

AVALIAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA INDÚSTRIA
SIDERÚRGICA SOB A ÓTICA DO CONTROLE E MONITORAMENTO: O
CASO DA CSN

Isabel Peralva Figueiredo

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

Orientador: Claudinei de Souza Guimarães

Co-orientador: David Rodrigues da Silva Maia

Rio de Janeiro

Abril de 2016



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

AVALIAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA SOB A ÓTICA DO CONTROLE E MONITORAMENTO: O CASO DA CSN

Isabel Peralva Figueiredo

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

Orientador: Claudinei de Souza Guimarães

Co-orientador: David Rodrigues da Silva Maia

Rio de Janeiro

Abril de 2016

**AVALIAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA
SOB A ÓTICA DO CONTROLE E MONITORAMENTO: O CASO DA CSN**

Isabel Peralva Figueiredo

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinada por:

Prof. Claudinei de Souza Guimarães, D. Sc.

Prof^a. Iene Christie Figueiredo, D. Sc.

David Rodrigues da Silva Maia, Bel.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL de 2016

Figueiredo, Isabel Peralva

Avaliação de Emissões Atmosféricas na Indústria Siderúrgica sob a Ótica do Controle e Monitoramento: o caso da CSN/ Isabel Peralva Figueiredo – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2008.

XV, 84 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Claudinei de Souza Guimarães e David Rodrigues da Silva Maia

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

Referências Bibliográficas: p. 82-85.

1. Poluição Atmosférica 2. Processos Siderúrgicos. 3. Técnicas de Controle. 4. Legislação. 5. Monitoramento. I. Guimarães, Claudinei de Souza II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Avaliação do Controle e Monitoramento de Emissões Atmosféricas na Indústria Siderúrgica sob a Ótica do Controle e Monitoramento: o caso da CSN.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é a última etapa de um curso de graduação cuja finalização demorou mais que o habitual. Durante este tempo, muitas pessoas passaram em minha vida, deixando um pouco e levando um pouco de mim. A minha construção enquanto pessoa e profissional, assim como meu papel social, foram modificados por cada microprocesso nesta jornada.

Agradeço, em especial, aos meus pais, Maria Cristina e Reginaldo, pelo amor, paciência e dedicação incondicionais e essenciais em minha educação diária.

Aos meus orientadores, Claudinei Guimarães e David Maia, pelo tempo dedicado e conhecimento compartilhado nesta importante etapa.

Às professoras Iene Figueiredo e Heloisa Firmo pelo excelente trabalho como coordenadoras do curso de Engenharia Ambiental e que tanto me ajudaram ao longo da graduação.

Aos amigos de curso e hoje de vida – ou galera maneira – por todas as emoções e amizade compartilhadas durante os anos de convivência dentro e fora do Fundão. Especialmente, agradeço à Gabriel Marques, primeira pessoa que conheci na faculdade e meu melhor amigo, indiscutivelmente.

À Egon Lessa, cujo amor e companheirismo foram fundamentais para que eu realizasse a maior das minhas conquistas até agora. Sem você, eu não teria vivido a melhor experiência da minha vida. Muito obrigada.

Aos amigos e parceiros do lindo projeto Coletivo Quermesse, que tanto me ensinam sobre nosso papel social e que hoje são fundamentais em minha vida.

Aos antigos e novos amigos e amores que a vida me deu em um momento tão delicado como 2015, quando retornei à minha cidade e nada mais parecia estar no lugar. A amizade, carinho, atenção e companheirismo de vocês me deram forças para seguir. Em especial, agradeço à Douglas Ponso pelo imenso apoio durante a criação deste trabalho.

Hoje, definitivamente, fecho esta etapa da vida sendo uma pessoa melhor.

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

Avaliação de Emissões Atmosféricas na Indústria Siderúrgica: o Caso da CSN

Isabel Peralva Figueiredo

Abril/2016

Orientadores: Claudinei de Souza Guimarães

David Rodrigues da Silva Maia

Curso: Engenharia Ambiental

A indústria siderúrgica ainda se apresenta como uma das mais relevantes no cenário nacional, uma vez que seu produto final – o aço – sustenta diversos outros mercados internos. No entanto, o crescimento desse segmento promove intensivo impacto ambiental, sobretudo no que tange à atmosfera. Este trabalho, então, analisa as emissões atmosféricas originárias das atividades siderúrgicas, com foco nos mecanismos de controle e monitoramento dos poluentes do ar. Para tal, é utilizada a Companhia Siderúrgica Nacional, localizada no estado do Rio de Janeiro, como estudo de caso. Associando-se a revisão bibliográfica disponibilizada com os resultados dos monitoramentos de qualidade do ar e das fontes fixas da CSN durante o ano de 2009, verificou-se o parâmetro PTS ultrapassou os padrões de qualidade do ar previstos pela lei em 2 estações de monitoramento, bem como 5 das 34 chaminés da Usina apresentaram concentrações de MP até 3 vezes superior ao limite. Com base no monitoramento meteorológico local e análise do Índice de Qualidade do Ar, concluiu-se que a população não foi prejudicada pelas ultrapassagens averiguadas. Porém, recomenda-se que a indústria não só promova uma manutenção em seus equipamentos de controle, assim como amplie a amostragem atualmente realizada e o acesso os resultados. Ainda, a análise temporal de 2009 a 2014 de PTS apontou semelhanças entre o primeiro e o último ano, no qual as mesmas estações apresentaram concentrações acima dos padrões legais vigentes. Dessa forma, recomenda-se para trabalhos futuros uma análise mais detalhada sobre as possíveis causas do comportamento mostrado.

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

Evaluation of Atmospheric Emissions of the Steel Industry from the Controlling and Monitoring Perspective: the Case of CSN

Isabel Peralva Figueiredo

April/2016

Advisors: Claudinei de Souza Guimarães
David Rodrigues da Silva Maia

Course: Environmental Engineering

Steel industries still presents itself as one of the most relevant ones in Brazil, also given that its final product bolster other national markets as well. However, the growth of this segment and its operation carry out harsh environmental impacts, mainly seen in the atmosphere of the planet. This essay analyses and promotes a discussion about steel industries' atmospheric pollutants emissions, focusing on the mechanisms of monitoring and controlling air pollutants. In order to do so, it will develop a case study about a major company – Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), established on the state of Rio de Janeiro. By associating the results of monitoring both local air quality and CSN's stationary sources during the year of 2009 to the literature review brought up throughout the essay, it has been found that the TPS parameter exceeded the air quality standards set by law in two monitoring stations, as well as five of the thirty-four chimneys of power plant present PM up to three times the limit. Based on the local weather monitoring and analysis of the Air Quality Index, it was concluded that there was no major damages to the population. However, it is recommended that the industry not only promotes maintenance on your control equipment, as well as expands the sample current performed and the access to the results. Still, the temporal analysis 2009-2014 TPS pointed out some similarities between the first and the last year in which the same stations showed concentrations above statutory standards. Therefore, it recommends for future work a more detailed analysis of the possible causes of the behavior shown.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa e Objetivos	3
2. PANORAMA NACIONAL DA SIDERURGIA	5
3. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	8
3.1. Principais Poluentes Atmosféricos da Indústria Siderúrgica.....	8
3.1.1. Material Particulado – MP.....	10
3.1.2. Dióxido de Enxofre – SO ₂	11
3.1.3. Óxidos de Nitrogênio – NO _x	12
3.1.4. Monóxidos de Carbono - CO	12
3.1.5. Ozônio – O ₃	13
3.1.6. Dioxinas e Furanos	13
4. O PROCESSO SIDERÚRGICO.....	15
4.1. Preparação das Matérias Primas – Pelotização, Sinterização e Coqueificação.....	18
4.2. Redução do Minério de Ferro	21
4.3. Refino	22
4.4. Conformação Mecânica – Lingotamento e Laminação.....	24
5. POLUENTES GERADOS POR ETAPA	26
5.1. Coqueificação	26
5.2. Sinterização	26
5.3. Pelotização.....	27
5.4. Altos-Fornos	27
5.5. Aciaria	28
5.6. Lingotamento e Laminação	28

6. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	30
6.1. Câmaras de Sedimentação Gravitacional	32
6.2. Separadores Ciclônicos ou Inerciais.....	33
6.3. Lavadores.....	34
6.4. Precipitadores Eletrostáticos.....	36
6.5. Filtros de Manga.....	37
6.6. Dessulfurização	38
7. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL	40
8. ESTUDO DE CASO – A COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL.....	46
8.1. Histórico	46
8.2. Caracterização da Área de Interesse.....	48
8.3. Caracterização do Monitoramento no Estado do Rio de Janeiro	54
8.4. Resultados dos Monitoramentos.....	61
8.4.1. Resultados do Monitoramento Meteorológico	61
8.4.2. Resultados das Estações de Monitoramento.....	63
8.4.3. Resultados do Monitoramento Isocinético	66
8.4.4. Índice de Qualidade do Ar na Região.....	69
8.4.5. Evolução das Concentrações de Poluentes	70
9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	75
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	79
11. REFERÊNCIAS	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Parque brasileiro produtor de aço. Fonte: PwC, 2015.	5
Figura 2: Rota de produção integrada. Fonte: EPE, 2009.	17
Figura 3: Rota de produção semi-integrada. Fonte: EPE, 2009.	17
Figura 4: Etapas de refino secundário. Fonte: Elaboração própria.	23
Figura 5: Esquema típico de um sistema de ventilação local exaustora. Fonte: ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002.	31
Figura 6: Tecnologias disponíveis atualmente para o controle de material particulado. Fonte: REVISTA MEIO FILTRANTE, 2013.	31
Figura 7: Câmara de Sedimentação Gravitacional. Fonte: ALVARES JR.; LACAVA; FERNANDES, 2002.	33
Figura 8: Vista em corte de um ciclone em operação e Vista em corte de um coletor multiciclônico. Fonte: ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2003.	34
Figura 9: Esquema de funcionamento de um lavador Venturi. Fonte: SILVA, 2016.	35
Figura 10: Partículas sendo carregadas pelo efeito corona. Fonte: ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002.	37
Figura 11: Filtração Interna e Filtração Externa, respectivamente. Fonte: ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2003.	38
Figura 12: Estado do RJ segundo as Regiões de Governo e Municípios, com destaque para a RMP (destaque em roxo) e para o município de Volta Redonda (destaque em vermelho). Fonte: CEPERJ, 2014.	50
Figura 13: Localização da CSN-UPV. Fonte: Google Earth, 2016.	51
Figura 14: Localização da estação meteorológica do INMET em Resende (RJ). Fonte: INMET, 2016; Google Earth, 2016.	53
Figura 15: Estações automáticas (marcador azul) e semi-automáticas (marcador amarelo) da Região do Médio Paraíba. Fonte: INEA, 2015.	60
Figura 16: Localização das chaminés e estações da CSN. Fonte: CSN, 2009; Google Earth, 2016.	60
Figura 17: Rosas dos ventos para as estações Belmonte, Retiro, Santa Cecília e Ilha das Águas Cruas. Fonte: INEA, 2009.	63
Figura 18: Direções preferenciais do vento para as quatro estações monitoradas em 2009. Fonte: INEA, 2009.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicadores da indústria siderúrgica.	7
Tabela 2: Classificação dos poluentes atmosféricos.	9
Tabela 3: Etapas de produção do aço.	18
Tabela 4: Poluentes emitidos por etapa na produção do aço.	29
Tabela 5: Parâmetros operacionais de diversos lavadores.	35
Tabela 6: Enquadramento de áreas.	41
Tabela 7: Padrões de concentração segundo o poluente e o tempo de amostragem.	42
Tabela 8: Níveis de qualidade do ar.	42
Tabela 9: Comparação entre padrões de qualidade do ar.	43
Tabela 10: Limites de emissão de poluentes de acordo com a etapa de produção do aço.	44
Tabela 11: Normas Técnicas e suas determinações.	44
Tabela 12: Normais climatológicas do Brasil 1961-1990.	53
Tabela 13: Índice da Qualidade do Ar.	56
Tabela 14: Estações de monitoramento da RMP.	57
Tabela 15: Métodos de amostragem segundo o tipo de estação e poluente.	58
Tabela 16: Descrição das chaminés na CSN-UVP.	59
Tabela 17: Resultado do monitoramento das fontes pontuais da CSN-UVP.	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Principais mercados consumidores de aço. Fonte: Instituto Aço Brasil, 2015. . .	6
Gráfico 2: Relação entre a capacidade instalada, produção e consumo aparente de aço bruto. Fonte: MME, 2015.	7
Gráfico 3: Médias Anual e Diária (24h) – Partículas Totais em Suspensão. Fonte: CSN, 2009.	64
Gráfico 4: Médias Anual e Diária (24h) – Partículas Inaláveis. Fonte: CSN, 2009.	64
Gráfico 5: Médias Anuais e Diárias (24h) – Dióxido de Enxofre. Fonte: CSN, 2009.	65
Gráfico 6: Médias Anuais e Diárias (24h) – Dióxido de Nitrogênio. Fonte: CSN, 2009. .	65
Gráfico 7: Médias Horárias (8 horas e 1 horas, respectivamente) – Monóxido de Carbono. Fonte: CSN, 2009.	65
Gráfico 8: Média Horária (1 hora) – Ozônio. Fonte: CSN, 2009.	66
Gráfico 9: Evolução do Índice de Qualidade do Ar na área de interesse. Fonte: INEA, 2009.	70
Gráfico 10: Evolução da concentração de PTS (médias anual e diária) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.	71
Gráfico 11: Evolução da concentração de PI (médias anual e diária) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.	72
Gráfico 12: Evolução da concentração de SO ₂ (médias anual e diária) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.	72
Gráfico 13: Evolução da concentração de SO ₂ (médias anual e horária) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.	73
Gráfico 14: Evolução da concentração de CO (médias de 8h e 1h) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.	74
Gráfico 15: Evolução da concentração de O ₃ (médias horárias) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.	74
Gráfico 16: Evolução da frota veicular em Volta Redonda. Fonte: INEA, 2014.	76

1. INTRODUÇÃO

A histórica relação entre o homem e o meio natural é complexa e modifica-se constantemente, fruto dos padrões de consumo e demanda impostos pelo modelo econômico vigente. Desde a primeira Revolução Industrial, quando a mão de obra humana foi substituída por máquinas movidas a outras fontes de energia, em especial pela queima de combustíveis fósseis, a produção de bens materiais cresceu rapidamente, intensificando a exploração dos recursos naturais disponíveis.

Se por um lado o progresso da tecnologia - ou seja, a aplicação de conhecimento técnico e científico que permite cada vez mais a transformação de material bruto em um produto final de valor econômico agregado -, promove o aumento da eficiência da matéria prima utilizada e, por consequência, a economia de seu uso, por outro lado ocasiona o aumento da velocidade na extração dos recursos naturais. O desenvolvimento industrial, portanto, vem causando uma degradação no ambiente em que se insere sem precedentes, prejudicando não somente à natureza como também à população exposta, direta ou indiretamente.

O setor industrial compõe uma parcela importante no desenvolvimento de um país. Em especial, a atividade siderúrgica promove um papel essencial ao crescimento econômico, uma vez que o aço se constitui como insumo básico mantenedor de diversos segmentos do mercado, como a indústria automobilística, a construção civil, manufatura de bens de capital, materiais de transporte, bens de consumo duráveis e infra-estrutura. É possível avaliar essa relação econômica através do Produto Interno Bruto (PIB) de um país que, de forma simplificada e direta, relaciona a produção com a renda e poder de compra de uma população. Ainda que tal relação apresente falhas, em larga escala a medida continua sendo utilizada, fomentando assim o crescimento industrial.

A demanda pela adequação a um novo formato de produção industrial vem crescendo à medida que a legislação ambiental impõe limites cada vez mais rigorosos, na tentativa de mitigar a deterioração causada pelo setor. Segundo Costa (2002), a estratégia ambiental das empresas tem mudado desde os anos 70, época em que a abordagem era calcada na realocação ou diluição dos poluentes, realizadas no sentido da minimização dos impactos locais. Em uma nova fase, a crescente proliferação de valores ecológicos na sociedade

estimulou gradativamente os setores produtivos a adotar equipamentos de controle de poluição. Uma abordagem mais recente se baseia no conceito de Produção Mais Limpa, que significa a prevenção e minimização da geração de poluentes e adoção de tecnologias mais eficientes no uso de energia e materiais.

As usinas produtoras de minério de ferro e aço são grandes consumidoras de recursos naturais e de energia, sendo responsáveis pela geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos e gasosos. Dentre as diversas formas de poluição geradas, este trabalho optou por destacar as emissões de poluentes atmosféricos que, ao longo dos últimos anos, foram apontadas pela comunidade científica como causa principal nas mudanças climáticas verificadas, bem como representantes de alto risco aos organismos vivos.

Em uma perspectiva global, observa-se que há um deslocamento destas atividades de países ditos desenvolvidos para economias emergentes, onde a busca pelo crescimento econômico não é acompanhada pelas devidas políticas de monitoramento e controle destas atividades na esfera social e ambiental, resultando em uma distorção entre os responsáveis pelas decisões e os atingidos pelos efeitos destas. O Brasil, que vem se tornando um grande produtor de commodities metálicas, especialmente minério de ferro e aço semi-acabado, além de estar sujeito aos problemas socioambientais, acaba por depender das variações de preço internacional destes produtos, que é ditada pela demanda, devido a suas características de pouco beneficiamento, produção em larga escala e homogeneidade, independentemente da origem. Em contrapartida, os países chamados desenvolvidos, antes grandes produtores de aço, hoje têm sua produção voltada para aços especiais, com maior valor agregado e menos impactos ao meio ambiente e populações, tendo como insumos os produtos semiacabados provenientes dos países denominados emergentes (PORTO *et al.*, 2011, *apud* SOUZA, 2013).

Atualmente no estado do Rio de Janeiro, o monitoramento da qualidade do ar é competência do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), que conta com uma rede de estações de monitoramento em quatro regiões prioritárias em termos de danos causados pela poluição do ar. A estratégia de divisão possibilita o direcionamento de políticas de gestão e de controle específicos para cada área. Concomitantemente, os empreendimentos industriais

classificados como de alto potencial poluidor são obrigados por lei¹ a monitorar suas fontes fixas de efluentes gasosos, imediatamente na saída de suas chaminés, a fim de se avaliar o atendimento às normas legais. Para que seja possível o atendimento à legislação, diversas técnicas de controle de emissões são adotadas na indústria, cuja escolha varia de acordo com o poluente de interesse, custo de instalação e manutenção, tipo de operação e espaço físico disponível. Nota-se, portanto, que o monitoramento e o controle das emissões atmosféricas estão interligados enquanto instrumentos de gestão ambiental.

Para uma análise consistente acerca do tema central, é fornecido ao longo do trabalho uma extensa revisão bibliográfica, englobando os principais poluentes atmosféricos, o processo de obtenção do aço separado por etapas e os poluentes gerados em cada passo da produção. Em seguida, as principais técnicas de mitigação disponíveis no mercado são apresentadas, bem como a legislação atual que vigora sobre a poluição atmosférica geral e específica da siderurgia. Por fim, uma indústria siderúrgica de grande porte é escolhida como estudo de caso para exemplificar como os mecanismos de monitoramento de controle são aplicados neste setor.

1.1. Justificativa e Objetivos

A poluição atmosférica vem se destacando no espectro da gestão ambiental, visto que seus efeitos nocivos ao ambiente natural e aos seres vivos têm sido cada vez mais documentados. Em relação a indústria siderúrgica, observa-se uma grande quantidade e variedade de poluentes gerados ao longo de sua cadeia produtiva. Nesse contexto, o setor tem procurado se adequar aos padrões legais por meio de adoção de técnicas de controle de emissões atmosféricas, com a implementação de equipamentos específicos, bem como faz uso do monitoramento de pontos fixos na área em que se localiza.

No entanto, segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2012), apesar das legítimas pressões ambientais, não se visualiza uma ruptura do atual modelo de desenvolvimento econômico, contemplando mudanças fundamentais do paradigma de comportamento da sociedade no horizonte do presente. Ainda, o estudo produzido pelo

¹ Programa de Monitoramento de Fontes Fixas – PROMON Ar.

órgão prevê para a siderurgia um crescimento da capacidade instalada de 0,4% ao ano que, apesar de pequeno, significa um potencial aumento dos impactos mencionados. O quadro apresentado mostra a necessidade de se averiguar as atuais condições de mitigação da poluição atmosférica gerada pelo setor.

Diante do contexto mencionado, o presente estudo tem como objetivo geral analisar a dinâmica das principais emissões atmosféricas originárias da indústria siderúrgica sob a ótica dos mecanismos de controle e monitoramento, através do uso de um exemplo real como estudo de caso – a Companhia Siderúrgica Nacional –, observando a conformidade das medições de concentrações aferidas com os limites preconizados pela legislação em vigor. Para tal, foram apresentados e discutidos os resultados referente aos monitoramentos realizados durante um período equivalente a um ano (2009), tanto por parte da empresa quanto por parte do órgão ambiental responsável. Vale ressaltar que a escolha do ano de análise se deu pela disponibilidade dos dados do monitoramento da indústria exclusivamente para tal período.

Como objetivos específicos, o trabalho busca:

- Caracterizar a rota de produção do aço destacando seus principais processos e os poluentes gerados em cada etapa;
- Abordar as técnicas de controle das emissões atmosféricas a nível industrial disponíveis no mercado;
- Abordar a legislação aplicável em relação à indústria siderúrgica e à poluição do ar;
- Analisar de forma conjunta os resultados dos diversos moldes de monitoramento realizados para a indústria escolhida, de forma a mostrar sua interrelação; e
- Avaliar a disponibilidade e qualidade dos dados do monitoramento por parte da empresa e por parte do órgão ambiental.

2. PANORAMA NACIONAL DA SIDERURGIA

Em 2014, a produção mundial de aço bruto totalizou 1,640 bilhão de toneladas, apresentando leve aumento de 0,9% em relação ao ano anterior. A China manteve sua posição de líder mundial, com 822,7 milhões de toneladas (SGM, 2015).

Atualmente, o Brasil tem o maior parque industrial da América do Sul, composto por 29 (vinte e nove) usinas distribuídas por 10 (dez) estados conforme apresentado na Figura 1. Operando com 70% de sua capacidade instalada, a produção do país em 2014 alcançou 33,9 milhões de toneladas de aço bruto, consagrando-se como o maior produtor de aço da América Latina e ocupando as posições de 9º lugar no ranking mundial de produção e 7º lugar como exportador líquido.

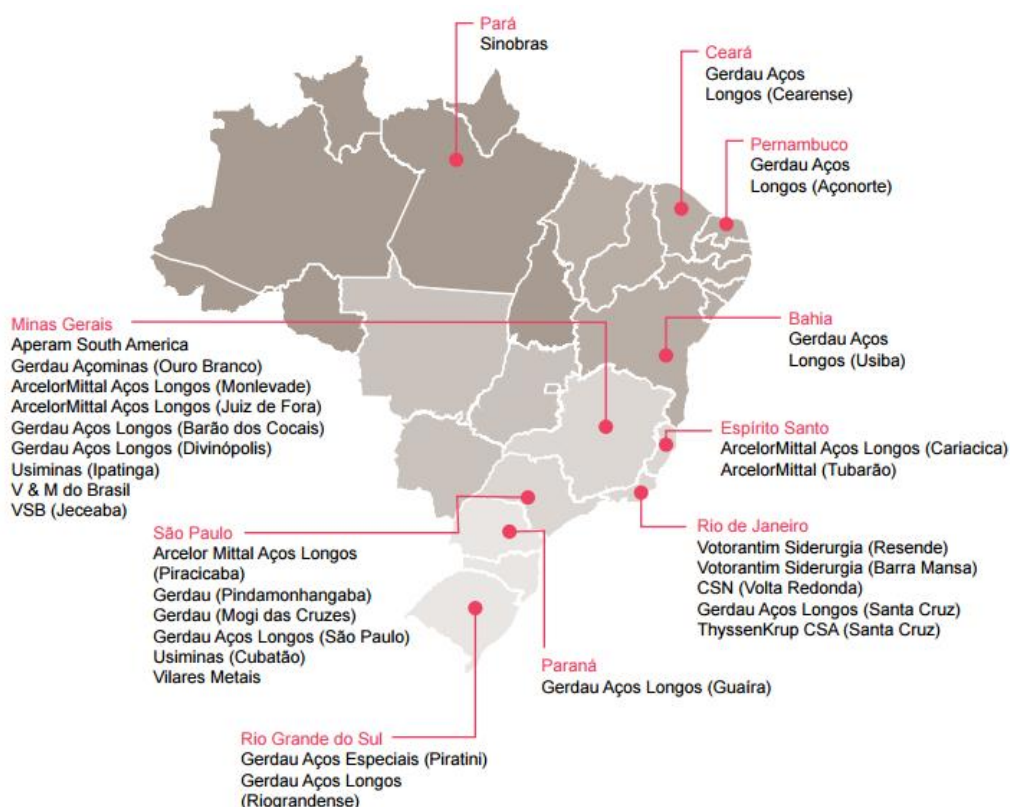


Figura 1: Parque brasileiro produtor de aço. Fonte: PwC, 2015.

O setor mineral no Brasil tem sido marcado pela progressiva verticalização e agregação de valor, incluindo maior participação de bens semi-acabados e acabados na produção dirigida ao mercado interno e à exportação, beneficiado pela redução de gargalos em infraestrutura, elevação da oferta e demanda por bens e produtos de base mineral, e influenciado por uma estratégia governamental voltada a interesses, à princípio, nacionais (MME, 2011 *apud* SOUZA 2013).

O desempenho do setor siderúrgico é um fator crítico para atender à expectativa de ampliação de seus principais mercados consumidores, representados pelo Gráfico 1. Problemas de oferta no setor tendem a se propagar pelo restante da cadeia industrial e, conseqüentemente, para o nível de preços da economia, gerando forte entrave ao crescimento do PIB (SOUZA, 2013). Na sua cadeia produtiva, vale ressaltar que o aço é 100% reciclável.

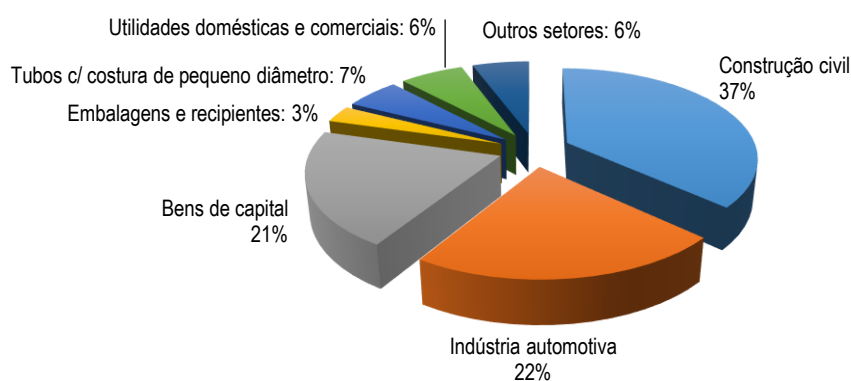


Gráfico 1: Principais mercados consumidores de aço. Fonte: Instituto Aço Brasil, 2015.

De acordo com os dados divulgados pelo Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico de 2015, produzido pelo MME, o PIB da siderurgia totalizou em 2014 cerca de US\$ 34,3 bilhões participando com 1,023% do PIB brasileiro e 3,91% do PIB da Indústria. Os resultados refletem uma retração ao ano de 2013, conforme apresentado na Tabela 1. Ainda, o Gráfico 2 relaciona a capacidade instalada com a produção e o consumo aparente de aço bruto, no período entre 2000 e 2014, cujos resultados demonstram que a capacidade produtiva é superior a demanda interna, restando forte excedente para a exportação (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015).

Tabela 1: Indicadores da indústria siderúrgica.

Indicador (em US\$ Bi)	2000	2012	2013	2014
PIB da Siderurgia	20,37	25,27	25,41	24,01
PIB da Indústria	544,1	610,4	622,1	613,1
PIB do Brasil	2.028,0	2.279,6	2.341,6	2.345,0
População (10 ⁶ hab)	169,8	193,3	201,0	203,2

Fonte: MME, 2015.

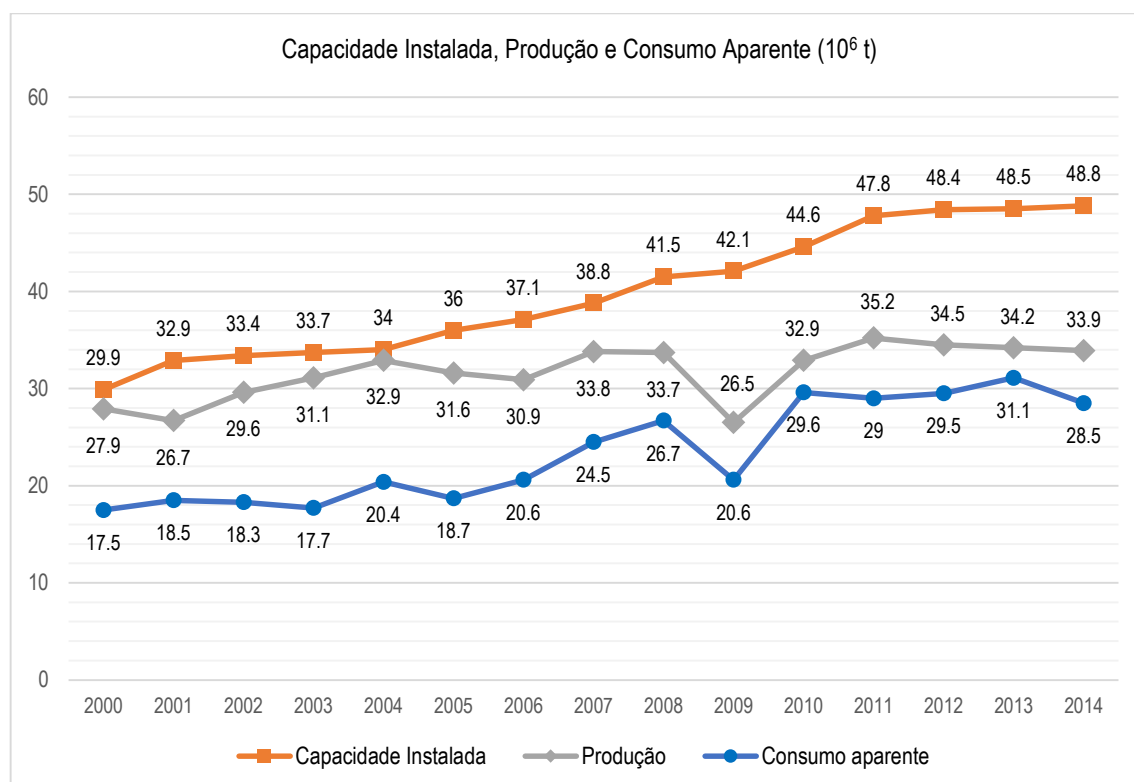


Gráfico 2: Relação entre a capacidade instalada, produção e consumo aparente de aço bruto. Fonte: MME, 2015.

3. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O conceito de poluição foi definido a partir da promulgação da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, como sendo “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos” (BRASIL, 1981).

Tem-se então que a poluição atmosférica é uma deterioração na qualidade natural do ar a partir de compostos cuja ação possa ser danosa direta ou indiretamente à população e ao meio ambiente. Assunção (1998 *apud* ALMEIDA, 1999) aborda este conceito como um fenômeno decorrente principalmente da atividade antrópica em vários aspectos, dentre os quais se destacam o rápido crescimento populacional, industrial e econômico; a concentração populacional e industrial; os hábitos da população e o grau de controle, referente as medidas adotadas de caráter corretivo da poluição atmosférica.

Na atmosfera dita limpa, a composição dos principais gases constituintes se dá segundo os valores de: 78,08% de nitrogênio; 20,95% de oxigênio; 0,93% de argônio e 0,035% de dióxido de carbono. Outros gases também estão presentes, como o hélio, metano e hidrogênio, porém representam menos de 0,003% da composição total (GRIMM, 2016).

3.1. Principais Poluentes Atmosféricos da Indústria Siderúrgica

Poluentes atmosféricos são compostos capazes de modificar de forma negativa o ar, podendo estar nos estados sólido, líquido ou gasoso, e sua classificação pode se dar em função de seu estado físico, de sua origem e de sua classe química. Pela primeira forma, os poluentes podem ser divididos em dois grupos, sendo eles material particulado e gases e vapores. De acordo com a forma com que se originam, são chamados de primários aqueles emitidos diretamente na atmosfera e de secundários os que se formam pelas reações entre poluentes primários e substâncias comuns na atmosfera. Por fim, segundo a classe química a que pertencem, são classificados em orgânicos e inorgânicos (ALMEIDA, 1999). A Tabela 2 traz os principais poluentes atmosféricos segundo sua classificação.

Tabela 2: Classificação dos poluentes atmosféricos.

Classificação	Exemplos
Material Particulado	Poeiras, fumos, fumaça, névoas
Gases e Vapores	CO, CO ₂ , SO ₂ , O ₃ , NO _x , HC, NH ₃ , cloro, H ₂ S
Poluentes Primários	CO, SO ₂ , cloro, HH ₃ , H ₂ S, CH ₄
Poluentes Secundários	Aldeídos, sulfatos, ácidos orgânicos, nitratos.
Poluentes Orgânicos	HC, aldeídos, sulfatos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos.
Poluentes Inorgânicos	CO, CO ₂ , Cl, SO ₂ , NO _x , poeira mineral, névoas, ácidas e alcalinas.
Compostos de Enxofre	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, sulfatos.
Compostos Nitrogenados	NO, NO ₂ , HNO, NH ₃ , nitrato
Carbonados Orgânicos	HC, aldeídos, álcoois
Compostos Halogenados	HCl, HF, CFC, cloretos, fluoretos
Óxidos de Carbonos	CO, CO ₂

Fonte: ASSUNÇÃO, 1998, *apud* ALMEIDA, 1999.

Com o desenvolvimento industrial acelerado desde a primeira metade do século XX, em particular da indústria automobilística, elevando a emissão de poluentes em centros urbanos, vários locais experimentaram aumento no número de óbito em episódios de poluição excessiva. Como Braga *et al* (2001) relata, no inverno de 1952 na cidade de Londres, um evento de inversão térmica impediu a dispersão de poluentes gerados a partir do carvão. Uma nuvem, composta principalmente por material particulado e enxofre, permaneceu então sobre a cidade por quase três dias, levando a um aumento de 4.000 mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes.

Sob a égide da Lei do Ar Limpo (*Clean Air Act - CAA*), o grupo de indicadores da qualidade do ar foi designado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency – EPA*) na década de 60. A motivação da sua criação de tal grupamento de poluentes, denominados por “*criteria pollutants*”, adveio da necessidade de se estabelecer um controle maior sobre a poluição atmosférica gerada, a fim de se evitar novos episódios trágicos. Ainda, a variedade de substâncias e processos utilizados nas atividades antrópicas resulta em diversos produtos, subprodutos e rejeitos, portanto o controle e monitoramento de todos os poluentes atmosféricos é inviável técnica e economicamente, tornando necessária a adoção de um grupo seletivo e representativo para fins de controle e estudos em geral (FERNANDES, 2015).

Composto pelos poluentes comumente encontrados na atmosfera e cujos efeitos adversos à saúde pública e ao meio ambiente foram documentados, tal grupamento serviu como base para a geração de instrumentos legais e normativos, bem como para as práticas de gestão adotadas, universalmente. Vale ressaltar que desde sua promulgação, a CAA

sofreu pelo menos três alterações, com vistas a complementar e melhor se adequar ao cenário de emissão de poluentes atual.

Por fim, pode-se afirmar que, com o desenvolvimento contínuo de técnicas de mensuração e controle, sejam incorporados poluentes comuns para os quais atualmente inexistem tais tecnologias, como por exemplo o dióxido de carbono (CO₂) (FERNANDES, 2015).

No que concerne à indústria siderúrgica, os poluentes comumente emitidos são:

3.1.1. Material Particulado – MP

Não constituem uma espécie química definida, mas uma mistura de partículas no estado sólido ou líquido em suspensão na atmosfera, com diâmetro aerodinâmico menor que 100 µm. Uma vez que tais partículas se dispersam no ar, recebem o nome de aerossóis. Sua composição e tamanho dependem da fonte emissora, podendo ser fontes móveis, atividades industriais ou mesmo como produto de reações a partir de outros gases.

Os efeitos deletérios dos particulados são variados, atingindo não somente a qualidade de vida, haja vista a degradação ambiental causada e a consequente interferência nas atividades locais da população, como também ocasionam problemas na saúde, cuja gravidade dependerá do tamanho da partícula e do tempo de exposição, dentre outros fatores. Quanto menor for o tamanho das partículas, maior é o potencial danoso. Em relação ao meio ambiente, são observados danos à vegetação, deteriorização da visibilidade e contaminação do solo.

Partículas com diâmetro menor ou igual a 50 µm são chamadas de **Partículas Totais em Suspensão (PTS)**, e podem ser divididas em dois grupos (BRAGA *et al.*, 2001):

- Partículas grandes, com diâmetro entre 2,5 e 30 µm, também chamadas “tipo grosseiro” (*coarse mode*), oriundas de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros materiais da crosta terrestre, que apresentam características básicas, contendo silício, titânio, alumínio, ferro, sódio e cloro. Pólenes e esporos, materiais biológicos, também se encontram nesta faixa;

- Partículas derivadas da combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termoelétricas, em geral, são de menor tamanho, apresentando diâmetro menor que 2,5 μm (*fine mode*) e têm maior acidez, podendo atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas. Entre seus principais componentes temos carbono, chumbo, vanádio, bromo e os óxidos de enxofre e nitrogênio, que na forma de aerossóis (uma estável mistura de partículas suspensas em um gás), são a maior fração das partículas finas.

A CETESB (2016) traz a classificação do MP também segundo o seu tamanho, na qual as PTS são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50 μm , Partículas Inaláveis (MP₁₀) são aquelas de tamanho menor ou igual a 10 μm e, por último, Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5}), definidas como as que possuem diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 μm . Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 μm , podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório (MP₁₀) ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares (MP_{2,5}), caracterizando potencial risco à saúde.

Por fim, está também contida nesse grupo a Fumaça (FMC). Associada ao material particulado suspenso na atmosfera originário dos processos de combustão, tem como método de determinação a medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera (CETESB, 2015).

3.1.2. Dióxido de Enxofre – SO₂

É um gás altamente tóxico, denso e incolor, para o qual a emissão pode ser natural, tanto por atividades vulcânicas e oxidação de compostos voláteis de enxofre oriundos da decomposição de matéria orgânica, quanto por fontes antropogênicas, através da combustão de elementos fósseis que tenham o enxofre na composição. Vale ressaltar que as atividades de geração de energia, uso veicular e aquecimento doméstico são as que apresentam emissões mais significativas. (MMA, 2015).

Dentre seus efeitos, provavelmente o mais conhecido é a chuva ácida, derivada da reação entre o SO₂ e o hidrogênio na forma de vapor na atmosfera, tendo como produto final o ácido sulfúrico (H₂SO₄), bem como causam corrosão e danos à vegetação. Também são

capazes de gerar problemas no trato respiratório e afetação na visibilidade, bem como é capaz de resultar em material particulado caso reaja com outros compostos presentes no ar.

3.1.3. Óxidos de Nitrogênio – NO_x

Englobam o monóxido e o dióxido de nitrogênio (NO e NO₂, respectivamente), sendo formados a partir da reação com o oxigênio reativo presente no ar. O NO₂, especialmente, é um gás altamente tóxico, facilmente identificado pelo forte cheiro e coloração castanha. São oriundos da queima de combustíveis em fontes móveis e fixas, com destaque para processos industriais e termoelétricas, porém também são produzidos na natureza por descargas elétricas, atividade vulcânica e pela decomposição de matéria orgânica. Ainda, devido ao seu alto grau de oxidação, as reações entre NO_x e o oxigênio levam a produção fotoquímica de ozônio troposférico. Segundo o MMA (2015), as emissões naturais são em maior escala que as antropogênicas, porém, em razão de sua distribuição sobre o globo terrestre, tem menor impacto sobre as concentrações deste poluente nos centros urbanos.

No meio ambiente, o maior problema associado ao composto é a formação de ozônio troposférico, bem como a do *smog* fotoquímico² e, assim como o SO₂, a chuvas ácidas, além de causarem problemas à vegetação. No que concerna à saúde da população, estudos realizados até hoje ainda não demonstraram risco proveniente do monóxido de nitrogênio, ao contrário do NO₂ que, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), pode causar desde problemas de irritabilidade em mucosas a uma série de graves doenças respiratórias, como enfisema pulmonar (CASTRO; ARAÚJO; SILVA, 2013). Sabe-se, quando inalados, atingem as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade e seu efeito tóxico está relacionado ao fato de ser um agente oxidante (BRAGA *et al.*, 2001).

3.1.4. Monóxidos de Carbono – CO

Membro da família dos asfixiantes químicos, é um gás perigoso, incolor, inodoro, sem sabor e não irritante. Sua produção ocorre pela combustão incompleta – onde não há

² A reação entre os poluentes com a luz solar, na presença de oxigênio, gera uma densa neblina chamada *smog* fotoquímico. A palavra resulta da junção das palavras da língua inglesa "*smoke*" (fumaça) e "*fog*" (nevoeiro).

oxigênio suficiente para realizar a queima completa – de matérias carbonáceas orgânicas, como o carbono, a madeira, o papel, o óleo, o gás e a gasolina. (LACERDA; LEROUX; MORATA, 2005). Majoritariamente, a emissão é oriunda da área urbana, sendo gerada por fontes móveis.

A toxicidade desse gás no indivíduo se explica quando o CO entra em competição com o oxigênio pela hemoglobina contida nos glóbulos vermelhos do sangue, que transportam oxigênio para os tecidos de todos os órgãos do corpo. A afinidade da hemoglobina pelo CO é 240 vezes maior que pelo O₂. Por consequência, há uma diminuição na quantidade de O₂ disponível, levando a asfixia e, em casos extremos, a morte (LACERDA; LEROUX; MORATA, 2005).

3.1.5. Ozônio – O₃

Presente naturalmente na estratosfera, camada acima da troposfera, tem como principal função a absorção da radiação ultravioleta, evitando assim que a mesma atinja a superfície terrestre. Contudo, uma vez na troposfera, o ozônio pode causar diversos problemas respiratório e cardiovasculares, bem como causa danos à vegetação e reduz a vida útil de materiais, por seu caráter corrosivo.

A formação de ozônio na troposfera ocorre pela reação entre compostos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de radiação solar. Como mencionado, tais compostos têm sua origem no processo de combustão ou em fontes naturais. Por não haver emissão direta de ozônio na atmosfera, ele é considerado um poluente secundário.

3.1.6. Dioxinas e Furanos

Estando dentro do grupo dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POP)³, as dibenzo-p-dioxinas policloradas (*PCDD - polychlorinated-p-dibenzodioxins*) e os dibenzofuranos policlorados (*PCDF - polychlorinated-p-dibenzofurans*) são duas classes de compostos aromáticos. Comumente chamadas de dioxinas e furanos, sua produção se dá como

³ O nome foi dado pelo *United States Environmental Programme* (UNEP) para designar compostos e classes de compostos químicos orgânicos caracterizados pela alta toxicidade e pela longa permanência no ambiente. A listagem dos POPs foi criada em maio de 2001 pela Conferência de Estocolmo.

subproduto involuntário de diversos processos contendo cloro de forma direta ou indireta, como a produção de pesticidas, branqueamento de papel e celulose, processos de combustão e outros. De forma simples, é possível dividir a rota de formação em dois grupos, sendo eles o de produção a partir de processos de combustão (rota térmica) e a partir de processos químicos industriais (rota química).

Segundo o Inventário Nacional de Fontes e Estimativa de Emissões de Dioxinas e Furanos (MMA, 2013), há um total de 210 congêneres de dioxinas e furanos, sendo o 2,3,7,8-TCDD (Tetraclorodibenzo-para-dioxina) considerado o mais tóxico, por ser a única substância carcinogênica. Dentre as consequências conhecidas, estudos apontaram a capacidade de tais substâncias de provocarem neoplasias, disfunção endócrina, diabetes, alteração nos níveis hormonais de testosterona e tireoide, danos neurológicos, danos à pele e ao fígado, além de ser considerado como fator de risco para doenças cardiovasculares (MMA, 2013).

4. O PROCESSO SIDERÚRGICO

O processo siderúrgico é definido como a aquisição do aço, liga metálica constituída de ferro e carbono. O primeiro pode ser encontrado em toda a crosta terrestre, a partir de minérios de ferro - óxido de ferro misturado com areia fina, enquanto o segundo é oriundo do carvão mineral ou vegetal. Nesse processo, o carvão funciona tanto como combustível, permitindo alcançar altas temperaturas necessárias à fusão do minério, e como redutor, uma vez que se associa ao oxigênio, liberando o ferro para o procedimento.

Basicamente, é possível classificar as indústrias siderúrgicas segundo duas rotas tecnológicas: usinas integradas e usinas semi-integradas ou aciarias elétricas. A primeira obtém o aço a partir da redução do ferro em altos fornos, cujo produto e insumo principal, o ferro-gusa, é direcionado às aciarias para obtenção do aço líquido e posteriores processos de conformação e acabamento dos produtos. Já as usinas semi-integradas utilizam primordialmente a sucata de ferro, que é fundida em fornos elétricos a arco e segue para processamento similar ao das usinas integradas. Existem ainda unidades produtoras chamadas de não integradas, que operam apenas uma fase do processo, podendo ser no processamento (laminação ou trefilas) ou redução.

A princípio, quanto maior for o grau de integração, mais competitivo o produto se torna no mercado (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2010). No entanto, o uso do segundo formato de usina traz vantagens como menores custo de investimento, maior flexibilidade, menor impacto ambiental, possibilidade de atendimento de mercados regionais e maior qualidade dos produtos. Atualmente cerca de 70% do ferro contido no aço produzido mundialmente, é proveniente de minério de ferro e 30% de sucata. (COSTA, 2002).

Em termos gerais, o processo siderúrgico de uma usina integrada pode ser subdividido em algumas operações principais. Primeiramente e em paralelo, há a produção de coque a partir do carvão mineral - ou de uma mistura de diversos tipos de carvão - na Coqueria, e o preparo do minério de ferro pela aplicação dos processos de Pelotização e Sinterização. Em sequência, ambas as matérias primas preparadas são misturadas com materiais ditos fundentes (calcário, dolomita etc.) para que haja redução do minério e a formação do ferro-gusa como produto. Este então segue para Aciaria, onde os Conversores

a oxigênio LD o refinam, transformando-o em aço. Por fim, para a formatação segundo o produto final que se almeja, o material segue para as fases de Lingotamento e Laminação.

A segunda rota diferencia-se da primeira pela matéria prima utilizada. Para esse formato, a usina obtém o aço a partir de sucata, ferro-esponja e ferro-gusa, produzindo o aço líquido pelo uso de Aciarias Elétricas. As Figuras 2 e 3 ilustram o processo de produção simplificado de cada uma das usinas.

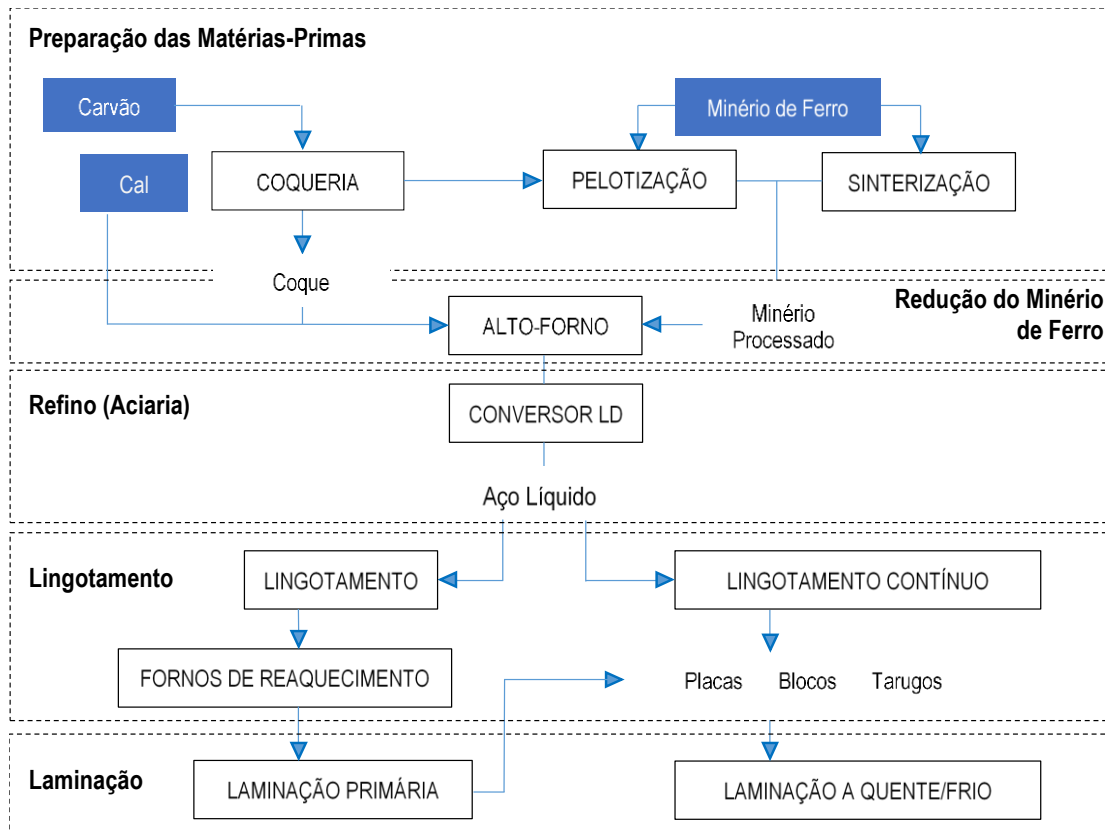


Figura 2: Rota de produção integrada. Fonte: EPE, 2009.

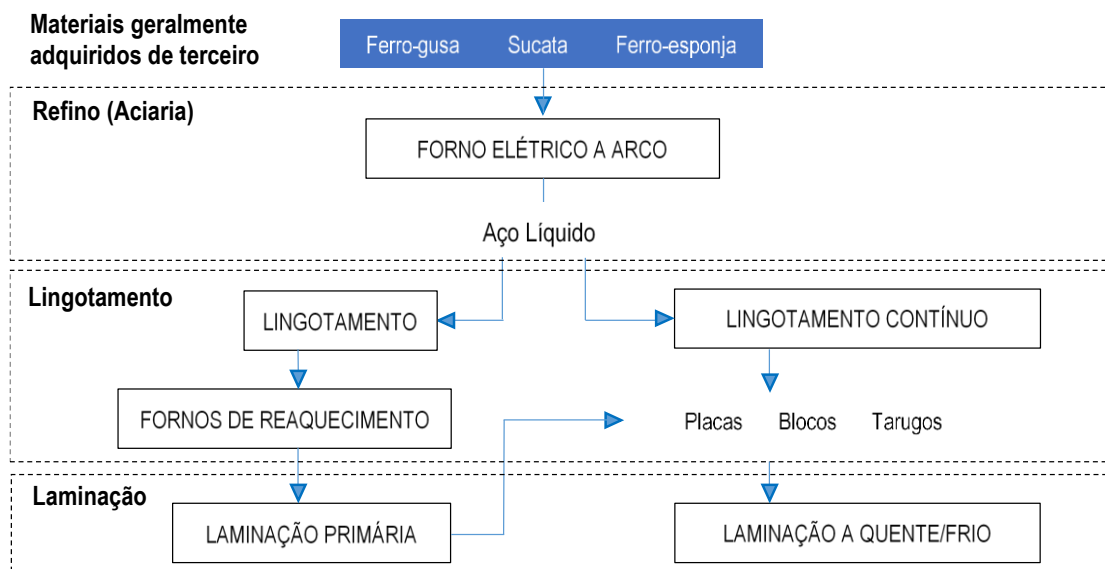


Figura 3: Rota de produção semi-integrada. Fonte: EPE, 2009.

A Tabela 3 mostra sucintamente as unidades centrais de uma usina integrada e seus objetivos.

Tabela 3: Etapas de produção do aço.

	Etapas	Atividade	Objetivo
Preparação de Matérias-Primas	Minério de Ferro	Blendagem	Mistura de diferentes tipos de minérios
		Aglomeração de finos com produção de sinter e pelotas	Acerto na granulometria para carga nos altos-fornos
	Carvão mineral ou vegetal	Mistura	Mistura de diferentes tipos de carvão
		Coqueificação	Acerto de granulometria, retirada de umidade e de parte das cinzas
		Pulverização de finos para injeção	Acerto da granulometria para injeção nos altos-fornos
		Preparação do carvão vegetal para carga nos altos-fornos	Acerto de granulometria e compactação
	Fundentes	Preparação de finos para <i>input</i> da sinterização	Acerto de granulometria
		Preparação de "grossos" para carga nos altos-fornos	Acerto de granulometria
		Produção cativa de cal, em unidades de calcificação	Redução de CaCO ₃ para CaO (cal)
	Sucata ferrosa para Aciaria	Compactação e Corte	Acerto de densidade e forma para carga nos fornos da aciária
Gás natural para redução direta	Reforma		
Redução do minério de ferro	Minério de ferro: $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$	Em altos-fornos (produto: ferro-gusa)	Redução pelo carbono do carvão Produto com porcentagem de carbono menor ou igual a 3
		Por redução direta (produto: ferro-esponja)	Redução pelo carbono do gás Produto com porcentagem de carbono menor ou igual a 1
	Injeção de O ₂ para reduzir o teor de carbono para até 0,2%	Em Fornos Elétricos (EAF)	Carga predominantemente sólida (sucata)
		Em Fornos (EOF)	Carga mista (líquida e sólida)
		Metalúrgica Secundária (Forno Panela e Forno Químico)	Refino do aço, adição de ligas, dessulfurização, desgaseificação
	Lingotamento do aço	Placas (largura é igual ou maior que a espessura)	Matéria-prima para laminação de planos
Blocos e Tarugos (largura é igual a espessura)		Matéria-prima para laminação de longos	
Laminação e Acabamento	Laminação a Quente de Planos e Longos		Produção de chapas grossas, finas a quentes, vergalhões, barras, perfis, fio máquina e tubos sem costura
	Laminação a Frio de Planos (Produção de chapas finas a frio)		Espessura menor que 2mm
	Revestimento de Planos		Estanhamento e cromagem de folhas (para latas) e Galvanização de chapas (indústria automotiva, linha branca, construção)
	Trefilação de Longos		Produção a frio de arames e derivados
Unidades Assessoras	Subproduto da Coqueria		Produção de carboquímicos
	Central Termelétrica		Produção de energia elétrica, com base nos gases internos de coqueria e altos-fornos
	Sistemas de Utilidades e Movimentação Interna		
	Fábrica de Oxigênio		Para utilização nos fornos da aciaria (instalações terceirizadas na área da usina)

Fonte: EPE, 2009.

Conforme descrito, a maior parte da produção mundial de aço é proveniente de usinas integradas. Para o objetivo deste trabalho, somente esta forma será abordada detalhadamente.

4.1. Preparação das Matérias Primas – Pelotização, Sinterização e Coqueificação

A etapa inicial da usina integrada consiste na preparação de ambas as matérias primas, além de eventuais fundentes, para utilização como carga nas primeiras etapas do processo. A importância do preparo justifica-se na necessidade de se conferir às cargas um formato adequado e resistência mecânica apropriada, visando assim um melhor rendimento e economia do processo como um todo.

O carvão é destilado para obtenção de coque e subprodutos carboquímicos, na ausência de ar, em temperaturas de aproximadamente 1100°C. A operação, chamada de Coqueificação, tem por objetivo obter o coque, matéria rica em carbono, porém com alta resistência mecânica, que atua como combustível, redutor, fonte de carbono ao gusa e permeabilizador da carga.

O processo de destilação visa a remoção de substâncias voláteis pelo aquecimento do material. Os gases de coqueria, ao serem recolhidos e tratados, permitem a recuperação de frações condensáveis, dentre os quais derivados do petróleo do grupo BTEX⁴ e outros produtos líquidos e, devido ao seu poder calorífico considerável, são tidas como subproduto de valor comercial e recebem o nome de carboquímicos. Como exemplo, tem-se o alcatrão o naftaleno e o piche. O gás de coqueria (GAC) resultante pode ser aproveitado como combustível na própria coqueria ou em processos subsequentes (COSTA, 2002).

No entanto, algumas substâncias apresentam risco, podendo até serem carcinogênicos, necessitando assim de tratamento específico. De acordo com o estudo realizado pela EPE (2009), os subprodutos da coqueria têm perdido valor ao longo do tempo, visto que é possível encontrar substitutos concorrentes derivados do petróleo. Somando isso à severa regulação ambiental no processo de coqueificação do carvão mineral principalmente em países desenvolvidos, a técnica de recuperação se mostra cada vez mais inviável economicamente.

As substâncias não condensáveis permanecem como gases, de tal modo que se modifica a estrutura e as propriedades da matéria rica em carbono. O ciclo operacional da coqueria pode ser subdividido em: Preparação da mistura de carvões, Enfornamento e

⁴ BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos.

Aquecimento, Desenformamento e Apagamento, Preparação do coque e Tratamento das matérias voláteis (MACHADO, 2006).

O minério de ferro precisa ser aglomerado a fim de atender as especificidades do alto forno, o que pode ser realizado por meio de dois processos: a Sinterização e a Pelotização. De forma simplificada, o primeiro método consiste na utilização de calor para transformar a massa inicial formada pela mistura de minérios de ferro fino (*sinter feed*) e aditivos (cal, calcário, etc), além de outros materiais reciclados de operações subsequentes (pós e lamas), em aglomerado, submetendo a mistura a uma operação redutora-oxidante a temperaturas na faixa de 1200° a 1400° C. Para tanto, utiliza-se o coque como combustível principal para fornecer o teor energético necessário, além de fundentes e gases, sendo estes gás de coqueria (GCO), gás de alto-forno (GAF) e gás natural (GN), como combustíveis auxiliares e de ignição.

O mecanismo de sinterização é a difusão no estado sólido, porém está associado ao calor, diminuindo a energia superficial das partículas. Por este motivo, são necessários tempo e temperatura suficientes para que o processo se finalize. A utilização de fundentes faz-se necessária para formar a fase líquida, pois aumenta a velocidade de produção, dado que a difusão no estado líquido é maior, bem como aumenta a qualidade do produto (INFOMET, 2016).

Já o segundo processo gera o produto final, denominados pelotas, a partir da aglomeração dos finos de minério em pedaços maiores e de tamanho bem definido. Neste modelo, utilizam-se os processos de moagem à quente, seguida por reidratação do material, com posterior tratamento térmico visando o endurecimento das pelotas, dividido em etapas de secagem, queima e resfriamento. Finalmente, após o descarregamento, as pelotas são peneiradas. Machado (2006) ressalta que o minério não deve se apresentar nem em pedaços muito grandes nem muito pequenos, de forma que a penetração de gases do Alto-Forno no minério seja a de mais eficiência para a produção do ferro-gusa.

O material sinterizado é mais poroso, o que garante melhor percolação pelos gases no alto forno, aumentando a reatividade e a produtividade do material, porém apresenta menor resistência mecânica, por ser menos denso do que o minério compacto. Ainda, a sinterização permite a reutilização dos finos gerados no próprio processo produtivo, sendo

reprocessados na própria etapa, devido às altas temperaturas e do grande tempo de residência dos materiais na máquina de sinter que garantem a destruição térmica dos compostos indesejáveis, além de promover a recuperação das unidades de ferro contidas nos resíduos. Ou seja, além da aglomeração do minério, a sinterização cumpre um importante papel na recirculação de pós, lamas, carepas e escórias, além do próprio sinter em frações mais finas (CAVALCANTI, 2012).

A pelletização gera um produto final de granulometria mais fina e com alta concentração de ferro. Vale ressaltar que é um processo mais caro e mais complexo do que a sinterização e, além disso, enquanto a sinterização está integrada à usina/alto forno, a pelletização geralmente está integrada à mina ou ao porto. Segundo descrito pelo Infomet (2016) a escolha da técnica a ser utilizada é determinada, basicamente, por qual tipo de minério (fator técnico) e a capacidade de investimento do empreendedor (fator econômico).

4.2. Redução do Minério de Ferro

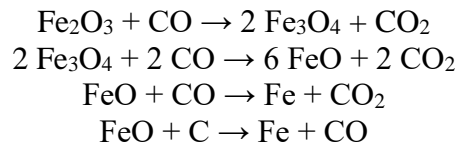
Nesta etapa, o minério de ferro é submetido a uma série de reações químicas a fim de se remover o oxigênio presente no material pela reação com agentes redutores, deixando como produto final o ferro. Essa operação pode ser feita por três maneiras distintas, sendo elas pelo uso do Alto-Forno, pela Redução Direta e pela Fusão Redutora. Os três processos diferem tanto na composição da carga que os alimenta quanto no tipo de produto final. Aqui será dada especial atenção ao primeiro método, posto que o estudo de caso é o contemplado pelo formato de usina integrada.

A transformação do minério de ferro em ferro-gusa ocorre a partir da atuação de agentes redutores – coque ou carvão vegetal – na matéria prima utilizada. Inicialmente, o coque é gaseificado por meio de ar pré-aquecido e, devido a liberação de monóxido de carbono e outros gases, o gás resultante serve tanto como redutor quanto como combustível para a reação, saindo pelo topo. O gás de alto-forno (GAF) é então conduzido a sistemas de despoeiramento e lavagem, sendo parte encaminhada aos regeneradores para pré-aquecimento de ar e o restante segue como combustível para outras etapas. O produto obtido é uma liga metálica líquida composta majoritariamente por ferro, com teor de carbono variando entre 1,7 a 6,67%, e altos teores de impurezas (fósforo, enxofre e sílica) denominada ferro-gusa. É necessário esperar algumas horas após findado o procedimento

para a remoção e encaminhamento do produto final pela parte inferior do alto-forno, bem como para a retirada da escória, as impurezas restantes do coque e do minério, que é escoada também em estado líquido acima do metal líquido e serve como matéria prima para a fabricação do cimento.

Vale ressaltar que o GAF, após passar pela remoção das partículas grosseiras (que podem ser aproveitadas na sinterização), pode ser utilizado para a geração de vapor visando o pré-aquecimento do ar que alimenta o forno, assim como fonte de calor em outros processos na planta e até mesmo para a geração de energia elétrica (CAVALCANTI, 2012).

A redução do minério de ferro no alto-forno segue as reações abaixo:



4.3. Refino

O ferro gusa possui alto teor de carbono e de impurezas, sendo necessária a redução de ambas as características para a fabricação do aço. Através do processo de oxidação, a porcentagem de carbono vai a níveis inferiores a 1%, dependendo do tipo de produto final almejado, enquanto o restante é descartado sob a forma de gás, como CO e CO₂. Outros elementos, como o enxofre, fósforo e sílica, são oxidados e eliminados na escória (INFOMET, 2016).

O processamento ocorre em unidades chamadas aciarias e, no modelo de usina integrada, emprega-se o Conversor LD ou sopro de oxigênio (*BOF – Basic Oxygen Furnance*). Esse processo conta com injeção de oxigênio puro (99%) através de uma lança ou sopro para promover a oxidação das impurezas presentes no gusa líquido proveniente do alto-forno, indesejáveis ao produto final, bem como para liberar o calor necessário ao procedimento por meio das reações químicas com o oxigênio. Geralmente, a carga metálica do conversor contém de 65 a 90% de ferro-gusa (em média 75%) e o restante da carga é essencialmente sucata ferrosa reciclada.

No Conversor LD é possível adotar dois sistemas de combustão distintos. O chamado Combustão suprimida (interrompida) com recuperação de Gás de Aciaria (GAC) consiste na interrupção da combustão de monóxido de carbono no duto de gás por meio de uma cortina retrátil resfriada a água, levada até a abertura do conversor, permitindo que o GAC seja recolhido para posterior uso. Já no outro sistema, conhecido como Combustão completa (aberta) com recuperação de calor, o gás do conversor é completamente, ou parcialmente, queimado, em virtude da entrada de ar no duto, possibilitando a recuperação do calor. Neste sistema, o volume de gás é bem maior em comparação ao primeiro (COSTA, 2002).

Os óxidos gerados ao final são incorporados de imediato na escória sobrenadante, deixando como resultado um aço líquido com alto teor de oxigênio. As reações químicas mais importantes decorrentes dentro de um conversor LD são $C + 1/2O_2 \rightarrow CO$; $2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO$; $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$; $Mn + 1/2O_2 \rightarrow MnO$; $2P + 5/2O_2 \rightarrow P_2O_5$; $P_2O_5 + 3CaO \rightarrow P_2O_5 \cdot 3CaO$.

Os pós e lama gerados durante a limpeza do gás de aciaria (LDG) são de difícil reciclabilidade pela presença de zinco, crescente devido à maior reciclagem de aços galvanizados.

Após passar pelo conversor, usualmente opta-se pelo uso da tecnologia conhecida por Refino Secundário ou Metalurgia de Panela, que ocorre fora do equipamento tem por objetivo eliminar quaisquer impurezas remanescentes da fusão à qual o metal foi submetido. Em geral, quanto maior a utilização da metalurgia da panela, maior o enobrecimento dos produtos, haja vista que a panela interliga a aciaria às máquinas de lingotamento, possibilitando um ajuste fino da temperatura e composição química do aço. Além do ajuste preciso das propriedades físico-químicas do aço, o refino secundário promove um aumento expressivo no rendimento dos processos de fusão. (COSTA, 2002). As operações de refino secundário incluem normalmente os seguintes passos apresentados na Figura 4:

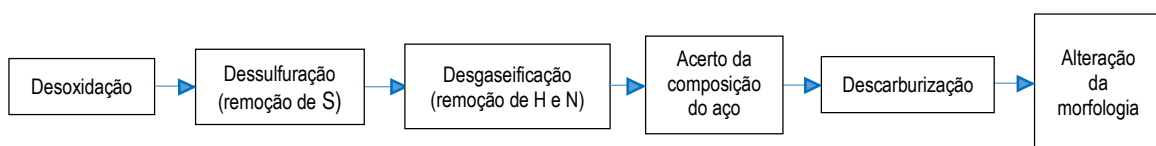


Figura 4: Etapas de refino secundário. Fonte: Elaboração própria.

4.4. Conformação Mecânica – Lingotamento e Laminação

O aço líquido produzido nas aciarias segue para o estágio de Lingotamento, que consiste no despejo do produto em moldes, de forma que ao ser resfriado este ganhe uma forma específica, geralmente denominados lingotes (SOUZA, 2013). A principal forma pela qual era feito o processo chama lingotamento estacionário ou convencional, na qual o aço é vazado nas lingoteiras e, ao ser resfriado, toma a forma lingotes que depois são levados para fornos de reaquecimento (fornos-poço) que os preparam para serem laminados. Contudo, tal formato vem sendo substituído continuamente pelo lingotamento contínuo, uma vez que o rendimento placa/aço é maior que em relação ao modo anterior, apresentando ganhos de produtividade para a fabricação de aço em larga escala industrial, melhor qualidade do produto final e redução do consumo de energia em aproximadamente 70%. Nesta forma, o metal é direcionado diretamente para um distribuidor, dispensando os fornos de reaquecimento, onde é cortado já na forma de produtos semiacabados (placas ou tarugos) e, em seguida, para a solidificação com posterior laminação (INFOMET, 2016). Hoje, aproximadamente dois terços da produção mundial de aço envolve o Lingotamento Contínuo (COSTA, 2002).

Machado (2006) evidenciou a importância da última etapa para a qualidade do material, já que alguns atributos material estão diretamente associados a forma como o calor é transferido, como a estrutura cristalográfica, a distribuição de inclusões não metálicas, as micro e macro segregações e as propriedades mecânicas. De igual maneira, o controle de parâmetros como a temperatura, as tensões térmicas atuantes e a velocidade do vazamento também é necessário para a manutenção das propriedades do produto final.

O material solidificado sofre então variados ciclos de aquecimento, bem como é submetido a altas tensões compressivas e a tensões cisalhantes superficiais, resultantes da atuação de rolos compressores giratórios. A esse processo dá-se o nome de Laminação, definido como uma atividade de conformação mecânica do aço, cujo produto final tem menor espessura e maior comprimento em relação ao produto inicial, além de ser possível gerar uma gama de produtos a serem utilizados pelas indústrias de interesse. A laminação pode ser feita a quente ou a frio, e deve atender a especificações referentes a formas, dimensões, propriedades mecânicas e outras normas (MACHADO, 2006).

A utilização do método de laminação irá depender do produto final que se deseja. Enquanto a laminação a quente é responsável pela produção bobinas, chapas, vergalhões e outros, a laminação a frio produz chapas finas, cuja espessura é menor que 2mm e, em seguida, passam pelos processos de estanhamento e cromagem de folhas (para latas) e galvanização de chapas (indústria automotiva, linha branca, construção).

5. POLUENTES GERADOS POR ETAPA

Durante o processo de produção do aço há diferentes tipos de gerações e emissões de poluentes atmosféricos. A seguir, são apresentados, por cada etapa de fabricação, as principais emissões.

5.1. Coqueificação

As emissões da coqueria são constituídas de fumos de coloração forte, partículas de carbono e gases contendo monóxido de carbono, amônia, dióxido de carbono; hidrocarbonetos (metano e etileno), sulfeto de hidrogênio e fenóis. Os produtos líquidos incluem água, alcatrão e óleos leves (benzeno, tolueno e xileno) (MMA, 2016).

Os gases de exaustão gerados são referentes a estocagem e entrada do carvão na câmara de combustão, desenformamento, apagamento do coque e pela estocagem do produto final. Dentro da câmara de combustão ocorre a exaustão dos gases de combustão decorrentes do processo de aquecimento dos fornos de coque e da destilação do carvão, juntamente com a liberação de material particulado e gases como o SO_2 e NO_x . Como descrito no processo de Coqueificação, alguns gases podem ser recuperados e usados como subprodutos, porém as perdas são inevitáveis a cada estágio de produção.

5.2. Sinterização

As emissões atmosféricas nesta etapa podem ser divididas em primárias, quando oriundas da queima e da sinterização propriamente dita, e secundárias, se originadas pelo manuseio dos materiais e do produto final (após o processo de peneiramento), zona de descarga e resfriamento do sinter. No primeiro caso, é verificada a liberação de vapores de monóxido e dióxido de carbono, material particulado (compostos ferrosos na sua maioria) e de gases como SO_2 , NO_x , enquanto no segundo caso tem-se a liberação de materiais particulados e de compostos orgânicos polialogenados.

Estes últimos, conhecidos como dioxinas e furanos, são formados em áreas superiores do leito de sinterização, pela evaporação de substâncias contendo carbono e cloro, seguida pela condensação no resfriador. O processo de volatilização e condensação continua até que a temperatura da carga do refrigerador aumente suficientemente para evitar a

condensação, fazendo com que os tais compostos vaporizados sejam emitidos juntos ao gás de combustão para a atmosfera. A principal emissão se encontra perto da falsa grelha de sinterização, formada por blocos de sínters que possuem de 20 a 35 mm de diâmetro. Como não é possível misturar a região de alta temperatura da frente de combustão com a de baixa temperatura na zona de resfriamento, tais emissões são difíceis de se controlar (CAVALCANTI, 2011).

5.3. Pelotização

Os efluentes atmosféricos são gerados nas etapas de manuseio dos insumos em pilhas (finos de minérios de ferro, cal hidratada, calcário e carvão) antes e após o processo, bem como no peneiramento das pelotas, nas etapas de moagem e secagem, mistura e, por fim, durante a queima do material.

Em todas as etapas há a formação de material particulado, porém durante a fase de queima do material, na qual ocorre a combustão da mistura, observa-se a presença de monóxido e dióxido de carbono, entre outros gases, como óxidos de enxofre e de nitrogênio, contidos dos gases aquecidos obtidos durante o resfriamento das pelotas e aproveitados nesta etapa de produção (OLIVEIRA, 2014).

5.4. Altos-Fornos

As emissões envolvem as etapas de estocagem dos insumos nos silos e carregamento do alto-forno – pela ação dos ventos, geração do sopro quente, injeção dos agentes redutores, vazamento, resfriamento e processamento de escória líquida, regeneração de calor utilizado no ar soprado pelas ventaneiras e pela transferência do gusa. Durante a redução do minério de ferro, os gases gerados escapam pelo topo do alto-forno e, na última etapa, ocorrem emissões de gases e fumos metálicos.

Conforme Oliveira (2014) afirma, existe a possibilidade de mudança do tipo de emissão com relação ao tipo de carvão utilizado, visto que cada um possui diferente composição química e propriedade mecânica. Para os regeneradores há também a emissão de óxidos contendo nitrogênio (NO_x), enquanto que em processos como o de dessulfuração, que acontece dentro de carros torpedos, ocorre a liberação de óxidos de enxofre (SO_x).

5.5. Aciaria

Nesta etapa, as emissões são decorrentes da transferência de gusa-líquido para dentro do conversor, dos produtos vazados para fora do conversor e do processo de oxidação do gusa que promove a liberação de gases e material particulado. Costa (2002) divide os efluentes em duas vias de emissão, chamadas de primárias e secundárias. A primeira ocorre durante o sopro (injeção) de oxigênio e na extração do Gás de Aciaria (GAC), enquanto a segunda é oriunda do pré-tratamento do ferro-gusa e das etapas de carregamento, vazamento, retirada de escória e metalurgia secundária.

As emissões secundárias são caracterizadas majoritariamente pela presença de material particulado, cuja composição contém óxidos de ferro e, em menor quantidade, metais pesados e fluoretos. Já nos processos decorrentes da oxidação são verificados monóxido e dióxido de carbono, além de quantidades significativas de nitrogênio e hidrogênio, além de material particulado. Por fim, não há resíduos perigosos associados com o processo, contudo os pós podem apresentar características de resíduos perigosos devido a elementos como chumbo e cromo.

5.6. Lingotamento e Laminação

A fase de lingotamento não apresenta níveis significativos de poluentes emitidos e, portanto, não será abordada. Por outro lado, no que tange à laminação, as emissões atmosféricas do forno de reaquecimento nesta etapa dependem do tipo de combustível empregado para a geração de calor. Em função do predomínio da utilização dos gases siderúrgicos, complementado ou não pelo aporte de gás natural, os poluentes verificados neste processo são o material particulado e óxidos de enxofre e nitrogênio (MMA, 2016).

A Tabela 4 resume as emissões atmosféricas de acordo com cada etapa e processo de produção do aço.

Tabela 4: Poluentes emitidos por etapa na produção do aço.

Processo	Fonte	Descrição da Fonte	Poluente Emitido
Coqueria	Estocagem do carvão	Carregamento do material (carvão ou mistura de carvões) para a câmara pelo uso de um carro de carregamento	MP
	Câmara de combustão	Local onde o coque será queimado	MP, SO ₂ , NO _x
	Enfornamento		MP
	Tubulação de exaustão de gases		MP
	Desenfornamento	Nivelamento da carga por meio de uma barra niveladora, retirando, limpando e recolocando as portas do desenfornamento, empurrando o coque já pronto para fora do forno.	MP
	Apagamento do coque	Feito através de jatos de água.	MP
	Estocagem final	Estocagem em silos de armazenamento para posterior uso como combustível e redutor no alto-forno.	MP
Sinterização	Sistema primário	Exaustão e captação de MP e gases gerados na máquina de produção do sinter	MP, SO ₂ , NO _x
	Sistema secundário	Exaustão e captação de MP e gases gerado nos processos de britagem, resfriamento, peneiramento e transferência.	MP, PCDD, PCDF
Pelotização	Forno de queima	Forno de produção de pelotas	MP, SO ₂ , NO _x
	Sistema de peneiramento	Processos de peneiramento e de pelotas queimadas.	MP
Alto-forno à Coque	Estocagem de silos	Captação e tratamento do MP gerado nos processos de transferência, carregamento e descarregamento dos silos de matéria-prima	MP
	Produção de Gusa	Produção de gusa-líquido	CO ₂ , MP
	Ventaneiras	Regeneração do calor	NO _x
	Estocagem carro torpedo	Captação e tratamento do MP gerado nos processos de vazamento de ferro-gusa e carregamento dos carros torpedo	MP
	Processo carro torpedo	Processo de dessulfurização	SO _x
	Aciária – Conversos LD	Sistema primário	Captação e tratamento do MP gerado nos processos de transferência, carregamento e descarregamento do conversor
Sistema secundário		Captação e tratamento do MP gerado no processo de oxidação das impurezas do gusa líquido	MP, CO, CO ₂ , N ₂ , H ₂
Laminação	Fornos de aquecimento	Local do processo de aquecimento dos fornos de produtos à laminar	MP, SO ₂ , NO _x

Fonte: CONAMA, 2006; Instituto Aço Brasil, 2010.

6. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O cenário apresentado aponta uma intensa produção de poluentes atmosféricos no processo de fabricação do aço, fator preocupante haja vista os inúmeros prejuízos derivados. A poluição do ar afeta em termos sociais, ambientais e econômicos a sociedade como um todo e a busca por melhores práticas faz-se necessária para se atingir níveis aceitáveis de emissões, adequando a produção a legislação vigente e causando o menor dano possível.

A mitigação da poluição pode ser realizada adotando-se ações tanto de caráter preventivo quanto corretivo. No primeiro caso, as chamadas medidas indiretas de controle da poluição têm como objetivo reduzir, evitar ou até mesmo eliminar a geração de poluentes. Já as medidas diretas de controle se aplicam aos casos onde a produção de poluentes não pode ser evitada e se referem ao uso de técnicas de amortização das emissões ao final do ciclo produtivo a partir da implantação de equipamentos de controle, visando a adequação da indústria com os padrões de emissão delimitados por lei.

Para a prevenção de emissões, pode-se considerar uma série de ações a serem tomadas, que vão desde a adesão de novas tecnologias a reutilização interna pelo processo de reciclagem. Uma vez que tais mudanças estão atreladas à outras questões, como economias de escala, redução de custos ou aumento da qualidade do produto, em muitos casos pode-se considerar estas medidas como benéficas não somente no que concerne questões ambientais, mas também à economia da empresa e à qualidade do produto final. (SOUZA, 2013).

No que concerne o controle, o método a ser escolhido dependerá da classificação físico-química dos poluentes a serem tratados e da via melhor aplicável para o cumprimento do objetivo. Neste caso, separam-se os poluentes em Material Particulado e Gases e Vapores, enquanto as vias se dividem em seca (sem utilização de água) e úmida (com a utilização de água). Ainda, para que os gases possam ser tratados, é necessária a implantação de um sistema de ventilação capaz de captar, concentrar e conduzir tais gases até os equipamentos de controle, onde os poluentes serão retidos e o residual mais limpo lançado para o ar. O referido sistema é composto por captadores, dutos, ventilador e chaminé, como ilustrado na Figura 5, ao passo que a Figura 6 mostra os diferentes métodos de controle empregados atualmente (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

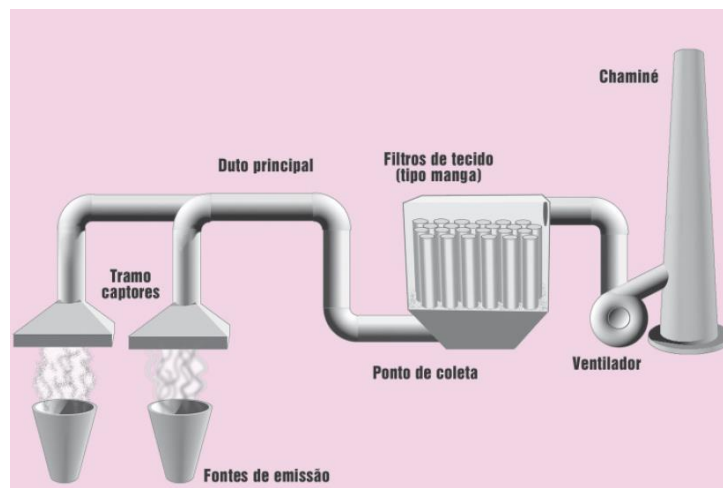


Figura 5: Esquema típico de um sistema de ventilação local exaustora. Fonte: ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002.

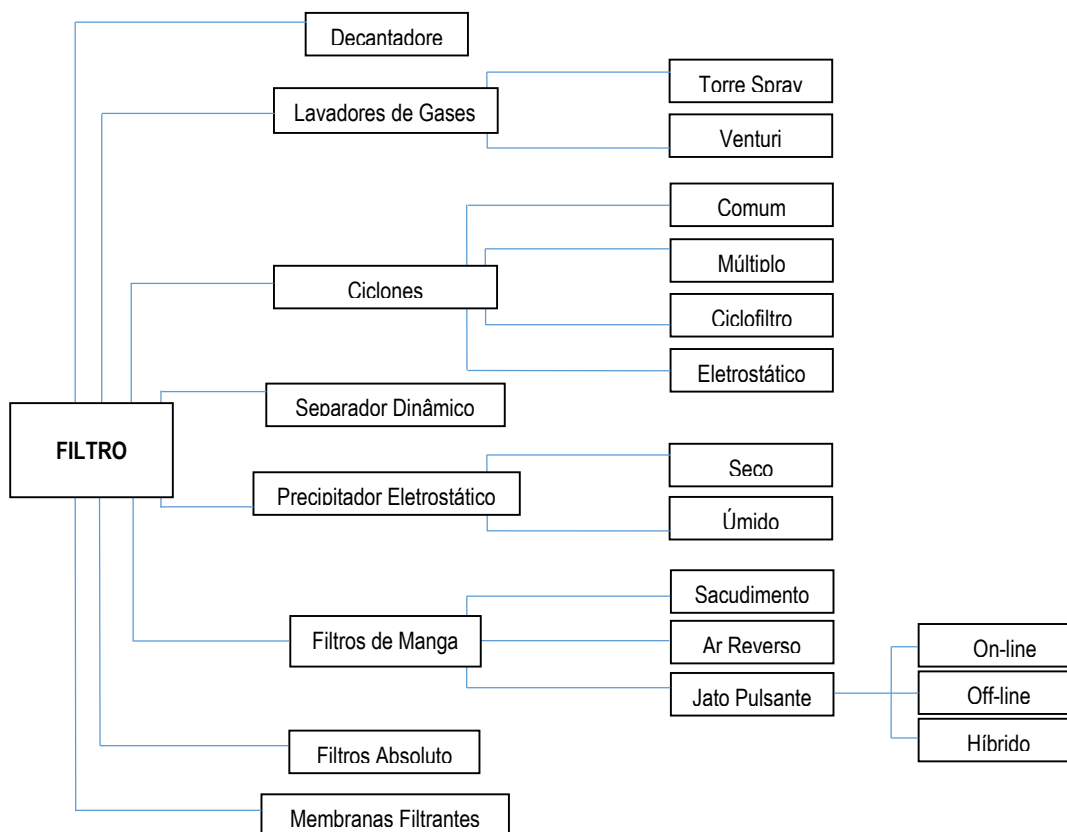


Figura 6: Tecnologias disponíveis atualmente para o controle de material particulado. Fonte: REVISTA MEIO FILTRANTE, 2013.

Para a indústria siderúrgica, considera-se que o material particulado é o poluente com emissões mais significativas, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. Portanto, as principais tecnologias adotadas na indústria siderúrgica para o controle de particulado são mostradas a seguir. Acrescenta-se que também é caracterizado o processo de Dessulfurização, devido a sua importância no controle de emissões de óxidos de enxofre e na geração de gesso, sub-produto com expressivo valor econômico.

6.1. Câmaras de Sedimentação Gravitacional

Trata-se de um mecanismo de deposição baseado na ação da gravidade sobre o material particulado. Os gases são introduzidos à câmara de separação, cuja seção é maior que a da tubulação que os conduzia, causando perda de velocidade nas partículas e consequente deposição das partículas maiores pela ação gravitacional. O material é coletado em um compartimento inferior e o restante do gás segue sem mudar de direção e sentido. A eficiência de coleta de partículas através de sedimentação gravitacional é função da velocidade terminal da partícula, que é diretamente proporcional à densidade e diâmetro da mesma (CAPULLI; ALLEVATO, 1992). A Figura 7 apresenta um esquema simplificado do mecanismo.

A câmara de sedimentação tem como vantagens a não complexidade do equipamento e a baixa perda de carga associada, não exigindo significativo aumento na potência dos exaustores que auxiliam a movimentação do gás. Ainda, promove a coleta do material seco, facilitando os processos de consumo e tratamento do líquido de coleta (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

Devido ao mecanismo de funcionamento, é uma técnica válida somente para o tratamento de partículas cujo diâmetro é superior a 20 μm . O baixo índice de coletas de particulado mais fino faz com que este equipamento seja utilizado como pré-tratamento do efluente gasoso.

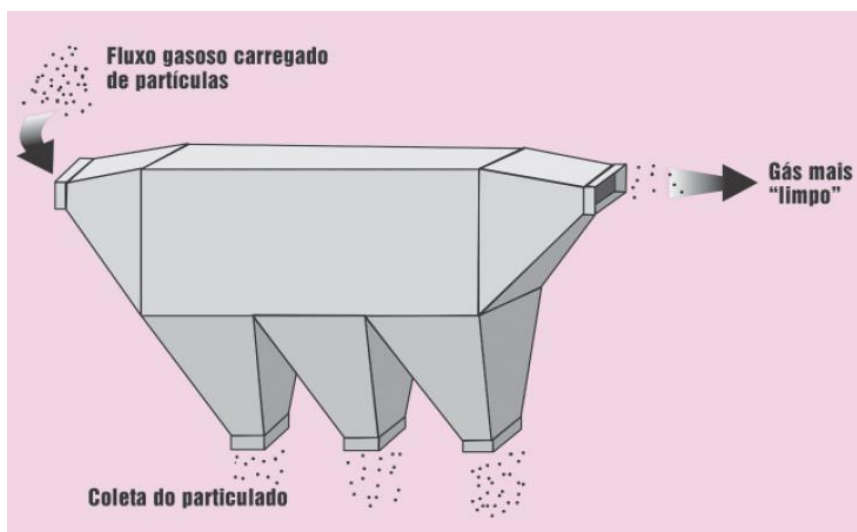


Figura 7: Câmara de Sedimentação Gravitacional. Fonte: ALVARES JR.; LACAVA; FERNANDES, 2002.

6.2. Separadores Ciclônicos ou Inerciais

Neste formato, a remoção do material particulado ocorre pela aplicação de uma força ao gás de entrada. Ao ser forçado a uma mudança de direção, o gás dissocia-se das partículas que seguem o fluxo original devido a inércia. (OLIVEIRA, 2014)

Os mais utilizados na indústria siderúrgica são os Separadores Ciclônicos ou Ciclones, construções normalmente metálicas de formato espiralado e cônico que operam pela ação da força centrífuga sobre os particulados sólidos em movimento, de densidades distintas, em um fluxo rotativo, promovendo a separação de material particulado de granulometria elevada (maior que 5 μm) do fluxo de ar. A força centrífuga age sobre partículas que estejam em movimento numa trajetória circular e, sendo muito mais densas que os gases, as partículas têm maior tendência em permanecer na trajetória tangente ao escoamento rotativo e assim colidir com as paredes da câmara. As colisões geram diminuição na velocidade, fazendo com que o material fuja do escoamento e caia em direção ao fundo da câmara, de onde são extraídas.

Geralmente é uma tecnologia empregada no pré-tratamento para remoção de particulados grosseiros, porém pode ser utilizado no tratamento global em situações de que a faixa granulométrica da emissão esteja compatível com o limite de coleta dos ciclones e

multiciclones (CAPULLI; ALLEVATO, 1992). Como vantagens, apresenta baixo custo de construção, fácil manutenção e configuração simples, podendo operar em amplas faixas de temperatura.

Segundo Souza (2013), 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. Vale ressaltar que a coleta através do mecanismo será tanto maior quanto maiores forem o diâmetro da partícula e sua velocidade tangencial e quanto menor o diâmetro do coletor. A Figura 8 a seguir ilustra os cortes de um ciclone em operação e de um multiciclone.

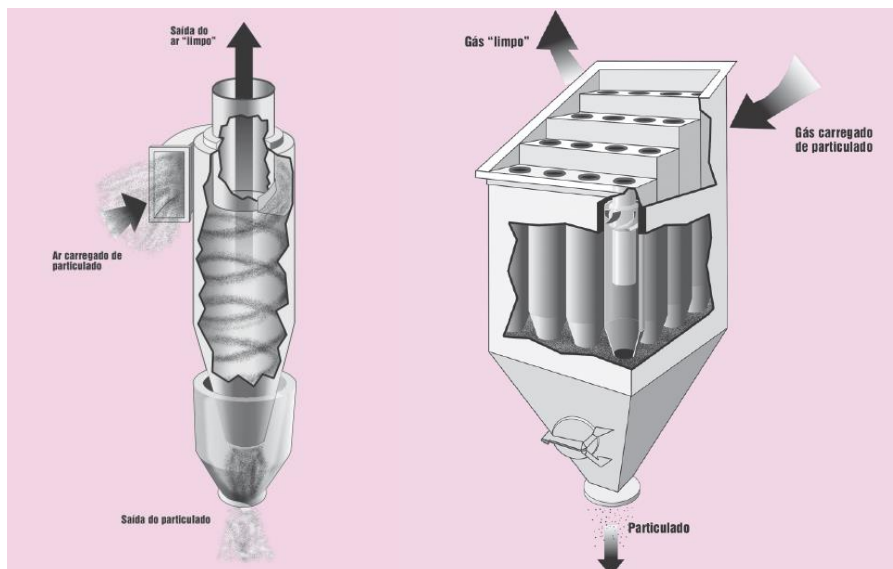


Figura 8: Vista em corte de um ciclone em operação e Vista em corte de um coletor multiciclônico. Fonte: ALVARES JR; LACAVAL; FERNANDES, 2003.

6.3. Lavadores

A separação pelo uso de lavadores acontece pela mescla de água com o fluxo gasoso, gerando a absorção do material particulado que se quer remover. O contato água-gás pode ser forçado ou por impactação inercial que irá depender do tipo de lavador usado. Após o contato com o fluxo gasoso poluído, o efluente resultante é direcionado ao sistema de tratamento, onde as partes sólida e líquida são separadas, possibilitando o retorno da água para o início do processo de lavagem, enquanto a fase sólida é removida e direcionada a

destinação adequada. Há uma grande diversidade deste tipo de equipamento, podendo variar em função do tipo de fluxo do gás, tipo de spray a ser utilizado, entre outros fatores (SOUZA, 2013). Os lavadores comumente utilizados são do tipo câmara de *spray* gravitacional, ciclones de *spray*, dinâmicos úmidos, de impactação, de orifício ou auto-induzido, venturi e torres de enchimento. A seguir, a Tabela 5 apresenta os principais parâmetros operacionais para os lavadores citados enquanto a Figura ilustra o funcionamento de um lavador do tipo Venturi

Tabela 5: Parâmetros operacionais de diversos lavadores.

Tipo de Lavador	Velocidade do Gás (cm/s)	Perda de Carga (mmH ₂ O)	Razão de Líquido/Gás (L/m ³)	Eficiência de remoção para partículas > 2µm
Câmara de <i>spray</i> gravitacional	90 a 150	2,5	0,3 a 2	Baixa
Ciclônico	100 a 250 (na câmara)	6 a 15	0,4 a 0,7	Média
Auto-induzido	1.500 a 10.000 (no orifício)	10 a 25	1,3 a 5,3	Média
Venturi	6.000 a 18.000	25 a 250	0,3 a 1,3	Alta

Fonte: ALVARES JR, 2003.

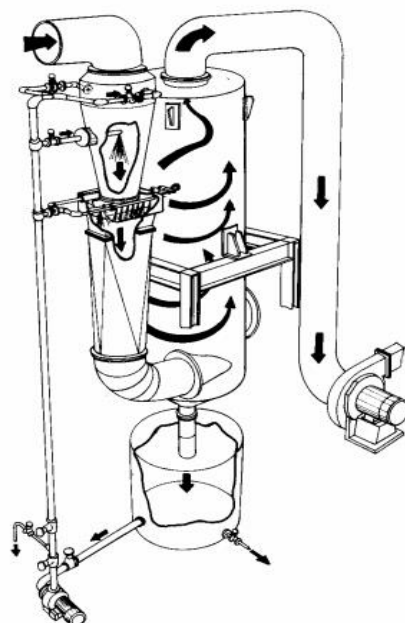


Figura 9. Esquema de funcionamento de um lavador Venturi. Fonte: SILVA, 2016.

As vantagens apresentadas por esta técnica são a possibilidade de tratar fluxos gasosos com partículas aderentes, umidade e elevadas temperaturas, com alta eficiência de retenção. Por outro lado, negativamente tem-se associado um alto custo operacional, além de a necessidade de um sistema de ventilação mais potente e de um sistema de tratamento para as águas de lavagem e separação dos poluentes, bem como é necessária a exigência de materiais estruturais mais nobres para resistirem ao ataque corrosivo produzido pela constante umidade (ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2003).

6.4. Precipitadores Eletrostáticos

O princípio de operação baseia-se no uso da eletricidade para induzir carga elétrica ao particulado que se deseja remover ao promover a passagem do gás por condutores carregados com voltagens opostas. As partículas ionizadas devido ao efeito corona⁵ (80% positiva e 20% negativa, geralmente) são submetidas a um campo elétrico de modo que sua velocidade de migração eletrostática cause a coleta das mesmas sobre uma placa aterrada, onde perdem suas cargas (MEIRA, 2009). Uma vez depositadas as partículas nos eletrodos, a camada de pó que resultante é removida periodicamente através de movimentação mecânica ou lavagem com água e o resíduo é coletado e disposto adequadamente segundo suas características (perigosas ou não). A taxa de migração das partículas carregadas para os eletrodos de coleta é função do seu tamanho, da magnitude da carga na partícula, da intensidade do campo elétrico e do fluxo gasoso (DULLIEN, 1989, *apud* MEIRA, 2009). A Figura 10 apresenta o efeito corona em um modelo de precipitador eletrostático de placas.

Em geral, as vantagens do precipitador são o baixo custo de operação, a alta eficiência de retenção (acima de 99,9%), as baixas taxas de manutenção e o tempo de vida útil relativamente alto, o suporte a altas temperaturas, a versatilidade de operação e o fato de não apresentarem limites inferiores para as dimensões das partículas passíveis de coleta. Como pontos negativos, apresentam a necessidade de grandes áreas e custos iniciais de

⁵ Em eletricidade, o efeito corona se dá quando uma descarga elétrica é produzida pela ionização de um fluido nas proximidade de um condutor, a qual ocorre quando o gradiente elétrico excede um certo valor, mas as condições são insuficientes para causar um arco elétrico.

investimentos, bem como a manutenção é complexa, requerendo grandes cuidados com segurança contra acidentes.

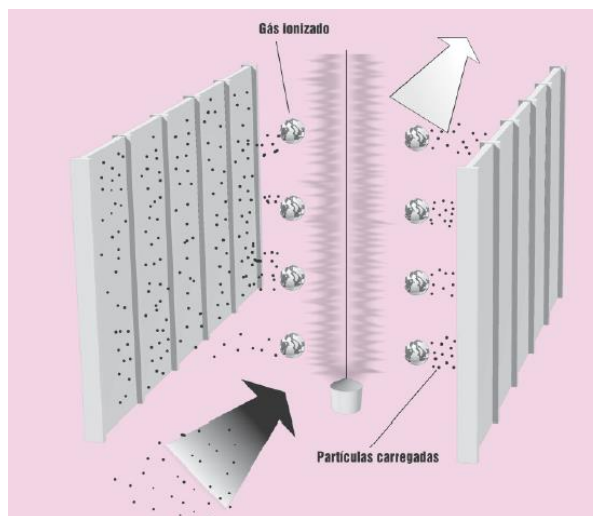


Figura 10: Partículas sendo carregadas pelo efeito corona. Fonte: ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2002.

6.5. Filtros de Manga

Também conhecido como *fabric filter*, é um equipamento com estrutura metálica externa constituído de mangas filtrantes, formadas de tecido poroso ou feltros específicos. Sua função principal é a separação de gases efluentes (fase gasosa) e partículas (fase sólida), tanto para fins de recuperação de produto industrial e purificação dos gases, quanto para retirada dos poluentes (PACHECO, 2013).

As mangas atuam como filtros e, conforme são transpassadas pelo gás, as partículas contidas no mesmo ficam retidas tanto na superfície do material filtrante quanto em seus poros. O gás segue para uma câmara de separação, onde as partículas mais pesadas são desagregadas pela ação da gravidade (OLIVEIRA, 2014). A capacidade de filtragem é bastante variada, e depende de fatores como o tipo de tecido utilizado, as características do gás a ser filtrado, como corrosividade e temperatura, e as características dos particulados, como granulometria e capacidade de aglomeração. Ainda, a passagem do gás pelas mangas pode ocorrer de dentro para fora, no caso da filtragem interna ou o inverso, para filtragem

externa, como mostra a Figura 11. Para a segunda forma, é necessária a colocação de uma estrutura-suporte, do tipo gaiola, no interior da manga (ALVARES JR, 2003).

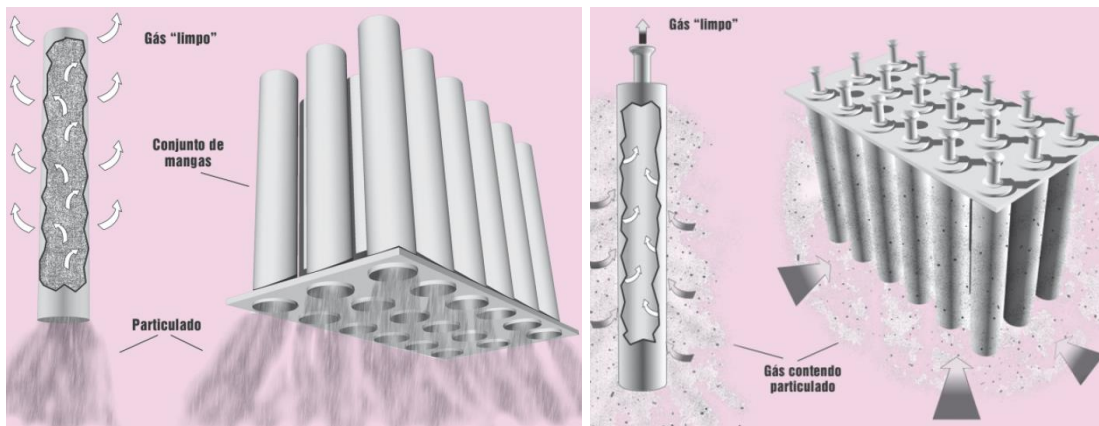


Figura 11: Filtração Interna e Filtração Externa, respectivamente. Fonte: ALVARES JR; LACAVA; FERNANDES, 2003.

O filtro não é reciclável e, portanto, há a necessidade periódica de limpeza do mecanismo. Há três métodos utilizados para tal: limpeza por sacudimento mecânico, na qual o resíduo é removido por agitação mecânica horizontal ou vertical; limpeza por ar reverso, na qual a inversão no sentido do fluxo promove o desprendimento do particulado; e a limpeza por jato pulsante de ar comprimido, onde um tubo acoplado a cada manga cria um jato de ar em alta pressão que, ao passar pela manga, faz com que a camada aderida se desprenda do tecido.

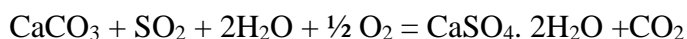
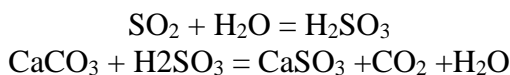
Pacheco (2013) acrescenta que a vida útil do equipamento está associada com o mecanismo de limpeza dos filtros adotada, sendo de aproximadamente quatro anos para sacudimento mecânico, de seis a oito anos para fluxo reverso e dois anos para jato pulsante.

6.6. Dessulfurização

O processo de dessulfurização do gás tem como objetivo principal a redução do teor de dióxido de enxofre (SO_2) dos gases de combustão, visando o cumprimento dos valores limite de emissão estabelecidos pela legislação ambiental.

Há uma grande quantidade de métodos de dessulfurização de produtos da combustão, sendo os mais comuns os que utilizam calcário (ou cal hidratada), óxidos de magnésio, sulfeto de sódio (também chamado de método alcalino de ciclo duplo) e bissulfeto de amônia (método amoniacal) (LORA, 2002, *apud* SOUZA, 2013). O primeiro método ganhou destaque pela alta eficiência e viabilidade econômica e, atualmente, é o mais utilizado.

A dessulfurização por calcário consiste basicamente, na remoção do composto (SO_2) pela reação com o calcário (CaCO_3) através de uma série de reações parciais – absorção, neutralização e oxidação - que podem ser expressas pela seguinte reação global (MARQUES, 2012):



O procedimento inicia-se com a preparação do calcário em pedra, que deverá ser triturado e misturado com a água para formar uma pasta aquosa (*slurry*) de calcário, responsável por alimentar o hidrociclone de calcário. As partículas são separadas de acordo com a densidade e as que apresentam maior densidade recirculam para o misturador da operação, enquanto que as de menor densidade irão alimentar os tanques de armazenamento. Em seguida, o gás entra em contato com a mistura injetada por chuveiros existentes na parte superior do absorvedor, equipamento onde ocorre a etapa. A reação entre o composto de enxofre e a cal então ocorre e, com a injeção de oxigênio, o produto resultante é cálcio dihidratado, ou gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Ao final, o gás limpo sai pela parte superior do absorvedor para o reaquecimento antes de ser emitido para a atmosfera.

A desidratação do gesso é a última etapa do processo e o gesso pode então ser armazenado até o encaminhamento para o destino final, enquanto a água do filtrado vai alimentar o absorvedor para reutilização no processo. O gesso produzido apresenta um grau de pureza bastante elevado (aproximadamente 96%, em média) sendo principalmente comercializado para a indústria cimenteira e para a produção de placas de gesso. Vale ressaltar que todo efluente líquido resultante necessita de tratamento adequado para o descarte correto (MARQUES, 2012).

7. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

Como tema recente na legislação federal, é possível afirmar que o surgimento da regulamentação da poluição atmosférica ocorreu com a implementação da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que “dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação” (BRASIL, 1981). Considerada marco por ter sido o primeiro instrumento legal com efeitos concretos sobre a gestão ambiental, foi através desta norma que os conceitos de poluição e recursos ambientais foram definidos, estando a atmosfera presente dentro da segunda definição trazida pelo Art. 3º:

Art 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:
(...) V – recursos ambientais, a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera (BRASIL, 1981).

A Política Nacional do Meio Ambiente, por sua vez, cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, determinando ao órgão a responsabilidade de estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle da poluição por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência dos Ministérios competentes (art. 8º, inciso VI) e para estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos” (art. 8º, inciso VII) (PEREIRA JR., 2007).

Ao longo do tempo, o CONAMA vem implementando diversas normas a fim de se regulamentar o controle da poluição. Especificamente para a poluição atmosférica, é possível dividir a regulamentação segundo o tipo de fonte emissora, classificando entre legislações sobre fontes fixas e sobre fontes móveis. Para o objetivo do presente estudo, a segunda forma não será aqui abordada.

No que tange às fontes fixas, a Resolução nº 005, de 15 de junho de 1989, que dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR, foi a primeira lei expressiva declarada, sendo complementada no ano seguinte pelas Resoluções nº 003/1990 e nº 008/1990 que, com base em normas da Organização Mundial da Saúde, estabeleceram limites para a concentração de determinados poluentes, dentre outras determinações

A Resolução nº 003, de 28 de junho de 1990, complementando a CONAMA nº 005/89, traz a definição de poluente atmosférico, entendido como:

(...) qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:
I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
II - inconveniente ao bem-estar público;
III - danoso aos materiais, à fauna e flora.
IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. (CONAMA, 1990).

Através desta resolução e da Portaria Normativa nº 348/IBAMA, de 14 de março de 1990, ficam determinados os ficam definidos os padrões primários de qualidade do ar como sendo as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população; e os padrões secundários, ou seja, as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A aplicação diferenciada de tais padrões está alinhada com o enquadramento de áreas segundo a classificação de usos pretendidos, como mostra a Tabela 6 adiante. Vale ressaltar que é prevista aplicação dos padrões primários enquanto não houver a classificação de áreas necessária.

Tabela 6: Enquadramento de áreas.

Classes	Áreas
I	Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais. Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica.
II	Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade.
III	Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade.

Fonte: CONAMA, 1989.

As substâncias atualmente reguladas pela legislação vigente – os chamados poluentes legislados – são apresentados na Tabela 7. Acrescenta-se que os a escolha dos poluentes para compor a lei teve como critério a frequência de aparição e os efeitos adversos relatados, como mencionado no item 3. Poluentes Atmosféricos deste trabalho.

Tabela 7: Padrões de concentração segundo o poluente e o tempo de amostragem.

Poluente Atmosférico	Tempo de Amostragem	Brasil	
		Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão	anual	80	60
	24 horas	240	150
Fumaça	anual	60	40
	24 horas	150	100
Partículas Inaláveis (PM ₁₀)	anual	50	50
	24 horas	150	150
Dióxido de Enxofre	anual	80	40
	24 horas	365	100
Monóxido de Carbono	8 horas	10.000	10.000
	1 hora	40.000	40.000
Ozônio	1 hora	160	160
Dióxido de Nitrogênio	anual	100	100
	1 hora	320	190

Fonte: CONAMA, 1990; EPA, 2015.

É importante destacar que, para a maioria dos poluentes supracitados, a média anual corresponde à média aritmética dos valores aferidos ao longo do ano, excetuando-se as Partículas Totais em Suspensão, cuja média anual é calculada pela média geométrica desses valores.

A CONAMA 03/90 estabelece ainda, em seu Art.6º, os Níveis de Qualidade do Ar. Divididos em Alerta, Atenção e Emergência, a classificação tem por objetivo a elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar de forma a prevenir ao máximo os impactos à saúde humana. Os valores relativos aos diferentes níveis mencionados são apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Níveis de qualidade do ar.

Níveis	Concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tempo de amostragem)							
	SO ₂ (24h)	PTS (24h)	SO ₂ x PTS (24h)	CO (8h)	O ₃ (1h)	PI (24h)	Fumaça (24h)	NO ₂ (1h)
Atenção	800	375	65 x 103	17.000	400	250	250	1.130
Alerta	1.600	625	261 x 103	34.000	800	420	420	2.260
Emergência	2.100	875	393 x 103	46.000	1.000	500	500	3.000

Fonte: CONAMA, 1990

À título de comparação, foram reunidos na Tabela 9 os padrões nacionais e os internacionais de qualidade do ar estabelecidos pelos principais órgãos ambientais no mundo e pela OMS (Organização Mundial da Saúde). A União Européia traz ainda limites de Benzeno e HPA (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos), poluentes não contemplados pela legislação brasileira atualmente, mas de extrema importância devido o risco à população e ao meio ambiente que tais poluentes representam.

É interessante notar que somente o Brasil ainda contempla o padrão PTS em relação à qualidade do ar. Tal fato evidencia a necessidade de uma revisão dos atuais padrões de qualidade do ar nacionais para que os mesmos estejam no mesmo nível de restrição que os internacionais.

Tabela 9: Comparação entre padrões de qualidade do ar.

Poluente Atmosférico	Tempo de Amostragem	Brasil		EUA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EEA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		1 ^{ário} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2 ^{ário} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Partículas Totais em Suspensão	anual	80	60	-	-	-
	24 horas	240	150	-	-	-
Fumaça	anual	60	40	-	-	-
	24 horas	150	100	-	-	-
Partículas Inaláveis (MP_{10})	anual	50	50	-	40	50
	24 horas	150	150	150	50	20
Dióxido de Enxofre	Anual	80	40	-	-	-
	24 horas	365	100	100 (3h)	125	20
	1 hora	-	-	150 (1h)	350	-
Monóxido de Carbono	8 horas	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
	1 hora	40.000	40.000	40.00	-	-
Ozônio	1 hora	160	160	140	120	100
Dióxido de Nitrogênio	Anual	100	100	190	40	40
	1 hora	320	190	100	200	200
Benzeno	Anual	-	-	-	5	-
HPA	Anual	-	-	-	5	-

Fonte: CONAMA, 1990; EPA, 2016; EC, 2016; WHO, 2016.

Especificamente para a indústria siderúrgica, a Resolução CONAMA n° 001, de 1986, implementou a obrigatoriedade da elaboração de EIA/RIMA para o licenciamento ambiental de complexos siderúrgicos, em seu Art 2°, inciso III. Vinte anos depois, a Resolução CONAMA n° 382, de 2006, estabeleceu os limites máximo de emissão de poluentes atmosféricos oriundos de fontes fixas.

Dessa forma, os limites para os poluentes emitidos indústrias siderúrgicas integradas e semi-integradas e usinas de pelletização de minério de ferro foram definidos, em seu anexo XIII, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10: Limites de emissão de poluentes de acordo com a etapa de produção do aço.

Unidade de Produção	Fontes de Emissão Pontual	MP ¹	SO ₂	NO _x (como NO ₂)	%O ₂ ¹
Coqueria	Sistema de despoeiramento do desenformamento	40	N.A.	N.A.	N.A.
	Câmara de combustão dos fornos de coque	50	800	700	7,00%
Sinterização	Sistema primário de despoeiramento	70	600	700	N.A.*
	Sistema secundário de despoeiramento	70	N.A.	N.A.	-
Alto forno a coque	Sistema de despoeiramento da casa de estocagem	40	N.A.	N.A.	-
	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de corrida	-	-	-	-
Alto forno a carvão vegetal	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de estocagem	50	N.A.	N.A.	-
	Sistema de despoeiramento da casa ou ala de corrida	50	N.A.	N.A.	-
Aciaria LD	Sistema de despoeiramento	80	N.A.	N.A.	-
	Sistema secundário de despoeiramento	40	N.A.	N.A.	-
	Sistema de despoeiramento da dessulfuração de gusa	40	N.A.	N.A.	-
	Sistema de despoeiramento dos fornos de cal	100	N.A.	470	8,00%
Aciaria elétrica	Sistema primário e secundário de despoeiramento (2)	<=50 t/c: 50 >50 t/c: 40	N.A.	N.A.	N.A.
Laminação	Fornos de reaquecimento de placas com queima de gases siderúrgicos	50	800	700	7,00%
Pelotização	Sistema de exaustão de forno de pelotização	70	700	700	N.A.
Central térmica	Caldeira com queima de gases siderúrgicos	50	600	350	5,00

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e no teor de O₂ explicitado; (2) t/c = toneladas de carbono; (N.A.) Não aplicável.

Fonte: CONAMA, 2006.

No estado Rio de Janeiro, área de interesse de atuação da usina escolhida para o estudo de caso, o órgão ambiental FEEMA – atual INEA – determinou uma série de normas técnicas no que tange às emissões de material particulado oriundas da siderurgia. A Tabela 11 apresenta os valores estipulados por cada norma e cada operação a que se refere.

Tabela 11: Normas Técnicas e suas determinações.

Norma Técnica	Descrição	Processo	Limites de Emissão de MP (mg/Nm ³)
NT-546.R-1	Padrões de emissão de partículas para unidade de coqueria	Câmaras de combustão	70
		Desenformamento do coque	100
		Apagamento do coque a seco	20
NT-536.R-2	Padrões de emissão de partículas para unidade de sinterização	Chaminés da máquina e descarga do sinter formado	100
NT-542.R-2	Padrões de emissão de partículas para unidades de alto-forno	Alto-forno	50
		Casa de corrida do alto-forno	50
NT-539.R-2	Padrões de emissão de partículas para unidades Aciaria LD e Elétrica	Aciaria LD	50
		Forno elétrico a arco ou a indução	50

Fonte: elaboração própria a partir das normas técnicas, 2016.

Vale destacar, também à nível estadual, o Programa de Auto Monitoramento de Emissões Atmosféricas – PROMON Ar. Através da Norma Operacional NOP-INEA-01, aprovada pela Resolução CONEMA nº 26 de 22 de novembro de 2011 e que estabelece os procedimentos gerais para vincular atividades poluidoras, o programa visa a ampliação da ação fiscalizadora do órgão ambiental, bem como a verificação ao atendimento dos Limites Máximos de Emissão (LME) de poluentes do ar.

Os resultados obtidos pelo monitoramento imposto permitem avaliar se o sistema de controle adotado pela empresa possui eficiência necessária para garantir o padrão ambiental das áreas de influência direta e/ou indireta do empreendimento. A amostragem pode ser periódica e/ou contínua nas respectivas fontes, de acordo com os procedimentos e condições operacionais estabelecidos na norma. As informações geradas são então protocoladas ao INEA, através de relatórios específicos ou pelo Sistema de Telemetria do Instituto.

8. ESTUDO DE CASO – A COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL

8.1. Histórico⁶

A Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, alvo do estudo em questão, foi fundada em 9 de abril de 1941 pelo então presidente Getúlio Vargas, através de uma parceria entre os governos brasileiro e estadunidense. Localizada no município fluminense de Volta Redonda, somente iniciou suas operações em 1º de outubro de 1946 e a Usina Presidente Vargas (UPV) se consagrou na época como a maior produtora de aço integrada a coque da América Latina. A companhia foi pioneira em produtos planos, em laminados a quente e a frio e em revestidos, como por exemplo, chapas galvanizadas e folhas-de-flandres⁷. Hoje, a CSN ainda é a única fabricante de folhas metálicas no Brasil e uma das cinco maiores do mundo.

Nos trinta anos que se seguiram a sua inauguração, a usina passou por sucessivos estágios de expansão, aumentando a capacidade instalada de produção anual para 4,5 milhões de toneladas de aço bruto, ao final da terceira. No ano de 1993, a Usina foi privatizada e a produção de aço bruto foi novamente aumentada, equivalendo a 5,6 milhões de toneladas anuais.

Em 2007, ingressou no mercado internacional de minério de ferro, iniciando as exportações por meio de sua controlada em conjunto Nacional Minérios S.A. (NAMISA), empresa criada em parceria com um consórcio formado por algumas das mais importantes usinas siderúrgicas asiáticas. Suas operações de mineração são feitas no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais.

Dois anos depois, o grupo entrou no mercado de cimento, agregando valor à escória gerada em sua produção de aço bruto. A capacidade atual de produção é de aproximadamente 2,4 milhões de toneladas de cimento por ano. Ainda, com o intuito de diversificar seu portfólio de produtos, a Companhia adquiriu em 2012 a SWT (StahlwerkThüringen GmbH), produtora de perfis localizada na Alemanha e, em dezembro de 2013, inaugurou uma nova

⁶ Todas as informações foram retiradas do Relatório Anual de 2013 e do sítio online da CSN.

⁷ Folhas de flandres: material laminado estanhado composto por ferro e aço de baixo teor de carbono revestido com estanho.

planta de aços longos em Volta Redonda, construída para atingir uma capacidade de 500 mil toneladas por ano (vergalhão e fio máquina).

No que tange a mineração, a empresa já é a segunda maior exportadora de minério de ferro do Brasil. A principal mina, chamada Casa de Pedra, está localizada no município de Congonhas (MG) e abastece a Companhia, sendo parte do volume produzido exportado. Há também a produção de estanho a partir da lavra e das instalações de beneficiamento em Itapuã do Oeste (RO) e da fundição da cassiterita em Ariquemes (RO), pela Estanho de Rondônia S.A. (ERSA), subsidiária da CSN localizada em Rondônia, e a produção de calcário calcítico e calcário dolomítico pela mina de calcário localizada em Arcos (MG). A mina passou a fornecer, a partir de 2011, calcário não siderúrgico para produção de clínquer, matéria-prima para a CSN Cimentos, localizada em Volta Redonda.

Referente a logística, a CSN possui participação nas companhias ferroviárias MRS Logística e no novo ramal da Transnordestina, que ligará o sertão do Piauí aos Portos de Pecém (CE) e Suape (PE). A primeira opera antiga Malha Sudeste no eixo Rio de Janeiro-São Paulo-Belo Horizonte e responsável por interligar as minas do chamado “Quadrilátero Ferrífero”, em Minas Gerais, ao Porto de Itaguaí, no município de Itaguaí (RJ), onde a CSN administra dois terminais, o Terminal de Granéis Sólidos (Tecar) e o Terminal de Contêineres (Sepetiba Tecon), utilizados para exportação de minério de ferro e importação de carvão e coque.

A Companhia é uma das maiores consumidoras industriais de energia elétrica do país segundo a ABRACE (Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres). Para consumo próprio, dispõe de uma Central Termoelétrica de Cogeração de Energia (CTE) na Usina Presidente Vargas, em Volta Redonda (RJ) e mantém participações nas Usinas Hidrelétricas de Itá, em Santa Catarina, e de Igarapava, na divisa entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais.

Especificamente sobre o setor siderúrgico da Companhia, o processo de produção é baseado no conceito de siderurgia integrada. Na Usina Presidente Vargas (UPV), localizada na cidade de Volta Redonda, região do Vale do Paraíba do Sul (RJ), o minério de ferro produzido a partir das próprias minas da empresa é beneficiado em máquinas para produzir o sinter pela Sinterização, que juntamente com o minério de ferro é fundido com coque

proveniente da Coqueria e carvão em pó para produzir ferro-gusa no Alto-Forno, sendo o resultado refinado no Conversor LD, transformando-o em aço. A adequação mecânica e formatação do produto final exige ainda as etapas de Lingotamento Contínuo, Laminação a Quente, Zincagem e Estanhamento.

Com capacidade anual de produção de 5,8 milhões de toneladas de aços planos, a CSN possui cinco linhas de galvanização, sendo três na UPV, uma em Porto Real (RJ), que atende principalmente o setor automotivo, e outra em Araucária (PR), cuja produção é voltada para fabricantes de linha branca e construção civil. Ainda, a empresa controla a Metalic, fábrica sediada em Maracanaú (CE) responsável pela fabricação de latas; a Prada embalagens, maior parque industrial da América Latina voltado para a produção de embalagens de aço, com unidades em São Paulo (SP) e Uberlândia (MG), cujos principais clientes são as indústrias de alimentos, química e de aerossóis; e a Prada Distribuição que possui três centros de serviço e oito centros de distribuição. No exterior, o grupo conta com três subsidiárias: a CSN LLC, instalada em Terre Haute, no Estado de Indiana, nos Estados Unidos, que atua em laminação a frio e galvanização; a Lusosider, em Paio Pires, Portugal, que também produz laminados revestidos; e a Stahlwerk Thüringen GmbH (SWT).

O modelo de produção integrada gera o domínio sobre toda a cadeia produtiva do aço, desde a extração do minério até a produção e comercialização de uma diversificada linha de produtos siderúrgicos de alto valor agregado. Tais fatores levam a um dos menores custos mundiais de produção siderúrgica, o que garante vantagem competitiva nos mercados em que a empresa atua, sendo os principais o de Construção Civil, Automotivo, Grande Rede (distribuição), Linha branca (eletrodomésticos), OEM (bens de capital) e embalagens metálicas.

8.2. Caracterização da Área de Interesse.

De acordo com o Instituto Estadual do Ambiente (2015), o Estado do Rio de Janeiro está dividido em 08 (oito) Regiões de Governo (Lei nº 1.227/87), dentre as quais, 04 (quatro) foram definidas pelo Instituto como prioritárias em termos de monitoramento da qualidade do ar, por concentrarem uma densa ocupação urbana e um elevado número de fontes de emissões atmosféricas.

A Companhia Siderúrgica Nacional, com seus aproximados 11 km² de área, está inserida no município de Volta Redonda, no sul do estado do Rio de Janeiro. O município pertence à Região do Médio Paraíba (RPM) que, com área de aproximadamente 10.000 km² e população de 844.829 habitantes, equivale a 21% da área do Estado. A Região compreende também os municípios de Resende, Barra Mansa, Barra do Piraí, Rio Claro, Piraí, Valença, Rio das Flores, Itatiaia, Quatis, Pinheiral e Porto Real (INEA, 2015). A localização da RPM e da Companhia Siderúrgica Nacional são apresentadas nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

Trata-se de uma região de grande importância econômica para o desenvolvimento do Estado e do País, principalmente no que concerne as atividades industriais ao longo da Rodovia Presidente Dutra, eixo viário que interliga Rio de Janeiro e São Paulo, as duas maiores metrópoles do país. É possível destacar, nesse cenário, os setores associados à siderurgia, em especial a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN); setor automotivo, em Resende e Porto Real, com atração de indústrias automobilísticas bem como sua cadeia produtiva (pneus, química, vidros e infraestrutura de logística industrial) e setor metalomecânico, em Volta Redonda e outros municípios do Médio Paraíba.

Os problemas ambientais relacionados à poluição do ar na região se devem, basicamente, ao porte, ao tipo e a localização das atividades industriais implantadas, bem como a intensa circulação de veículos pesados ao longo da Via Dutra. Ainda, todo o parque industrial está situado no vale do Rio Paraíba do Sul, área que está sujeita, principalmente no período de inverno, a condições de grande estabilidade atmosférica, ventilação deficiente, inversões de temperatura e ausência de chuvas, mecanismos que favorecem o aumento da poluição do ar (INEA, 2010).

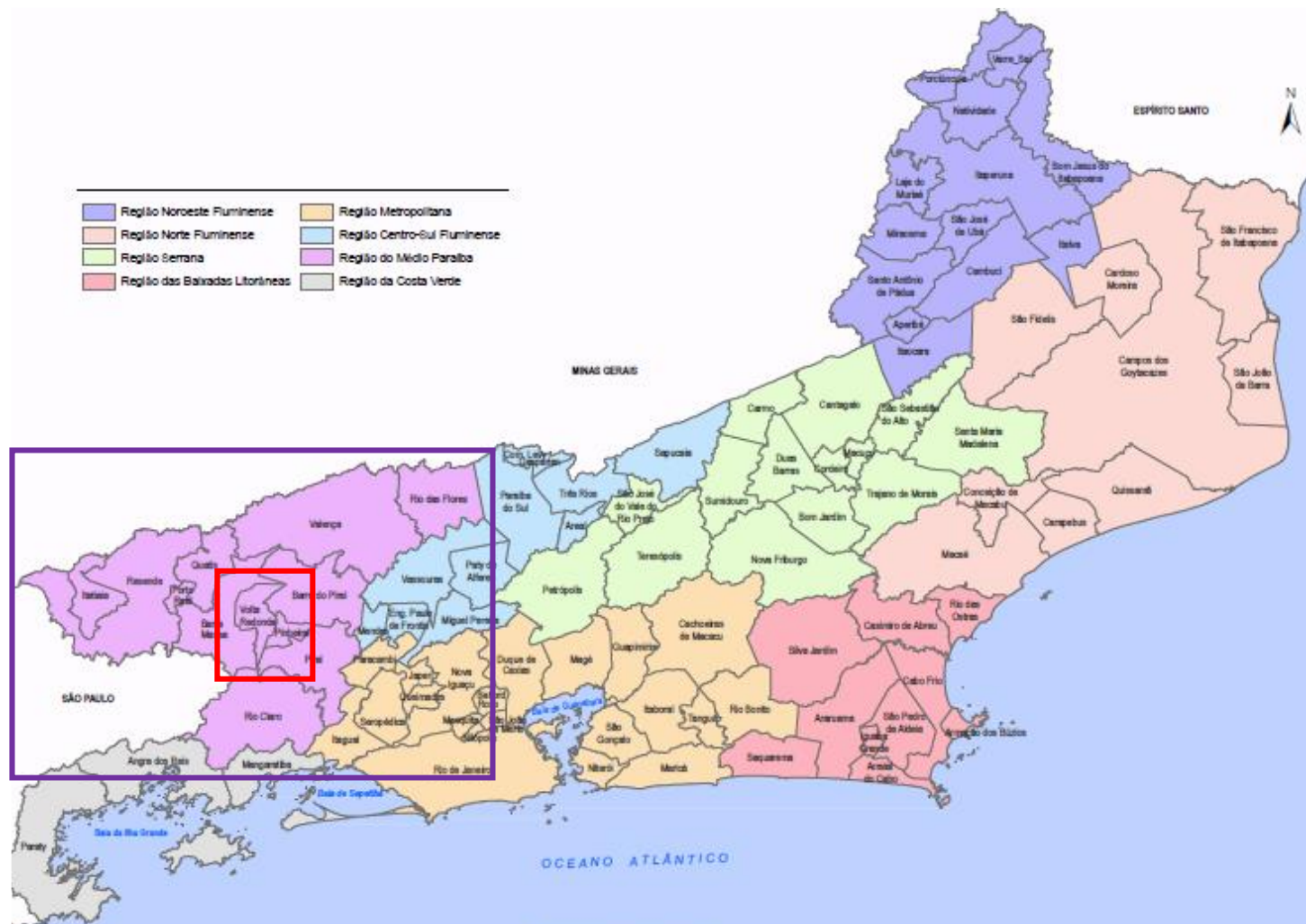


Figura 12: Estado do RJ segundo as Regiões de Governo e Municípios, com destaque para a RMP (destaque em roxo) e para o município de Volta Redonda (destaque em vermelho). Fonte: CEPERJ, 2014.



Figura 13: Localização da CSN-UPV. *Fonte: Google Earth, 2016.*

De posse do arquivo das normais climatológicas do Brasil entre os anos de 1961 e 1990 pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Região do Médio Paraíba foi caracterizada climatologicamente, tomando como referência os resultados identificados na estação meteorológica do município de Resende, localizada cerca de 34 km de distância da CSN.

A temperatura média da região é de 21,5 °C, estando a máxima pouco acima dos 24 graus para o verão e a mínima em 17,4 °C durante o inverno. A pressão atmosférica mensurada, não reduzida ao nível do mar, oscila entre os valores mínimo de 962 hPa e máximo de 969 hPa, para as estações de verão e inverno, respectivamente.

Inversamente proporcional à temperatura do ar e dependente também de processos de advecção de ar frio ou quente, nebulosidade, incidência solar e precipitações, a umidade relativa do ar apresenta uma variação no intervalo de 70% a 80%.

A precipitação acumulada observada caracteriza bem o período chuvoso durante o verão, com os meses de dezembro e janeiro apresentando as maiores médias, enquanto que a estação seca se mantém no inverno, onde os valores são os mais baixos, chegando a 20 mm no mês de julho. De igual forma, os dias de chuva estão mais presentes durante os meses de dezembro a janeiro, enquanto que no intervalo de junho a agosto quase não há dias chuvosos.

Por fim, verificou-se que a direção dos ventos na região é predominantemente de leste a oeste durante o ano. Segundo o INEA (2009), a direção preferencial é causada pela associação à circulação decorrente a oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

A Tabela 12 resume as características climatológicas descritas anteriormente, bem como traz a média anual de cada um dos parâmetros, e a Figura 14 mostra a localização da estação de Resende.

Tabela 12: Normais climatológicas do Brasil 1961-1990.

Parâmetros	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Pressão atmosférica (hPa)	961.4	961.9	963.0	964.7	966.5	967.9	968.9	967.6	966.3	964.1	962.1	961.8	964.7
Precipitação acumulada (mm)	279.0	208.7	213.9	102.5	40.4	29.2	20.0	30.0	58.8	131.1	177.7	261.1	1552.5
Número de dias de chuva	17	13	14	8	5	4	3	3	7	11	13	17	115
Temperatura média (°C)	23.8	24.2	23.6	21.5	19.2	17.7	17.4	18.9	20.4	21.4	22.4	23.1	21.1
Umidade relativa (%)	76.6	75.6	77.4	77.9	77.3	77.3	73.7	69.7	69.4	73.0	74.6	77.2	75.0

Fonte: INMET, 2016

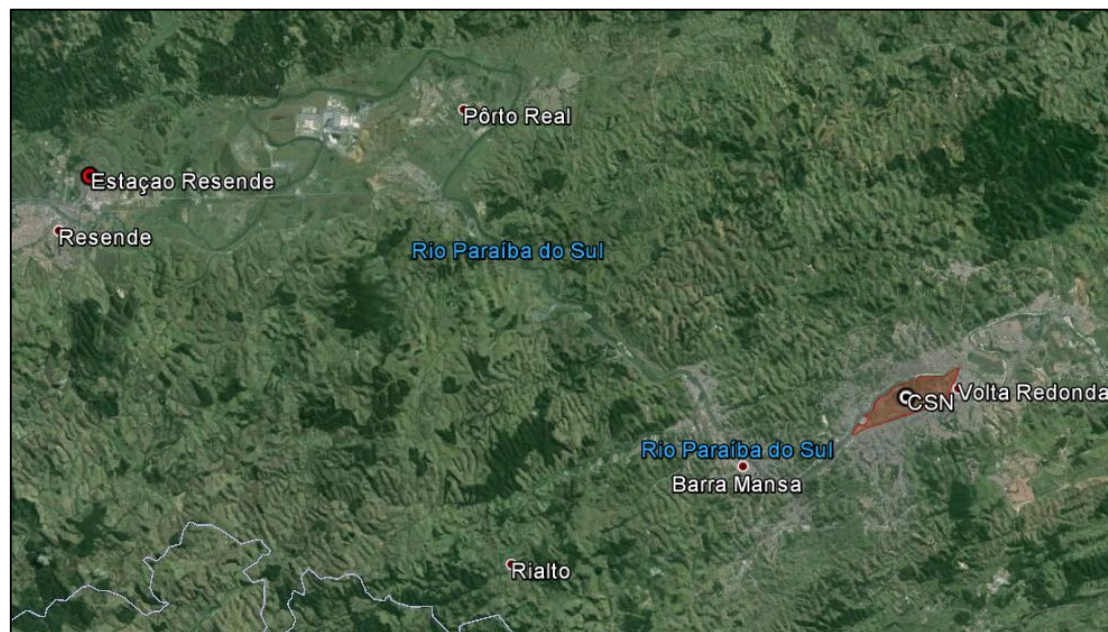


Figura 14: Localização da estação meteorológica do INMET em Resende (RJ). Fonte: INMET, 2016; Google Earth, 2016

8.3. Caracterização do Monitoramento no Estado do Rio de Janeiro

A atual rede de monitoramento da qualidade do ar implantada no estado do Rio de Janeiro pelo órgão ambiental do estado divide-se em dois modelos, sendo um automático e um semiautomático, que quantificam a concentração de material particulado, gases poluentes e parâmetros meteorológicos na atmosfera. O monitoramento também dispõe de dados advindos de estações privadas pertencentes aos principais empreendimentos industriais e de infraestrutura que apresentam potencial poluidor significativo, definidas e implantadas por exigência do Licenciamento Ambiental. Essas estações são operadas e mantidas pelos empreendimentos e transmitem os dados em tempo real à central de telemetria do INEA que acompanha e gerencia os resultados (INEA, 2014).

A rede automática de monitoramento da qualidade do ar foi composta em 2012 por 45 (quarenta e cinco) estações automáticas (próprias e privadas), acrescida por 10 (dez) em 2013 e 01 (uma) em 2014, além das 08 (oito) estações que monitoram somente parâmetros meteorológicos, totalizando 64 (sessenta e quatro) estações, sendo 03 (três) móveis. As estações processam na forma de médias horárias a concentração dos parâmetros de qualidade do ar e meteorologia de interesse no próprio local e em tempo real. Estas médias são transmitidas para a central de telemetria e armazenadas em servidor de banco de dados, onde passam por processo de validação técnica periódica e, posteriormente, são disponibilizadas através de boletins diários no endereço eletrônico do INEA.

Os poluentes analisados são os gases dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), hidrocarboneto (HC - metanos e não metanos), COV (compostos orgânicos voláteis) e material particulado em suspensão na atmosfera nas frações partículas totais em suspensão (PTS) e partículas inaláveis (PI). Os parâmetros meteorológicos monitorados são a direção e velocidade do vento, temperatura, umidade, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação.

A rede semiautomática de monitoramento da qualidade do ar também foi composta em 2012 com 43 (quarenta e três) estações (próprias e privadas) e acrescida por 09 (nove) em 2013, no entanto, duas estiveram inoperantes em 2014, totalizando 50 (cinquenta) estações em funcionamento. Diferentemente da rede automática, esta rede monitora a concentração somente do material particulado em suspensão na atmosfera, nas frações

partículas totais em suspensão (PTS), Material Particulado (PM_{10}) e Material Particulado ($PM_{2.5}$), por 24 horas ininterruptas, em períodos de seis em seis dias. As amostras coletadas são analisadas nos laboratórios do INEA, podendo, eventualmente, serem caracterizadas quanto à sua composição química.

Os resultados obtidos através do monitoramento realizado pela rede são compilados na forma de um boletim diário de qualidade do ar e divulgado pelo INEA. Visando uma melhor compreensão por parte da população, o boletim não apresenta os valores de concentração verificados para cada parâmetro, mas sim o Índice de Qualidade do Ar (IQAr).

Calculado através da metodologia concebida pelo *Pollutant Standard Index (PSI)*, desenvolvida pela *EPA*, a qual busca padronizar o processo de divulgação da qualidade do ar pelos meios de comunicação, o IQAr proposto pelo órgão ambiental baseia-se nos padrões de referência e nos níveis de perigo segundo as concentrações estabelecidos na Resolução CONAMA nº 03/90, através de uma função linear fraccionada para a qual pontos de inflexão são os padrões primários (anual e diário) de qualidade do ar.

Os parâmetros considerados na composição do índice são: material particulado (total e inaláveis), dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Para cada concentração verificada é gerada um IQAr cujo valor é adimensional e, ao final, cada estação recebe um IQAr diário correspondente ao maior índice, isto é, à pior qualidade aferida (FERNANDES, 2015).

A Tabela 13 atribui, para cada faixa de IQAr determinada a partir das concentrações dos parâmetros de interesse, a qualidade do ar verificada e os riscos gerais à saúde da população segundo a categoria de qualidade do ar. Observa-se que para a categoria de ar “boa” é necessário que os padrões primários diários sejam alcançados, ao passo que a categoria “regular” se refere ao padrão diário anual. De acordo com Fernandes (2015), a exceção se dá para os parâmetros O_3 e CO , que não possuem padrões primários diário ou anuais estipulados. Para esses dois poluentes, são utilizados o padrão mais baixo como limite para a categoria regular e a metade desse valor para a categoria boa.

Tabela 13: Índice da Qualidade do Ar.

Qualidade	Índice	MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Significado
Boa	0 – 50	0 – 50	0 – 80	0 – 100	0 – 4,5	0 – 80	Praticamente não há riscos à saúde
Regular	51 – 100	50 – 150	80 – 365	100 – 320	4,5 – 9	80 – 160	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 – 199	150 – 250	365 – 800	320 – 1130	9 – 15	160 – 200	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 – 299	250 – 420	800 – 1600	1130 – 2260	15 – 30	200 – 800	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
Péssima	≥300	≥420	≥1600	≥2260	≥30	≥800	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: INEA, 2015.

Para a Região do Médio Paraíba, o monitoramento conta, atualmente, com um total de 19 (dezenove) estações, das quais 05 (cinco) são semiautomáticas e pertencem à CSN, enquanto do restante das 14 (catorze) estações automáticas, somente 03 (três) são administradas pela siderúrgica. Ressalta-se que as estações privadas têm por objetivo avaliar as contribuições das emissões de poluentes da indústria na qualidade do ar local, estando localizadas em áreas de influência direta e indireta da usina.

A Tabela 14 nomeia as estações da Região de estudo, classificando-as de acordo com o tipo, a responsabilidade e os parâmetros analisados por cada uma. Já a Tabela 15 relaciona o método de amostragem e a legislação pertinente ao método segundo o tipo de poluente e rede de monitoramento. A distribuição espacial das estações é apresentada nas Figuras 15 e 16.

Tabela 14: Estações de monitoramento da RMP.

Estação	Responsável	Tipo de Rede	Parâmetros Avaliados
VR – Aeroclube	CSN	Semiautomática	PTS; PM ₁₀
VR – Conforto	CSN	Semiautomática	PTS; PM ₁₀
VR – Limoeiro	CSN	Semiautomática	PTS; PM ₁₀
VR – Centro	CSN	Semiautomática	PTS; PM ₁₀
VR – Siderville	CSN	Semiautomática	PTS; PM ₁₀
VR – Belmonte	CSN	Automática	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, HC, BTX, PTS; PM ₁₀
VR – Retiro	CSN	Automática	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, HC, BTX, PTS; PM ₁₀
VR – Santa Cecília	CSN	Automática	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, HC, BTX, PTS; PM ₁₀
VR – Ilhas das Águas Cruas	INEA	Automática	Parâmetros Meteorológicos
PR – Porto Real	INEA	Automática	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, PM ₁₀
Qt – Bom Retiro	INEA	Automática	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, PM ₁₀
Itt – Campo Alegre	INEA	Automática	PTS; PM ₁₀
Rs – Cidade Alegria	INEA	Automática	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, PM ₁₀ , PTS;
Rs – Casa da Lua	INEA	Automática	PM ₁₀ , PTS
BM – SESI	INEA	Automática	PM ₁₀ , PTS
BM – Boa Sorte	INEA	Automática	PM ₁₀ , PTS
BM – Bocaininha	INEA	Automática	PM ₁₀ , PTS
BM – Roberto Silveira	INEA	Automática	PM ₁₀ , PTS
BM – Vista Alegre	INEA	Automática	PM ₁₀ , PTS

Fonte: INEA, 2015.

Tabela 15: Métodos de amostragem segundo o tipo de estação e poluente.

Tipo de Rede	Método de Amostragem	Legislação
Semiautomática	PTS: Amostrador de grandes volumes	MF – 606; NBR 9547
	PM ₁₀ : Amostrador de grandes volumes	NBR 13 412
	PM _{2,5} : Amostrador de grandes volumes	-
Automática	PTS e PM ₁₀ : Absorção de raios beta	EQPM – 0404 – 151
	SO ₂ : Fluorescência de pulso (ultravioleta)	EQSA – 0292 – 084
	NOX: Quimiluminescência	EPA IN CFR 40, PART 43
	CO: Infravermelho não dispersiva (GFC)	MF – 607.R – 3
	O ₃ : Fotometria de ultravioleta	EQOA – 0206 – 148
	HC: Ionização de chama	EPA IN CFR 40, PART 43

Fonte: INEA, 2015

Para o monitoramento de emissões atmosféricas de fontes pontuais da CSN é utilizado o método de medições isocinéticas, conforme determinado pela legislação, que consiste em medições realizadas nas chaminés, após os efluentes gasosos passarem por algum equipamento de controle de poluição. Dessa forma, é extraída uma amostra dos gases de exaustão mediante equipamento específico, que coleta em um filtro o material particulado em suspensão durante um tempo determinado e com vazão controlada. Após esta etapa, o filtro é pesado para mensurar o aumento de massa decorrente do material particulado aderida, com posterior cálculo da concentração média a partir do valor de vazão total da amostra.

A siderúrgica possui pelo menos 73 (setenta e três) chaminés, cuja descrição e localização são apresentadas na Tabela 16 e Figura 15.

Tabela 16: Descrição das chaminés na CSN-UVP.

N°	Chaminé	N°	Chaminé
1	Chaminé Regeneradores	38	LE#4 - Chaminé Exaustor de Névoa
2	Chaminé do Sistema de Despoeiramento da Sala de Corrida do Alto Forno#2	39	LEE#2 - Chaminé Alcalino e Decapagem
3	Stockhouse#2 - Chaminé de despoeiramento	40	LEE#4 - Chaminé Alcalino e Decapagem
4	Chaminé Regeneradores Alto Forno 3	41	LEE#4 - Chaminé Cadeia de Secagem
5	Chaminé do Sistema de Despoeiramento da Sala de Corrida do Alto Forno#3	42	LEE#4 - Chaminé Cromagem
6	Stockhouse#3 - Chaminé de despoeiramento	43	LEE#5 - Chaminé Alcalino e Decapagem
7	Sistema de injeção de carvão pulverizado 1	44	LEE#5 - Chaminé Cadeia de Secagem
8	Sistema de injeção de carvão pulverizado 2	45	LEE#6 - Chaminé Alcalino e Decapagem
9	Chaminé do despoeiramento do desenformamento da Bateria#1	46	LEE#6 - Chaminé Cadeia de Secagem
10	Torre de Resfriamento 1 (água suja, torre normal, manutenção adequada)	47	LER - Chaminé Sistema de Exaustão
11	Chaminé de exaustão dos fornos de combustão da Bateria#1 (teste na fonte - 5,98 Kg/h PM)	48	LLE#2 - Chaminé de Exaustão
12	Chaminé do despoeiramento do desenformamento da Bateria 4a (1/3 Chaminé do despoeiramento do desenformamento das Baterias #4A/B e 5)	49	LRC-1 Preheater Stack
13	Chaminé de combustão (1/2 Chaminé de exaustão dos fornos de combustão da Bateria#1)	50	LCR#1 - Chaminé Exaustão de Fumos
14	Chaminé do despoeiramento do desenformamento da Bateria 4b - 1/3 Chaminé do despoeiramento do desenformamento das Baterias #4A/B e 5	51	LCR#2 - Chaminé Exaustão de Fumos
15	Chaminé do despoeiramento do desenformamento da Bateria 5 - 1/3 Chaminé do despoeiramento do desenformamento das Baterias #4A/B e 5	52	LCR#3 - Chaminé Exaustão de Fumos
16	Chaminé de combustão (1/2 Chaminé de exaustão dos fornos de combustão da Bateria#5)	53	LCR#4 - Chaminé Exaustão de Fumos
17	UG 50Hz - Chaminé Caldeira 1 a 7	54	LTF-3 Sistema de Exaustão
18	UG 50Hz - Chaminé Caldeira 8 *	55	Chaminé de exaustão de fumaça
19	UG 50Hz - Chaminé Caldeira 9	56	Reaquecimento 1 até 8
20	CTE#02 - Chaminé Caldeira 1, 2 e 3	57	LZC - 1 - Chaminé do Pré-Heater
21	Chaminé de despoeiramento principal	58	LZC - 2 - Chaminé do Pré-Heater
22	Chaminé de despoeiramento secundário	59	LZC-2 - Chaminé do Tubo Radiante
23	Chaminé do calcinador #1 e 2	60	LZC-3 - Chaminé do Pré-Heater(PHS)
24	Chaminé do calcinador #3 e 4	61	LZC-3 - Chaminé do Tubo Radiante
25	Sistemas de despoeiramento 1, 2 e 3	62	LZC#1 - Chaminé Tubo Radiante
26	FRC-1 Chaminé de Exaustão	63	LZC#3 - Chaminé Limpeza de Tiras
27	FRC-2 Chaminé de Exaustão*	64	PE Primário *
28	FRC-4 Chaminé de Exaustão**	65	PE Secundário *
29	Chaminé do sistema de despoeiramento	66	PE Primário *
30	Chaminé de Despoeiramento 3	67	PE Secundário *
31	Chaminé de Despoeiramento 5	68	ADC 7 Chaminé Sist. Desp. Silo de Cal
32	Chaminé de Despoeiramento 6**	69	PE Primário
33	Chaminé de Despoeiramento 7**	70	PE Secundário
34	Chaminé de Despoeiramento 8**	71	Chaminé de Regeneração de Ácido 1 e 2
35	Corte de Bode - Chaminé EX-01**	72	Chaminé Regeneradores
36	Corte de Bode - Chaminé EX-02**	73	Chaminé do Sistema de Despoeiramento da Sala de Corrida do Alto Forno#2
37	LE#3 - Chaminé Exaustor de Névoa		

Fonte: CSN, 2009.

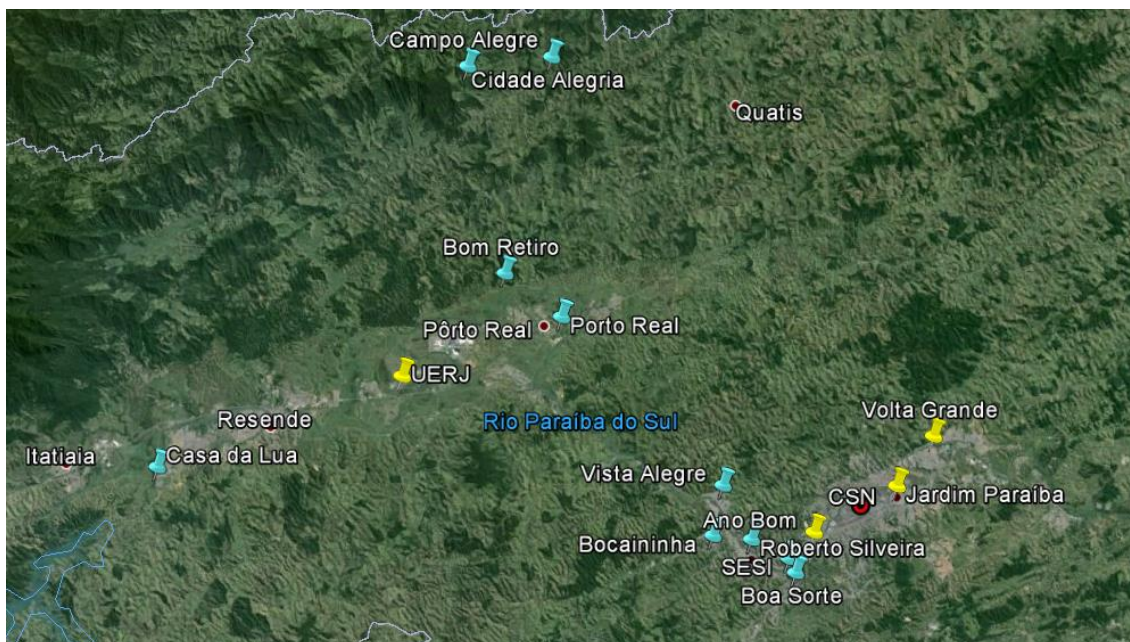


Figura 15: Estações automáticas (marcador azul) e semi-automáticas (marcador amarelo) da Região do Médio Paraíba. Fonte: INEA, 2015.

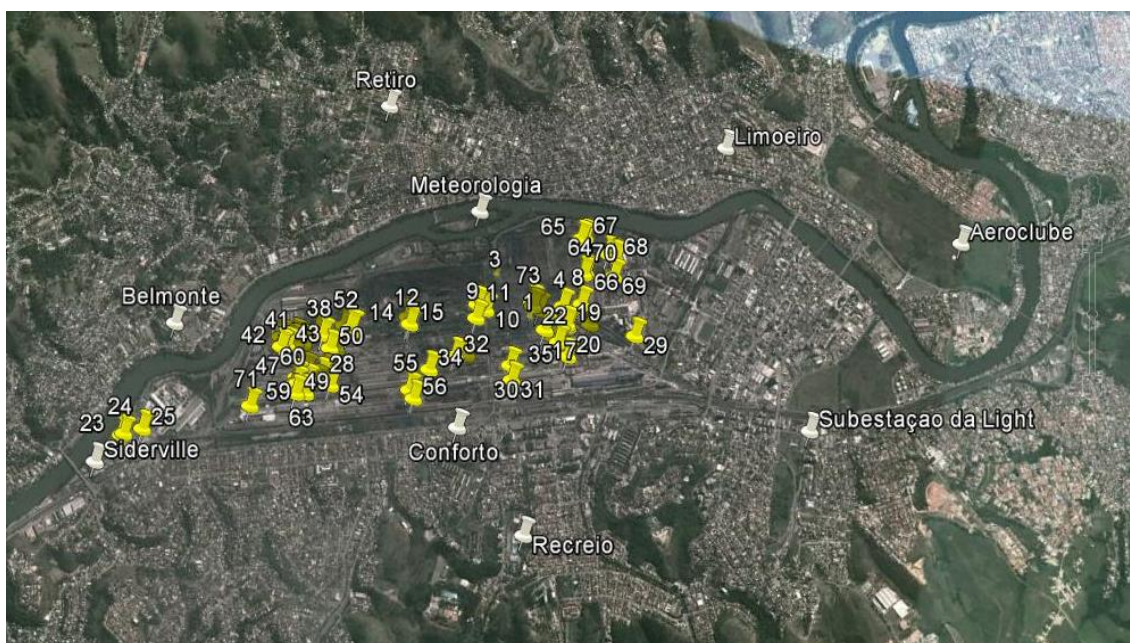


Figura 16: Localização das chaminés e estações da CSN. Fonte: CSN, 2009; Google Earth, 2016. (As estações **Meteorologia**, **Subestação da Light** e **Recreio** correspondem as estações **Ilha das Águas Cruas**, **Centro** e **Santa Cecília**, respectivamente).

8.4. Resultados dos Monitoramentos

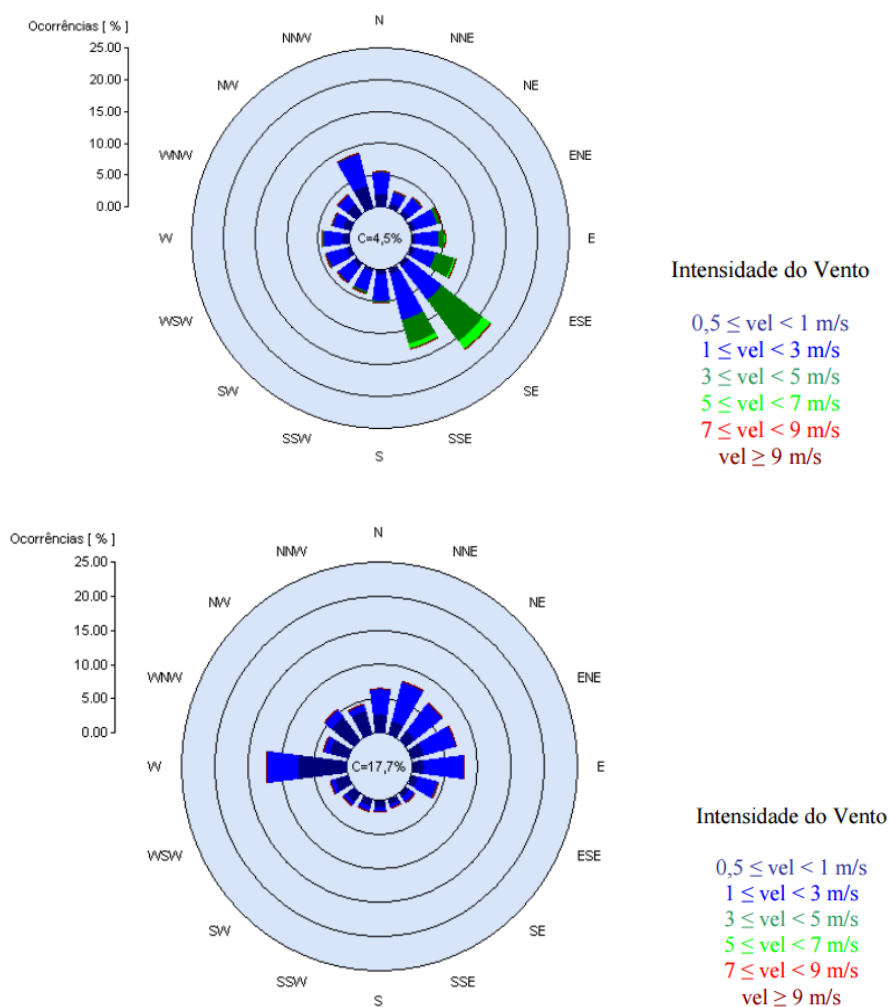
A fim de se entender a dinâmica de emissões oriundas da CSN, bem como avaliar se os valores obtidos estão em conformidade com os padrões determinados pelas normas legais vigentes supracitadas, foram analisados os dados obtidos a partir do monitoramento da qualidade do ar referente ao ano de 2009, em conjunto com o monitoramento meteorológico do local. À época, a Usina dispunha de 08 (oito) estações de monitoramento instaladas nos bairros de Belmonte, Retiro, Santa Cecília, Aeroclube, Siderville, Conforto, Centro (Subestação da Light) e Limoeiro. Os parâmetros avaliados foram Material Particulado (PTS e PI), Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e Ozônio (O₃). Foram também avaliados os resultados do monitoramento isocinético realizado nas chaminés durante o funcionamento normal da Usina no mesmo ano. Adicionalmente, para uma análise temporal da qualidade do ar, foram selecionados os dados divulgados pelo INEA nos Relatórios Anuais de Qualidade do Ar para o período entre 2009 e 2014.

8.4.1. Resultados do Monitoramento Meteorológico

Durante o ano 2009, as condições meteorológicas foram verificadas pelo INEA e tomaram como base os dados oriundos das estações automáticas Belmonte, Retiro, Santa Cecília e Ilha das Águas Cruas (estação meteorológica de Volta Redonda).

Para a temperatura, verificou-se que os meses mais quentes foram fevereiro e março, com médias acima de 24 °C, enquanto junho e julho obtiveram as menores médias, abaixo de 19°C, caracterizando-se como os meses mais frios. Em relação a umidade, houve ligeiras variações ao longo do ano, sendo registrados os maiores valores nos meses de abril, junho e novembro. As estações de monitoramento de Vila Santa Cecília e a meteorológica de Volta Redonda foram as que registraram maiores valores de umidade durante todo o ano. Para a precipitação acumulada mensal na estação meteorológica de Volta Redonda, os maiores valores acumulados foram registrados nos meses de fevereiro, abril e novembro, enquanto que os valores mais baixos (meses secos) ficaram concentrados nos meses de maio, junho e julho, com valores próximos a zero (INEA, 2009).

Por fim, a direção do vento em cada estação é apresentada segundo as rosas dos ventos, na Figura 17. Ainda que haja uma grande variabilidade das direções em todas as estações analisadas, é possível observar uma clara predominância de ventos fracos a moderados. Para a Estação Belmonte, verificou-se que a direção predominante foi a de sudeste e de sul-sudeste, com índice de calmaria de 4,5% dos registros avaliados. Na Estação Retiro, é possível destacar a direção de oeste como a predominante. No caso da Estação Vila Santa Cecília, verifica-se uma clara predominância dos ventos no quadrante de sudeste, com índice de calmaria de 10,7% dos ventos observados. Já na estação meteorológica de Volta Redonda, nota-se que as direções predominantes foram as de leste, variando de nordeste a sudeste (INEA, 2009).



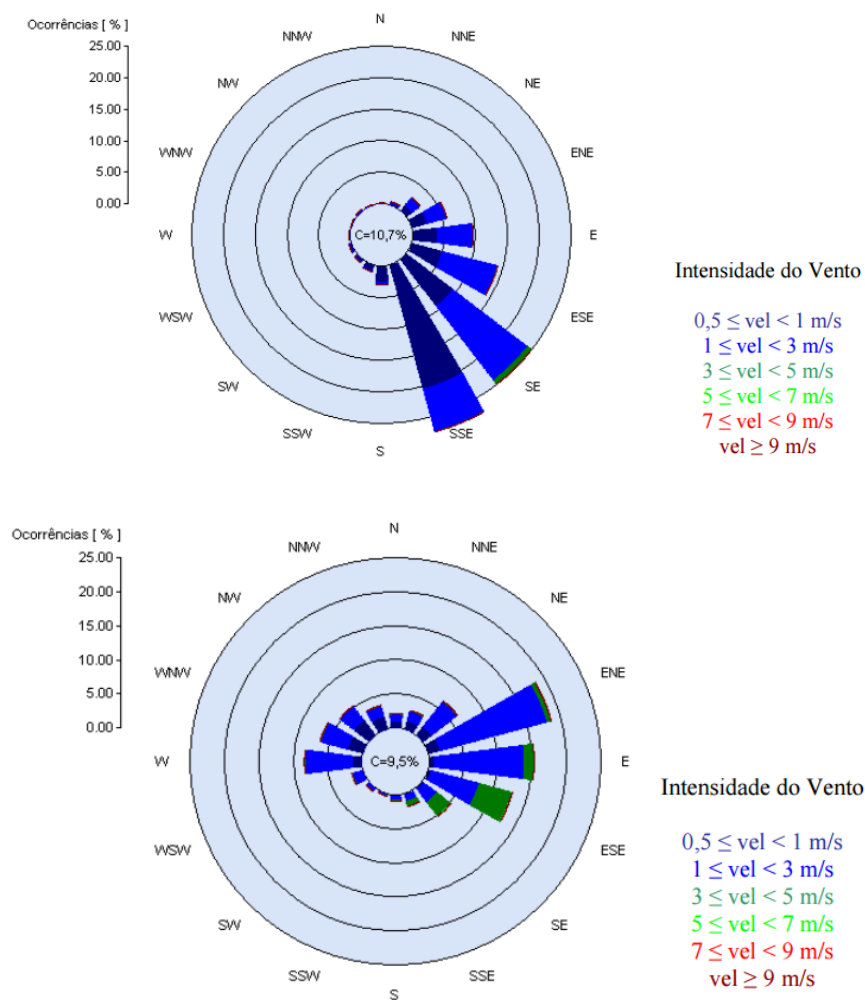


Figura 17: Rosas dos ventos para as estações Belmonte, Retiro, Santa Cecília e Ilha das Águas Cruas.
 Fonte: INEA, 2009.

8.4.2. Resultados das Estações de Monitoramento

Referente ao monitoramento da qualidade do ar nas áreas de influência da CSN, são ilustrados a seguir nos Gráficos 3 a 8, para cada um dos poluentes, os resultados das medições aferidas nas estações correspondentes durante o ano de 2009, relacionando-os com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA n° 03/90.

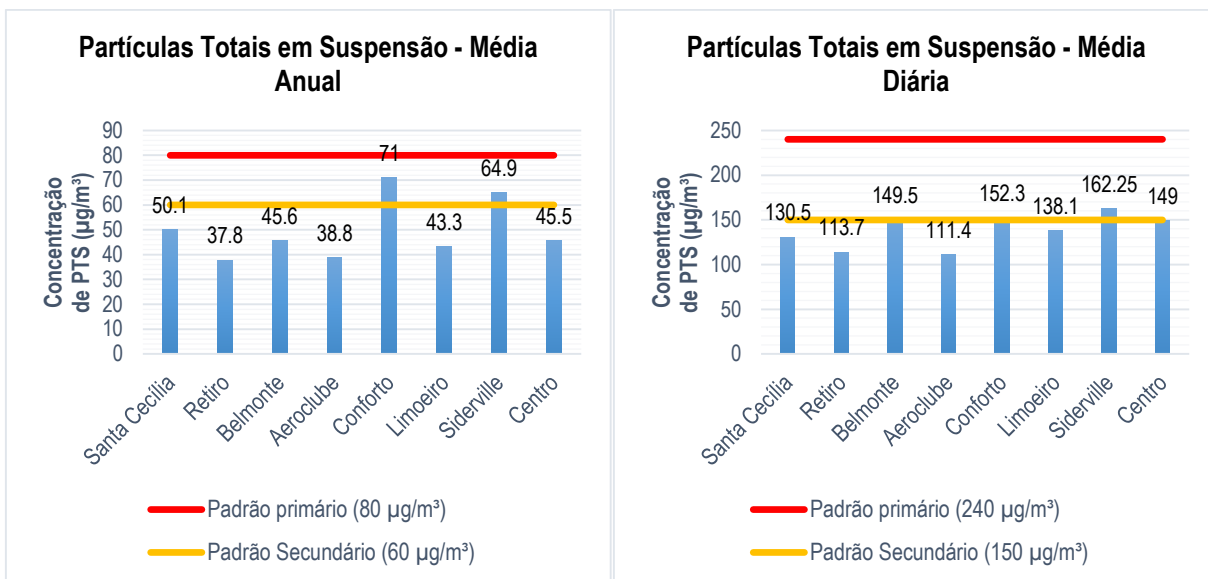


Gráfico 3: Médias Anual e Diária (24h) – Partículas Totais em Suspensão. Fonte: CSN, 2009.

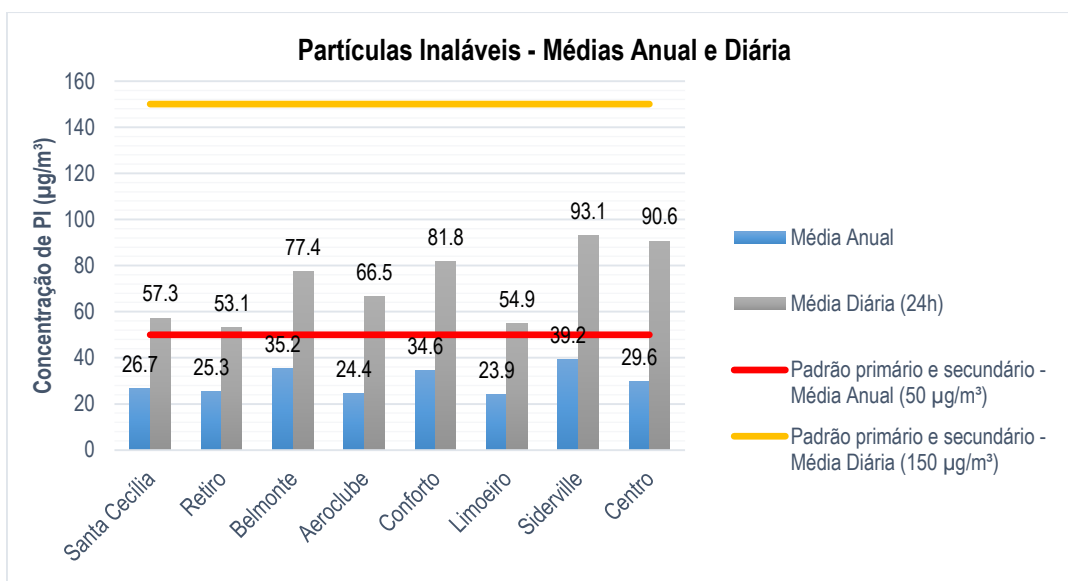


Gráfico 4: Médias Anual e Diária (24h) – Partículas Inaláveis. Fonte: CSN, 2009.

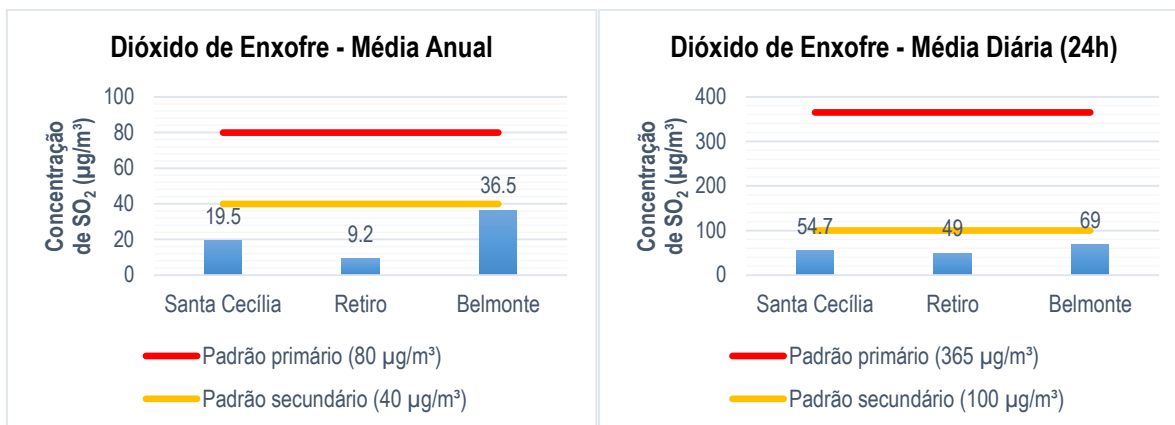


Gráfico 5: Médias Anuais e Diárias (24h) – Dióxido de Enxofre. Fonte: CSN, 2009.

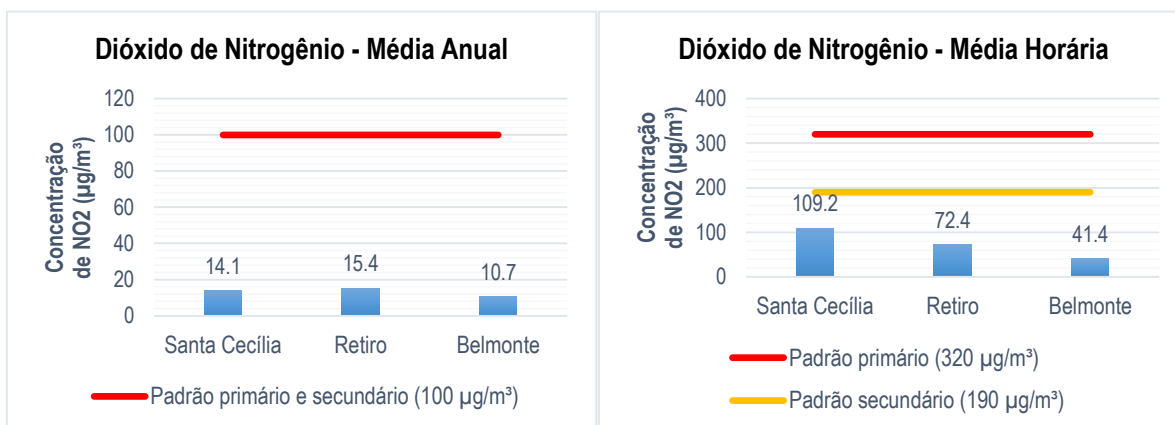


Gráfico 6: Médias Anuais e Diárias (24h) – Dióxido de Nitrogênio. Fonte: CSN, 2009.

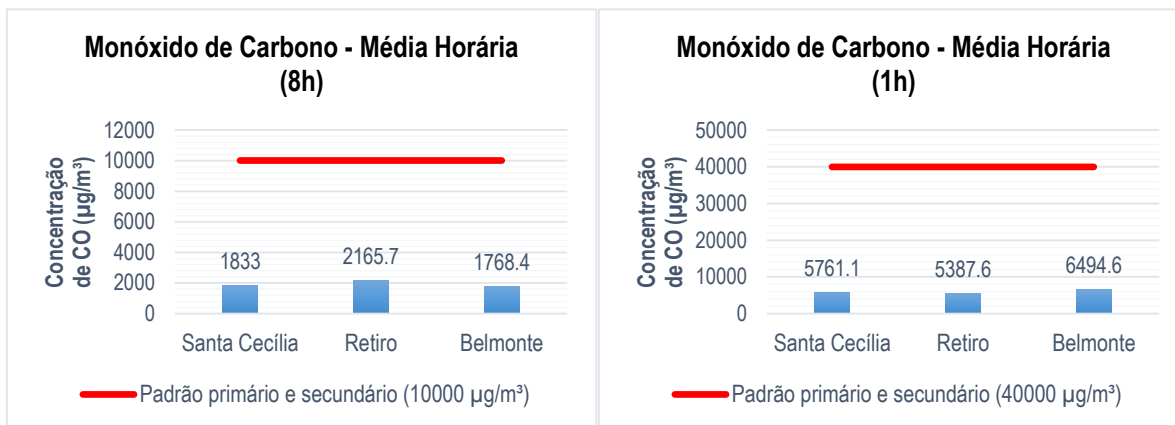


Gráfico 7: Médias Horárias (8 horas e 1 horas, respectivamente) – Monóxido de Carbono. Fonte: CSN, 2009.

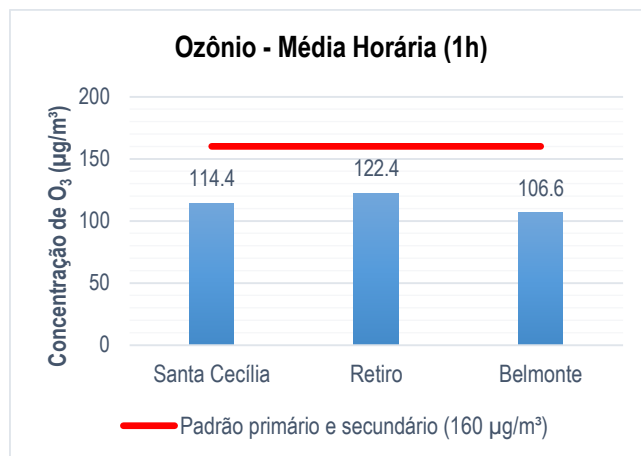


Gráfico 8: Média Horária (1 hora) – Ozônio. Fonte: CSN, 2009.

No geral, os resultados apresentados foram satisfatórios, estando apenas um único parâmetro com concentrações superiores aos padrões determinados pela CONAMA 03/90.

Os valores das médias anuais de Partículas Totais em Suspensão permaneceram abaixo do padrão primário (80 µg/m³), contudo, para as estações Conforto e Siderville, os resultados equivalentes a 71 µg/m³ e 64,9 µg/m³ ultrapassaram o padrão secundário de 60 µg/m³. Para as médias diárias de PTS, foi observado o mesmo comportamento que as médias anuais, sendo verificadas concentrações superiores ao limite secundário de 150 µg/m³ nas estações Conforto (152,3 µg/m³) e Siderville (162,25 µg/m³). Para o restante dos parâmetros avaliados (PI, SO₂, NO₂, CO e O₃) as medições das concentrações não foram superiores aos limites estipulados.

8.4.3. Resultados do Monitoramento Isocinético

As concentrações médias resultantes do monitoramento isocinético das fontes fixas da siderúrgica realizado em 2009 e o comparativo com a Resolução CONAMA nº 382/06 são mostrados na Tabela 17.

Em relação aos resultados observados nas 34 (trinta e quatro) chaminés monitoradas naquele ano, 05 (cinco) delas apresentaram concentrações de Material Particulado acima dos limites determinados pela lei:

- CBT4 - Chaminé da tiragem natural dos gases de combustão da bateria de fornos de coque #4 A/B: 53,2 mg/m³;
- CS4F - Chaminé do sistema de precipitação eletrostática na limpeza dos gases de exaustão do final da máquina de sinter #4: 74,4 mg/m³;
- CADL - Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do Lanternin da Aciaria: 40,2 mg/m³
- CAC7 - Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento das Estações de Gusa da Aciaria, Sistema #7: 47,6 mg/m³; e
- CAC8 - Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do cambamento do distribuidor da MCC#4 na aciaria, sistema #8: 127 mg/m³.

Visto que a medição é realizada na saída da chaminé, as interferências externas podem ser desconsideradas, indicando que os resultados das emissões provêm unicamente da rota produtiva.

Tal fato indica a necessidade de adoção de medidas mais severas no que tange o controle de emissões de poluentes. Ainda que para 03 (três) das chaminés as concentrações resultantes não tenham ultrapassado nem 10% do limite, os valores são suficientes para gerar danos prejudiciais nos arredores da área da Usina, em especial a população residente e trabalhadora local.

Tabela 17: Resultado do monitoramento das fontes pontuais da CSN-UVP.

	Unidade	TAG-SIA	Fontes de Emissão Pontual	MP (mg/Nm ³)	Limite ¹
Coqueria	Câmara de combustão dos fornos de coque	CBT1	Chaminé da tiragem natural dos gases de combustão da bateria de fornos de coque #1	46,1	50
		CBT4	Chaminé da tiragem natural dos gases de combustão da bateria de fornos de coque #4 A/B	52,3	50
		CBT5	Chaminé da tiragem natural dos gases de combustão da bateria de fornos de coque #5	17,95	50
	Sistema de Despoeiramento do Desenformamento	CDB1	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do desenformamento da bateria de fornos de coque #1	18,5	40
		CDB4	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do desenformamento das baterias de fornos de coque #4 A/B e #5	16,6	40
	Sinterização	Sistema Primário de Despoeiramento	CS2P	Chaminé do sistema de precipitação eletrostática na limpeza dos gases de exaustão principal da máquina de sinter #2	61,1
CS3P			Chaminé do sistema de precipitação eletrostática na limpeza dos gases de exaustão principal da máquina de sinter #3	53,8	70
CS4P			Chaminé do sistema de precipitação eletrostática na limpeza dos gases de exaustão principal da máquina de sinter #4	65,5	70
Sistema Secundário de Despoeiramento		CS2F	Chaminé do sistema de precipitação eletrostática na limpeza dos gases de exaustão do final da máquina de sinter #2	57,4	70
		CS3F	Chaminé do sistema de precipitação eletrostática na limpeza dos gases de exaustão do final da máquina de sinter #3	62,9	70
		CS4F	Chaminé do sistema de precipitação eletrostática na limpeza dos gases de exaustão do final da máquina de sinter #4	74,4	70
Alto-Forno	Sistema de Despoeiramento da Casa ou Ala de Corridas	CAF2	Chaminé do filtro de manga do sistema de despoeiramento da ala de corrida do Alto Forno #2	12,4	-
		CAF3	Chaminé do filtro de manga do sistema de despoeiramento da ala de corrida Alto Forno #3	18,9	50
	Sistema de Despoeiramento da Casa de Estocagem	CHF2	Chaminé do filtro de mangas do despoeiramento do Stock House do Alto Forno #2	12,4	40
		CHF3	Chaminé do filtro de mangas do despoeiramento do Stock House do Alto Forno #3	12,8	40
Aciaria LD	Sistema Secundário de Despoeiramento	CAC6	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do Forno Painela da Aciaria, Sistema #6	14,5	40
		CAC7	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento das Estações de Gusa da Aciaria, Sistema #7	47,6	40
		CADL	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do Lanternin da Aciaria	40,2	40
		CKPT	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento das estações de acabamento e limpeza de carros torpedos, KISH-PIT	29,6	40
		CAC8	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do cambamento do distribuidor da MCC#4 na aciaria, sistema #8	127	40
		CBOD1	Duto de Exaustão do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do Corte de Bodies da Aciaria - Duto 1	39,1	40
		CBOD1	Duto de Exaustão do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do Corte de Bodies da Aciaria - Duto 2	1,5	40
	Sistema de Despoeiramento da Dessulfuração de Gusa	CEDG-1	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento principal das estações de dessulfuração de gusa A, B, C e D (Chaminé 1)	30	40
		CEDG-2	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento auxiliar das estações de dessulfuração de gusa A, B, C e D (Chaminé 2)	26,3	40

(1) Limites de emissão – Resolução CONAMA n° 382/2006, Anexo XI.

Fonte: CSN, 2009.

Tabela 17: Resultado do monitoramento das fontes pontuais da CSN-UVP (continuação).

	Unidade	TAG-SIA	Fontes de Emissão Pontual	MP (mg/Nm ³)	Limite ¹
Fábrica de Cal	Sistema de Despoeiramento dos Fornos de Cal	FornoCal1	Chaminé do sistema de lavagem dos gases do forno de calcinação, forno #1	38,6	80
		FornoCal2	Chaminé do sistema de lavagem dos gases do forno de calcinação, forno #2	44,3	80
		FornoCal3	Chaminé do sistema de lavagem dos gases do forno de calcinação, forno #3	47,1	80
		FornoCal4	Chaminé do sistema de lavagem dos gases do forno de calcinação, forno #4	47,2	80
	Processo não listado na Resolução CONAMA nº 382/06	Desp.Cal1	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do descarregamento de cal dos fornos na calcinação, sistema #1	58,4	80
		Desp.Cal2	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do carregamento de cal nos silos lado leste na calcinação, sistema #2	63,5	80
		Desp.Cal3	Chaminé do filtro de mangas do sistema de despoeiramento do carregamento de cal nos silos lado oeste na calcinação, sistema #3	56,1	80
Central Termelétrica	Caldeira com queima de gases siderúrgicos	CC81	Chaminé do sistema de exaustão dos gases queimados para geração de energia e vapor na caldeira # 81, na central termelétrica #2	21,6	50
		CC82	Chaminé do sistema de exaustão dos gases queimados para geração de energia e vapor na caldeira # 82, na central termelétrica # 2	22,7	50
		CC83	Chaminé do sistema de exaustão dos gases queimados para geração de energia e vapor na caldeira # 83, na central termelétrica # 2	24,7	50

(1) Limites de emissão – Resolução CONAMA nº 382/2006, Anexo XI.

Fonte: CSN, 2009.

8.4.4. Índice de Qualidade do Ar na Região

A evolução do IQAr calculado para a região, em 2009, é apresentada no Gráfico 9 a seguir. Os resultados indicam que, em todo período monitorado, os níveis de concentração obtidos situaram-se em faixas de índice que atendem ao padrão de qualidade do ar estabelecidos na legislação, caracterizando a região com boa qualidade do ar durante o período avaliado.

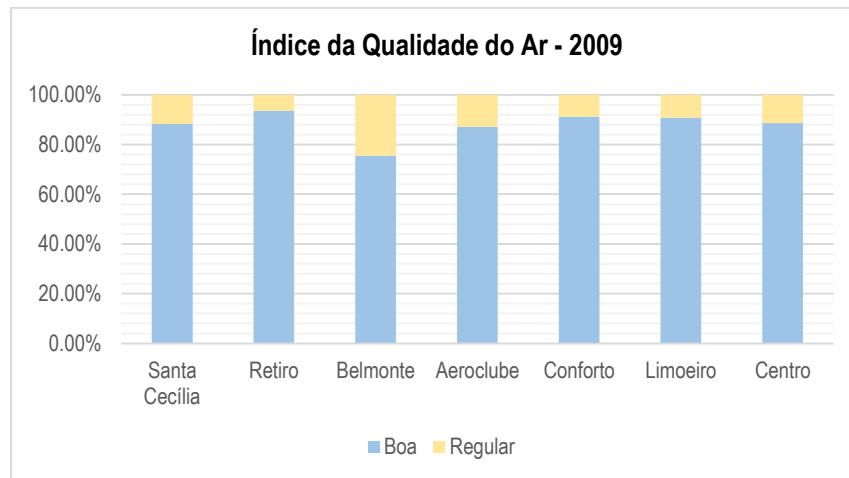


Gráfico 9: Evolução do Índice de Qualidade do Ar na área de interesse. Fonte: INEA, 2009.

8.4.5. Evolução das Concentrações de Poluentes

A partir dos dados disponíveis pelo INEA, foi possível avaliar a evolução das concentrações de poluentes de interesse entre os anos de 2009 a 2014, conforme ilustrados nos Gráficos 10 a 15 adiante. Verifica-se que, ao longo do período avaliado, poucos foram os casos em que as valores médios (anuais, diários e horários) estiveram acima dos padrões de qualidade do ar para os parâmetros de interesse avaliados. Vale ressaltar que o último ano de análise foi um dos piores anos em termos de poluição atmosférica, haja vista o significativo avanço das concentrações de PI, NO₂ e O₃ em relação aos anos anteriores.

Especificamente para o parâmetro PTS, as concentrações registradas se apresentaram relativamente estáveis, demonstrando uma leve tendência de acréscimo nos últimos anos, em algumas estações. Para as médias anuais em 2014, a tendência observada em 2009 se mantém, na qual as estações de Conforto e Siderville apresentam concentrações acima dos padrões secundários e, especificamente para Conforto, a média ultrapassa também o padrão primário. Em relação às médias diárias, todas as estações ultrapassaram o padrão secundário de 150 µg/m³, com exceção da estação Limoeiro. Em comparação ao ano de 2009, deduz-se que há um incremento nas concentrações da região.

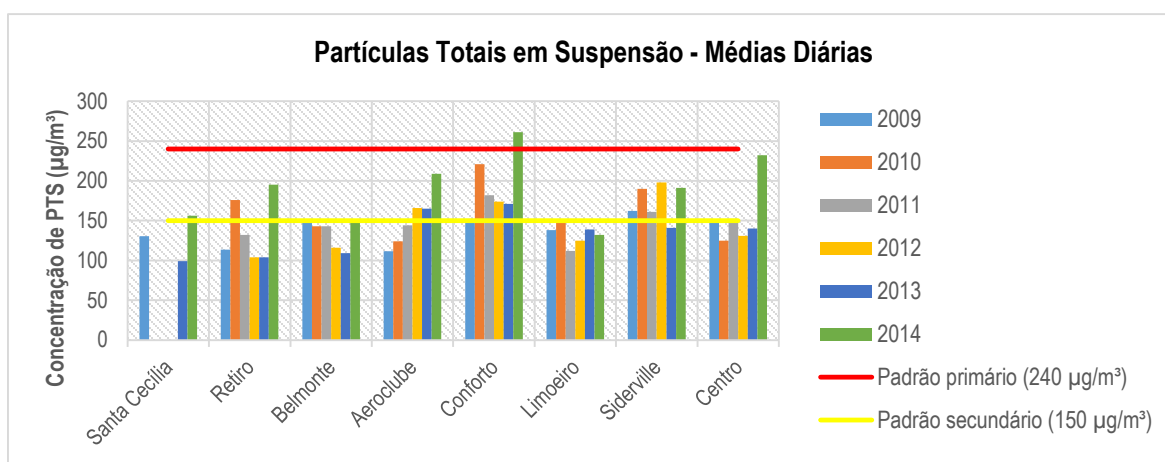
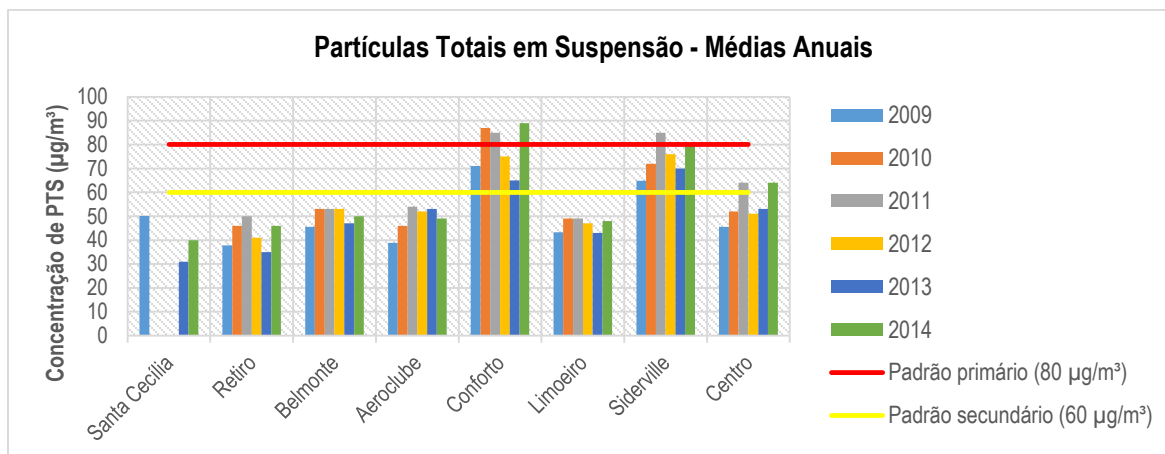
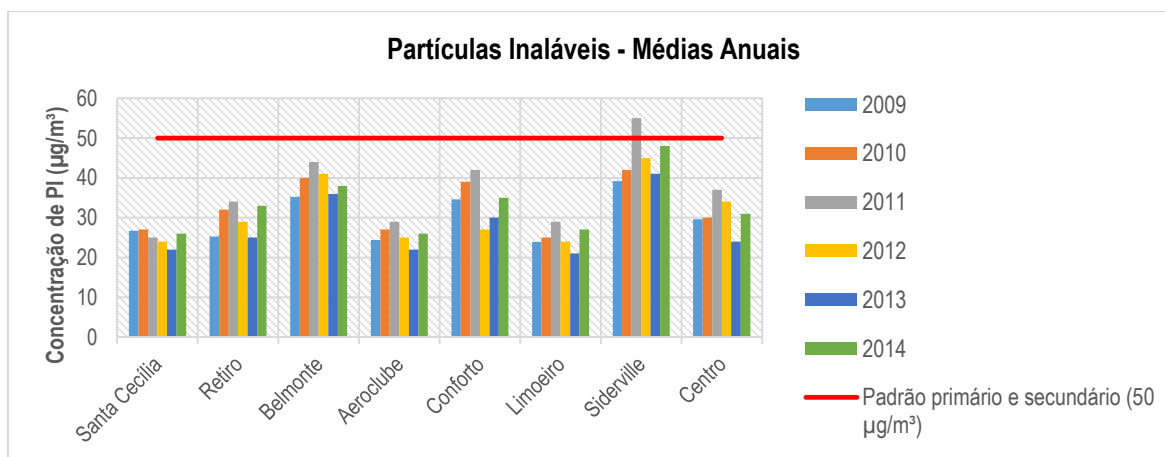


Gráfico 10: Evolução da concentração de PTS (médias anual e diária) de 2009 a 2014, por estação.
Fonte: INEA, 2016.



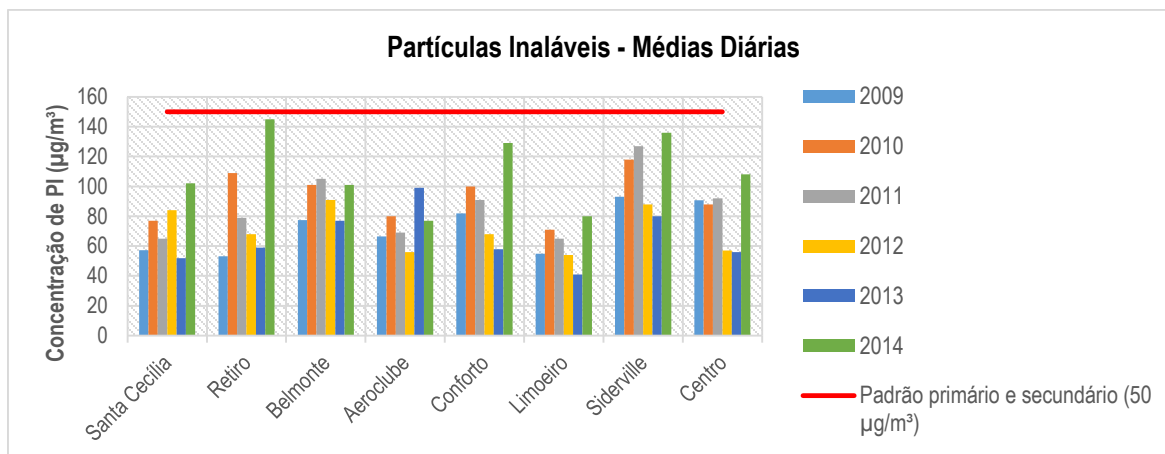


Gráfico 11: Evolução da concentração de PI (médias anual e diária) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.

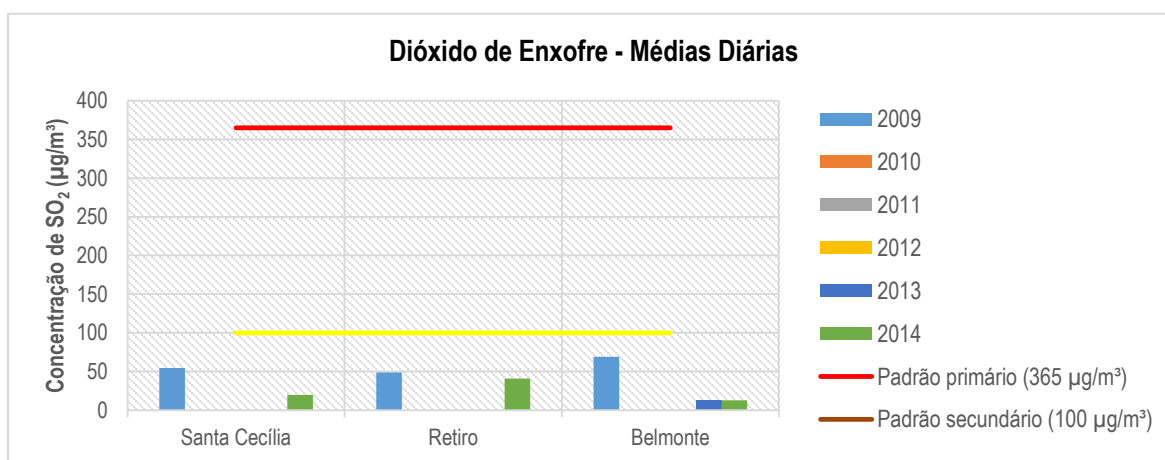
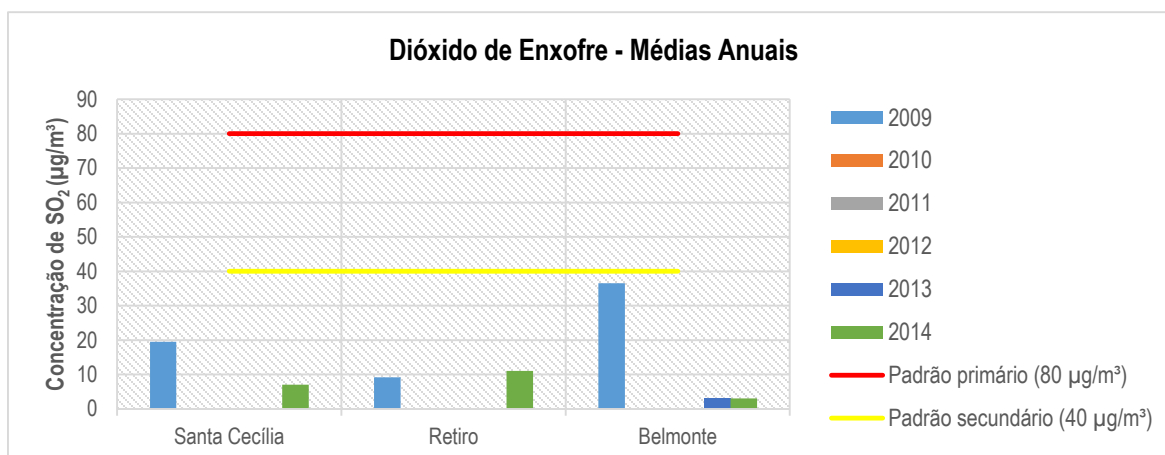


Gráfico 12: Evolução da concentração de SO₂ (médias anual e diária) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.

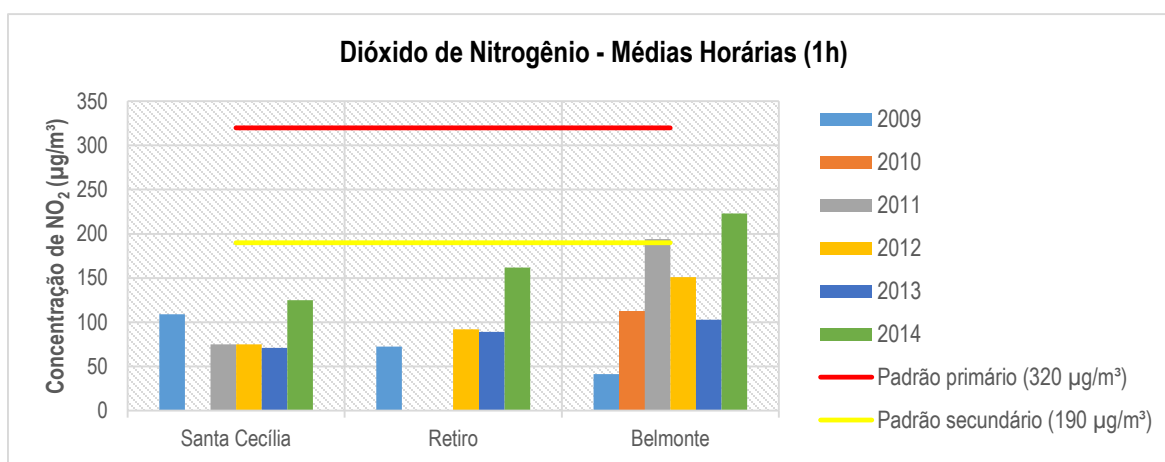
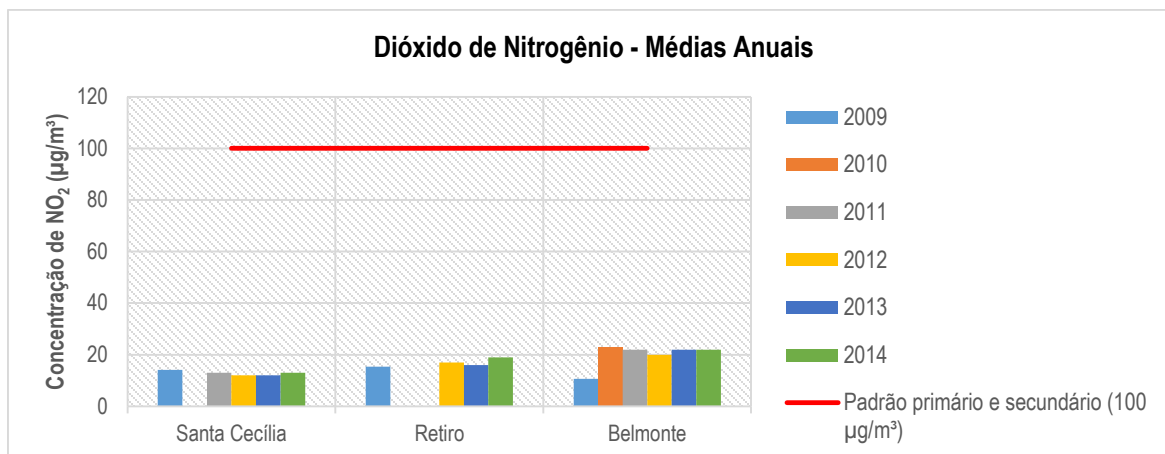
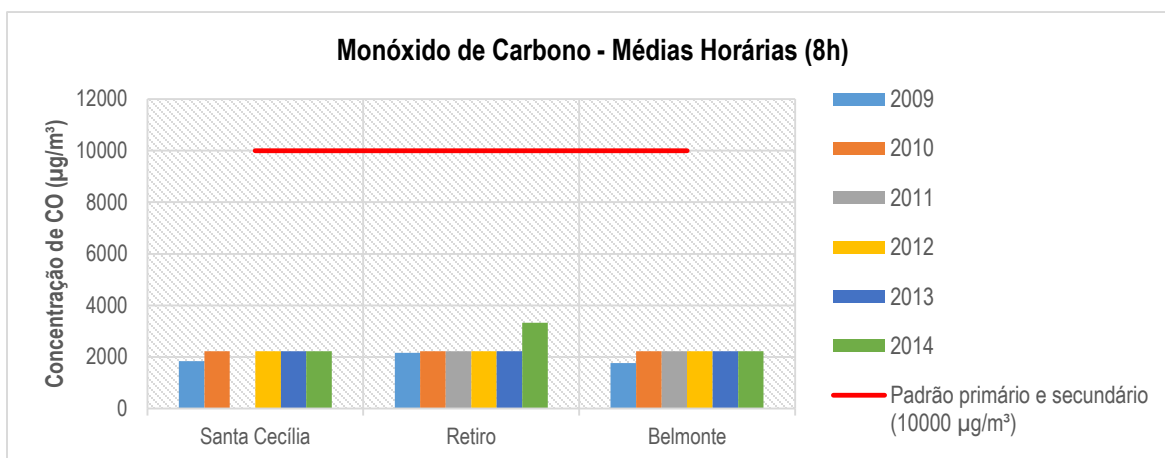


Gráfico 13: Evolução da concentração de SO₂ (médias anual e horária) de 2009 a 2014, por estação.
Fonte: INEA, 2016.



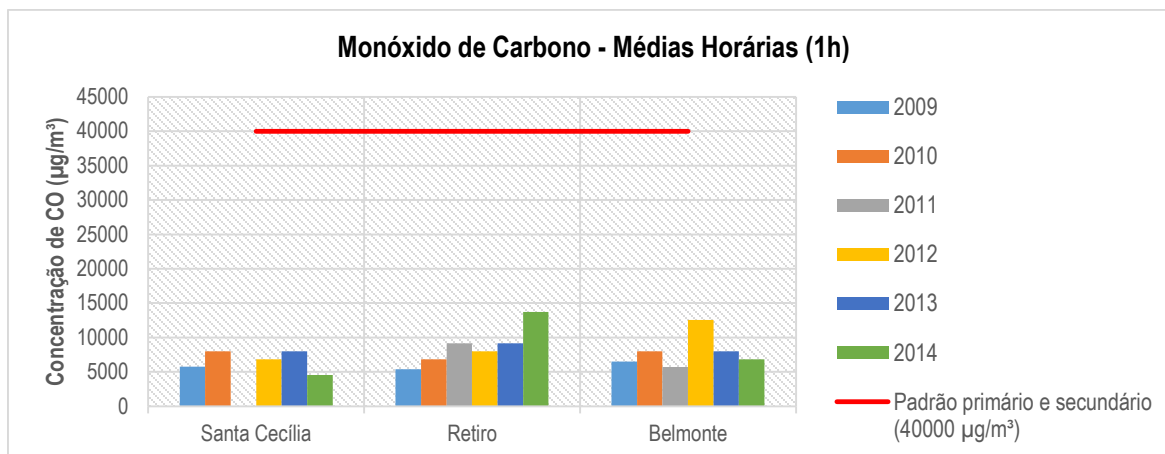


Gráfico 14: Evolução da concentração de CO (médias de 8h e 1h) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.

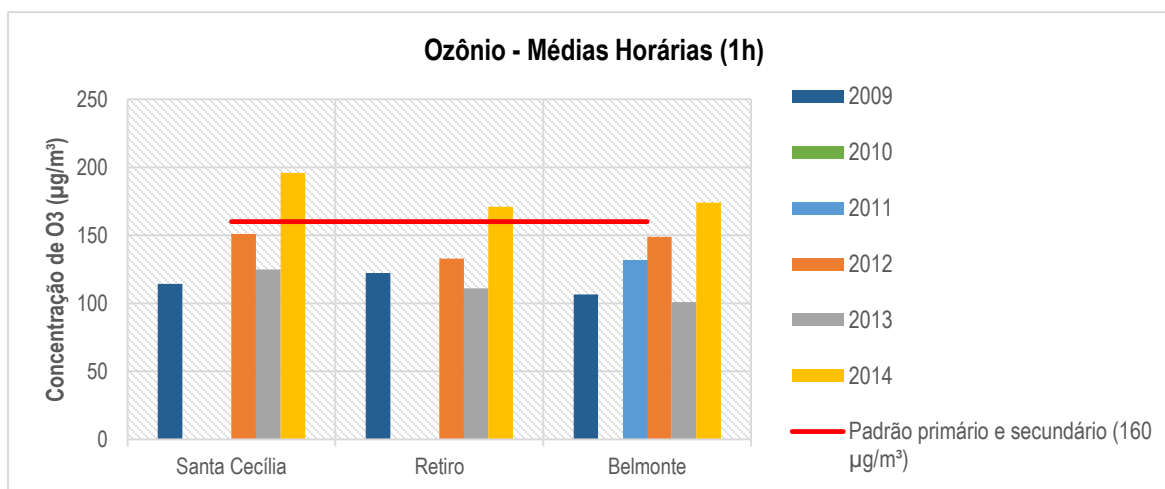


Gráfico 15: Evolução da concentração de O₃ (médias horárias) de 2009 a 2014, por estação. Fonte: INEA, 2016.

9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para que seja possível inferir qualquer análise acerca das emissões de efluentes gasosos da CSN, é necessário atentar para uma série de fatores, dado que a concentração de poluentes no ar não depende unicamente dos mecanismos de produção (fonte), mas também depende de como é dada sua dispersão e remoção. Normalmente, a própria atmosfera é capaz de dispersar os poluentes, misturando-os eficientemente a um grande volume de ar, o que contribui para que a poluição fique em níveis aceitáveis, diluindo a concentração dos poluentes. No entanto, a capacidade de dispersão da atmosfera varia com a topografia e as condições meteorológicas locais (INEA, 2009).

Os dados meteorológicos observados em 2009 indicaram uma predominância de ventos fracos a moderados que, aliada à precipitação mensal observada – que chega a ser quase nula no inverno –, dificultam a dispersão de poluentes, principalmente durante as estações mais secas. Observa-se ainda que as direções dos ventos igualmente desfavorecem a dispersão ao promoverem uma circulação parcialmente horária na região, conforme mostra a Figura 17:

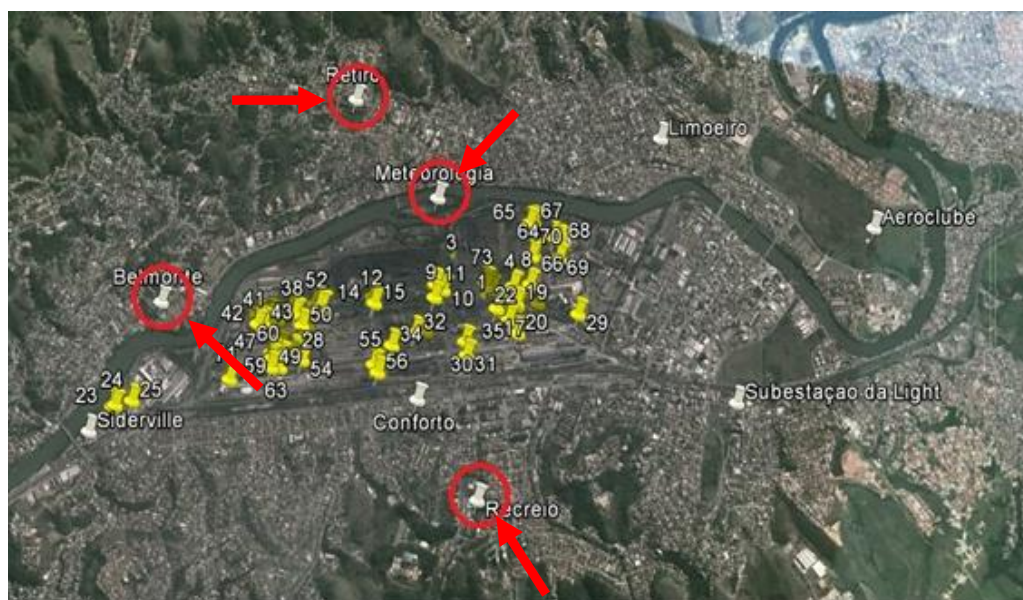


Figura 18: Direções preferenciais do vento para as quatro estações monitoradas em 2009. Fonte: INEA, 2009.

(As estações **Meteorologia**, **Subestação da Light** e **Recreio** correspondem as estações **Ilha das Águas Cruas**, **Centro** e **Santa Cecília**, respectivamente).

Os resultados do monitoramento da qualidade do ar das estações automáticas e semi-automáticas no entorno da CSN apontaram concentrações superiores aos padrões de qualidade do ar e secundários somente para o parâmetro PTS, nas estações de Conforto e Siderville, tanto para as médias diárias ($152,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $162,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente) quanto anuais ($71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $64,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente).

Sabe-se que tais estações estão localizadas em áreas de intenso tráfego de veículos, devido a proximidade com áreas urbanas, bem como com estradas de grande movimentação como a Rodovia Presidente Dutra, principal eixo de ligação entre as metrópoles Rio de Janeiro e São Paulo. Ainda, a frota veicular do município aumentou consideravelmente, como mostra o Gráfico 16.

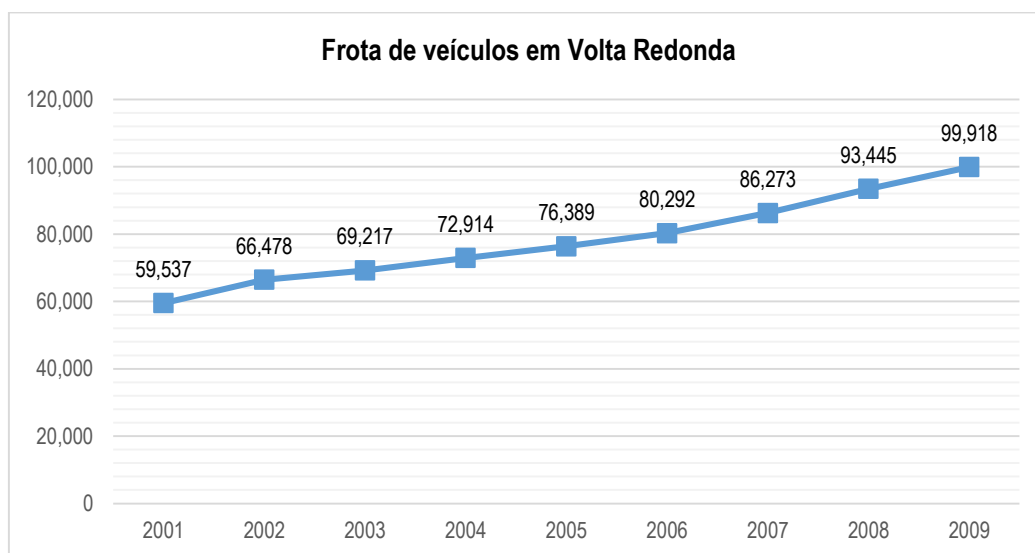


Gráfico 16: Evolução da frota veicular em Volta Redonda. Fonte: INEA, 2014.

Ainda que as estações de monitoramento da CSN tenham como objetivo avaliar a contribuição das emissões atmosféricas originárias da siderúrgica na qualidade do ar da área de interesse, as condições climatológicas constatadas, aliadas ao intenso fluxo veicular na região, inferem que os resultados das medições observados não são produto exclusivo das emissões de poluentes da Usina.

Por outro lado, o monitoramento isocinético realizado indicou que 05 (cinco) chaminés apresentaram médias de MP superiores aos valores deliberados pela Resolução CONAMA nº 382/2006. Haja vista que os valores do monitoramento da qualidade do ar se encontram majoritariamente abaixo dos padrões determinados, infere-se que a Companhia faz uso dos mecanismos de dispersão naturais, projetando suas chaminés para o melhor aproveitamento dos movimentos atmosféricos para a dissipação de poluentes. Dessa forma, é possível concluir que a população não sofreu maiores danos devido as ultrapassagens verificadas tanto nas estações de monitoramento quanto nas chaminés.

Tal conclusão é corroborada pelo Índice de Qualidade do Ar calculado para a região. No período de avaliação, todas as estações apresentaram mais de 75% dos resultados classificados como “boa”, sendo esta a melhor classificação dada pelo índice.

Sobre o monitoramento das fontes fixas da Usina, os resultados confirmaram a exigência de verificação das condições dos equipamentos de controle atuais. Do total de resultados que violam os limites, 03 (três) não ultrapassam 10% desse valor, o que sugere uma possível perda de eficiência por parte dos equipamentos adotados, podendo estar associado ao tempo e intensidade de uso indicando, assim, a necessidade de limpeza e manutenção dos mesmos, ou mesmo a troca por um modelo mais eficiente.

O resultado observado para a Chaminé 33 (CAC7), especificamente, equivale a 127 mg/m³, mais que o triplo do limite de emissão. Sabe-se que esta chaminé pertence a um filtro de mangas na etapa de aciaria e um resultado tão superior ao desejado pode indicar duas questões: ou o equipamento encontra-se em péssimo estado, necessitando de manutenção e/ou troca por um novo modelo, ou o mesmo não é capaz de conter sozinho as emissões geradas nesta etapa específica, sendo necessária a adoção da uma medida de controle adicional. Haja vista o tipo de poluente e a etapa em questão, são passíveis tanto para substituição quanto para adoção, Lavadores, Precipitadores Eletrostáticos e Filtros de Manga, cujas características foram descritas nos itens 6.3. 6.4 e 6.5, respectivamente, deste trabalho.

Vale ressaltar que, das 73 (setenta e três) chaminés conhecidas e nomeadas, apenas 34 (trinta e quatro) foram monitoradas no período avaliado. A falta de dados mais complexos sobre

o monitoramento por parte da Companhia pode levar a uma falha na análise final. Adicionalmente, como não há dados mais precisos sobre os mecanismos de controle adotados pela siderúrgica, nem do espaço físico disponível para a implantação de um ou mais equipamentos, não é possível determinar com exatidão a melhor forma para lidar com o problema descrito, cabendo aqui somente sugestões pautadas na teoria disponibilizada.

Por fim, os resultados constatados da evolução das emissões atmosféricas nas áreas de influência da CSN indicam que a concentração de poluentes teve um significativo acréscimo para os parâmetros PI, NO₂ e O₃. O incremento das concentrações está possivelmente relacionado ao desenvolvimento experimentado pela região nos últimos anos, com destaque para a instalação de uma nova planta de aços longos da CSN, ao final de 2013, configurando-se como nova fonte poluidora e indiretamente promovendo o aumento da população local e da emissão de fontes fixas, pelo aumento de fluxo veicular.

Verificou-se também que, no último ano de análise (2014) as concentrações médias de PTS seguem a mesma tendência que em 2009, estando as estações Conforto e Siderville acima dos padrões de qualidade do ar, o que ratifica a necessidade de serem adotadas medidas mitigadoras para as microrregiões específicas onde as estações estão inseridas.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho propôs uma análise das emissões de poluentes em uma indústria siderúrgica do ponto de vista das técnicas de controle e monitoramento. Para tanto, uma extensa revisão bibliográfica foi disponibilizada e uma indústria siderúrgica de grande porte, localizada no município de Volta Redonda (RJ) – a Companhia Siderúrgica Nacional – foi escolhida como estudo de caso.

Os resultados dos monitoramentos das estações automáticas e semi-automáticas realizados pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) na Região do Médio Paraíba, local onde está inserida a cidade de Volta Redonda, para os parâmetros de interesse, não indicaram problemas quanto à violação dos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/1990, com exceção de duas estações (Conforto e Siderville) nas quais o parâmetro Partículas Totais em Suspensão apresentou concentrações acima dos padrões secundários, para ambas as médias anual e diária.

No entanto, demonstrou-se que as condições meteorológicas locais, importantes para o mecanismo de dispersão de poluentes, em conjunto com a grande emissão de fontes móveis da localidade, interferem nos resultados notados pelas estações. Além disso, nos anos recentes a região vem apresentando crescimento de diversos setores, como a construção civil, montadoras de veículos, usinas termelétricas, além do aumento da quantidade de vias não pavimentadas, podendo estas serem caracterizadas como potenciais fontes na contribuição do aumento da concentração de poluentes particulados. Dessa forma, ainda que as estações privadas da siderúrgica estejam fundamentalmente localizadas nas áreas de influência direta e indireta da CSN, visando o monitoramento da contribuição desta fonte na deteriorização da qualidade do ar, não é possível afirmar que os resultados das medições detectadas estejam unicamente associados aos efluentes gasosos da Companhia.

Referente ao monitoramento do Material Particulado, realizado pela própria siderúrgica em suas fontes fixas, foram verificadas concentrações acima dos limites máximos de emissão determinados por lei. Concomitantemente, a maior parte dos resultados do monitoramento da qualidade do ar se mostrou abaixo dos padrões desejáveis e, associado ao Índice de Qualidade

do Ar local - cuja classificação resultante de maioria “boa” para as estações analisadas -, é possível deduzir que a siderúrgica faz uso dos mecanismos naturais de dispersão de poluentes promovido pela atmosfera, de forma que a população local não foi prejudicada pelas altas concentrações de MP. No entanto, há que

Contudo, ainda que por lei as indústrias de grande porte sejam obrigadas a executar o monitoramento de suas fontes pontuais, os dados acerca dos métodos e resultados não são de fácil acesso à população em geral, além de serem escassos, dado que menos da metade das chaminés identificadas foram monitoradas. A carência de maiores informações disponíveis não permite conclusões mais assertivas sobre a efetividade dos mecanismos de controle adotados na indústria de escolha.

A evolução ilustrada da poluição atmosférica na região entre os anos de 2009 e 2014 indicou que houve um acréscimo de poluentes, em especial em duas localidades, cujos resultados das estações ultrapassaram pelo menos o padrão secundário de qualidade do ar. Espera-se, dessa forma, que ações corretivas para o controle de poluentes sejam adotadas para que maiores problemas não sejam averiguados.

A siderurgia representa, atualmente, uma parcela significativa no PIB brasileiro. Estudos demonstraram que o cenário de desenvolvimento econômico do país pouco mudará nos próximos anos e, somado a previsão de crescimento da indústria siderúrgica – consequentemente levando ao aumento na geração de poluentes – é notória a necessidade de se propor novas medidas de monitoramento e controle da poluição do ar característica da indústria, de forma a complementar o atual quadro de gestão ambiental.

Por ora, recomenda-se uma maior disponibilidade nas informações acerca das emissões atmosféricas oriundas das produções industriais do país para o público em geral, não somente com o intuito de informar como também fomentar o aumento da fiscalização. Há interesse também em uma revisão completa dos parâmetros e valores utilizados para o estabelecimento da qualidade do ar, uma vez que há uma defasagem em comparação aos padrões internacionais atuais. Ainda, recomenda-se a instalação de outras estações de monitoramento próximas às estações de Conforto e Siderville, cujos históricos de monitoramento indicaram situações

recorrentes de ultrapassagens de alguns parâmetros para os padrões de qualidade do ar estipulados.

Para trabalhos futuros, recomenda-se tentar junto à CSN obter dados mais refinados sobre o monitoramento de suas fontes fixas e sobre o processo de controle de poluentes atmosféricos; uma nova análise das emissões das fontes fixas da Usina, a fim de se averiguar as mudanças em relação as medições aferidas em 2009, bem como se houve alguma providência, seja por parte da CSN quanto por parte do órgão ambiental, em relação à perda de controle verificada na chaminé #33. Também é indicado que sejam investigadas as razões pelas quais as estações de Conforto e Siderville apresentam altas concentrações de PTS, além de uma pesquisa mais detalhada sobre a poluição atmosférica na região durante o ano de 2014, visando justificar as altas concentrações resultantes do monitoramento de qualidade do ar.

11. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ALVARES JR., O. M.; LACAVA, C. I. V.; FERNANDES, P. S. **Emissões Atmosféricas: tecnologias e gestão ambiental**. Brasília: SENAI, Dep. Nacional, 2002. 373 p.

ASSUNÇÃO, J. V. de; PESQUERO, C. R. Dioxinas e furanos: origens e riscos. **Revista Saúde Pública**, São Paulo (SP), v. 33, n. 5, p. 523-530, out. 1999. Disponível em: <http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89101999000500014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 fev. 2016.

BRAGA, A.; BOHM, G. M.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo (SP), n. 51, p. 58-71, set./nov 2001. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi639rxj-TLAhULjpAKHSM0BPgQFggtMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.revistas.usp.br%2Frevusp%2Farticle%2Fdownload%2F35099%2F37838&usq=AFQjCNEGD7I9LgCavWqXtFZtkTiawdKBjg&sig2=DEd_aQ0VP6N9s67hao6u9g>. Acesso em: 20 jan. 2016.

BRASIL. **Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981**: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>. Acesso em: 20 jan. 2016.

CAPULLI, D.; ALLEVATO, M. **Poluição atmosfera industrial – perfis tecnológicos de equipamentos de controle**. Disponível em: <http://www.capmetal.com.br/novo/_artigos/gamapar.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2016.

CASTRO, A. H. S.; ARAÚJO, R. S.; SILVA, G. M. M. Qualidade do ar – parâmetros de controle e efeitos na saúde humana: uma breve revisão. **Revista Holos**, ano 29, v. 5. 2013. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/1242/730>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

CAVALCANTI, P. P. S. **Gestão ambiental na indústria siderúrgica – aspectos relacionados às emissões atmosféricas**. 2012. 46 f. Projeto de graduação – Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CEPERJ – Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro. **Mapa do Estado do Rio de Janeiro – Regiões de Governo e Municípios, 2014**. Centro de Estatísticas, Estudos e Pesquisas (CEEP). Disponível em: <http://www.fesp.rj.gov.br/ceep/info_territorios/Reg%20Gov_2013.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Poluentes**. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Proposição de limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos de fontes fixas para a indústria siderúrgica em nível nacional**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/198FC8A8/PropFinalSiderurgia.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2016.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções do CONAMA vigentes publicadas entre maio de 1986 a dezembro de 2011**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

COSTA, M. M. da. **Princípios de ecologia industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. 2002. 257 f. Tese (doutorado) – Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DOMENICO, C.; ALLEVATO, M. **Poluição atmosférica industrial – perfis tecnológicos de equipamentos de controle**. Disponível em: <http://www.capmetal.com.br/novo/_artigos/gamapar.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2016.

EC – European Commission. **Air quality standards**. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

EPA – United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica DEA 02/09**. Caracterização do uso da energia no setor siderúrgico brasileiro. Série Estudos Setoriais. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20090430_2.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2016.

FERNANDES, R. B. **Modelagem das concentrações de material particulado provenientes dos navios localizados na Baía de Guanabara**. 2015. 322 f. Projeto de graduação – Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

GRIMM, A. M. **Meteorologia básica – notas de aula**. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/index.html>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Relatórios da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro de 2009 a 2014**. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monitoramentodoar-EmiQualidade/Qualidoar/RelatorioAnualAr/index.htm&lang=>>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

INFOMET. **Handbook: aços e ligas**. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas.php>>. Acesso em: 28 jan. 2016.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **O aço: processos siderúrgicos**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--introducao.asp>>. Acesso em: 28 jan. 2016.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Folder: Aço e Economia**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/Folder_Economia_2015_site_.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2016.

LACERDA, A.; LEROUX, T.; MORATA, T. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**, Barueri, v. 17, n. 3, p. 403-412, set.-dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-56872005000300014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 jan. 2016.

LORA, E. S. **Controle da poluição do ar na indústria açucareira**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, abril 2010. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/STAB_1_Electo_000fizwkyra02wyiv802hvm3jk6whtps.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2016.

MACHADO, J. M. **Siderurgia – da matéria prima ao aço laminado**. Vitória: Coordenadoria de Engenharia Metalúrgica, CEFET/ES, 2006. 202p.

MARQUES, C. J. C. **Análise da produção de gesso a partir da dessulfurização dos gases de combustão na Central Termoeletrica do Pego**: Contribuições estatísticas. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) – Instituto Politécnico de Tomar, Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Tomar.

MEIRA, C. R. **Desempenho de um precipitador eletrostático operando na remoção de nanopartículas de aerossóis**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade de São Carlos, São Carlos.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Inventário Nacional de fontes e estimativa de emissões de dioxinas e furanos – Brasil POPs**: Plano Nacional de Implementação Convenção de Estocolmo. Brasília: MMA, 2013. 188 p. Disponível em: <<http://www.meioambiente.gov.br/publicacoes/seguranca-quimica/category/106-geral?download=992:inventario-nacional-de-dioxinas-e-furanos>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Poluentes atmosféricos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

MURO JR., A. Políticas, sistemas normativos e instrumentos de controle da poluição do ar: aspectos legais. **Revista da Seção Judiciária do Rio de Janeiro - SJRJ**, v. 21, n. 41, p. 19-49, dez. 2014.

OLIVEIRA, A. A. B. de. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica**. 2014. 85 f. Projeto de graduação – Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PACHECO, T. de A. Tecnologia de filtro manga combate poluição atmosférica. **Revista Meio Filtrante**, ed. 63, jul./ago. 2013. Entrevista concedida a Bruna Lavrini. Disponível em: <http://www.vortexindustrial.com.br/media/DIR_25601/1fc0282151a9e37ffff8660ffaf2815.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2016.

PEREIRA JR., J. de. S. **Legislação brasileira sobre poluição do a**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2007. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0ahUKEwjcx7GHtuTLAhVGlPAKHXNhABoQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fbd.camara.gov.br%2Fbd%2Fbitstream%2Fhandle%2Fbdcamara%2F1542%2Flegislacao_poluicao_ar_jose_pereira.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AFQjCNEDuQtWasvETDwKVDw78mH8E9sC2A&sig2=S38GpzsPN1L3vtbHP_Bx_A&bvm=bv.117868183,d.Y2I>. Acesso em: 25 de jan. 2016.

PWC – PricewaterhouseCoopers Brasil. **Siderurgia no Brasil: um panorama do setor siderúrgico brasileiro**. Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/siderurgia-metalurgia/metal-siderurgia-br-13a.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

SGM – SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL. **Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico**. Brasília: MME, 2015. 112 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/Annu%C3%A1rio+Estat%C3%ADstico+do+Setor+Metal%C3%BArgico+2015.pdf/3cd2fe18-4daa-4e51-8899-53f0cba47573>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

SOUZA, R. C. de. **Análise dos impactos de emissões atmosféricas locais da indústria siderúrgica: um estudo de caso no Rio de Janeiro**. 2013. 154 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

WHO – World Health Organization. **Air quality guidelines – global update 2005**. Disponível em: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/>. Acesso em: 23 jan. 2016.