióxido de carbono (CO₂).

Após a obtenção do aço líquido, ocorre a solidificação, a partir de processo de lingotamento, a fim de seguir para a etapa de conformação do material através da laminação.

3.3. Conformação (Laminação)

A laminação é o processo metalúrgico de conformação mecânica mais utilizado. Consiste na passagem do material semiacabado (placa ou barra) entre dois cilindros, visando à diminuição da espessura da placa/barra, que ocorre por meio das forças de atrito e compressão entre o semiacabado e os cilindros de laminação. Antes de passar pelos cilindros, o material é levado ao forno de reaquecimento para que fique ao rubro, ou seja, dúctil o suficiente para que possa ser laminado até se obterem espessuras muito finas.

Por meio da laminação, são obtidos produtos acabados, que tanto podem ser planos (chapas grossas, chapas e folhas laminadas a quente e a frio) quanto longos (fio-máquina, vergalhões, perfis, tubos). Em geral, os laminados planos a quente e a frio são apresentados na forma de bobinas.

4 SUSTENTABILIDADE

4.1. O conceito de Sustentabilidade

Sustentabilidade é o conceito de utilizar a natureza para atender as necessidades da sociedade sem comprometer as gerações futuras, de modo que elas também possam utilizar os recursos naturais. Assim sendo, temos que preservar o meio ambiente para garantir sua existência para as próximas gerações a fim de que elas façam o mesmo. O conceito de sustentabilidade é complexo, pois atende a um conjunto de variáveis interdependentes, as quais devem atender às questões sociais, energéticas, econômicas e ambientais. Por isso, as pessoas e a sociedade em geral precisam elaborar e colocar em prática idéias para realizar o desenvolvimento da sociedade de forma que não prejudique a natureza. É por esse motivo que a expressão “sustentabilidade” é também chamada de desenvolvimento sustentável, ou seja, manter a preservação da economia sem afetar os recursos naturais.

Já foi provado que é possível um país prosperar economicamente, tendo consciência ambiental. A sustentabilidade econômica é a base de uma sociedade estável e mais justa, além de abrir diversas possibilidades dentro de todos os setores da mesma. O país que consegue conciliar desenvolvimento econômico com desenvolvimento sustentável se torna livre da dependência de recursos e da concessão de outros países ou uniões econômicas.

A sustentabilidade econômica busca, em primeiro plano, soluções que não sejam caras e que dêem resultados rápidos. Mas para que o país possa implantar alternativas economicamente sustentáveis é preciso contar com medidas estatais ou privadas de longo prazo que sejam favoráveis a todos os setores da economia.

Empresas que aderem às práticas de sustentabilidade tem muito mais chance de alcançarem um futuro com êxito. Rever os recursos aplicados, as matérias-primas utilizadas, buscar soluções que causem menos impactos ao meio ambiente e replanejar os gastos são atitudes que devem fazer parte das diretrizes. Assim como cada indivíduo deve rever seus hábitos, o seu estilo de vida, cada empresa deve também se adequar a realidade e buscar alternativas que visem melhorar o ambiente em que estão inseridas. Com a implantação de uma economia sustentável, o ser humano consegue estabelecer um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação do meio ambiente.

Sendo assim, há uma grande demanda social/governamental para que sejam usados métodos que venham a mitigar esses impactos causados ao ambiente, seja por

meio do reaproveitamento de efluentes e resíduos sólidos para reuso, ou através de melhorias em processos que tragam menores danos ambientais. Tal tendência tem como desdobramento a busca e investimento por novas tecnologias, que além de otimizar processos, atendendo a demanda do mercado, abrem novas perspectivas.

4.2. Sustentabilidade na Siderurgia

A dinâmica da siderurgia mundial, como de diversos outros setores industriais, tem sido diretamente afetada por fatores econômicos e socioambientais, que representam enormes desafios a médio e longo prazos para o setor, entre os quais, estão: enorme expansão da capacidade produtiva de produtos siderúrgicos, com aumento da concorrência e da pressão sobre o preço de insumos na última década; intensificação da pressão exercida para a redução de impactos ambientais, em um contexto de maior exigência por qualidade de vida; e elevação e incerteza sobre preços de energia em âmbito mundial.

4.3. O caso brasileiro

No Brasil, o setor siderúrgico, nos próximos anos, além de enfrentar a pressão competitiva atual, deverá deparar com maior elevação nos preços de energia elétrica em relação à média dos principais países produtores.

Além disso, outros importantes fatores com impacto sobre a competição dos produtores brasileiros são a taxa de câmbio, com períodos de apreciação excessiva, e a tributação elevada.

Esse setor, no país, é o maior emissor industrial de gases de efeito estufa (GEE) e segundo maior consumidor industrial de energia. De acordo com dados do balanço energético nacional de 2015 (ano-base 2014), a produção de ferro primário e aço respondeu por 4% do consumo industrial de energia. A indústria siderúrgica emitiu 46% da emissão total do Setor Processos Industriais em 2010 (dados de estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, publicado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI em 2013). Considerando as emissões brasileiras totais, o setor respondeu por cerca de 3,7%.

Atualmente, existem diversas ações voltadas à promoção da sustentabilidade da indústria do aço, a exemplo de monitoramentos realizados em escala mundial pela World Steel Association (WSA) e, no caso brasileiro, pelo Instituto Aço Brasil (IABr).

Anualmente, a WSA publica um relatório com um conjunto de oito indicadores selecionados, que avaliam a performance ambiental, social e econômica da siderurgia mundial. São eles:

- 1)Emissões de Gases de Efeito Estufa;
- 2)Intensidade Energética;
- 3)Eficiência no uso de materiais;
- 4)Sistemas de gestão ambiental;
- 5)Taxa de frequência de acidentes;
- 6)Treinamento e capacitação de mão-de-obra;
- 7)Investimentos em novos processos;
- 8)Valor econômico.

Também anualmente, o IABr publica um relatório de sustentabilidade da siderurgia brasileira, seguindo as orientações da WSA e baseando-se também no Global Report Initiative (GRI).

No Brasil, citam-se também: o Programa Brasileiro GHG Protocol, voltado ao controle e à gestão de emissões de GEE; e o Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal, iniciativa do Instituto Aço Brasil, que contou com a adesão de todas as associadas do Instituto e prevê que, em 2016, 100% da demanda de carvão vegetal da siderurgia seja suprida por meio de plantio próprio ou de terceiros (em 2013, 88,7% da madeira para produção de carvão vegetal teve origem em floresta plantada própria, 7,7% em floresta plantada de terceiros e 3,6% em resíduos florestais legalizados).

Além dessas iniciativas, há diversos programas no mundo com o desafio de desenvolver novas tecnologias e soluções, bem como de promover redução de consumo energético e emissões de GEE, que serão citados nos próximos tópicos.

4.3.1. Estados Unidos da América

O Better Plants Program (BPP) é uma iniciativa voluntária da qual as plantas industriais podem participar, por meio de compromisso voluntário, visando à redução do consumo de energia. Para tanto, as empresas participantes ganham, além de reconhecimento, suporte técnico do Departamento de Energia dos Estados Unidos (Department of Energy – DOE). O referido programa integra iniciativa governamental (Save Energy Now Leader) e foi criado em 2009 com o objetivo de alcançar um índice de redução de 25% no consumo de energia industrial até 2017.

Além do BPP, os EUA apresentam outras ações, como o Industrial Technologies Program (ITP), no qual se encontra o Advanced Manufacturing Office (AMO) (maior programa do governo dos Estados Unidos), com o objetivo de desenvolver a aplicação de novas tecnologias energeticamente eficientes para a indústria em geral (BNDES,2014).

4.3.2. União Europeia

O Esquema Europeu de Comercialização de Emissões (EU Emissions Trading Scheme-EU ETS) é um sistema de limitação de emissões e comercialização (cap and trade) de créditos de carbono, baseado no Protocolo de Quioto. Para as atividades industriais mais intensivas em emissões de GEE, como é o caso da siderurgia, o EU ETS estabelece limites anuais de emissões por empresa.

De acordo com as regras do EU ETS, ao fim de cada ano, as empresas devem apresentar seus inventários de emissões de GEE. Caso as empresas emitam cotas abaixo do limite estabelecido, terão direito a créditos de carbono, que podem ser negociados com outras empresas ou guardados para utilização futura. Caso ultrapasse o limite estabelecido, a empresa paga pesadas multas, proporcionais ao volume de GEE emitido acima da cota, ou terá de compensar esse volume com créditos de carbono, que podem ser próprios ou adquiridos de outras empresas.

O Ultra Low Steel Making (ULCOS) tem por objetivo minimizar os volumes de emissão de dióxido de carbono (CO₂) nos processos de produção do aço. Trata-se de um consórcio de 48 empresas europeias e organismos de 15 países europeus, que lançaram uma iniciativa de cooperação em pesquisa, desenvolvimento e inovação, que visa ao apoio a projetos que possibilitem significativa redução nas emissões de CO₂ advindas da produção do aço. O consórcio é formado pelas maiores siderúrgicas europeias, empresas de energia, institutos de pesquisa e universidades, que contam com o suporte da União Europeia (BNDES,2014).

4.3.3. China

Há o programa chinês para padronização da energia industrial. Como parte desse programa, são criados padrões de eficiência energética, nos quais são definidos níveis mínimos de eficiência energética a serem aplicados nas plantas existentes, levando-se em conta os diferentes tipos de matérias-primas, unidades auxiliares e combustíveis empregados nas plantas siderúrgicas (BNDES,2014).

5 DADOS DE EMISSÕES

5.1. Principais insumos e efluentes

De forma geral, os principais insumos energéticos necessários e os principais efluentes (gasosos e líquidos) e resíduos sólidos gerados nas etapas de uma usina siderúrgica integrada a coque são explicitados na Tabela 5.1. Sendo assim, discutiremos os impactos mais relevantes que interferem diretamente no rendimento da siderurgia, na tendência sustentável que permeará as próximas décadas do desenvolvimento econômico dos diferentes ramos da indústria, e em última análise, na qualidade de vida e perpetuação dos recursos naturais que temos em nosso planeta.

Tabela 5.1: Principais Insumos e Efluentes Siderúrgicos

Fonte: BNDES(2014)

	Principais insumos energéticos	Principais efluentes			
		Gasosos	Líquidos	Sólidos	
Rota integrada a coque	Sinterização	Coque Energia elétrica (baixo consumo)	-	Pós, lamas e carepas	
	Coqueria	Carvão metalúrgico	Material particulado, CO, CO ₂ , SO ₂ , NO _x , VOCS, HF e HCL	Amônia, benzeno, tolueno e xileno	Material particulado e alcatrão
		Energia elétrica (baixo consumo)			
	Alto-forno	Coque, PCI	Material particulado, CO, CO ₂ , SO ₂ , NO _x , VOCS, HF e HCL	-	Pós, lamas e escória
		Energia elétrica (baixo consumo)			
	Aciaria a oxigênio (LD/BOF)	Energia elétrica (baixo consumo)	Material particulado, metais (zinco), CO, VOCS, HF e HCL	-	Pós, lamas, metais solúveis, zinco e escória
Lingotamento contínuo	Energia elétrica (baixo consumo)	-	Óleo	Sólidos suspensos e sucata	
Laminação	Gás de coqueria, gás de alto-forno ou de aciaria e energia elétrica (alto consumo)	Material particulado, CO, CO ₂ , SO ₂ , NO _x , VOCS e vapores ácidos	Óleos e ácidos	Carepas, lamas e <i>pickle liquor</i> (líquor ácido)	

Neste trabalho, iremos focar o estudo para os efluentes atmosféricos e os impactos referentes aos mesmos. O consumo energético, questão de grande importância no que tange a sustentabilidade, será analisado separadamente ao final desse capítulo.

5.2. Classificação dos Efluentes

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados em função de variáveis como o estado físico, a sua fonte de origem, a sua classificação química, os tipos de efeitos e incômodos gerados ou a sua toxicidade. Dependendo do contexto e do objetivo do estudo, algumas classificações podem servir para a subdivisão de outras.

Uma classificação bastante comum distingue os poluentes do ar em duas categorias: primários e secundários. Os poluentes primários são emitidos já em uma forma nociva ao meio ambiente ou à saúde humana, como por exemplo fuligem e monóxido de carbono. Os poluentes secundários são formados a partir da reação entre poluentes primários e outros poluentes ou com componentes básicos do ar. São exemplos de poluentes secundários o ácido nítrico e o ácido sulfúrico.

Para a análise por estado físico, os poluentes do ar podem ser divididos em um grupo de material particulado e outro de gases e vapores. O material particulado é composto de partículas sólidas ou líquidas emitidas por fontes de poluição do ar ou formadas na atmosfera, como as partículas de sulfatos.

Há também a possibilidade de classificação em poluentes locais, como na maioria dos casos, e alguns como regionais. Entretanto, há também aqueles que podem ser considerados como poluentes globais, ou seja, podem afetar o clima em escala maior, podendo até mesmo afetar o clima do planeta como um todo.

À parte destas classificações, há um grupo de poluentes que universalmente constituem os parâmetros mais significativos para a determinação da qualidade do ar em termos locais. A convenção adotada é função da probabilidade de ocorrência e os efeitos ao meio ambiente e à saúde humana. São eles: dióxido de enxofre (SO₂), partículas total em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PI), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ozônio (O₃), hidrocarbonetos totais (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

Alguns poluentes são mais relevantes para a determinação da qualidade do ar. Sendo assim, faz-se necessário que haja maior rigor no monitoramento, fiscalização, gerenciamento e mitigação de impactos para os mesmos. Eles serão abordados nos próximos tópicos (Miller Jr.,2015).

5.3. Material Particulado

Esta denominação engloba uma variedade de partículas e gotas (aerossóis) pequenas e leves o suficiente para permanecerem suspensas na atmosfera substâncias constituídas de poeiras, fumaças ou qualquer outro material nos estados sólido e líquido que se mantenham suspensos no ar, em função do seu tamanho. Suas fontes podem ser variadas, porém usualmente estão associados à combustão incompleta em diversos processos em indústrias, máquinas, veículos, florestas e na agricultura. Também podem ser gerados em grande quantidade devido a resíduos de processos industriais, ou qualquer evento que demande movimentações de material granulado, terra ou areia, como estradas não pavimentadas ou construções. Contido no material particulado podem estar outras substâncias nocivas, como metais, policlorobifenilos (PCBs) e dioxinas (Miller Jr., 2015)

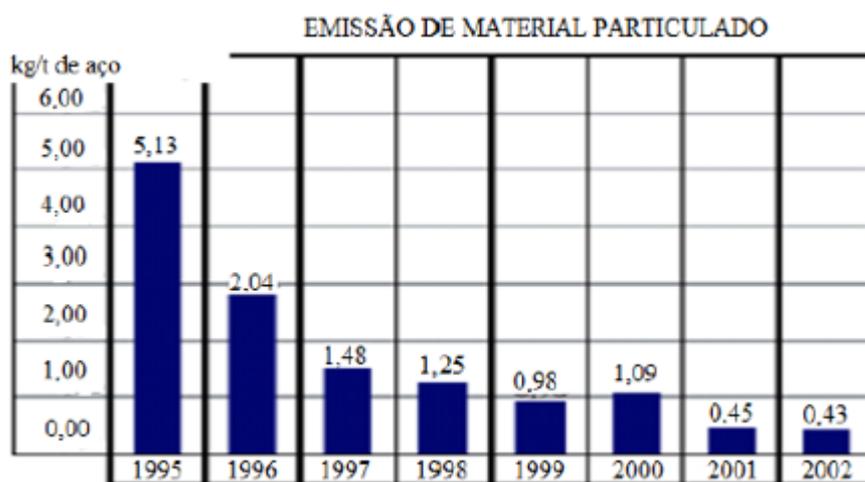


Figura 5.1- Emissão de MP em kg/t de Aço Produzido

Fonte: CSN(2003)

Como podemos observar na Figura 5.1, a partir da metade da década de 90 até o ano de 2002, o nível de emissão de material particulado na siderurgia reduziu-se de forma consistente, devido a modernização de processos e pela crescente pressão de órgãos governamentais e não-governamentais por melhorias políticas de contenção desse tipo de material.

No intervalo de 1995 a 2002, a produção mundial de aço saiu de aproximadamente 770 milhões de toneladas de aço, para 885 milhões de toneladas. Sendo assim, temos a situação apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2- Produção Mundial de aço e Emissão de MP

Fonte: Instituto Aço Brasil(2015)

Ano	Produção mundial(Mt)	Varição anual Produção	Emissão(kg/t)	Varição Anual Emissão
1995	770000		5,13	
1996	792000	3%	2,04	-60%
1997	801000	1%	1,48	-27%
1998	804000	0%	1,25	-16%
1999	817000	2%	0,98	-22%
2000	843000	3%	1,09	11%
2001	859000	2%	0,45	-59%
2002	885000	3%	0,43	-4%

Podemos observar que, enquanto a produção mundial aumentou, em média de 2 a 3% no período, a emissão de material particulado reduziu-se em escala maior, indicando uso de tecnologias que trazem menor impactos.

Para os anos subseqüentes, temos um cenário que permanece em situação semelhante , como mostra o gráfico a seguir, apresentado na Figura 5.2.

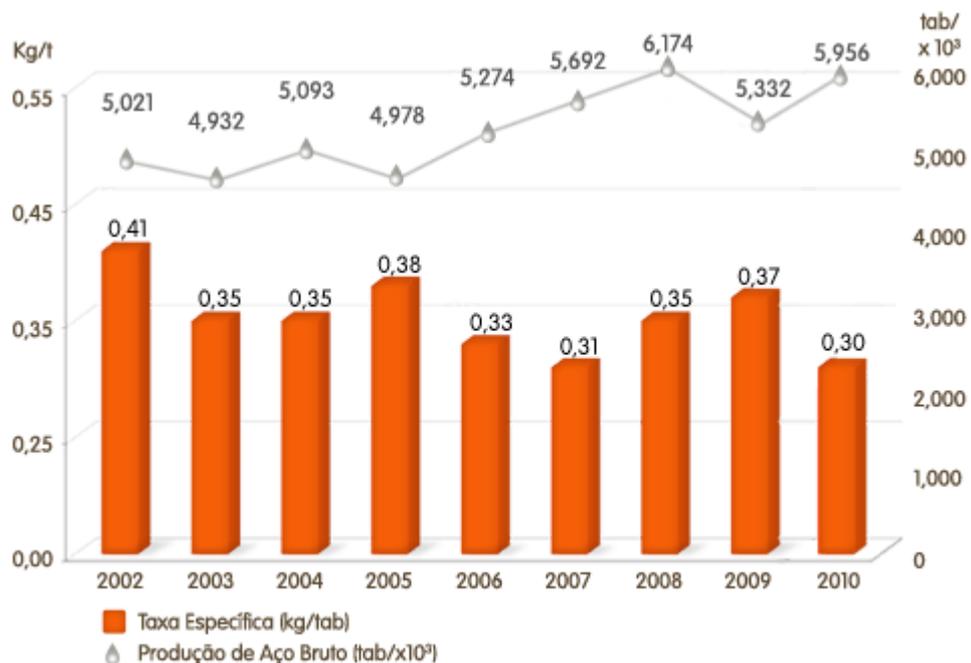


Figura 5.2 – Emissão de MP em kg/t de Aço Produzido

Fonte: ArcelorMittal(2012)

O gráfico acima mostra como exemplo a usina da ArcelorMittal Tubarão, no Espírito Santo, e que corrobora a análise feita anteriormente para a produção de aço bruto

e redução de emissão de material particulado. Neste caso, tal usina investiu cerca de US\$ 750.000.000,00 em equipamentos e sistema de controle ambiental no período, tornando-se benchmarking em indicadores ambientais.

A composição típica do material particulado, intensamente presente nas etapas de sinterização e coqueificação, as quais são grandes responsáveis pela emissão deste tipo de efluente, é apresentada na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Composição do MP proveniente da Coqueria e Sinterização em g/ton.

Fonte:CSN(2010)

Composição do material particulado		
Composição das partículas	Coqueria	Sinterização
	g/ton coque	g/ton sinter
Al	0.05521	0.10158
Ca	0.13995	0.35953
Fe	0.26654	1.17
K	0.16265	3.418
Mg	0.01346	0.03186
Na	0.17164	0.68145
S	1.22	0.90
As	0.00115	0.00157
Ba	0.02423	0.00179
Cd	0.00159	0.02850
Co	-	0.00015
Cr	-	0.00503
Cu	0.00192	0.02393
Mn	0.00171	0.01045
Ni	0.00196	0.01357
Pb	0.00526	0.49366
Sb	0.00007	0.00006
Se	0.00135	0.00852
Sr	0.00079	0.00132
Zn	0.03049	0.09352
F ⁻	0.02720	0.07230
Cl ⁻	0.16994	3.86
NO ₂ ⁻	-	0.00214
NO ₃ ⁻	-	0.01954
SO ₄ ²⁻	4.62	2.55
NH ₄ ⁺	0.92149	0.10178
K ⁺	0.11164	4.22
Na ⁺	0.10775	0.20361
Mg ²⁺	0.01143	0.01101
Ca ²⁺	0.26795	0.23008
Total HPA's	0.02676	0.01295

Dada a composição diferenciada dos materiais particulados provenientes da coqueria e da sinterização, é possível afirmar que o maior teor de metais pesados contidos na sinterização tornariam esse tipo de particulado mais perigoso. Lembrando que a quantidade de CO₂, NO_x e SO₂ liberado pela coqueria é superior ao da sinterização, o que

faz com que, o particulado proveniente da coqueria também seja relevante em termos de impactos ambientais.

5.3.1. Classificação do Material Particulado

Uma classificação bastante utilizada para o material particulado se dá segundo seu tamanho, criando três parâmetros largamente utilizados. São eles:

-PTS: Partículas totais em suspensão –considera-se para sua contabilização todas as partículas com até 100 μ m de diâmetro;

-PM₁₀: Partículas com até 10 μ m de diâmetro. Este grupo é também chamado de Partículas Inaláveis (PI). Dentre os particulados inaláveis, os classificados como maiores com diâmetro maior que 2,5 μ m –ficam retidos na parte superior do sistema respiratório (Miller Jr, 2007);

-PM_{2,5}: Partículas com até 2,5 μ m de diâmetro. São constituídas principalmente por aerossóis secundários como nitrato, sulfato e amônio, metais, como zinco, cobre e chumbo, e compostos orgânicos com origens notadamente antropogênicas. Estas partículas podem atingir os alvéolos pulmonares, que constituem a região mais profunda do sistema respiratório. O tempo de residência destas partículas na atmosfera é da ordem de dias (Miller Jr, 2007).

Como citado anteriormente, a quantidade de material particulado emitido pelas coquerias é elevada, a Figura 5.3 mostra a quantidade de material particulado (PM₁₀) presente no gás de coqueria e gás de alto-forno emitido pela Usina Siderúrgica de Tubarão (CST) no ano de 2011.

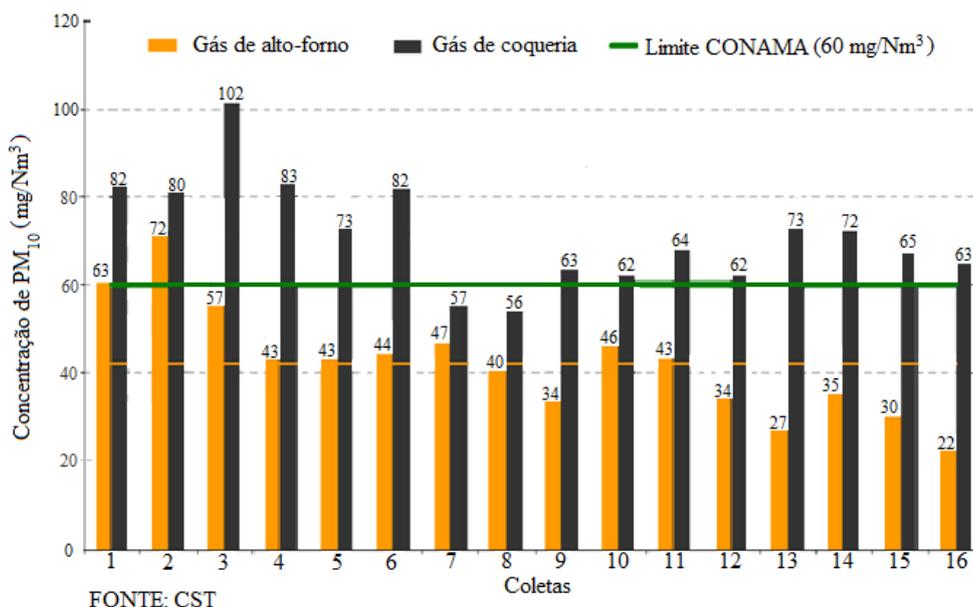


Figura 5.3: Emissões de PM₁₀ provenientes da Coqueria e do Alto Forno

Fonte: CST(2011)

5.3.2. Danos ao ser humano causados pelo MP

Pode-se associar a presença de material particulado a sintomas dos mais diversos. Quando da ocorrência em concentrações relativamente baixas, observa-se tosse seca e cansaço, bem como ardor nos olhos, nariz e garganta. Em níveis mais altos de concentração, ocorre o agravamento de sintomas respiratórios e cardiovasculares, diminuindo a expectativa de vida, além de risco de danos à gestação (CETESB, 2010). A exposição a partículas tóxicas, como chumbo, cádmio, e dioxinas podem causar mutações, problemas reprodutivos e câncer (Miller Jr, 2007).

Estudos mostram que quando o teor de material particulado no ar sobe de 70 µg/Nm³ em média para 170 µg/Nm³ as internações devido a problemas respiratórios aumentam entre 20% e 25%, e as mortes por insuficiência respiratória sobem em torno de 10% .

A International Organization for Standardization (ISO), apresenta definições para os diversos termos relacionados ao material particulado atmosférico. Dentre as definições apresentadas pela ISO, as de maior interesse para esse trabalho estão sumarizadas a seguir:

-Convenção Inalável: É definida como a fração em massa das partículas totais em suspensão que são inaladas através da boca e do nariz;

-Convenção Torácica: É definida como a fração em massa das partículas totais em suspensão que penetram através da laringe;

-Convenção Respirável: É definida como a fração em massa das partículas totais em suspensão que penetram através dos alvéolos pulmonares;

Quando o objetivo do estudo se refere às populações de alto risco (crianças ou adultos que já possuam algum tipo de enfermidade relacionada ao sistema respiratório), a convenção adotada é a de partículas com pequeno diâmetro aerodinâmico (PM_{2,5}).

Na figura 5.4, estão demonstrados os diferentes diâmetros de corte em 50% (D₅₀) para o material particulado para cada uma das convenções descritas acima.

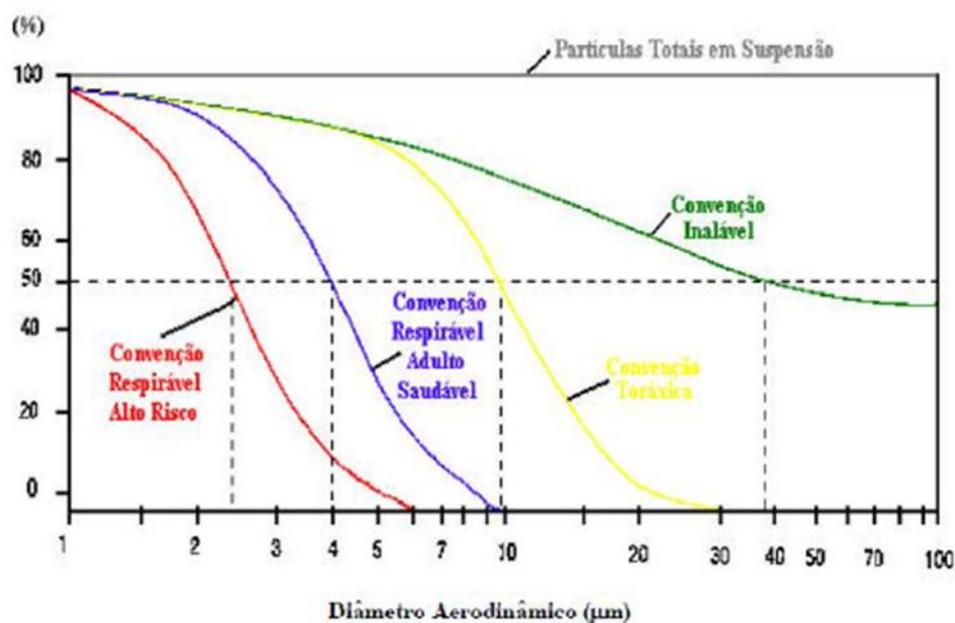


Figura 5.4: Riscos oferecidos à saúde para concentrações de MP

Fonte: UNEP (1994)

5.4. Dióxido de Enxofre

O dióxido de enxofre (SO₂), é um gás que não possui coloração característica, além de possuir um odor azedo e desagradável. Normalmente, sua formação pode se dar em processos industriais diversos, onde ocorram queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre, como o carvão e o petróleo, oxidação de minerais sulfurosos ou processos de refino de petróleo, através da reação: $S + O_2 \rightarrow SO_2$. Estima-se que hoje metade do dióxido de enxofre atmosférico tem como origem atividades humanas (Lora, 2002). Ao atingir determinadas zonas da atmosfera, em especial a troposfera, o dióxido

de enxofre pode ser convertido em ácido sulfúrico (H_2SO_4), importante componente que dá origem ao fenômeno da chuva ácida. A chuva ácida pode causar diversos transtornos, entre eles a lixívia rica em metais tóxicos, a acidificação de solos e ecossistemas aquáticos e terrestres, podendo ocasionar até mesmo morte de fauna e flora locais, consequentemente impactando na agricultura, caça e pesca, trazendo consequências econômicas e sociais terríveis.

Os problemas de saúde diretamente associados são a ocorrência de problemas respiratórios em pessoas saudáveis e a intensificação para pessoas com bronquite e asma. Concentrações de 1 ppm provocam constrições nos brônquios de pessoas consideradas saudáveis e asmáticos apresentam estes sintomas já em concentrações de SO_2 a partir de 0,25 ppm. Lembrando que, no Brasil, aproximadamente 17% da população sofre com problemas relacionados a asma (IBGE, 2013).

5.5. Hidrocarbonetos

Os Hidrocarbonetos são liberados por diversos processos industriais, como a destilação do petróleo e a coqueificação do carvão, além de processos onde a combustão não é completa. Na atmosfera adquirem as formas gasosa, líquida e sólida, e podem servir como reagentes para a formação de outras substâncias.

Compostos como o benzeno e o benzopireno não possuem níveis de exposição considerados sem impacto à saúde, dado que afetam o material genético das células (DNA), sendo assim considerados cancerígenos genotóxicos.

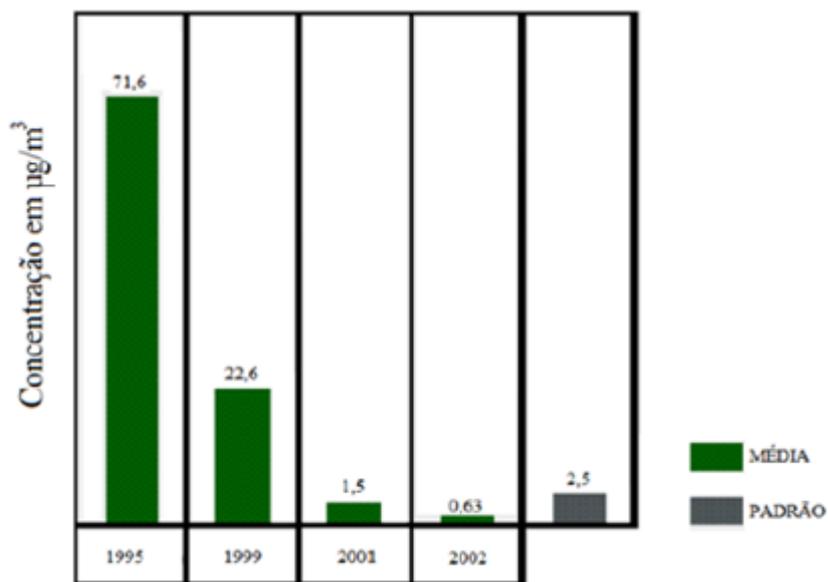


Figura 5.5: Histórico da Emissão de Benzeno

Fonte: CSN(2003)

Assim como no caso do material particulado, podemos constatar uma tendência de diminuição nos níveis de benzeno liberados na atmosfera, como mostra a Figura 5.5, intensificada a partir do final da década de 90, o que pode ser explicada pela forte entrada de capital estrangeiro no país, fomentando o uso de novas tecnologias, e uma posterior estabilização, que vem ocorrendo até hoje, a partir de 2005, também tendo como parâmetro para análise a CSN. Entretanto, embora esses níveis tenham sido reduzidos, não existem níveis de exposição seguros para essas substâncias, sem que haja prejuízo a saúde humana.

5.6. Óxidos de Carbono

Os óxidos de carbono, CO e CO₂, são liberados através de processos de combustão, queima de combustíveis fósseis, entre outros. No caso da siderurgia, ela pode ocorrer por exemplo, no interior do alto-forno, através da queima do coque metalúrgico, que é o combustível do processo. De todas as emissões produzidas por essa indústria, a emitida em maior quantidade é o dióxido de carbono que é um dos responsáveis pelo efeito estufa e, por consequência, o aquecimento global.

É interessante saber a correlação entre a produção de aço e a quantidade de emissões referentes a essa mesma atividade. A Figura 5.6, apresenta alguns desses valores, novamente para a CSN.

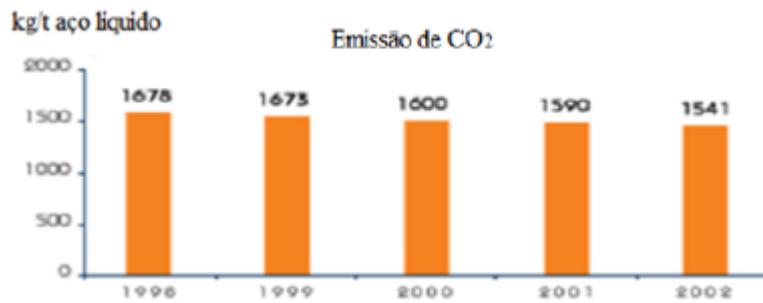


Figura 5.6: Emissão de CO₂ em kg/t de aço líquido

Fonte: CSN(2003)

5.7. Consumo Energético

Na indústria siderúrgica, o consumo energético é dado basicamente na forma de energia térmica e energia elétrica.

A energia térmica está envolvida na grande maioria dos processos, notadamente nas rotas integradas, principalmente nas etapas de sinterização, coqueificação e redução. Para as etapas de coqueificação e redução, apresentamos os maiores potenciais absolutos de recuperação de energia, através de técnicas que estão sendo desenvolvidas e utilizadas e que serão discutidas ao longo do próximo capítulo.

No caso da energia elétrica, seu uso é mais intenso nas etapas de laminação a quente e na etapa de refino.

Cabe destacar que a energia elétrica, basicamente, é usada na siderurgia como força eletromotriz, salvo no caso dos fornos elétricos, que empregam a energia elétrica para a fusão de carga metálica e refino do aço. Nesse processo, usam-se eletrodos de grafite, que criam uma diferença de tensão entre eles e/ou a carga, fazendo surgir um arco voltaico que fornece calor necessário à fusão do metal.

A seguir, é apresentada na Figura 5.7 a evolução do consumo total de energia, em gigajoule por tonelada (GJ/t), na produção de aço e de ferro-gusa no Brasil de 2004 a 2013 (incluindo-se a produção de ferro-gusa de produtores independentes) e sua respectiva distribuição.

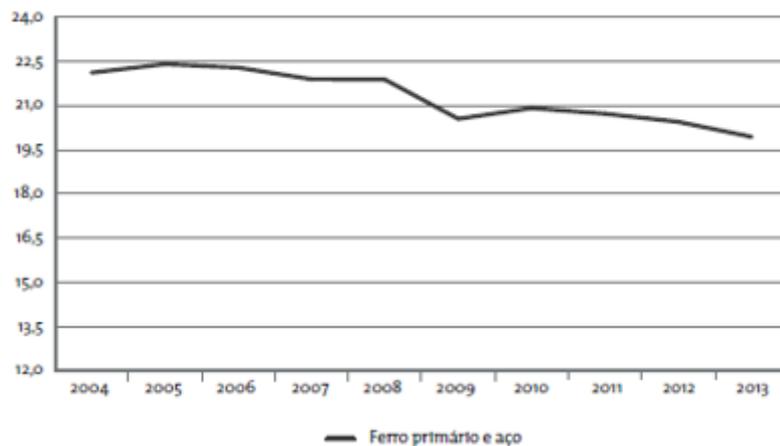


Figura 5.7: Consumo Energético da Siderurgia Brasileira(em GJ/t)

Fonte:BNDES(2014)

Pode-se observar a redução de consumo total de energia da siderurgia brasileira a uma taxa média de 1,15% ao ano, explicada pela adoção de medidas e tecnologias mais eficientes, principalmente pelas plantas com entrada em operação mais recente.

O atual cenário desfavorável do mercado de energia elétrica brasileiro, com tendência de custos mais elevados a partir da utilização de fontes mais onerosas de geração, leva à necessidade de se realizar um esforço adicional no sentido de reduzir, particularmente, o consumo de eletricidade.

Esse objetivo, a ser perseguido por diversos setores consumidores, aplica-se fortemente à siderurgia, que, além de apresentar elevado consumo total de energia, tem elevado consumo específico de eletricidade (BNDES, 2014).

Temos que, para uma usina siderúrgica integrada a coque, os custos com energia elétrica correspondem a cerca de 5% do total do custo de operação. Embora pareça irrelevante, um consumo otimizado de energia elétrica, diminuindo desperdícios e minimizando o consumo líquido, gera vantagens competitivas, além de representar também uma margem de lucro mais atrativa para a empresa que comanda a operação.

Tabela 5.4: Balanço de Energia Elétrica da Siderurgia Brasileira

Fonte: BNDES(2014)

Balanço de energia elétrica*	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Consumo total (GWh)	18.363	18.622	14.898	18.755	19.933	19.717	19.671
Autoprodução (GWh)	5.149	7.035	5.954	6.224	10.633	9.433	10.900
Consumo líquido da rede (GWh)	13.214	11.587	8.944	12.531	9.300	10.284	8.771
Consumo líquido específico (MWh/t)	391	343	337	381	265	297	257

Conforme observado na Tabela 5.4, a indústria brasileira tem reduzido o consumo líquido de energia elétrica da rede e, em 2013, apresentou um consumo por tonelada de aço produzida 34,4% inferior ao verificado em 2007.

Esta redução é explicada pela capacidade de autoprodução de energia das indústrias siderúrgicas, que se tem elevado principalmente por conta da entrada em operação de novas plantas, as quais contemplam usinas com grandes potenciais termelétricos, como é o caso da CSA, com operação em volumes significativos a partir de 2011. Cabe citar a autoprodução prevista da Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP), que começou a operar no ano de 2016.

6 ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS

Com o objetivo de prevenir e/ou mitigar o efeito causado pelas emissões provenientes de processos siderúrgicos, pode-se considerar medidas como: inovações e modificações tecnológicas, mudança ou redução de insumos utilizados, com o objetivo de aumentar a eficiência; manutenção preventiva, e reciclagem interna. Na Figura 6.1 observa-se um diagrama com os procedimentos que podem ser adotados de forma esquemática, para redução da poluição na fonte. Muitos dos procedimentos mencionados podem ser incentivados por outras questões, como economias de escala, redução de custos, melhora na imagem da empresa junto ao consumidor final, além de aumento da qualidade do produto. Sendo assim, a adoção dessas medidas são vantajosas não apenas no sentido estritamente ambiental, mas também em questões econômicas, de nível de serviço e de qualidade.



Figura 6.1: Diagrama de possibilidades de mitigação na fonte de poluição

Fonte: Costa(2002)

Em sua grande maioria, as medidas acima mencionadas minimizam o problema da poluição, de modo que a eliminação completa da mesma no processo siderúrgico é inviável, pois o mesmo possui intrinsecamente um aspecto poluidor. Dentre as medidas utilizadas especificamente para a mitigação de emissões atmosféricas locais, pode-se dividi-las entre procedimentos para prevenção das emissões e para controle das emissões. O primeiro caso trata de métodos com a finalidade de evitar ou minimizar a geração de emissões, seja através de modificações no processo de geração ou de eventuais reutilizações internas. Neste caso a poluição, ou parte dela, ficaria contida dentro dos

limites considerados do sistema em questão. A seguir abordaremos os métodos mais utilizados para os poluentes mencionados no capítulo anterior.

6.1. Prevenção de Emissões

No âmbito da prevenção de emissões, podemos citar o controle de óxidos de nitrogênio (NO_x). Ao contrário dos óxidos de enxofre, para os NO_x, pode-se promover a minimização da formação desses gases, através da alteração de parâmetros operacionais que irão alterar seus fatores de formação, tal qual a temperatura máxima e a concentração de oxigênio no referido ambiente. Tais medidas são denominadas métodos pré-combustão e podem ser utilizadas de forma conjunta, visando maior eficiência. As principais medidas estão detalhadas a seguir:

-Recirculação dos produtos da combustão: trata-se de um dos métodos mais presentes em estudos sobre o tema. Dá-se pela introdução de parte dos gases de saída da caldeira junto com o ar de combustão e o combustível em sua entrada, diminuindo a temperatura máxima na fornalha e também a concentração de oxigênio no núcleo da chama. Estima-se uma perda de eficiência da caldeira entre 0,01% e 0,04% para cada 1% de gases recirculados. Logo, caso recirculássemos 100% dos gases, teríamos uma perda de eficiência de 2%, a qual não se configura como muito onerosa para a operação (obviamente dependendo do nível de competitividade que o mercado se encontrar).

-Combustão por etapas: considerado um dos métodos mais efetivos para minimizar as emissões de NO_x, consiste na introdução de uma quantidade de ar menor do que a tecnicamente necessária. O ar restante é injetado por bocais localizados acima dos queimadores, formando uma zona de combustão secundária. Assim, observa-se a diminuição da temperatura máxima no núcleo da chama, bem como a concentração de oxigênio nesta região. A complementação da combustão na segunda etapa garante que não haja combustão incompleta no sistema, e ocorre a uma temperatura menor do que na primeira, não havendo praticamente formação de NO_x.

6.2. Controle de Emissões

Para o controle das emissões estudadas , podemos destacar:

6.2.1. Métodos de Dessulfurização

Há uma grande quantidade de métodos de dessulfurização de produtos da combustão, sendo os mais comuns os seguintes (Lora, 2002) :

- Dessulfurização por calcário ou cal hidratada;
- Dessulfurização com óxidos de magnésio;
- Dessulfurização com sulfeto de sódio (método alcalino de ciclo duplo);
- Dessulfurização com bissulfeto de amônia (método amoniacal).

A dessulfurização por calcário é a mais comum atualmente, devido a sua alta eficiência e baixo custo. As principais reações químicas durante a dessulfurização com calcário são listadas a seguir (Lora, 2002):

- 1) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$ (absorção)
- 2) $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_3 \leftrightarrow \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (neutralização)
- 3) $\text{CaSO}_3 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$ (oxidação)
- 4) $\text{CaSO}_3 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ (cristalização)
- 5) $\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (cristalização)
- 6) $\text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ (Controle de pH)

Algumas observações sobre as reações mencionadas:

- A reação 1 é comum a todos os processos de dessulfurização via úmida.
- A reação 3 somente ocorre quando da injeção de oxigênio na zona de reação, caso contrário somente a reação 4 ocorre.
- As reações 4 e 5 correspondem à precipitação do sulfito e sulfato de cálcio por baixa solubilidade.
- Por fim, a reação 6 é caracterizada pela formação bissulfito de cálcio para a redução do pH do meio.

6.2.2. Controle de Material Particulado

Para o controle de particulados, os equipamentos mais utilizados são câmaras de sedimentação, ciclones, separadores a úmido (lavadores de gás ou scrubbers), filtros eletrostáticos e filtros de manga. Para dimensionar e selecionar o equipamento a ser utilizado é imprescindível conhecer as propriedades das partículas de interesse (densidade, concentração e dimensões). Temos como exemplos os seguintes equipamentos:

a)Ciclones: têm como princípio de operação a ação da força centrífuga sobre os particulados sólidos em movimento, em um fluxo rotativo. Existem vários tipos de separadores ciclônicos, como os com entrada tangencial ou entrada axial, e os com fluxo em retorno ou fluxo axial. Pode-se fazer também separadores com múltiplos ciclones em paralelo, a fim de obter maior eficiência. Esses separadores são vantajosos em relação baixo custo, baixa perda de carga e problemas relacionados à corrosão reduzidos. Como desvantagem, têm-se a possibilidade de entupimento (partículas menores, higroscópicas e/ou pegajosas).

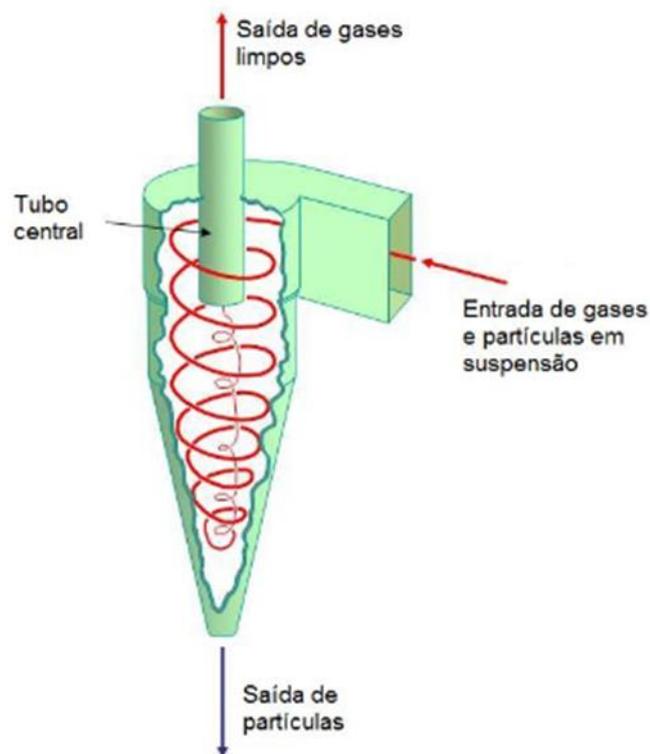


Figura 6.2: Esquema simplificado de um separador ciclônico

Fonte: Chauvet(2013)

Na Tabela 6.1, vemos as condições operacionais e dimensões utilizadas para separadores ciclônicos, para diferentes tamanhos de partículas.

Tabela 6.1: Aspectos operacionais separadores ciclônicos

Fonte: Souza(2012)

Vazão L/min	Corpo do ciclone	Configuração do ciclone		
	Número de Re	D _c =38,1mm D _o =26,70mm	D _c =57,15mm D _o =26,70mm	D _c =88,90mm D _o =26,70mm
16,3	842	11,6µm	15,3µm	
27,5	1420	7,8µm	10,4µm	
45,9	2370		6,7µm	10,5µm
79,3	4100		4,0µm	7,8µm

Vazão L/min	Corpo do ciclone	Configuração do ciclone		
	Número de Re	D _c =88,90mm D _o =26,70mm	D _c =88,90mm D _o =42,9mm	D _c =88,90mm D _o =68,30mm
79,3	7730	7,8 µm	9,4 µm	18,8 µm
103	10040	6,1 µm	7,7 µm	14,1 µm
124	12090	5,3 µm	6,5 µm	12,2 µm

Onde D_c é o diâmetro do ciclone e D_o é o diâmetro do duto de saída do gás, para diâmetro do ciclone e vazão mantidos constantes. Sendo assim, dependendo da possibilidade de investimento e das condições operacionais, podem ser mitigadas as emissões de material particulado que podem causar diversos problemas à saúde humana. Tanto na indústria quanto na literatura o ciclone é considerado um equipamento indicado para a separação de partículas com mais de 10 µm, com baixo custo de investimento (US\$ 70.000,00 para a vazão de 1000 m³ de gás).

b) O lavador de gás, ou *scrubber*, é um dispositivo onde é feita a separação de partículas ou de um poluente gasoso através da lavagem deste com água. Esta água é geralmente nebulizada para formar gotículas e tem a função de carregar consigo as partículas. Há diversos modelos deste tipo de equipamento, variando em função do tipo de fluxo do gás, tipo de spray a ser utilizado, entre outros fatores. Na Figura 6.3 temos um exemplo deste equipamento:

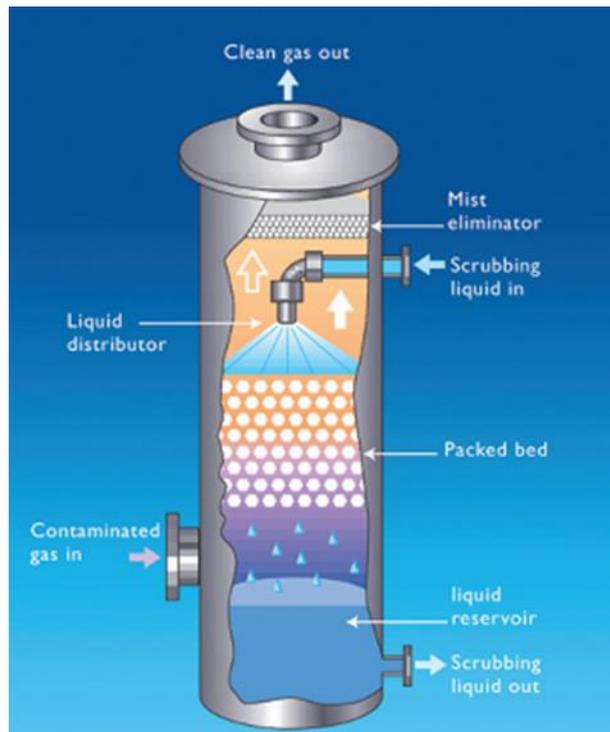


Figura 6.3: Esquema simplificado de um lavador de gás, ou scrubber.

Fonte: Chauvet (2013)

c) O precipitador eletrostático, mostrado na Figura 6.4, é um equipamento que usa forças elétricas para direcionar as partículas do fluxo gasoso para os eletrodos coletores. É dada uma carga elétrica às partículas através de sua passagem por uma corona – ionizando o gás, e então estas passam pelos eletrodos para serem atraídas para um determinado local. Uma vez depositadas as partículas nos eletrodos, estas são removidas através de movimentação mecânica ou lavagem com água. Este separador tem como vantagem a atuação somente sobre as partículas, o que lhe confere uma pequena queda de pressão em comparação aos outros métodos utilizados. Como desvantagem, têm-se a necessidade de um robusto investimento financeiro inicial, além de uma demanda grande por espaço físico dentro da usina.

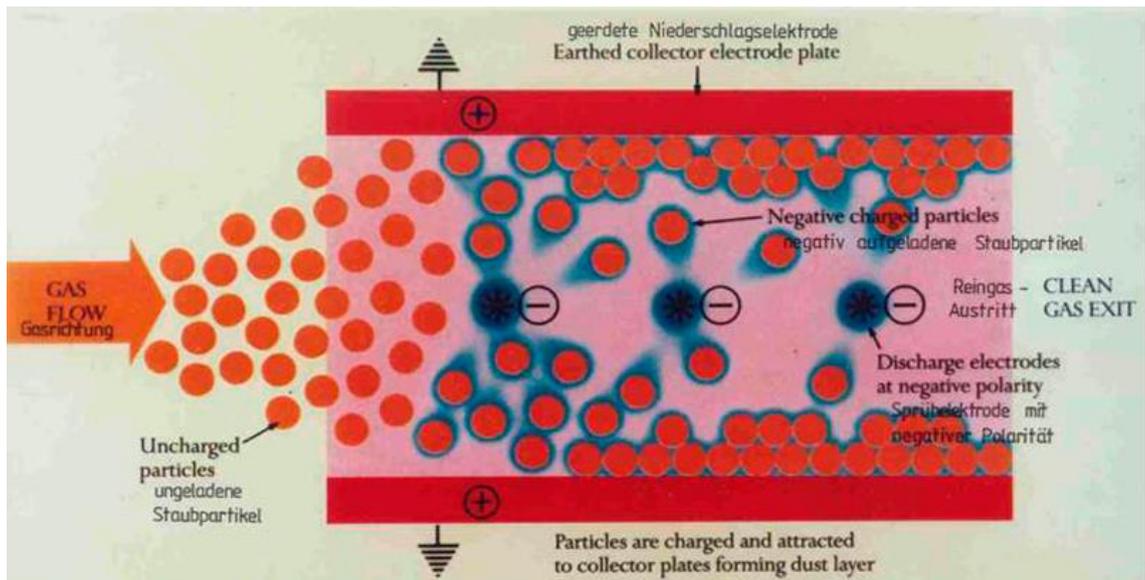


Figura 6.4:Esquema simplificado de um precipitador eletrostático

Fonte: Chauvet(2013)

Quando o gás percorre condutores carregados com voltagens opostas acaba sendo ionizado. Cerca de 80 % das partículas em suspensão adquirem carga positiva, enquanto que 20% adquirem carga negativa. Após o material particulado ser ionizado, a força elétrica promove a movimentação das partículas carregadas para placa condutora de carga oposta, que vai aderir as partículas. Em média, é possível reduzir as emissões em torno de 70 mg/Nm³.

Como pudemos observar, a escolha do equipamento é função do material a ser filtrado, assim como características do gás ao chegar ao filtro, como temperatura, pressão e umidade. Os ciclones, por exemplo, funcionam melhor para particulados de maior tamanho. Os filtros eletrostáticos são considerados bastante eficientes, porém não se adequam para materiais pouco condutores. Lavadores a úmido também são considerados bastante eficientes, porém necessitam de um sistema posterior em conjunto para tratar o fluido utilizado para a lavagem. E filtros têm limitações quanto à umidade e temperatura dos gases.

6.3. Medidas para diminuição do consumo energético

Em determinados processos da siderurgia, há a oportunidade de adoção de práticas que irão ocasionar menores consumos energéticos, diminuindo custos e contribuindo para

uma operação que possua maior caráter sustentável, e serão explicitados nos próximos itens.

6.3.1. Processo de Sinterização

A tecnologia de heat recovery (recuperação de calor) na planta de sinterização pode ser usada no pré-aquecimento do ar de combustão dos queimadores e na produção de vapor superaquecido, que pode ser usado para cogeração de energia a partir de turbinas a vapor. Essa tecnologia pode representar uma economia de cerca 0,6 GJ/t de sínter, com custo de capital aproximado de US\$ 5,00/t, com *pay-back* (retorno de capital) de cerca de três anos. O emprego dessa alternativa permite a redução de emissões de NO_x, SO_x e de particulados.

Outras opções interessantes no processo de sinterização que podem melhorar a eficiência energética e apresentam baixo custo relativo de capital e menores *pay-back* são (Carvalho, et al., 2014):

- (i) redução de escapamento de gás na planta, com consequente redução do consumo de energia elétrica dos ventiladores do forno;
- (ii) implantação de sistemas automatizados de monitoramento e controle do processo, resultando em até 5% de redução do consumo energético;
- (iii) aproveitamento de resíduos energéticos de outros processos, na planta de sinterização, como o óleo residual do processo de laminação a frio.

6.3.2. Processo de Coqueificação

Automatização de processos usando modelos computacionais para controle de temperatura nas coquearias, regulando-se em função da necessidade, em vez do uso de aquecimento constante (convencional), o que pode representar uma redução no consumo de combustível em até 10% a partir da otimização do suprimento. Ainda é possível citar outras tecnologias com baixo custo de capital e energeticamente eficientes, como (Carvalho, et al., 2014):

- (i) uso do heat recovery (recuperação de calor) nas baterias de coque, que pode ser usado no pré-aquecimento do ar para os queimadores; e
- (ii) técnica de apagamento a seco do coque, que, além de permitir, a partir do equipamento usado, melhor taxa de recuperação dos gases, reduz o consumo de coque no alto-forno (melhora do rendimento do coque), pelas características do coque obtido nesse procedimento.

6.3.3. Alto-forno (AF) e Aciaria

No AF, o aumento da injeção de PCI (Pulverized Coal Injection) pode representar redução na produção de coque, resultando na diminuição de uma grande quantidade de energia consumida nesse processo, que pode chegar até cerca de 0,8 GJ/t de ferro-gusa. O aumento do PCI também propicia queda dos custos operacionais no processo de redução no AF.

Outras tecnologias que visam à redução do consumo energético podem ser enumeradas, como:

- (i) recuperação de gás de alto-forno;
- (ii) recuperação de calor da aciaria e aumento da recuperação de gás de BOF;
- (iii) sistemas de controle e automação da reciclagem do gás de alto forno;
- (iv) recuperação de calor da escória.

6.3.4. Lingotamento

Para a etapa de lingotamento, teremos:

Aumento da eficiência do lingotamento contínuo a partir do uso de tecnologia *near net shape casting*, que consiste no lingotamento do metal em uma forma já bem próxima do produto final, reduzindo, assim, as etapas de laminação. Nessa tecnologia, o metal lingotado passa diretamente ao laminador a quente, eliminando-se as etapas de resfriamento e posterior reaquecimento para a laminação. Alguns processos que empregam a tecnologia *near net shape casting* têm sido desenvolvidos pela indústria, notadamente no que se refere ao lingotamento de placas menos espessas e de laminados de tiras a quente.

6.3.5. Laminação

Na etapa de laminação, podemos citar as seguintes medidas:

- (i) Aumento da eficiência de pré-aquecimento de semi-acabados para a laminação, a partir de sistemas mais efetivos de monitoramento e controle.
- (ii) (ii) Uso de motores de corrente alternada mais eficientes nos processos de laminação, tanto na laminação a quente como a frio.

7 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

7.1. CONAMA

Órgão criado em 1982 pela Lei n ° 6.938/81 – que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente - o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA. Em outras palavras, o CONAMA existe para assessorar, estudar e propor ao Governo, as linhas de direção que devem tomar as políticas governamentais para a exploração e preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. Além disso, também cabe ao órgão, dentro de sua competência, criar normas e determinar padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida.

Além do licenciamento ambiental o CONAMA também fornece as diretrizes para a realização das Avaliações de Impactos Ambientais (AIA) que é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente. Encontra-se na resolução CONAMA 001 de 1986 a definição de impacto ambiental que vem a seguir.

Impacto Ambiental é caracterizado pela alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente afetam:

1. A saúde, a segurança e o bem estar da população;
2. As atividades sociais e econômicas;
3. A biota;
4. As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
5. A qualidade dos recursos ambientais.

Nessa resolução são apontadas diretrizes para a realização de Estudos de Impactos Ambientais (EIA). Seguem listadas essas diretrizes:

- a) Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto;
- b) Identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade;
- c) Definir os limites das áreas geográficas a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza;

d) Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implementação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

Os níveis de referência estabelecidos pelo CONAMA tendem a funcionar como uma base para determinar a relação entre emissão de poluentes, a saúde da população e o efeito sobre o meio ambiente, levando em consideração as tecnologias vigentes e disponíveis atualmente para redução dessas emissões. Portanto para cada tipo de fonte existem limites máximos de emissões definidos pela legislação brasileira através da resolução do CONAMA número 382/06 que estabelece limites de emissões para atividades de fontes fixas como: fabricação de aço, geração de eletricidade, refino de petróleo, entre outras.

Como cada tipo de poluente atmosférico possui diferentes tipos de efeitos sobre o meio ambiente e sobre a saúde da população houve uma necessidade de impor diferentes limites para cada tipo de emissão.

A Tabela 7.1 apresenta os limites estabelecidos pela resolução do CONAMA 003 de 1990, apresentando os padrões de qualidade do ar. A tabela refere-se aos limites de emissão de material particulado, dióxido de enxofre, óxido de nitrogênio e concentração de oxigênio para as plantas presentes dentro de uma usina siderúrgicas integrada, podendo esta ser via alto-forno com carvão vegetal ou coque, e até mesmo a utilização de rotas com conversor LD ou pela preferência de forno elétrico a arco.

Tabela 7.1 – Resolução CONAMA 003 de 1990

Fonte: Magalhães(2005)

Resolução CONAMA 003/90			
Padrões de Qualidade		Primário	Secundário
		mg/m ³	mg/m ³
PTS	MG, anual	80	60
	Média 24 h*	240	150
Fumaça	MA, anual	60	40
	Média 24 h*	150	100
Partículas Inaláveis	MA, anual	50	50
	Média 24 h*	150	150
SO ₂	MA, anual	80	40
	Média 24 h*	365	100
CO	Média 8h*	10000 (9 ppm)	10000 (9 ppm)
	Média 1h*	40000 (35 ppm)	40000 (35 ppm)
Ozônio	Média 1 h*	160	160
NO ₂	MA, anual	100	100

MG - Média Geométrica

MA - Média Aritmética

7.2. Organização Mundial da Saúde (OMS)

A Organização Mundial da Saúde é uma agência especializada em saúde, fundada em 7 de abril de 1948 e subordinada à Organização das Nações Unidas. Sua sede é em Genebra, na Suíça.

Segundo sua constituição, a OMS tem por objetivo desenvolver ao máximo possível o nível de saúde de todos os povos. A saúde sendo definida nesse mesmo documento como um “estado de completo bem-estar físico, mental e social e não consistindo somente da ausência de uma doença ou enfermidade”.

O Brasil tem participação fundamental na história da OMS. A proposta de criação da OMS foi de autoria dos delegados do Brasil, que propuseram o estabelecimento de um "organismo internacional de saúde pública de alcance mundial". Desde então, Brasil e a OMS desenvolvem intensa cooperação.

Além do CONAMA, a OMS também cria normas que avaliam os limites de emissões de fontes fixas como sendo rígidos ou não, geralmente estipulam valores mais rigorosos para os limites de emissões como é mostrado pela Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Diretrizes da Qualidade do Ar

Fonte: Magalhães(2005)

OMS (2006)		
Poluente	Concentração $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Referência Temporal
PM10	50	Média 24h
	20	Média anual
PM2,5	25	Média 24h
	10	Média anual
O3	100	8h em um dia
NO2	200	Máxima 1h
	40	Média anual
SO2	500	10 min
	20	Média 24h

É importante salientar os males que cada um destes materiais emitidos na atmosfera pode causar de forma consistente à saúde da população, de acordo com o tempo que esse material fica exposto no meio ambiente.

De acordo com as políticas ambientais vigentes é possível averiguar as diferentes proposições referentes aos limites de emissões atribuídos das diversas fontes. O CONAMA avalia de forma menos rigorosa os limites em comparação com os apontados pela OMS. Este fato é decorrente da dificuldade das siderúrgicas de atenderem aos limites estabelecidos pela OMS devido às tecnologias atuais terem dificuldades em atender essas exigências. Seja pela falta de espaço físico requerido para a construção de uma nova tecnologia de controle, ou pela falta de recursos/investimentos necessários para melhorar

ou renovar uma tecnologia antiga e pouco eficaz de contenção de emissões que não atendem aos limites impostos pelas agências reguladoras do meio ambiente.

Embora as tecnologias atuais de controle de emissões sejam capazes de remover cerca de 90% das emissões sejam estas referentes ao monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de enxofre, óxido de nitrogênio, entre outros, ainda assim algumas usinas siderúrgicas possuem dificuldade para atender aos limites estabelecidos pela OMS. Portanto pode-se observar que o estipulado pela Organização Mundial da Saúde ainda se encontra fora de acesso para muitas dessas indústrias.

Em contrapartida os valores propostos pela OMS são estipulados de acordo com a influência dessas emissões presentes na atmosfera. Quanto mais tempo esse material fica exposto no ar mais prejudicial ele se torna, pois maior a quantidade de pessoas que não de sofrer com a sua presença. Os problemas causados são geralmente nas vias respiratórias como discutido anteriormente e, portanto a avaliação referente aos limites de emissão de forma segura para a população seria em vista dos valores abordados pela própria OMS.

8 DISCUSSÃO: COMPANHIA SIDERÚRGICA DO ATLÂNTICO (CSA)

Contudo ainda existem siderúrgicas que tiveram problemas com a emissão de poluentes e tiveram multas pesadas aplicadas pelos órgãos ambientais como é o caso da Companhia Siderúrgica do Atlântico, que foi obrigada a fazer grandes investimentos para atender os limites impostos.

A Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA), é uma das maiores siderúrgicas do Brasil e da América Latina. A planta entrou em operação em junho de 2010. Ao ser instalada, e iniciar sua operação e produção, a população da região fez uma reclamação formal ao INEA (Instituto Estadual do Ambiente) devido à grande quantidade de fumaça emitida pela indústria e pela presença de material metálico contido nela. Em torno de um mês foram aferidos problemas de saúde com efeito sobre as vias respiratórias, irritação nos olhos e presença de dermatites diversas.

A partir das reclamações realizadas, o INEA realizou vistorias na CSA e constatou que o ferro gusa produzido no alto-forno estava sendo despejado em poços de emergência. Estes foram criados para conter as primeiras corridas do alto-forno, devido ao fato de que no início o ferro-gusa produzido não teria pureza suficiente para ser enviado a conversores e nem a laminação. Esse poço de emergência não continha nenhum tipo de tecnologia empregada para impedir emissões atmosféricas, portanto quando o ferro-gusa reduzia a sua temperatura e ficava exposto ao ar acabava gerando assim emissões de material particulado contendo ferro e outros metais presentes no ferro-gusa líquido. (Oliveira, 2014)

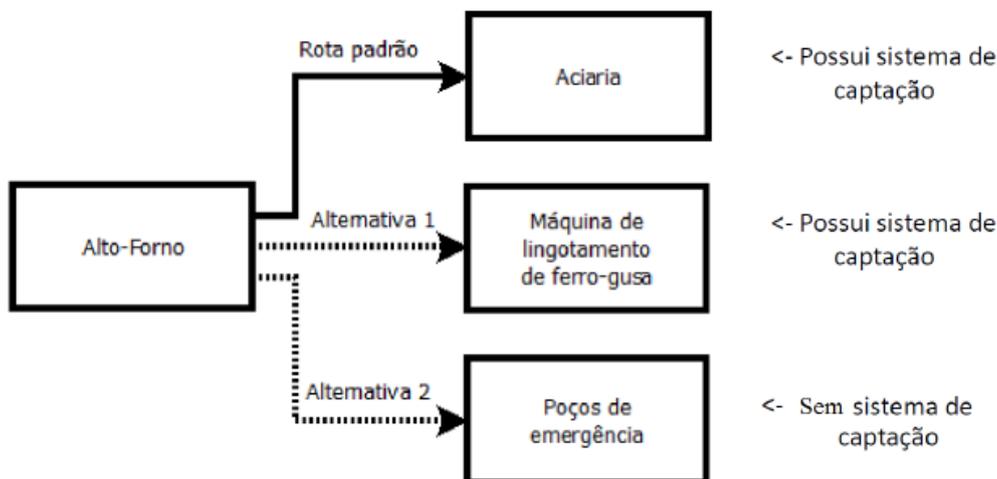


Figura 8.1: Rotas alternativas gusa líquido

Fonte: Souza(2013)

Essa rota onde o ferro-gusa é despejado em poços de emergência, como é mostrado pela Figura 8.1, ocorreu também pelo fato das unidades da aciaria e da máquina de lingotamento de ferro-gusa começar o seu funcionamento semanas depois do previsto no cronograma estipulado pela siderúrgica. Portanto os poços de emergência não estavam funcionando como uma terceira opção e sim como opção primária. Devido a este acontecimento foi contabilizado, pelo INEA, 90 mil toneladas de ferro-gusa solidificado que foram estocados em pilhas.

Um segundo problema ocorreu durante o início das operações da CSA, quando a máquina de lingotamento de ferro-gusa entrou em operação foi observado que panela que continha o ferro-gusa vinda do alto-forno, não conseguia despejar o seu conteúdo devido a um erro de projeto. A coifa de captação de particulados impedia o vazamento do ferro-gusa na máquina de lingotamento e, portanto foi desconectada do sistema. Conseqüentemente novas emissões atmosféricas ocorreram com presença de uma grande quantidade de material particulado de aspecto metálico.

Um terceiro problema da CSA foi quanto à remoção do ferro-gusa sólido dos poços de emergência, existiam três alternativas para que fosse possível a sua remoção. A primeira seria utilizando uma escavadeira (opção não é sempre viável), a segunda se resume ao método de boleamento (muitas vezes ineficaz) e o terceiro era o emprego do oxicorte. O Oxicorte é responsável por emissões atmosféricas consideráveis. (Souza, 2013)

A CSA tentou usar como medida paliativa nos poços de emergência a distribuição de dez bicos aspersores de água nas paredes dos poços para minimizar emissões durante o despejo do ferro-gusa líquido. Esta medida foi introduzida até a construção definitiva de um sistema de captação. (Oliveira, 2014)

A Figura 8.2 apresenta as emissões de particulado inaláveis (PM₁₀) nas regiões no entorno da CSA.

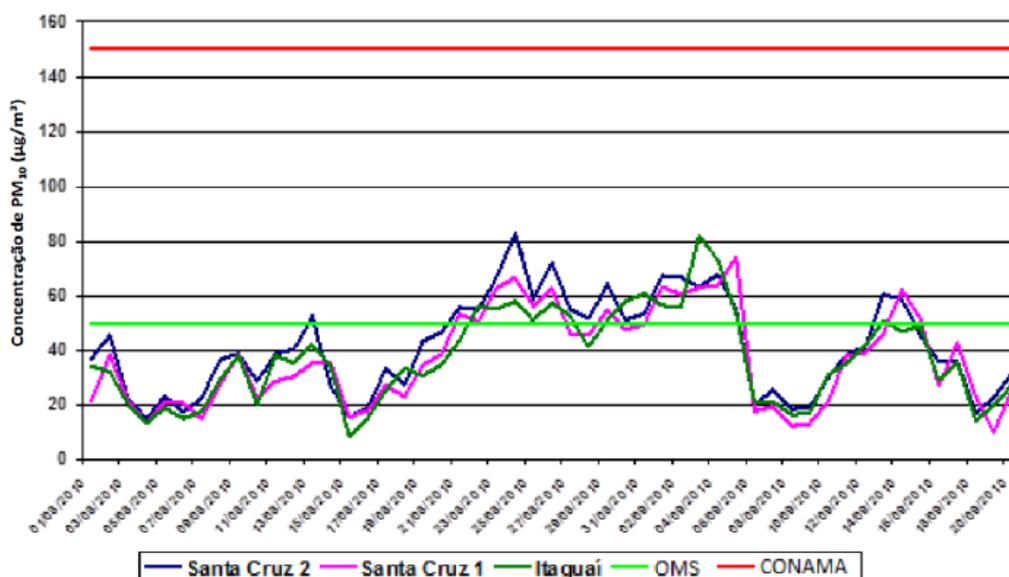


Figura 8.2: CSA – Emissão de PM₁₀

Fonte:Souza(2013)

Deve-se lembrar que essas emissões são decorrentes não apenas da CSA, pois abrangem toda uma região que possui outras atividades industriais que também corroboram para a emissão de material particulado. Porém as argumentações apresentadas foram apenas dos problemas relativos ao primeiro alto-forno da CSA.

Após tantos problemas com o primeiro alto-forno, o INEA embargou o funcionamento do segundo alto-forno, sem antes resolver os problemas correlacionados que acarretaram nas emissões já descritas. Por conta disso a CSA não conseguiu validar o contrato de energia com a ANEEL, onde cederia energia pela produção de gás de alto-forno, por conta desta falha a CSA foi multada em R\$172,8 milhões.

O segundo alto-forno seria capaz de adicionar à termelétrica da usina em torno de 80MW e 150 MW.

O valor dessas emissões teve um acréscimo súbito devido a um problema no segundo alto-forno da CSA, após o início de operação este acabou tendo problemas na

casa de corrida e não estava sendo possível separar corretamente o ferro-gusa da escória. Esta complicação impediu que o material fosse transportado para aciaria ou para o lingotamento, devido ao alto grau de impureza, resultando na necessidade de despejo nos poços de emergência. Devido ao somatório dos problemas tanto no primeiro quanto no segundo alto-forno, os poços de emergência começaram a ser utilizados em alta escala gerando fortes prejuízos. (Souza, 2013)

Após o início das operações no ano de 2010 por volta do mês de junho as emissões na região cresceram vertiginosamente como mostra a figura abaixo.

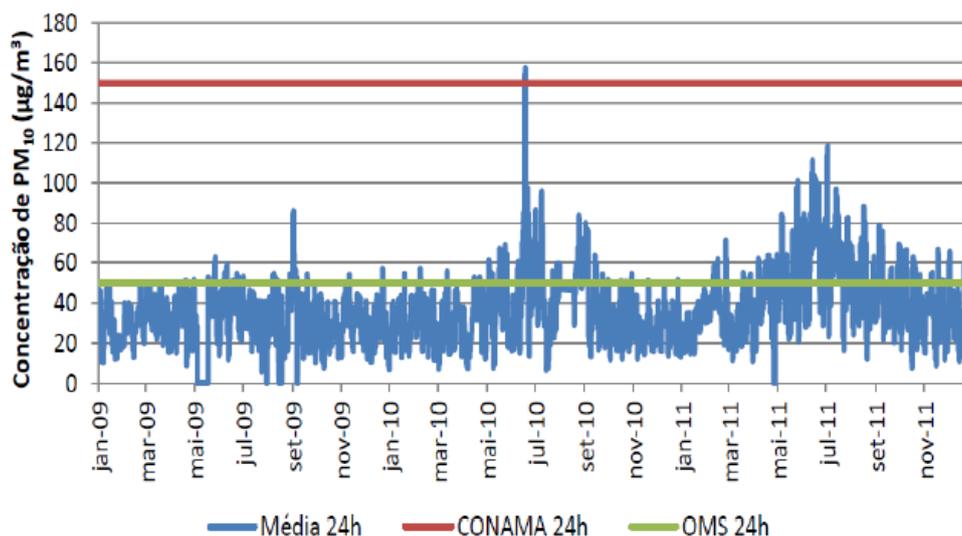


Figura 8.3: CSA – Emissão de PM₁₀ após início da operação da usina

Fonte: Souza(2013)

Os investimentos para financiar tecnologias de redução de emissões são elevados. A Tabela 8.1 apresenta os investimentos em reais necessários para a implementação dessas tecnologias.

Tabela 8.1: Investimentos para redução de emissões

Fonte: Instituto Aço Brasil (2010)

Descrição	Investimento(R\$)
Alto-Forno a coque: Casa de estocagem e ala de corrida	
Adequação do Despoeiramento na Área de Corridas(FM) dos Fornos 1,2 e 3	39.000.000,00
Adequação do Sistema de Envio de Minérios e Pelotas para os Altos Fornos	45.000.000,00
Adequação do Sistema de Envio de Coque para os Altos Fornos	25.000.000,00
Adequação do Sistema de Envio de Sínter para os Altos Fornos	30.000.000,00
Adequação do Sistema de Despoeiramento do Sistema de Envio de Coque para os Altos Fornos	55.000.000,00
Adequação do Sistema de Despoeiramento do Sistema de Envio de Sínter para os Altos Fornos	45.000.000,00
Alto Forno 1 Casa de Estocagem(Filtro de Manga)	13.860.000,00
Sinterização: Sistema de Despoeiramento	
Instalação do Precipitador Eletrotático da Máquina de Sínter 1	30.000.000,00
Instalação do Precipitador Eletrotático da Máquina de Sínter 2	22.000.000,00
Substituição e Reforma dos Precipitadores das Máquinas de Sínter	1.500.000,00
Coqueria: Câmaras de Combustão dos Fornos de Coque	
Reforma a frio do Corpo de Coqueria	473.000.000,00
Reforma do Revestimento Refratário da Coqueria	17.500.000,00
Reconstrução de coqueria	850.000.000,00
Central Termelétrica: Caldeira com Queima de Gases Siderúrgicos	
Substituição de Queimadores e outras intervenções	25.000,00
Laminação: Fornos de Reaquecimento de Placas	
Introdução de Consumo de Gás Natural	11.000.000,00
Aciaria: Sistema de Despoeiramento	
Adequação do Sistema de Despoeiramento da Aciaria 1	60.000.000,00
Adequação do Sistema de Despoeiramento da Aciaria 2	50.000.000,00
Total(R\$)	1.767.885.000,00

Tomando como base o investimento de 15 bilhões de reais (em valores de 2010) aproximadamente investido para o projeto da CSA, temos que o investimento em

equipamentos e instalações que trariam ganhos em sustentabilidade estariam em 11,79%, sendo necessária a análise mercadológica, para projetar prazos e condições de financiamento e isenções fiscais (que poderiam ser cedidas pelo poder público) para as devidas modificações. Entretanto, no longo prazo, a usina deixaria de sofrer com multas e penalizações por parte dos órgãos competentes do governo, além de manter um melhor posicionamento de mercado, no que diz respeito a imagem que os consumidores teriam de uma empresa mais sustentável.

9 CONCLUSÃO

O desenvolvimento sustentável é uma tendência que irá permear todas as atividades industriais e relacionadas a prestação de serviço ao longo do século XXI, e a qualidade de vida de todos os habitantes do planeta está diretamente relacionada com essa tendência. A siderurgia é uma indústria que possui caráter intrinsecamente poluidor, sendo assim, ganhos em eficiência nessa indústria e menor nível de emissão de poluentes são parte fundamental do processo de uso racional dos recursos do nosso planeta. A economia sustentável é um caminho sem volta, visto que todos os setores da sociedade, terão que, de acordo com seus aspectos, se adequar a esse conceito.

No Brasil, pudemos constatar que, ao longo do tempo, a siderurgia desenvolveu-se de forma assimétrica ao longo do território nacional e de forma descontínua ao longo do tempo, não sendo feita com políticas permanentes de eficaz aproveitamento dos recursos disponíveis, bem como capacitação da mão-de-obra utilizada, o que tornaria produto ainda mais competitivo no mercado internacional.

A demanda global de aço tem aumentado de forma substancial: em 1950, a produção de aço bruto foi de 200Mt e aumentou mais de sete vezes desde então, para aproximadamente 1512 Mt em 2012. A demanda deve crescer anualmente em todo o mundo, impulsionada por países como a China e a Rússia, onde a indústria do aço deve crescer, em média, entre 8 e 10% ao ano. Esse cenário evidencia ainda mais a grande gama de oportunidades que devemos nos esforçar para aproveitar em busca de melhorias. A adoção de metas regionais para os próximos anos é uma iniciativa que poderia trazer ganhos, levando em conta as peculiaridades de cada localidade. Os executivos das grandes coporações são contrários à adoção de metas regionais, sob a alegação de que as mesmas seriam prejudiciais à sua competitividade, ou seja, para usinas localizadas em regiões com metas mais rígidas, as margens de lucro estariam prejudicadas. Deveria assim ser reforçada uma política de metas que contemple os investimentos e peculiaridades do setor, algo que deve ser discutido de forma madura e consistente.

Outro empecilho para assumir tais metas é a necessidade de desenvolvimento de tecnologias de ruptura para minimizar os gases emitidos no processo de fabricação do aço. Na maioria das etapas de fabricação os GEE podem ser reduzidos por meio de maior eficiência energética e uso de fontes limpas, o que não ocorre na fase de redução, grande responsável pelas emissões de CO₂. A redução nos altos fornos é um processo químico

no qual o CO₂ emitido resulta da união do oxigênio liberado do minério de ferro e do carbono encontrado nos carvões vegetal ou mineral. Atualmente apenas o Japão possui um conceito tecnológico para uma rota de produção de ferro-gusa menos poluente, mas que ainda não é utilizável em larga escala.

Uma demonstração importante do setor em prol da sustentabilidade foi o lançamento do Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal, em 3 de abril de 2012, na CNI/Brasília, que contou com a presença da Ministra do Meio Ambiente, Dra. Izabella Teixeira, entre outras autoridades do Governo e do Congresso Nacional e representantes de diversas instituições empresariais. O Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal teve a adesão de todas as empresas associadas ao Instituto Aço Brasil e nele foi estabelecido um Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal, que embora não esteja diretamente relacionado ao tema desse trabalho, mostra um início de mobilização por parte de alguns setores em relação a sustentabilidade.

Existem alternativas viáveis para mitigar o efeito causado pela siderurgia ao meio ambiente, com soluções viáveis economicamente e sem prejuízos de eficiência para os processos. É extremamente necessário que, cada vez mais, se façam investimentos, públicos ou privados, em pesquisa e desenvolvimento, para que cada vez mais surjam novas técnicas e equipamentos que venham a trazer ganhos em sustentabilidade aos processos, e isso passa, invariavelmente pelo fechamento de parcerias entre países, empresas, universidades e pólos de pesquisa. Somente dessa forma, podemos vislumbrar um futuro próspero e de maior qualidade de vida para as gerações que irão nos suceder.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, Ivo Torres de. 1999.** A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. *Dissertação de Mestrado*. São Paulo, Brasil : s.n., 1999.
- Anderson, David R. e Fisher, Raymond. 2001.** *Sources of dioxins in the United Kingdom: the steel industry and other sources*. 2001. Artigo Acadêmico.
- Bruno Milanez, Marcelo Firpo de Souza Pinto. 2009.** Gestão Ambiental e Siderurgia: Limites e Desafios no contexto da Globalização. *Revista de Gestão Social e Ambiental*. 2009, Vol. 3.
- Candian Lobato, Natalia Cristina, Villegas, Edwin Auza e Mansur, Marcelo Borges. 2015.** Management of solid wastes from steelmaking and galvanizing processes: A brief review. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015.
- Carvalho, Pedro Sérgio Landim de, Mesquita, Pedro Paulo Dias e de Araújo, Elizio Damião. 2014.** Sustentabilidade da Siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. *BNDES Setorial*. 2014.
- Conama. 2015.** MMA. *MMA*. [Online] Governo do Brasil, 12 de Março de 2015. [Citado em: 11 de Novembro de 2016.] <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/FAQ.pdf>.
- Dias, Reinaldo. 2015.** *Gestão Ambiental - Responsabilidade Social e Sustentabilidade*. São Paulo : Atlas, 2015.
- 2014.** Dicionário Ambiental. *O Eco*. [Online] 12 de Dezembro de 2014. [Citado em: 24 de Novembro de 2016.] <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27961-o-que-e-o-conama/>.
- Globo, O. 2011.** O Globo. *O Globo*. [Online] 1 de Novembro de 2011. [Citado em: 26 de Novembro de 2016.] <http://oglobo.globo.com/rio/ministerio-publico-quer-fim-da-emissao-de-poluente-pela-siderurgica-csa-3078939>.
- Henrique de Melo Lisboa, Mauricy Kawano. 2007.** *Monitoramento de Poluentes Atmosféricos*. s.l. : Montreal, 2007. Dissertação de Mestrado.
- IBGE. 2013.** *Pesquisa Nacional de Saúde*. São Paulo : IBGE, 2013. Relatório governamental.
- Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira. Ibram. 2014.* 7, São Paulo : Ibram, 2014, Vol. 1.
- 2014.** Instituto Aço Brasil. www.acobrasil.com.br. [Online] Instituto Aço Brasil, 15 de Janeiro de 2014. [Citado em: 7 de Maio de 2016.] <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/198FC8A8/PropFinalSiderurgia.pdf>.

- Lisboa, Henrique de Melo e Kawano, Mauricy. 2007.** Monitoramento de Poluentes. *Controle da Poluição Atmosférica*. Montreal : s.n., 2007.
- Lopes, Marco Polo de Mello. 2011.** *Indústria Brasileira do aço - Situação Atual e Principais Desafios* . s.l. : ABM, 2011.
- Lora, Electo Eduardo Silva. 2002.** *Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético Industrial e de Transporte* . São Paulo : Interciencia, 2002.
- Marcovitch, Jacques. 2014.** *Mitigação de Gases de Efeito Estufa: A Experiência Setorial e Regional no Brasil*. 2014. Tese de Doutorado.
- Mello, Alvaro Augusto Araujo. 2012.** *Competitividade e Sustentabilidade Ambiental da Siderurgia Brasileira*. 2012.
- Miller Jr., G. Tyller. 2015.** *Ciência Ambiental*. São Paulo : Cengage Learning Nacional, 2015.
- Oliveira, André Albuquerque Bittencourt de. 2014.** *Inventário das Emissões Atmosféricas na Indústria Siderúrgica*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2014. Projeto de Graduação.
- Paulo Sérgio Landim de Carvalho, Pedro Paulo Dias Mesquita, Luciane Melo. 2016.** *Panoramas Setoriais - Siderurgia* . Rio de Janeiro : BNDES, 2016.
- Quintiere, Marcelo. 2016.** Blog do Quintiere. [Online] 5 de Março de 2016. [Citado em: 16 de Julho de 2016.] <https://blogdoquintiere.wordpress.com/tag/carvao-mineral-carvao-vegetal-impactos-ambientais-detalhes-producao-marcelo-quintiere/>.
- Ribeiro, Monica Manhães. 2010.** *Material Particulado da Planta de Sinterização de Usina Siderúrgica Integrada em Composição de Cerâmica Vermelha*. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes : s.n., 2010. Dissertação de Mestrado.
- Silva, José Nazareno Santos. 2011.** *Siderurgia*. Belém : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2011.
- Souza, Rodrigo Chauvet de. 2013.** *Análise dos Impactos de Emissões Atmosféricas Locais da Indústria Siderúrgica: Um estudo de caso no Rio de Janeiro*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2013. Dissertação de Mestrado.
- Vieira, Carlos Mauricio Fontes. 2011.** *Reciclagem de Material Particulado de Uma Planta de Sinterização de Uma Usina Siderúrgica em Cerâmica Vermelha*. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes : s.n., 2011.

APÊNDICE

A. TEXTO DO PROTOCOLO DE SUSTENTABILIDADE DO CARVÃO VEGETAL

A indústria do aço, que opera em total conformidade legal e dentro dos mais estritos princípios éticos na produção, aquisição e consumo do carvão vegetal, vem a público lançar protocolo de sustentabilidade do carvão vegetal, de forma a colaborar ainda mais com o poder público para a conscientização da cadeia produtiva quanto à importância da produção sustentável desse insumo. Nesse sentido, as empresas produtoras de aço abaixo assinadas reafirmam os seguintes compromissos:

1. Atuar dentro dos preceitos do desenvolvimento sustentável e em perfeita consonância com a legislação, considerando de forma integrada e harmônica os aspectos ambientais sociais e econômicos;
2. Atuar junto à cadeia produtiva visando eliminar práticas e atividades que violem os direitos trabalhistas ou causem danos ao meio ambiente;
3. Manter relacionamento comercial somente com empresas que cumpram todas as exigências sócio-ambientais legais;
4. Exigir a comprovação documental requerida pela legislação aos fornecedores de carvão vegetal e dos produtos dele derivados;
5. Estabelecer parceria com o Poder Público para o desenvolvimento de programa de conscientização social e ambiental junto aos fornecedores de carvão vegetal;
6. Concluir, em até 4 anos, o pleno atendimento de estoques florestais às respectivas demandas de produção por meio de plantio próprio ou plantio de terceiros, desde que em consonância com os requisitos legais;
7. Atuar em parceria com o Governo dando continuidade ao desenvolvimento e implementação de tecnologia para captação e queima dos gases do processo de produção de carvão vegetal, visando a redução das emissões dos gases de efeito estufa;
8. Apresentar periodicamente o desenvolvimento das ações acima referidas no Relatório de Sustentabilidade da indústria do aço.