



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA AMBIENTAL

MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Darllan Collins da Cunha e Silva

**“ESTUDO SOBRE A VULNERABILIDADE SÓCIO-AMBIENTAL NO
MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO, SÃO PAULO, A PARTIR DA
POLUIÇÃO DO AR”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título: “Mestre em Engenharia Ambiental – Área de Concentração: Saneamento Ambiental”

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Auxiliadora Maria Moura Santi

Ouro Preto, julho de 2010

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por iluminar o meu caminho e dar forças sempre.

Aos meus queridos pais que lutaram muito para que eu pudesse ter o que não tiveram quando jovens. SEREI ETERNAMENTE GRATO!

À Andressa Falco, minha namorada, que me apoiou e incentivou muito, dispensando várias manhãs e madrugadas suas na leitura e revisão dos textos da dissertação, com sugestões que abrilhantaram muito esse estudo, além de ter sido muito compreensiva em vários momentos quanto a minha ausência.

À Prof^a. Dr^a. Auxiliadora Maria Moura Santi, pela orientação segura, atenta, prestativa, sempre bem-humorada e paciente. Muito obrigado por ter sido uma “*mãezona*” em todos esses anos de convivência e por ter ampliado e muito meus horizontes.

Ao meu irmão, Rodolfo, pelo apoio e incentivos constantes dedicados a mim durante o curso de mestrado.

Aos meus tios e tias pelos setes anos de convivência, por terem me acolhido e ensinado preciosas lições de vida.

Aos grandes amigos conquistados no mestrado, Carlos Henrique, Raphael e Marcopaulo pelo apoio, companheirismo e pelas “*boas*” conversas que tivemos durante e após o curso de mestrado.

À turma do mestrado do primeiro semestre de 2008 pelo companheirismo e por todos os momentos felizes que passamos juntos.

À toda equipe do PROAGUA pelo suporte e dedicação no desdobramento de suas atividades.

À todos os funcionários da UFOP, o meu muito obrigado, por todos os sete anos de convivência e de grande aprendizagem, não só no aspecto acadêmico, mas também para a vida.

Ao pessoal da CETESB, que muito pacientemente, me atendeu por meses durante a produção da dissertação.

Meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que de alguma forma tornaram este trabalho possível.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE QUADROS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DO TRABALHO	2
1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO	4
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	4
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	5
CAPÍTULO 2 - PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO E E SUAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	7
2.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO.....	10
2.1.1 <i>Refino da alumina: Processo Bayer</i>	12
2.1.2 <i>Redução eletrolítica da alumina: Processo Hall-Héroult</i>	17
2.1.2.1 <i>Considerações sobre os tipos de anodos utilizados na redução da alumina</i>	20
2.2 PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS DO PROCESSO PRODUTIVO DO ALUMÍNIO PRIMÁRIO	23
2.3 PRINCIPAIS EFEITOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS PARA A SAÚDE HUMANA	26
2.3.1 <i>Efeitos adversos à saúde humana causados pelo SO₂</i>	27
2.3.2 <i>Efeitos adversos à saúde humana causados pelo NO₂</i>	28
2.3.3 <i>Efeitos adversos à saúde humana causados pelo CO</i>	29
2.3.4 <i>Efeitos adversos à saúde humana causados pelos HAPs</i>	30
2.3.5 <i>Efeitos adversos à saúde humana causados pelos Fluoretos</i>	31
2.3.6 <i>Efeitos adversos à saúde humana devido à exposição ao O₃</i>	32
2.3.7 <i>Efeitos adversos à saúde humana causados pelo material particulado</i>	33
CAPÍTULO 3 - PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO NO MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO, SÃO PAULO	35
3.1 BREVE HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO.....	35
3.1.1 <i>Caracterização do Município de Alumínio</i>	36
3.2 A COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (CBA)	42

3.2.1 Caracterização da Fábrica da CBA.....	45
CAPÍTULO 4 - POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO - SP.....	50
4.1 EMISSÕES DA PLANTA INDUSTRIAL DA CBA E OS TEORES DE POLUENTES PRESENTES NA ATMOSFERA ALUMINENSE	52
4.1.1 Os Fluoretos	52
4.1.2 O Ozônio (O ₃).....	60
4.1.3 O Material Particulado (com ênfase ao MP ₁₀)	65
4.1.4 Os Demais Poluentes.....	68
CAPÍTULO 5 - RISCOS TECNOLÓGICOS AMBIENTAIS	73
5.1 RISCO TECNOLÓGICO AMBIENTAL	76
5.2 AVALIAÇÃO DE RISCO.....	78
5.2.1 Avaliação de risco ambiental segundo o Banco Mundial	79
5.2.2 Avaliação de risco à saúde humana segundo a USEPA.....	80
5.3 VULNERABILIDADE DE GRUPOS POPULACIONAIS EXPOSTOS AOS RISCOS AMBIENTAIS	82
5.4 MAPEAMENTO DOS RISCOS AMBIENTAIS	86
CAPÍTULO 6 - AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÓCIO-AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO, SP FRENTE AOS RISCOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	89
6.1 MAPEAMENTO DOS RISCOS AMBIENTAIS DAS ATIVIDADES DA CBA EM ALUMÍNIO, SP.....	90
6.1.1 Mapeamento dos riscos oriundos da emissão de fluoretos pela planta industrial da CBA.....	90
6.1.2 Mapeamento dos riscos oriundos da emissão de material particulado pela planta industrial da CBA	96
6.2 MATRIZ DE VULNERABILIDADE.....	102
6.2.1 Perigo-Exposição-Efeitos e Incertezas Associadas	102
6.2.2 Vulnerabilidade Social dos Grupos Populacionais Expostos	106
6.2.3 Vulnerabilidade Institucional.....	108
6.2.4 Síntese da matriz de vulnerabilidade sócio-ambiental em Alumínio.....	111
CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	114
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
ANEXOS	127
ANEXO I – Dados e resultados obtidos na simulação da dispersão de material particulado em Alumínio, SP, usando o software SCREEN 3 da <i>US Environmental Protection Agency</i> .	
ANEXO II – Avaliação da influência da emissão de poluentes atmosféricos pela CBA sobre os indicadores de mortalidade no município de Alumínio, SP.	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Aspecto da bauxita, alumina e alumínio primário (de cima para baixo)	8
Figura 2.2. Consumo de alumínio por segmento de aplicação em 2008 no Brasil	9
Figura 2.3. Relação, em toneladas, de bauxita/alumina/alumínio metálico produzido	10
Figura 2.4. Fluxograma simplificado do processo produtivo do alumínio	11
Figura 2.5. Fluxograma simplificado do Processo Bayer	12
Figura 2.6. Fluxograma da etapa de moagem do minério bauxita	13
Figura 2.7. Esquema ilustrativo das etapas de clarificação e lavagem da lama	14
Figura 2.8. Aspecto do óxido de alumínio (alumina) obtido na etapa de calcinação.....	16
Figura 2.9. Fluxograma simplificado do Processo Hall-Héroult para anodo Soderberg.....	17
Figura 2.10. Cuba Eletrolítica	18
Figura 2.11. Cuba eletrolítica que utiliza anodo pré-cozido (CWP – Center-worked Prebaked) ...	21
Figura 2.12. Forno Soderberg de pinos verticais	22
Figura 3.1. Localização do Município de Alumínio	37
Figura 3.2. Contribuição dos diversos setores ao PIB de Alumínio em 2007.....	38
Figura 3.3. Vista aérea da CBA	42
Figura 3.4. Vista aérea da CBA e da área urbana de Alumínio	44
Figura 3.5. Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar da CBA.....	48
Figura 3.6. Plantas utilizadas para o biomonitoramento de fluoretos	49
Figura 4.1. Médias das taxas de fluoretos no entorno da CBA ($\mu\text{gF}/100\text{cm}^2.30\text{dias}$)	53
Figura 4.2. Estimativa de emissão de Fluoretos Totais (Ft) na planta industrial da CBA	54
Figura 4.3. Produção de alumínio primário na planta industrial da CBA	54
Figura 4.4. Concentração de fluoretos (dezembro de 1998 a dezembro de 1999).....	55
Figura 4.5. Indivíduo da espécie <i>Cordyline terminalis</i> (bioindicadora de fluoretos).....	57
Figura 4.6. <i>Ctenanthe setosa</i> com material particulado sobre as folhas e com injúrias características de fluoretos	58
Figura 4.7. Aspecto de planta com injúrias no meio do limbo foliar, bordas e ápices das folhas, no jardim de uma casa próxima à planta industrial da CBA	58
Figura 4.8. Indivíduo da espécie <i>Nicotiana tabacum</i> ‘Bel W3’ (bioindicadora de O_3)	61
Figura 4.9. Localização da área de estudo referente ao transporte de ozônio no eixo São Paulo - Sorocaba.....	62
Figura 4.10. Injúria foliar presente em um indivíduo da espécie <i>Nicotiana tabacum</i> ‘Bel W3’ devido ao ozônio troposférico	63
Figura 4.11. Estimativas da emissão de material particulado da planta industrial da CBA.....	65

Figura 4.12. Estimativas da emissão de NO _x da planta industrial da CBA.....	68
Figura 4.13. Estimativas da emissão de SO _x da planta industrial da CBA	68
Figura 4.14. Estimativas da emissão de HC da planta industrial da CBA	70
Figura 4.15. Estimativas da emissão de CO da planta industrial da CBA	70
Figura 5.1. Uma síntese da tipologia de riscos ambientais: naturais e tecnológicos.....	75
Figura 5.2. Fluxograma esquemático da Avaliação de Risco proposta pela USEPA	81
Figura 6.1. Mapeamento dos riscos mais relevantes decorrentes da emissão de fluoretos pela planta industrial da CBA no município de Alumínio – SP	91
Figura 6.2. Ampliação do Lanternim de uma das Salas Fornos da CBA.....	92
Figura 6.3. Vista geral das Salas Fornos 70kA e 90kA e Vila Industrial.....	95
Figura 6.4. Mapa da área considerada no estudo de dispersão de material particulado e dos riscos associados à exposição ao poluente	98
Figura 6.5. Resultados do estudo de dispersão de material particulado no município de Alumínio e dos riscos à saúde associados à exposição ao poluente.....	99
Figura 6.6. Depósito de pasta anódica a céu aberto localizado na Sala Pasta da CBA.....	101
Figura 6.7. Vista geral dos aparelhos instalados na EAMQar e Coopercred - CBA.....	104
Figura 6.8. Vista geral de uma parte das árvores plantadas na Vila Industrial	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Produção de alumínio primário por fábrica no Brasil	10
Tabela 2.2. Média específica de emissão de compostos perfluorados	25
Tabela 3.1. Contribuição de alguns municípios nas exportações de São Paulo	39
Tabela 3.2. IDHM de algumas cidades brasileiras em 2000	40
Tabela 3.3. Taxa de mortalidade infantil para cada mil nascimentos em 2008.....	42
Tabela 3.4. Número de Fornos Soderberg de cada Salas Fornos da CBA	47
Tabela 4.1. Limite máximo de emissão de poluentes atmosféricos da indústria do alumínio preconizado na Resolução CONAMA n°. 382/06.....	51
Tabela 4.2. Concentração de fluoretos em folhas de espécies vegetais coletadas nas proximidades da planta industrial da CBA	59
Tabela 4.3. Estimativa da emissão de material particulado proveniente da queima de combustíveis fósseis em plantas industriais localizadas na UGRHIs Sorocaba/Médio Tietê.....	66
Tabela 4.4. Estimativa da emissão de monóxido de carbono (CO) relativo à queima de combustíveis fósseis.....	71
Tabela 5.1. Esquema Sintético da Matriz de Vulnerabilidade	86
Tabela 6.1. Concentrações de fluoretos ($\mu\text{gF}/100\text{cm}^2.30$ dias) em Cajati, Paulínia, Cubatão, Cordeirópolis e Alumínio.....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 6.1. Matriz de Vulnerabilidade da população aluminense exposta aos riscos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos pela CBA.....	111
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio
ALBRAS – Alumínio Brasileiro S.A.
APA – Área de Proteção Ambiental
BPF – Baixo Ponto de Fluidez
CBA – Companhia Brasileira de Alumínio
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO – Monóxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV's – Compostos Orgânicos Voláteis
DEPRN – Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais
EAMQar – Estação Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar
ECP – Equipamentos de Controle de Poluição
EQSE – Setor de Ecossistemas Terrestres (CETESB)
ETQ – Divisão de Tecnologia de Avaliação da Qualidade do Ar (CETESB)
HAPs – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
HC – Hidrocarbonetos
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
MP – Material Particulado
MP₁₀ – Material Particulado Inalável menor que 10µm
NO_x – Óxidos de Nitrogênio
O₃ – Ozônio
OMS – Organização Mundial da Saúde
SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMA – Secretaria do Meio Ambiente (Estado de São Paulo)
SO_x – Óxidos de Enxofre
TAC – Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta
UGRHs – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USEPA – US Environmental Protection Agency

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação dos cenários de risco que se configuram no Município de Alumínio, situado na Região Metropolitana de Sorocaba, São Paulo, em função da exposição da população local aos poluentes atmosféricos perigosos que são emitidos pela planta de produção de alumínio primário da Companhia Brasileira de Alumínio – CBA. Foram identificados o material particulado, fluoretos, O₃, CO, SO₂, NO₂ e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos como sendo os principais poluentes gerados no processo industrial e analisados os níveis de contaminação do ar atmosférico local, tomando-se como referência principal estudos e relatórios publicados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB e documentos que instruem o processo de licenciamento ambiental do referido empreendimento. Os resultados foram compilados em uma matriz de vulnerabilidade sócio-ambiental e em mapas de riscos, com a finalidade de caracterizar de forma precisa os cenários de riscos da poluição atmosférica em Alumínio, destacando-se, de um lado, as características tecnológicas da planta industrial da CBA, que determinam os tipos e as respectivas taxas de emissão de poluentes atmosféricos e, de outro, os aspectos sociais, econômicos e institucionais relativos ao espaço urbano-industrial e às instituições públicas envolvidas no caso. Constatou-se que a população aluminense está exposta aos riscos tecnológicos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos pela fábrica de alumínio, especialmente fluoretos, material particulado e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, demonstrando a vulnerabilidade sócio-ambiental configurada pela atividade metalúrgica predominante em Alumínio.

Palavras chaves: Riscos tecnológicos ambientais, Poluição atmosférica, Produção de alumínio, Vulnerabilidade sócio-ambiental, Município de Alumínio (São Paulo).

ABSTRACT

This work presents an assessment of risk scenarios that take place in the city of Alumínio, located in the Metropolitan Region of Sorocaba, São Paulo, according to the local population exposure to hazardous air pollutants that are emitted by the plant of production of primary aluminum of Companhia Brasileira de Alumínio – CBA. It has been identified particulate matter, fluorides, O₃, CO, SO₂, NO₂ and polycyclic aromatic hydrocarbons as the main pollutants generated in the industrial process and analyzed the levels of contamination of atmospheric air site, using as main reference studies and reports published by the Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB and documents accompanying the process of environmental licensing of this enterprise. The results were compiled into an array of socio-environmental vulnerability and risk maps, in order to accurately characterize the risk scenarios of air pollution in Alumínio, especially, on one side, the technological characteristics of the industrial plant CBA, which determine the types and rates of emission of air pollutants and, secondly, the social, economic and institutional aspects relative to urban-industrial space and public institutions involved in the case. It was found that the population of Alumínio is exposed to technological environmental risks arising from the emission of air pollutants by the aluminum plant, especially fluorides, particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons, demonstrating the socio-environmental vulnerability configured by the metallurgical activity predominant in Alumínio.

Keywords: Technological environmental risks, Air pollution, Aluminum production, Socio-environmental vulnerability, City of Alumínio (São Paulo).

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A idéia inicial deste trabalho era desenvolver estudos sobre a poluição do ar no município de Alumínio a partir dos resultados do modelamento da dispersão atmosférica de material particulado com a aplicação do *software* Aermid desenvolvido pela *USEPA* – *US Environmental Protection Agency*, estabelecendo cenários de riscos de exposição da população à poluição do ar. Entretanto, não foi possível realizar tais estudos devido a ausência de dados importantes exigidos pelo Aermid, como, por exemplo, as coordenadas geográficas das chaminés. Assim sendo, optou-se por desenvolver o modelamento da dispersão de material particulado utilizando um software menos complexo, o SCREEN 3, também desenvolvido pela *USEPA*.

O objetivo deste trabalho passou a ser, então, realizar um mapeamento de riscos e a construção de uma matriz de vulnerabilidade sócio-ambiental, tendo como foco, os grupos populacionais expostos à poluição do ar causada pelas emissões atmosféricas da Companhia Brasileira de Alumínio – CBA, instalada no município de Alumínio, no Estado de São Paulo.

A alteração do objetivo do trabalho durante seu desenvolvimento, somada à reorganização ocorrida na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, em novembro de 2008, que resultou na transferência dos processos de regularização ambiental dos empreendimentos instalados no município de Alumínio, da Regional da CETESB de Sorocaba para a Regional da CETESB de Itu, atrasou a pesquisa documental. É oportuno salientar que alguns documentos não foram encontrados, sob a alegação, por parte da CETESB, de que eles não haviam sido encontrados devido à falta de tempo para reorganizá-los, já que todos os documentos processuais, de várias localidades além de Alumínio, foram transferidos para a Regional da CETESB de Itu.

Durante o período de pesquisa, foram identificados vários estudos realizados pelo órgão ambiental paulista sobre a qualidade do ar no município de Alumínio, os quais o autor desconhecia e, certamente, a população da cidade também, pois não foram divulgados em meios de comunicação e, mesmo apresentando resultados que interessam à população, simplesmente se encontram arquivados na sede do órgão ambiental localizada na cidade de São Paulo. A partir desses estudos, a pesquisa foi ampliada e, munido de

quantidade significativa de informações, foi possível identificar os principais poluentes atmosféricos emitidos pela CBA e analisar suas consequências sobre o ambiente natural e a saúde humana.

Como o autor havia realizado estágio na CBA e residiu no município durante 11 anos, dispunha de algumas informações relevantes que puderam ser aproveitadas no trabalho, na confecção dos mapas de riscos e para a elaboração da matriz de vulnerabilidade. Espera-se que o resultado deste trabalho contribua para que a população de Alumínio tenha acesso às informações sobre a poluição do ar no município e sobre as áreas na qual a qualidade do ar está comprometida pela presença de poluentes atmosféricos oriundos da grande fábrica de alumínio aí instalada, podendo, inclusive, contribuir para a criação de um banco de dados ambiental do município.

Ao final do trabalho, são propostas algumas medidas que poderiam ser adotadas no sentido de minimizar os riscos causados pelos altos níveis de poluição atmosférica no município, com o objetivo de assegurar uma qualidade de vida melhor à população, além de sugerir a realização de outros estudos com o fim de se conhecer melhor as reais condições da qualidade do ar em Alumínio.

1.1 Justificativas e relevância do trabalho

O ser humano não consegue viver sem ar, sendo obrigado a utilizar-se desse recurso natural nas condições em que o mesmo se encontra em seu ambiente de vida. Desse modo, todos os aspectos relacionados à qualidade do ar são muito importantes, pois trata-se de um recurso vital. Assim estudos envolvendo a poluição atmosférica, o monitoramento das concentrações de poluentes, a fixação de normas e padrões para as fontes de emissão de poluentes atmosféricos e de qualidade do ar, são de grande relevância. Pode-se considerar, inclusive, que a questão da poluição do ar é mais grave que a poluição da água, pois o ser humano não dispõe de mecanismos para tratar o ar atmosférico. Portanto, os usos do ar devem ser feitos de modo a não provocar mudanças em sua composição, que resultem em prejuízos à saúde e ao bem estar do ser humano e do ecossistema como um todo.

A poluição do ar acompanha a humanidade desde tempos remotos. Porém, passou a ser sentida e observada de forma mais acentuada quando as pessoas começaram a viver em assentamentos urbanos de grande densidade demográfica, desde a Revolução Industrial, a partir da qual o carvão mineral começou a ser utilizado como fonte principal de energia. Contudo, as inovações tecnológicas ocorridas durante o século XX e a utilização dos

derivados de petróleo como combustível acentuaram ainda mais os níveis de poluição do ar. Segundo Saldiva *et al.* (2004) na cidade de São Paulo, estudos têm mostrado que os níveis de poluição são danosos à saúde da população, uma vez que foram detectadas associações entre níveis diários de poluentes atmosféricos e mortes em idosos; internações por doenças respiratórias na infância; internações e mortes por doenças cardiovasculares e também mortes fetais tardias. Por exemplo, os autores concluíram em seu estudo na cidade de São Paulo (período de 1993 a 1997) em comparação a outros estudos que para cada incremento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} (material particulado inalável), observa-se um incremento de 1,1% nas mortes em idosos e 1,3% nas internações por doenças respiratórias.

O município de Alumínio também é afetado pela poluição do ar, mesmo não sendo um grande centro urbano, devido à presença de uma fábrica produtora de alumínio primário de grande porte, a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), a qual é a maior planta industrial de fabricação de alumínio do mundo a operar de forma totalmente verticalizada, realizando, num mesmo local, desde o processamento da bauxita até a fabricação de produtos. Associado à produção do metal, a planta industrial libera, continuamente, vários poluentes atmosféricos, com destaque para os fluoretos, o material particulado e os compostos orgânicos policíclicos aromáticos.

Os fluoretos, além de danosos para a saúde humana, são também fortes agentes fitotóxicos, sendo emitidos pela planta industrial da CBA na forma gasosa ou na forma de material particulado. A CETESB, órgão ambiental do Estado de São Paulo vem realizando, desde 1992, visitas técnicas ao município de Alumínio, com vistas a verificar possíveis alterações na qualidade do ar e realizar estudos sobre a presença de fluoretos na atmosfera local. Nesses estudos foi constatado que a presença de fluoretos na atmosfera aluminense trouxe prejuízos à vegetação no entorno da fábrica e que as concentrações de fluoretos encontradas superam em até duas vezes as encontradas em Cubatão (Vale do Mogi) em 1985, quando houve severa degradação da Serra do Mar devido aos poluentes atmosféricos encontrados na região.

Segundo os relatórios de qualidade do ar do Estado de São Paulo publicados anualmente pela CETESB, a CBA é a maior fonte estacionária emissora de material particulado (MP) proveniente da queima de combustíveis fósseis na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) Sorocaba/Médio Tietê¹. A CBA emitiu

¹ O Estado de São Paulo está dividido em vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos e, o município de Alumínio pertence à UGRHIs n.º 10 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sorocaba/Médio Tietê), sendo que esta unidade é composta por trinta e três municípios. Fonte: CETESB (2009a).

em 2008 uma quantidade de material particulado muito superior a de outras indústrias localizadas na UGRHIs Sorocaba/Médio Tietê, sendo responsável por 67,5% do total de material particulado lançado no ar atmosférico dentre as indústrias inventariadas pela CETESB na referida UGRHIs.

Além desses poluentes, deve-se citar o ozônio troposférico (O₃) que não é emitido diretamente pela fonte poluidora, mas que é formado na atmosfera através da reação entre hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x) em presença de luz solar. Segundo estudos realizados pela CETESB no município de Alumínio e dados obtidos na Estação Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar da CBA há registros de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar para o referido poluente.

O relatório do inventário de emissão de poluentes por fontes fixas realizado pela CETESB para o Estado de São Paulo (CETESB, 2008b) evidencia o potencial poluidor da CBA, uma vez que, a empresa aparece como grande emissora de CO₂, ocupando a sexta posição de maior emissora de CO₂ no Estado de São Paulo dentre as 329 indústrias avaliadas no referido relatório.

As informações comentadas anteriormente demonstram, de forma clara, a necessidade de um controle maior sobre a planta industrial da CBA, com o fim de garantir um ambiente saudável, visando o bem estar e a preservação da saúde da população aluminense e do meio ambiente.

Portanto, visto o potencial poluidor da planta industrial da CBA e as concentrações de poluentes atmosféricos encontradas na atmosfera aluminense, torna-se muito interessante realizar um estudo que vise indicar as áreas de risco à exposição aos poluentes atmosféricos e, portanto, para a saúde da população. Além disso, o reconhecimento dos cenários de riscos à saúde da população, que se pretendeu realizar por meio do mapeamento de risco e da análise da Matriz de Vulnerabilidade, é uma importante ferramenta de auxílio para a gestão ambiental pública do município de Alumínio.

1.2 Objetivos do estudo

1.2.1 Objetivo geral

Estabelecer e analisar cenários de riscos à saúde da população decorrentes da poluição do ar no município de Alumínio a partir dos resultados obtidos nos estudos de

mapeamento dos riscos e na contextualização dos grupos populacionais expostos a riscos ambientais considerando, de um lado, as características tecnológicas da planta industrial da Companhia Brasileira de Alumínio, que determinam a emissão de poluentes atmosféricos e, de outro, os aspectos sociais, econômicos e institucionais relativo ao espaço urbano-industrial e às instituições públicas envolvidas no caso.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os estudos já disponíveis para o município de Alumínio e Região de Sorocaba, relativos à poluição atmosférica;
- Analisar os dados de emissão de poluentes atmosféricos pela CBA e a concentração de poluentes atmosféricos encontrada na atmosfera aluminense;
- Desenvolver estudo sobre a dispersão de material particulado com aplicação do software SCREEN 3;
- Estabelecer e avaliar os cenários de riscos no município de Alumínio decorrentes da exposição da população aos poluentes atmosféricos, através da elaboração de mapas de riscos ambientais;
- Confeccionar uma Matriz de Vulnerabilidade sócio-ambiental em vista dos riscos ambientais decorrentes dos poluentes atmosféricos emitidos pela CBA e da estrutura sócio-econômica do município de Alumínio e da forma de gestão ambiental pública das instituições envolvidas com o caso;
- Propor medidas para o gerenciamento do risco ambiental frente aos cenários de risco estabelecidos com foco na poluição do ar.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho de investigação encontra-se estruturado em sete capítulos, com temáticas específicas relativas aos objetos de estudo, sendo o último capítulo de caráter conclusivo.

O Capítulo 1 aborda os objetivos geral e específicos, além da justificativa e relevância do trabalho. Os Capítulos 2 e 5 são teóricos e auxiliam na compreensão dos temas abordados no trabalho, sendo que o primeiro capítulo trata dos aspectos tecnológicos da produção de alumínio primário, mostrando os principais poluentes atmosféricos

emitidos no processo e os efeitos deletérios destes poluentes à saúde humana, enquanto o segundo capítulo aborda o risco, com ênfase para os riscos tecnológicos ambientais, a representação dos riscos em mapas baseado na metodologia adotada por Sevá Fº. (1997) e, ainda, apresenta uma matriz de vulnerabilidade desenvolvida com base na proposta de Porto (2001), a qual permite contextualizar grupos populacionais expostos aos riscos ambientais a partir de aspectos sociais, econômicos, técnico-científicos e institucionais.

O Capítulo 3 trata de uma caracterização do município de Alumínio e da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA).

O Capítulo 4 aborda a concentração dos poluentes presentes na atmosfera aluminense e apresenta dados anuais de emissão dos principais poluentes atmosféricos oriundos do processo produtivo da CBA.

O Capítulo 6 apresenta dois mapas de riscos decorrentes da emissão de fluoretos e material particulado pela CBA baseados na metodologia de Sevá Fº. (1997), sendo que o mapa de risco decorrente da emissão de material particulado foi desenvolvido com base na simulação da dispersão desse poluente no município empregando o software SCREEN 3, além da construção de uma matriz de vulnerabilidade da população aluminense exposta aos poluentes atmosféricos oriundos do processo produtivo da CBA.

O Capítulo 7 apresenta as principais conclusões obtidas no desenvolvimento do presente estudo, explicitando a necessidade do controle das fontes de emissão de poluentes atmosféricos, além de sugestões para trabalhos futuros.

Nos dois anexos deste trabalho encontram-se dados peculiares que serviram de suporte para a investigação, o desenvolvimento e as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 2

PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO E SUAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

O alumínio é o terceiro elemento químico mais abundante da crosta terrestre, depois do oxigênio e do silício. Contudo, o alumínio se manifesta somente em combinações muito estáveis com outros elementos. É encontrado geralmente na forma de silicatos e óxidos, principalmente, na forma de óxido de alumínio (Al_2O_3) também denominado de *alumina* (CAMPOS, 1988).

O minério de importância industrial para obtenção do alumínio metálico e de muitos compostos de alumínio é a *bauxita*, que herdou o nome da região de *Les Baux de Provence*, situada no sul da França, onde foi identificada pela primeira vez por *Pierre Berthier* em 1821 (AQUINO, 2007; CAMPOS, 1988).

A bauxita formou-se em regiões tropicais e subtropicais por ação do intemperismo sobre aluminossilicatos. Apesar de ser frequentemente descrita como minério de alumínio, não é uma espécie mineral propriamente dita, mas um material heterogêneo formado de uma mistura de óxidos de alumínio hidratados contendo impurezas. Os principais constituintes desse material são o diásporo, a gipsita ou hidrargilita e a boehmita, sendo que as proporções das três formas variam dependendo da localização geográfica do minério (AQUINO, 2007).

Na bauxita há presença de outros constituintes como os óxidos de ferro (hematita, magnetita e goetita, entre outros), sílica, óxido de titânio e aluminossilicatos, em quantidades que variam com a região de origem, causando alterações no aspecto físico do minério que pode variar de um sólido marrom-escuro ferruginoso até um sólido de cor creme, duro e cristalino. Não há definição precisa ou uma fórmula química para a bauxita. A cor e a composição do sólido podem variar em um mesmo depósito, sendo este um fator determinante para a produção de alumina e de alumínio (AQUINO, 2007).

Para se conseguir extrair o metal do minério de bauxita foram necessários muitos anos de pesquisa, e mais tempo ainda se gastou, para se desenvolver um processo produtivo que fosse técnica e economicamente viável. Os processos mais utilizados para a obtenção do óxido de alumínio e para a fabricação do alumínio primário são o *Processo*

*Bayer*², e o *Processo Hall-Hérault*³, respectivamente. Na Figura 2.1 pode-se observar o aspecto da bauxita, após minerada, da alumina obtida a partir do Processo Bayer e do alumínio primário obtido na eletrólise da alumina no Processo Hall-Hérault.



Figura 2.1. Aspecto da bauxita, alumina e alumínio primário (de cima para baixo)

Fonte: Elaboração Própria

O Brasil apresenta a terceira maior reserva do minério bauxita do mundo, estando atrás da Austrália e da Guiné. As maiores reservas brasileiras de bauxita estão localizadas na região amazônica, especialmente na região de Trombetas, no Estado do Pará, e na região dos municípios de Poços de Caldas e de Cataguases, em Minas Gerais.

O primeiro uso da bauxita para produzir alumina e alumínio metálico em escala industrial no Brasil foi feito pela Elquisa (atualmente, Novelis) no município de Ouro Preto, Minas Gerais, instalada em 1944, durante a Segunda Guerra Mundial (CAMPOS, 1988). A produção nacional de bauxita aumentou desde então e, segundo dados publicados pela ABAL (Associação Brasileira do Alumínio), o Brasil produziu, em 2008, cerca de 28 milhões de toneladas de bauxita, colocando-o entre principais produtores mundiais do minério.

Atualmente, a sociedade está bem adaptada à vida em um ambiente rico em alumínio. De fato, esse metal está presente em quase todas as esferas da atividade humana, podendo ser considerado um elemento bastante “popular”. Jovem, se comparado com outros metais conhecidos e utilizados desde a Antiguidade, ele substituiu, com vantagens inegáveis, materiais mais pesados e menos duráveis. Qualidades como leveza, resistência,

² O Processo Bayer é o principal processo industrial de extração de alumina (Al_2O_3) da bauxita e foi desenvolvido por Karl Josef Bayer, químico austríaco, em 1888 (CAMPOS, 1988).

³ O Processo Hall-Hérault é um processo de produção de alumínio primário por meio da redução eletrolítica da alumina dissolvida em banho de criolita fundida. Foi descoberto e patenteado quase simultaneamente pelo norte-americano Charles Martin Hall e pelo francês Paul Louis Toussaint Hérault.

maleabilidade, condutibilidade térmica e elétrica, versatilidade e reciclabilidade infinita fazem do alumínio um material moderno e dos mais importantes do século XXI, segundo a ABAL (2007).

As inúmeras aplicações em diversos setores da indústria (transportes, construção civil, eletro-eletrônica, petroquímica, metalurgia e outros), e a frequente presença no dia-a-dia (eletrodomésticos, brinquedos, utensílios de cozinha, embalagens de alimentos, produtos farmacêuticos, etc.) ilustram bem a sua importância econômica no mundo contemporâneo. A tecnologia de produção desse metal possibilita sua comercialização a preços competitivos no mercado e, no Brasil, é utilizado principalmente pelos setores de embalagens e de transportes, conforme pode ser constatado no gráfico apresentado na Figura 2.2.

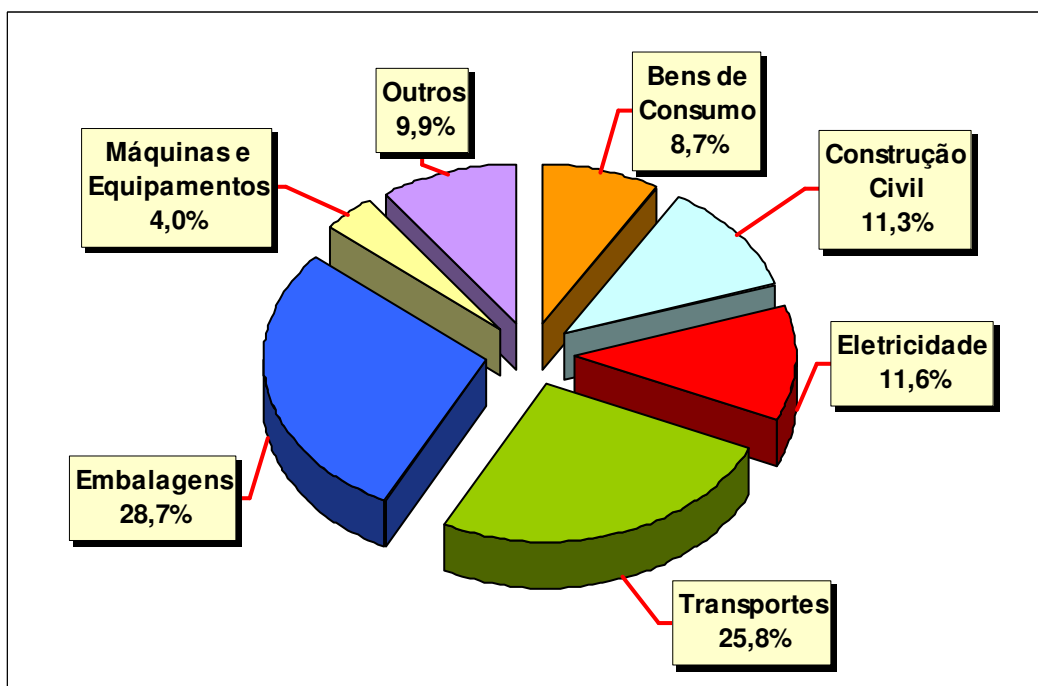


Figura 2.2. Consumo de alumínio por segmento de aplicação em 2008 no Brasil

Fonte: ABAL (2010)

Segundo dados da ABAL (2010), o Brasil é o sexto maior produtor de alumínio primário do mundo e, atualmente, possui seis produtores de alumínio, localizados nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Bahia, Pará e Maranhão, cuja produção, referente aos anos de 2007 a 2009, está destacada na Tabela 2.1. Nota-se um decréscimo da produção anual total em 2009, sendo que somente a CBA apresentou um crescimento na produção em todos os anos como destacado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Produção de alumínio primário por fábrica no Brasil

Produtores	Localização	Produção anual (1000 t)		
		2007	2008	2009
Albrás	Barcarena (PA)	459,0	459,3	454,3
Alcoa	Poços de Caldas (MG) e São Luiz (MA)	365,3	370,5	325,8
BHP Billiton	São Luiz (MA)	178,9	180,7	173,5
CBA	Alumínio (SP)	450,9	465,7	471,3
Novelis	Ouro Preto (MG) e Aratu (BA)	107,0	99,2	100,2
Valesul	Santa Cruz (RJ)	93,7	85,7	10,8
Total		1.654,8	1.661,1	1.535,9

Fonte: ABAL (2010)

2.1 Descrição do processo produtivo de alumínio primário

O processo produtivo do alumínio primário passa por diversas etapas, iniciando-se pela extração da bauxita e seu beneficiamento pelo Processo Bayer a fim de obter o óxido de alumínio (alumina). Posteriormente, o óxido é enviado para o processo de redução eletrolítica, obtendo-se assim, o alumínio metálico (alumínio primário). O alumínio líquido é solidificado em lingotes e tarugos, estando pronto para as transformações (laminação, extrusão, etc). Em números redondos, a relação bauxita/alumina/alumínio metálico produzido, em toneladas, está destacada na Figura 2.3.

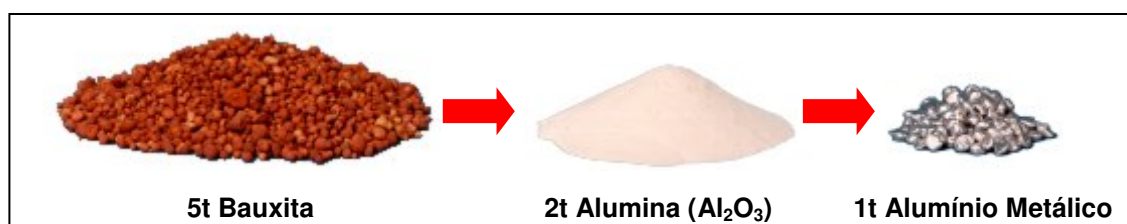


Figura 2.3. Relação, em toneladas, de bauxita/alumina/alumínio metálico produzido

Fonte: Elaboração Própria

Em todas as etapas do processo produtivo há geração de substâncias poluentes, que alteram a qualidade do meio ambiente, e entre elas, destacam-se os poluentes atmosféricos gerados no Processo Bayer e, especialmente, no Processo Hall-Héroult como pode ser constatado na Figura 2.4 que apresenta um fluxograma simplificado do processo de

produção do alumínio, assinalando os pontos onde ocorrem as principais emissões atmosféricas.

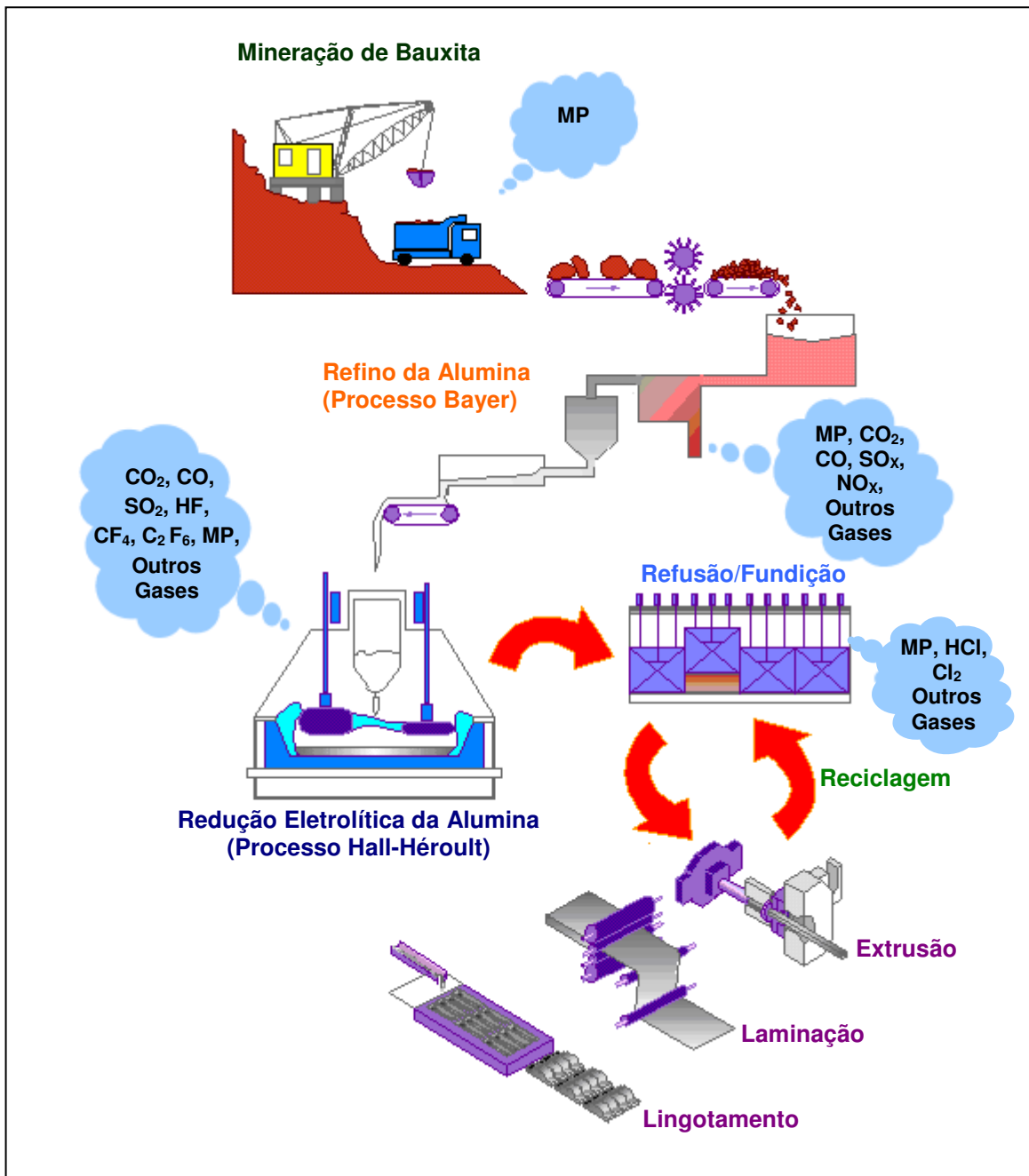


Figura 2.4. Fluxograma simplificado do processo produtivo do alumínio

Fonte: Adaptado de IAI (2009)

As etapas de refino da alumina (Processo Bayer) e de redução eletrolítica da alumina (Processo Hall-Héroult) serão descritas de forma sucinta a seguir, sendo destacado os principais tipos de anodos utilizados nas cubas eletrolíticas.

2.1.1 Refino da alumina: Processo Bayer

A Figura 2.5 apresenta um fluxograma simplificado do Processo Bayer, ilustrando as várias etapas pelo qual o minério de bauxita é submetido a fim de se obter alumina (Al_2O_3), que é a principal matéria-prima empregada no Processo Hall-Hérault, e as principais emissões atmosféricas que ocorrem nesta etapa do processo.

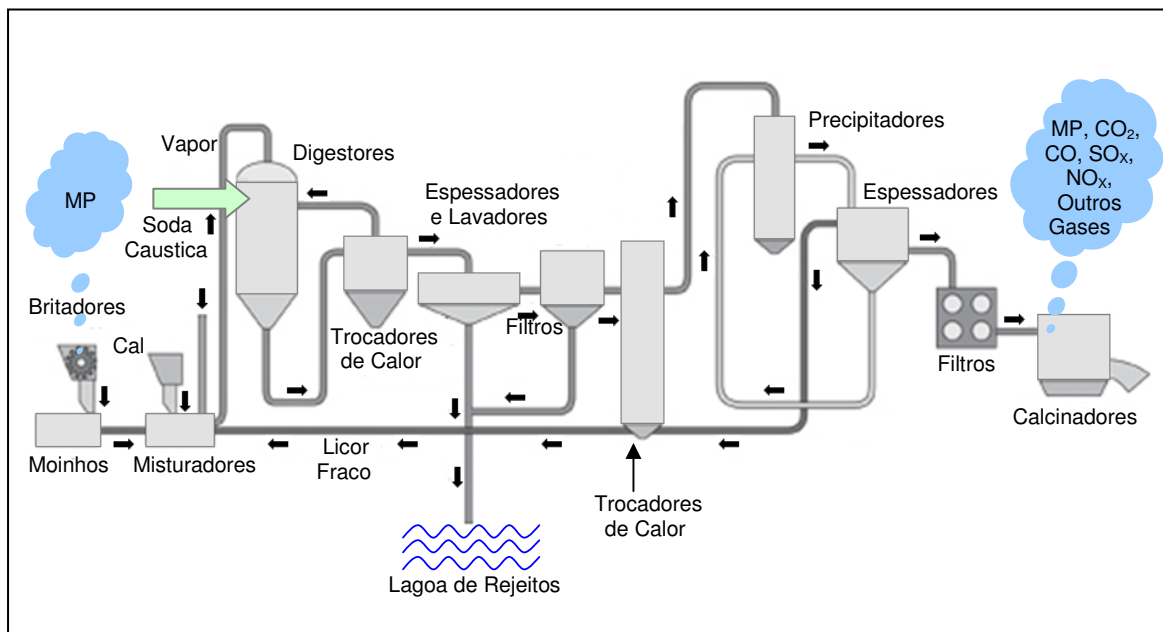


Figura 2.5. Fluxograma simplificado do Processo Bayer

Fonte: Adaptado de ABAL (2010)

O processo de produção da alumina inicia-se com a britagem e a moagem⁴ da bauxita que, juntas, constituem a fase de fragmentação.

A bauxita lavada passa, primeiramente, por britadores, onde é reduzida a uma granulometria inferior a 30mm. É, então, moída a úmido juntamente com uma solução de soda cáustica⁵ e leite de cal⁶, como pode ser visto na Figura 2.6, obtendo-se grãos com diâmetro menor que 1mm, formando uma mistura bauxita-licor denominada de pasta densa, a qual é enviada aos digestores (CBA, 2006).

⁴ A moagem é necessária para aumentar a superfície de contato entre a bauxita e a solução de NaOH e, conseqüentemente, aumentar a eficiência da etapa de digestão (GRJOTHEIM; WELCH, 1980).

⁵ A solução de soda cáustica possui a função de iniciar a digestão do minério e umedecer o meio a fim de facilitar a moagem (GRJOTHEIM; WELCH, 1980).

⁶ O leite de cal é introduzido no engolidor dos moinhos para facilitar a moagem e aumentar a alcalinidade do meio, decompondo o carbonato de sódio porventura presente, e para minimizar a contaminação pelo fósforo (controle de fosfato). Como o fósforo possui a facilidade de reagir com diversos elementos químicos, conduz à perda de eficiência da corrente elétrica no forno de redução (CBA, 2006).

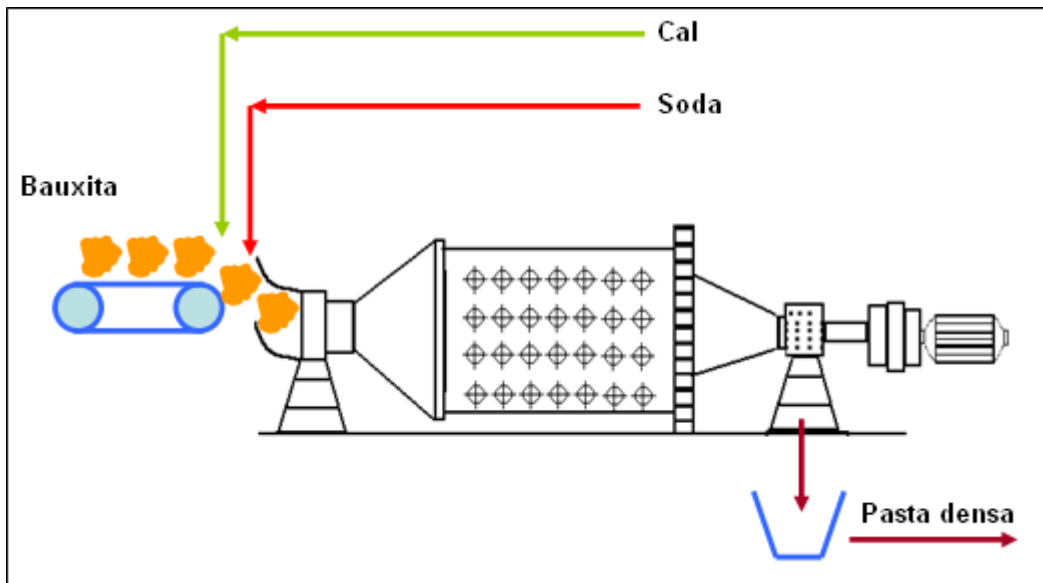
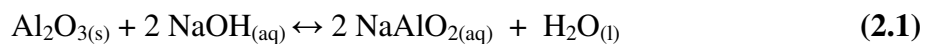


Figura 2.6. Fluxograma da etapa de moagem do minério bauxita

Fonte: Elaboração própria

A extração da alumina pela soda cáustica, iniciada na moagem, é a reação de interesse na etapa de digestão (Reação 2.1). No entanto, a sílica contida na bauxita é, também, atacada pela soda cáustica, formando silicato de sódio que, após ser dissolvido e supersaturado, forma um precipitado chamado produto de dessilicatação (DSP), composto de óxido triplo de sódio, alumínio e sílica ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).



Portanto, a sílica, além de consumir soda cáustica, é responsável pela principal perda de alumínio no Processo Bayer. A dessilicatação é realizada antes da etapa da digestão em tanques de armazenamento temporário que têm a função de precipitar a sílica. Esses tanques de pré-tratamento recebem o material proveniente dos moinhos, denominado pasta densa, que é aquecido e mantido à pressão atmosférica. Há necessidade de um tempo de residência do material nos tanques para ocorrer a precipitação da sílica, o qual varia de acordo com as condições do processo e com o tipo de tanque utilizado. Posteriormente, a pasta é bombeada para as autoclaves (digestores) (CBA, 2006).

O processo de digestão⁷ ocorre em vasos de pressão, operando em série, denominados digestores ou autoclaves. As condições no interior dos digestores

⁷ Na etapa de digestão, a pasta recebe soda cáustica aquecida e a alumina é dissolvida na forma de aluminato de sódio (Reação 2.1). Os demais componentes da bauxita não sofrem o ataque pela soda cáustica, permanecendo no estado sólido. Essas impurezas são, em sua maioria: ferro inerte, óxidos de titânio e compostos de sílica; e constituem a “lama vermelha”, o resíduo do Processo Bayer (GRJOTHEIM; WELCH, 1980).

(concentração, temperatura e pressão) variam de acordo com a natureza da bauxita e com o tipo de processo tecnológico empregado. Embora altas temperaturas sejam teoricamente favoráveis, elas proporcionam várias desvantagens, incluindo problemas de corrosão e a possibilidade de outros óxidos (além da alumina) se dissolverem no licor cáustico. A polpa que deixa os digestores, contendo aluminato e lama vermelha (cerca de 30% da massa da bauxita), é resfriada à temperatura de ebulição da água (em pressão atmosférica) em *tanques flash* (ou expansores), que operam em pressões sucessivamente mais baixas. Após a passagem pelos expansores, a polpa é enviada para a clarificação (CBA, 2006).

A clarificação consiste na separação das duas fases da polpa: o resíduo sólido rico em óxido de ferro (lama vermelha) e a solução de aluminato de sódio (licor). É realizada em uma seqüência de sedimentadores e espessadores (lavadores) como representado no fluxograma da Figura 2.7, dos quais apenas o primeiro é responsável pela separação da solução de aluminato de sódio. Para evitar a precipitação dessa substância, a temperatura nesse espessador é mantida acima de 75°C (GRJOTHEIM; WELCH, 1980).

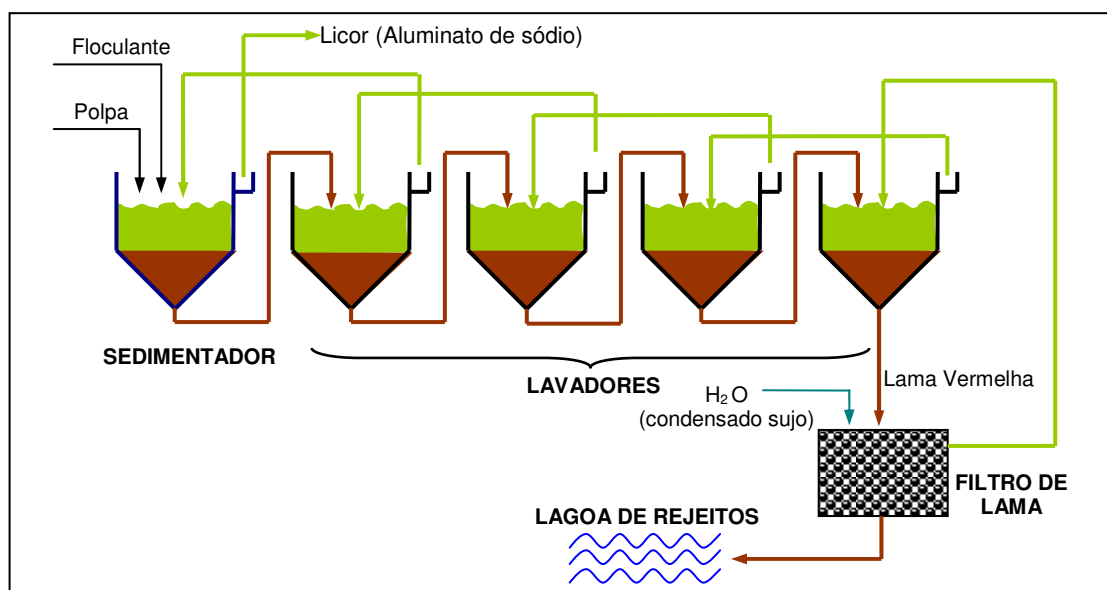


Figura 2.7. Esquema ilustrativo das etapas de clarificação e lavagem da lama

Fonte: Elaboração própria

Após deixar o primeiro sedimentador, a solução de aluminato de sódio (*overflow*) segue para a filtração de segurança⁸ e a lama vermelha (*underflow*), para lavagem nos demais espessadores. Floculantes são adicionados à corrente de alimentação para melhorar

⁸ A filtração de segurança tem como objetivo a remoção dos sólidos remanescentes, mediante a adição de solução de cal (T.C.A – aluminato tricálcio). A função do T.C.A consiste em formar um meio poroso que permite que todo licor passe através dele, e não obstrua a tela com aluminato turvo e lama. Esta capa se forma em toda área da tela filtrante (CBA, 2006).

a taxa de sedimentação da lama e obter alta claridade no “*overflow*”, por meio da aglomeração das partículas finas em suspensão (GRJOTHEIM; WELCH, 1980).

Nos lavadores, a “*água de lavagem*” é o próprio clarificado, que possui um fluxo contrário ao fluxo de lama, ou seja, o *underflow* de cada lavador alimenta o subsequente e o *overflow* retorna ao anterior. A lama retirada do último lavador passa por uma filtração (processo conhecido como filtração de lama), onde é adicionado o condensado sujo⁹. Em circuitos que não possuem aproveitamento do clarificado, esse condensado é utilizado diretamente nos lavadores. Após a filtração, a lama é bombeada para a barragem de rejeitos e o filtrado retorna ao último lavador (CBA, 2006).

Após a filtração de segurança, a solução de aluminato de sódio (licor) é enviada para expansores e trocadores de calor, com finalidade de resfriá-lo até cerca de 80°C, uma vez que o aluminato de sódio chega aos expansores e trocadores de calor com uma temperatura de aproximadamente 100°C, sendo muito alta para a hidrólise (ou precipitação) (CBA, 2006).

O licor é enviado para a etapa de precipitação (hidrólise), com o objetivo de precipitar a alumina trihidratada ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), sob condições controladas de temperatura, agitação, carga de semente¹⁰ (gérmen), tempo de residência e concentração cáustica, a fim de se obter um produto com a qualidade desejada em relação à granulometria, à resistência, à quebra e ao grau de pureza. Após passar pelos precipitadores, a suspensão (alumina trihidratada + soda) é enviada para uma bateria de hidrociclones (*hidrociclones produto*), onde a fração grosseira (*underflow*) é o produto ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) que, após passar por uma filtração (*filtração produto*), poderá ser seco, ensacado e vendido na forma de hidrato, ou ser calcinado, e o filtrado (solução de soda cáustica) da filtração produto retorna ao sistema para ser usado novamente (CBA, 2006).

O *overflow* dos hidrociclones produto é uma solução contendo soda e partículas de $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ finas, médias e algumas grossas que não foram separadas. Essas partículas retornarão aos tanques de precipitação como semente, passando, antes, por uma separação por tamanho. A separação é feita em uma segunda bateria de hidrociclones (*hidrociclones semente*), onde as partículas médias e grossas, que serão as *sementes médias* de

⁹ O condensado sujo é o vapor expandido do aluminato de sódio proveniente dos expansores.

¹⁰ São hidratos (alumina trihidratada) de fração fina e média (semente fina e média) que passaram pelo processo de precipitação e não atingiram a granulometria necessária para serem calcinados ou serem comercializados como produto. A carga de semente é o principal fator em relação a precipitação, pois a semente tem efeito catalítico na reação (catalisador).

nucleação¹¹, são recolhidas no *underflow*. O *overflow* contém as partículas finas e a maior parte da solução de soda cáustica, que serão separadas na *filtração semente*, formando as *sementes finas* de nucleação. A soda (licor fraco), após se juntar àquela proveniente da filtração produto retorna para o sistema (CBA, 2006).

O hidrato ou alumina trihidratada resultante da filtração produto vai para a etapa de calcinação, onde é alimentado em uma série de unidades de calcinação, que podem ser constituídas de fornos horizontais rotativos (ligeiramente inclinados) ou do tipo vertical estático de leito fluidizado (CBA, 2006; GRJOTHEIM; WELCH, 1980).

A temperatura de operação do forno de calcinação é da ordem de 1000°C (980°C – 1100°C, dependendo do tipo de combustível utilizado). As temperaturas na zona de queima acima de 1100°C são conseguidas com a queima de gás natural (CBA, 2006).

O objetivo da etapa de calcinação é remover a umidade livre e a água ligada dos cristais de alumina trihidratada, dando origem à alumina de alta pureza, cujos aglomerados de cristais apresentam granulometria entre 0,5µm a 10µm e estão prontos para serem enviados para a etapa de redução eletrolítica da alumina (CBA, 2006). O produto obtido da calcinação (alumina) é um pó branco refinado, de consistência semelhante ao açúcar, como pode ser visto na Figura 2.8.



Figura 2.8. Aspecto do óxido de alumínio (alumina) obtido na etapa de calcinação

Fonte: Lianyungang Zhong Ao Aluminium Co., Ltd. (2009)

¹¹ Nucleação é o nome que se dá para o processo de criação de novos cristais.

2.1.2 Redução eletrolítica da alumina: Processo Hall-Héroult

Para a alumina sofrer eletrólise é necessário que esteja fundida no meio eletrolítico, mas o seu ponto de fusão é cerca de 2000°C o que torna inviável a operação em escala industrial em qualquer cuba eletrolítica (célula eletrolítica) (CBA, 2006; GRJOTHEIM; WELCH, 1980).

A eletrólise da alumina para produzir o alumínio, só passou a ser viável economicamente depois da descoberta da *criolita*¹² por dois cientistas, o francês *Paul Louis Héroult* e o americano, *Charles Martin Hall*, em 1886, que inventaram, independentemente, o mesmo procedimento eletrolítico para reduzir a alumina em alumínio primário. Assim, em homenagem a esses dois cientistas o processo ficou conhecido como Processo Hall-Héroult. O Processo Hall-Héroult é usado até os dias atuais e se destaca como sendo o processo de maior consumo de energia elétrica por tonelada de produto fabricado: são necessários $14,8\text{kWh}$ (média brasileira) para a produção de um quilo de alumínio primário (ABAL, 2007).

A Figura 2.9 apresenta um fluxograma simplificado do Processo Hall-Héroult e os principais poluentes atmosféricos gerados no processo.

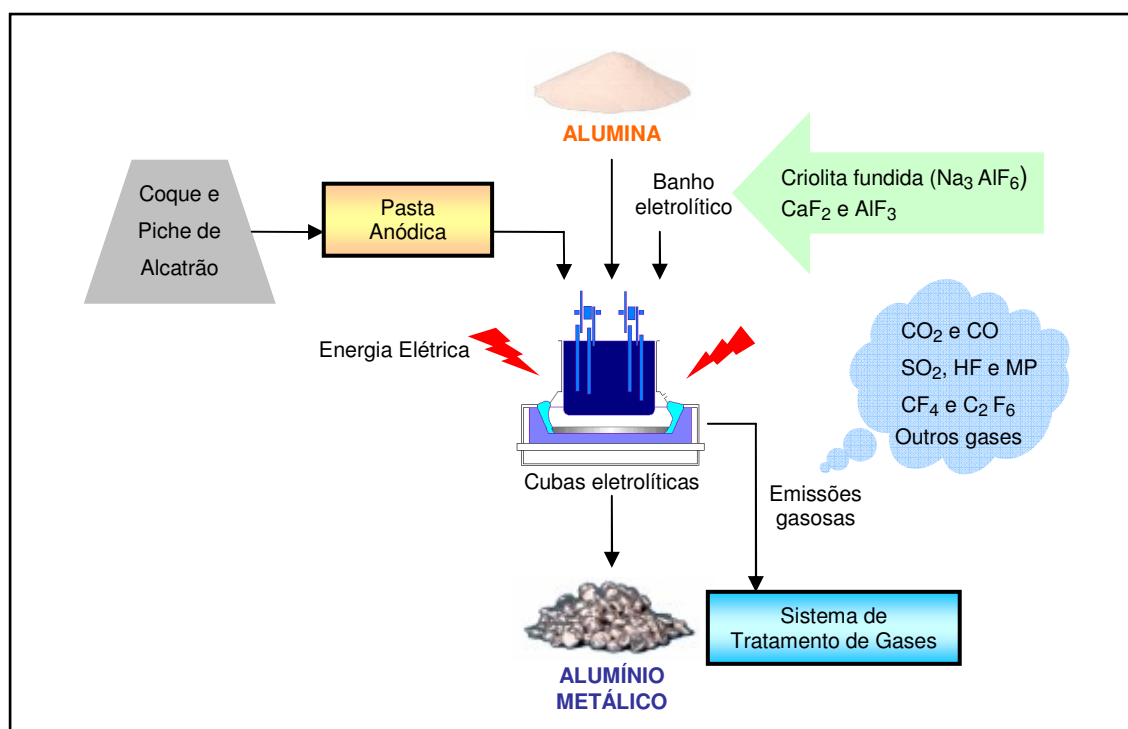


Figura 2.9. Fluxograma simplificado do Processo Hall-Héroult para anodo Soderberg

Fonte: Elaboração própria

¹² A criolita é um mineral pouco comum, com fórmula química Na_3AlF_6 . Com o uso da criolita conseguiu-se a solubilização da alumina em solução eletrolítica com temperaturas operacionais, possibilitando, desse modo, produzir alumínio metálico nas cubas eletrolíticas (GRJOTHEIM; WELCH 1980).

A eletrólise da alumina inicia-se quando a alumina é dissolvida em um banho de criolita (Na_3AlF_6), cujo ponto de fusão é 1009°C . Para reduzir a temperatura de fusão do banho eletrolítico para a faixa de 940°C a 980°C , são adicionados fluorita (CaF_2) e um excesso de fluoreto de alumínio (AlF_3), de modo que ele seja fundido em baixa tensão, formando assim, a solução eletrolítica no interior das cubas eletrolíticas (SHREVE, 1984).

As cubas eletrolíticas¹³ (Figura 2.10) são grandes vasos de aço no formato de um tanque, dentro dos quais está o compartimento catódico que funciona como pólo negativo. Entre os blocos catódicos e a carcaça é feito um isolamento térmico (tijolos refratários ou materiais com propriedades isolantes). Na parte do fundo da cuba sobrepondo o isolamento térmico, são colocados os blocos catódicos e o revestimento carbonáceo na periferia, formando assim, a cavidade catódica. Barras em aço ligado, que servem de coletoras de corrente elétrica, estão chumbadas na parte inferior dos blocos catódicos. Os anodos, que funcionam como pólo positivo, encontram-se suspensos no banho, presos por hastes de metal, por onde chega a corrente elétrica. Os anodos são constituídos de uma mistura de coque e piche e são consumidos durante o processo. A corrente elétrica passa pelo anodo, atravessa o catodo e segue para o anodo da cuba seguinte e assim por diante, formando um circuito em série. São necessários milhares de Ampères para realizar a dissociação da alumina no banho eletrolítico (SHREVE, 1984; SORLIE, 1989).

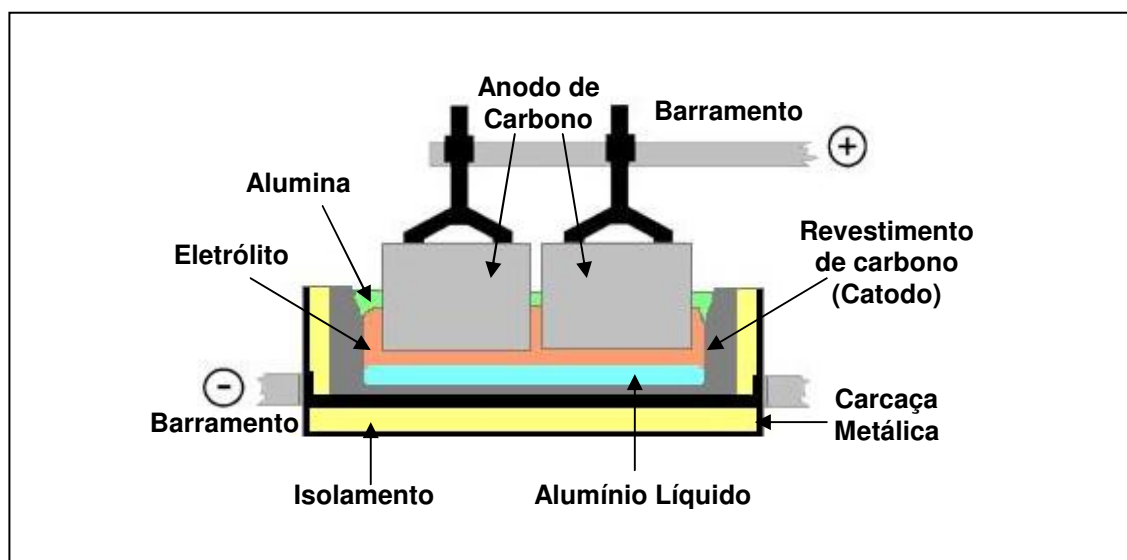


Figura 2.10. Cuba Eletrolítica

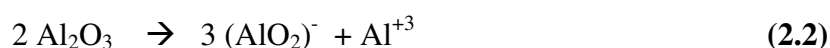
Fonte: Adaptado de ABAL (2010)

¹³ Cada cuba eletrolítica possui produção média de 300 Kg alumínio/dia. Assim, para atingir largas escalas de produção, elas são ligadas em série. A voltagem de cada uma varia de 4 a 6 volts, dos quais apenas 1,6 volts são necessários para a eletrólise propriamente dita. A diferença de voltagem é necessária para vencer resistências do circuito e gerar calor para manter o eletrólito fundido (CBA, 1997).

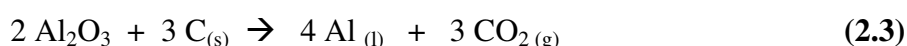
Nas cubas eletrolíticas, a temperatura é elevada até o nível operacional por meio de aquecimento resistivo; os anodos são postos em contato com uma camada de coque colocado sobre os blocos catódicos e se faz circular a corrente elétrica na célula, em curto circuito, até se alcançar a temperatura desejada (CBA, 1997; GRJOTHEIM; WELCH, 1980).

Os materiais do eletrólito são adicionados à cavidade da célula em torno dos anodos e, à medida que vão sendo fundidos, os anodos são levantados para que a célula comece a operar. O eletrólito fundido (banho eletrolítico) é constituído principalmente de criolita com excesso de CaF_2 e AlF_3 (CBA, 1997).

A alumina é dissolvida no banho de criolita numa proporção que varia de 2 a 6% e a reação de decomposição iônica (Reação 2.2) é:



Combinando as reações catódicas e anódicas obtém-se a reação global da redução da alumina (Reação 2.3), que ocorre na cuba eletrolítica escrita na forma não iônica:



Tal mecanismo ocorre com a liberação de oxigênio no anodo e o depósito de alumínio metálico no catodo. O oxigênio combina-se com o carbono do anodo, originando CO e CO_2 , com predominância do dióxido de carbono (CBA, 1997; ABAL, 2007).

Porém, algum metal é dissolvido no eletrólito e reoxidado pelo CO_2 evoluído no anodo, segundo a reação (Reação 2.4):

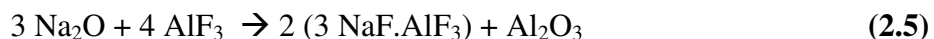


Esta reação pode reduzir a eficiência da produção de alumínio primário e aumenta o consumo de carbono da cuba eletrolítica (CBA, 1997).

A adição de alumina nas cubas é feita simetricamente por alimentadores ao longo da cuba eletrolítica. O sistema de alimentação é controlado de tal forma que ela é realizada de acordo com as necessidades operacionais de cada cuba. Teoricamente são necessários 1,89kg de alumina para fabricar 1,0kg de alumínio metálico, mas na prática, a relação real é de 1,91kg de alumina por quilo de alumínio metálico obtido. Quando a alumina está esgotada ou em baixa concentração no banho ocorre o “efeito anódico”, ou seja, ocorre a formação de uma fina película de tetrafluoreto de carbono (CF_4) em torno do anodo, que impede o contato entre o banho e a superfície anódica, o que provoca um rápido aumento de tensão na célula. Quando isso ocorre, adiciona-se alumina à cuba, mesmo que não seja o

momento programado da adição periódica, juntamente com o abaixamento dos anodos, a fim de diminuir a resistência do banho (SHREVE, 1984).

Segundo Shreve (1984), depois das primeiras semanas de operação das células, o eletrólito tende a perder AlF_3 , segundo as reações abaixo (Reações 2.5 e 2.6):



Durante a operação da cuba eletrolítica forma-se uma crosta (banho cristalizado) sobre a superfície do banho fundido que é de grande importância, pois age como camada protetora do revestimento lateral das cubas. A crosta, de tempos em tempos, é quebrada e a alumina é mecanicamente incorporada ao banho, e o alumínio líquido é extraído por meio de um sifão e enviado para o lingotamento, obtendo-se lingotes de alumínio puro ou de alumínio ligado (SHREVE, 1984; CBA, 1997).

2.1.2.1 Considerações sobre os tipos de anodos utilizados na redução da alumina

São dois os tipos de anodos utilizados no processo Hall-Héroult: o anodo pré-cozido (*Pre-Bake*) e o anodo *Soderberg*. Os dois anodos são produzidos a partir de coque de petróleo calcinado e piche. No entanto, o anodo pré-cozido é fabricado antes de ser introduzido no processo, sendo cozido com óleo pesado, e deve ser substituído de tempos em tempos. Já os anodos *Soderberg* são cozidos pelo próprio calor das cubas eletrolíticas e consumidos continuamente devendo ser constantemente alimentados no sistema (CBA, 1997; GRJOTHEIM; WELCH, 1980; SHREVE, 1984).

Na fabricação do anodo pré-cozido, o coque é britado, peneirado e separado em quatro frações, denominadas de agregado seco, que, após ser pré-aquecido, é misturado com o piche em misturadores contínuos para a formação da pasta anódica, em temperatura de cerca de 165°C. Em seguida, em torno de uma tonelada – quantidade necessária para produzir um bloco – do material é pesada e compactada em um molde. Os blocos seguem para fornos de cozimento¹⁴ que utilizam óleo pesado BPF (baixo ponto de fluidez) para gerar o calor necessário ao processo e garantir a temperatura de cozimento em torno de

¹⁴ O forno de cozimento de anodos é construído no interior de uma estrutura de concreto na qual são montadas paredes feitas, basicamente de tijolos refratários e isolantes térmicos. Além disso, o forno contém corredores paralelos, denominados alternadamente de câmaras de combustão e poços de anodos (ALBRAS, 2009).

1200°C, durante, aproximadamente, quinze dias. Uma haste metálica, por onde a eletricidade é conduzida nas cubas eletrolíticas, é soldada no anodo (ALBRAS, 2010).

Os anodos pré-cozidos são consumidos no processo de redução em uma taxa de, aproximadamente, 420kg de carbono por tonelada de alumínio produzido e, por isso, são substituídos a cada vinte e cinco dias (ALBRAS, 2010). A Figura 2.11 mostra o esquema de uma cuba eletrolítica que utiliza anodo pré-cozido.

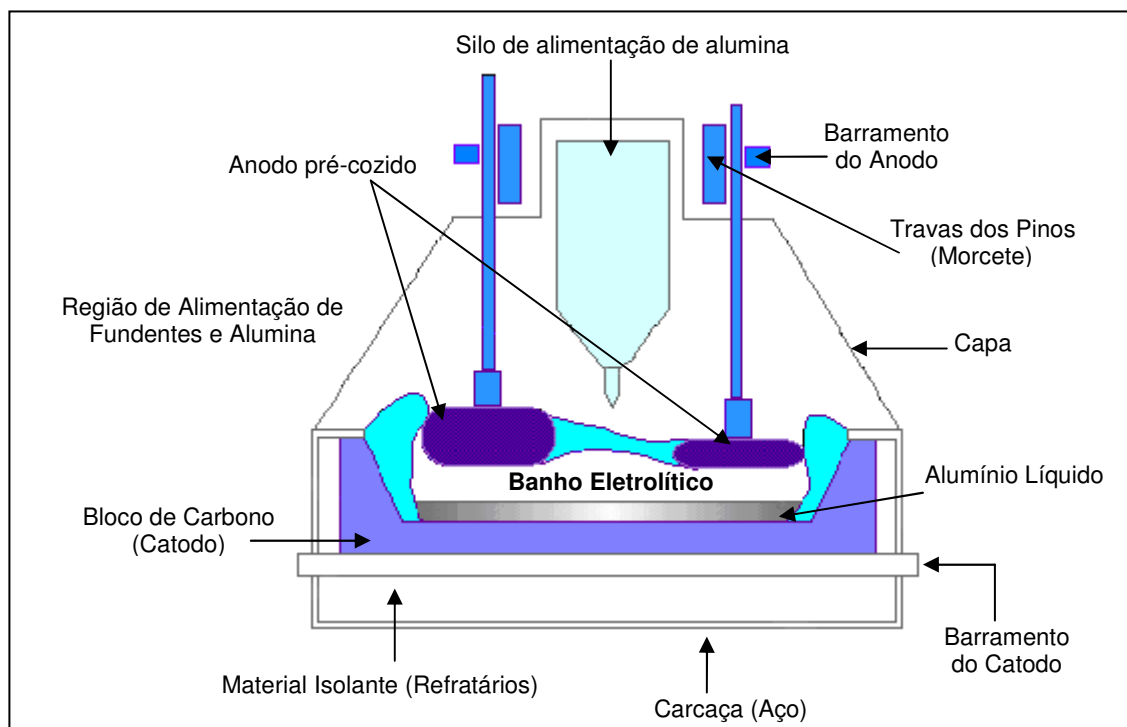


Figura 2.11. Cuba eletrolítica que utiliza anodo pré-cozido (CWP – Center-worked Prebaked)

Fonte: Adaptado de GRJOTHEIM; WELCH (1980)

O processo de fabricação do anodo Soderberg (pasta anódica ou pasta Soderberg) consiste na classificação, moagem, dosagem e blendagem das frações do coque de petróleo para obtenção de um agregado que é pré-aquecido e misturado com o piche de alcatrão líquido já aquecido. Após esta etapa, a mistura do agregado com o piche é briquetado e resfriado em água. O briquete, também, denominado de pasta anódica ou pasta Soderberg é encaminhado para as cubas eletrolíticas onde sofrerá cozimento formando o anodo Soderberg (CBA, 1997).

O anodo Soderberg é, portanto, formado nos *fornos Soderberg* (como são denominadas as cubas eletrolíticas que utilizam anodo Soderberg), a partir da pasta anódica que é cozida nas próprias cubas, em temperaturas entre 450°C a 500°C. O anodo é

dividido na cuba em três zonas distintas, devido à diferença de temperaturas entre elas, denominadas de zona crua, zona de cozimento e zona de reação, como pode ser visto na Figura 2.12 (CBA, 1997).

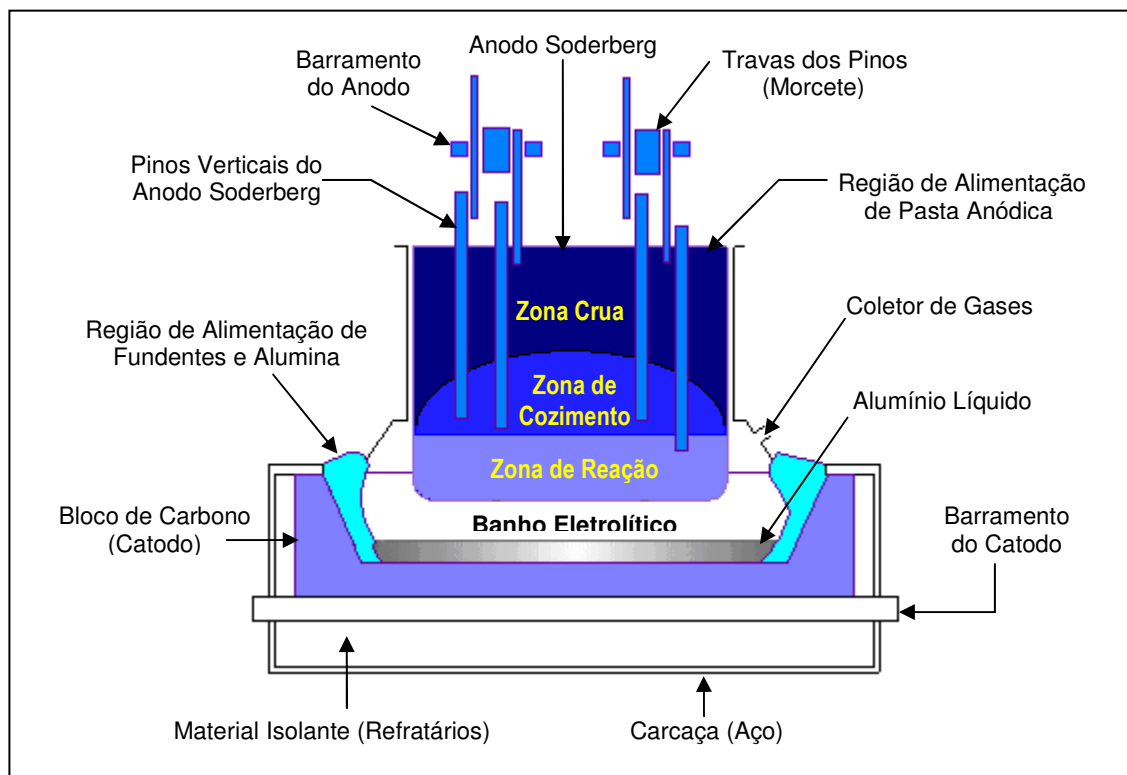


Figura 2.12. Forno Soderberg de pinos verticais

Fonte: Adaptado de GRJOTHEIM; WELCH (1980)

A *zona crua* corresponde ao topo do anodo, onde é feita a reposição com briquetes de pasta anódica, sendo a zona que apresenta a menor temperatura, em torno de 230°C a 240°C, onde a pasta é fundida (CBA, 1997).

A *zona de cozimento* é a região intermediária do anodo, onde a pasta é cozida a uma temperatura entre 450°C a 500°C, liberando vapores, formando, assim, o anodo propriamente dito, pois é nessa região que ele atinge as características finais para ser consumido na reação de eletrólise do alumínio (CBA, 1997).

A *zona de reação* corresponde à região do anodo que está em contato com o banho eletrolítico, onde ocorrem as reações químicas e a liberação de calor devido a sua queima, sendo, conseqüentemente, o local onde o anodo é consumido. A taxa de consumo do anodo varia de acordo com as condições operacionais dos fornos (cubas eletrolíticas) e a reatividade da pasta anódica. Nessa região, a temperatura varia de 950°C a 960°C (CBA, 1997).

2.2 Principais poluentes atmosféricos do processo produtivo do alumínio primário

Para identificar os principais poluentes atmosféricos gerados no processo de fabricação de alumínio primário, tomou-se como referência o documento “*Compilation of air pollutant emission factors*” – AP-42¹⁵, publicado pela *US Environmental Protection Agency – USEPA*, por se tratar de referência de relevância mundial.

De acordo com o AP-42, Seção 12.1 (USEPA, 1998), que trata da fabricação de alumínio primário, na fase de fragmentação da bauxita (britagem e moagem da bauxita) e de calcinação da alumina, há geração de diversos tipos de material particulado, e os níveis de emissão podem ser remediados por meio da instalação de equipamentos de controle da poluição do ar, tais como os separadores ciclônicos, os filtros de manga, os precipitadores eletrostáticos ou os lavadores de gás. Na etapa de calcinação da alumina, tal procedimento é amplamente utilizado, pois os particulados representam grandes volumes de material de grande valor econômico e devem ser retornados ao processo.

Além do material particulado há outros poluentes que são gerados na etapa de refino da alumina devido à queima de combustíveis fósseis para geração de calor, tais como os óxidos de enxofre (SO_x), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO₂) e, também, os Hidrocarbonetos¹⁶ (HC) (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

No documento AP-42 são citados vários outros poluentes atmosféricos gerados na indústria de produção de alumínio, sendo aqui destacados os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs), que são classificados no próprio documento como *poluentes perigosos*, alguns deles, inclusive comprovadamente carcinogênicos.

Nos processos de refusão/fundição há utilização de cloro com o objetivo de retirar impurezas do alumínio, e, assim, há a geração de poluentes clorados, como o HCl, Cl₂, entre outros. Destaca-se que esses poluentes contribuem para a formação de chuvas ácidas e são classificados, de acordo com o documento AP-42, como poluentes do ar perigosos (USEPA, 1998).

Em toda a cadeia produtiva do alumínio são gerados gases de efeito estufa (GEEs), uma vez que se utilizam combustíveis fósseis no beneficiamento da matéria-prima até a

¹⁵ O documento AP-42 da EPA dos EUA é um modelo de estimativa de fontes de emissão, baseando-se em dados coletados experimentalmente em diversas fontes de emissão semelhantes, correlacionando parâmetros operacionais (ex.: tipo de combustível, volume de produção, etc.) com dados de emissão.

¹⁶ “São gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis. Diversos hidrocarbonetos como o benzeno são cancerígenos e mutagênicos, não havendo uma concentração ambiente totalmente segura” (CETESB, 2009b).

obtenção do produto final. O principal gás de efeito estufa é o CO₂, o qual é gerado em todas as etapas do processo produtivo de fabricação de alumínio (HARNISCH *et al.*, 1998).

No entanto, há geração de outros gases de efeito estufa durante a fabricação de alumínio, como o tetrafluorometano (CF₄) e o hexafluoretano (C₂F₆), compostos perfluorados (PFC) formados durante a etapa de redução eletrolítica do óxido de alumínio, ou seja, no processo Hall-Héroult. Basicamente, as emissões desses dois compostos¹⁷ ocorrem durante as breves interrupções chamadas de “Efeitos Anódicos”, sendo que a frequência e a duração dos efeitos anódicos servem para quantificar o nível de emissões que ocorrem. O hexafluoretano e tetrafluorometano são gases de efeito estufa extremamente estáveis, com vidas atmosféricas estimadas em 10000 e 50000anos, respectivamente (HARNISCH *et al.*, 1998; MARKS *et al.* 2003; LEBER *et al.* 1998).

Segundo Harnisch *et al.* (1998), no caso das emissões de PFC provenientes do Efeito Anódico, os métodos convencionais de redução da poluição do ar, ou seja, a adoção de práticas de controle da poluição do ar com a aplicação de tecnologias de *fim-de-tubo* (*end-of-pipe*), por exemplo, lavadores, são geralmente ineficazes. Isso é devido às baixas concentrações de PFC nas correntes de gases de escape das cubas eletrolíticas, da baixa solubilidade dessas substâncias em água e de sua alta estabilidade térmica e química. Portanto, as medidas adotadas para a redução da poluição do ar por quase todas as indústrias produtoras de alumínio, especialmente aquelas instaladas em países em desenvolvimento, são ineficazes para o controle da emissão de compostos PFC.

O processo adotado para a redução eletrolítica do alumínio também influencia na emissão de PFC. As tecnologias comercialmente usadas atualmente para a redução eletrolítica da alumina podem ser divididas em quatro grupos dependendo do tipo de anodo empregado e da tecnologia de alimentação de alumina utilizada: CWPB (Centerwork Prebaked), SWPB (Sidework Prebaked), HSS (Horizontal Stud Soderberg) e VSS (Vertical Stud Soderberg). Devido à grande dimensão dos investimentos de capital necessários para a modernização da tecnologia de redução eletrolítica do alumínio, todas as quatro

¹⁷ A emissão de PFC para a atmosfera durante o Efeito Anódico, mesmo que em quantidades inferiores ao CO₂ gerado pela indústria do alumínio, acarretam em grande prejuízo para o meio ambiente, uma vez que esses gases têm valores altos de PAG (Potencial de Aquecimento Global), parâmetro proposto pelo IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, que serve para comparar os gases do efeito estufa entre si, os quais têm diferentes impactos sobre o clima. O PAG dos gases é calculado como a razão da força radiativa resultante das emissões de 1 kg deste gás (do efeito estufa) com a emissão de 1 kg de CO₂ durante um determinado período de tempo, geralmente 100 anos. Com base nesse parâmetro, o CF₄ e o C₂F₆ para um horizonte de 100 anos apresentam valores de PAG, respectivamente, 6500 e 9200. Portanto, espera-se que 1 kg de CF₄ em atmosfera corresponda ao mesmo efeito de 6,5 toneladas de CO₂ (HARNISCH *et al.*, 1998).

tecnologias estão em uso, apesar das tecnologias CWPB apresentarem maior eficiência energética e requererem menor número de trabalhadores (HARNISCH *et al.*, 1998).

A média específica de emissão dos PFC para as quatro tecnologias citadas varia significativamente como pode ser constatado nos dados apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Média específica de emissão de compostos perfluorados

Tecnologias	CF ₄ (kg/t Al)	C ₂ F ₆ (kg/t Al)
CWPB - Centerwork Prebaked	0,3	0,05
SWPB - Sidework Prebaked	1,2	0,02
VSS - Vertical Stud Soderberg	1,1	0,11
HSS - Horizontal Stud Soderberg	0,4	0,04

Fonte: Adaptado Harnisch *et al.* (1998)

O processo de redução eletrolítica da alumina emite gases, vapores e material particulado¹⁸ (MP), sendo os principais: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), compostos orgânicos voláteis (COV's) e óxidos de enxofre (SO_x). Na dissociação da criolita são formados os perfluorados de carbonos (PFC), tetrafluorometano (CF₄) e hexafluoroetano (C₂F₆) (USEPA, 1998). Destaca-se que esses compostos contribuem para a formação de chuvas ácidas e para o aquecimento global.

Dentre os principais poluentes do processo de redução eletrolítica e que merecem destaque são os fluoretos gasosos e o material particulado que são classificados no documento AP-42 como *poluentes perigosos* e são gerados em grandes volumes durante a eletrólise da alumina. O documento AP-42 apresenta fatores de emissão para esses poluentes, que são altamente reativos.

As duas tecnologias de fabricação de anodos utilizados para a redução do alumínio consomem grandes quantidades de energia¹⁹ e liberam uma grande variedade de efluentes atmosféricos, dos quais se destacam os HAPs, emitidos, principalmente, durante o cozimento do anodo. O que difere as tecnologias de produção do anodo para a fabricação do alumínio no que diz respeito aos efluentes atmosféricos emitidos, incluindo os HAPs, é

¹⁸ O material particulado pode ser constituído de partículas de alumina, carbono do anodo, criolita, fluoreto de alumínio, fluoreto de cálcio, (Na₅Al₃F₁₄) e óxido férrico (USEPA, 1998).

¹⁹ A etapa de redução da alumina consome muita energia elétrica, em níveis tais que a fabricação de alumínio é o processo industrial que apresenta o maior consumo específico desse insumo energético. Para produzir uma tonelada de alumínio primário são necessários 15MWh, aproximadamente (ABAL, 2007).

a forma como são fabricados. No caso do processo de produção do anodo Soderberg, é difícil controlar as emissões, uma vez que, ele é cozido durante a eletrólise da alumina e deve ser alimentado constantemente, deixando escapar da cuba eletrolítica, gases e vapores orgânicos produzidos durante seu cozimento (USEPA, 1999a).

No processo de fabricação do anodo pré-cozido, pelo fato do material que o compõe estar cozido, não ocorre liberação de quantidades significativas de HAPs durante o processo de eletrólise da alumina. Nesse caso, a maior parte dos HAPs são produzidos durante o cozimento do anodo, que ocorre em etapa anterior (USEPA, 1998).

Pelo fato de não haver necessidade de se abrir os fornos de cozimento durante o processo de fabricação dos anodos pré-cozidos, como ocorre com as cubas eletrolíticas, torna-se possível captar e tratar os efluentes atmosféricos formados. Assim sendo, a emissão de HAPs poderá ser controlada e os níveis de compostos orgânicos lançados na atmosfera serem significativamente reduzidos, ou seja, as emissões de COV's e HAPs verificadas no processo de redução de alumina com anodos Soderberg são maiores do que no processo onde o anodo pré-cozido é empregado (USEPA, 1998).

O anodo Soderberg é uma tecnologia antiga, que degrada mais o ambiente e possui menor eficiência de processo. Por isso, o anodo de pasta Soderberg vem sendo substituído pelo anodo pré-cozido. Porém, essa substituição implica, também, na substituição das cubas eletrolíticas e a viabilidade econômica de mudança tecnológica é considerada pelos empreendedores.

2.3 Principais efeitos dos poluentes atmosféricos para a saúde humana

Nem sempre é fácil estabelecer uma relação direta entre determinado poluente e os efeitos que o mesmo provoca no meio ambiente. A concentração de um poluente no ar atmosférico, as condições em que ocorre sua dispersão ou transformação, a distância que ele pode alcançar quando transportado e o tempo de exposição ao mesmo, são alguns fatores que influem na extensão dos impactos que o poluente pode causar nos seres humanos e no meio ambiente natural.

A incidência de doenças respiratórias, por exemplo, pode ser associada a certos poluentes atmosféricos, mas também resultar de outras causas. No entanto, há informações de que em regiões onde se constata poluição do ar, ocorrem, com maior intensidade, esses tipos de doenças (DERISIO, 2000). Segundo Braga *et al.* (2007), os estudos realizados nas últimas três décadas têm contribuído para a identificação de grupos suscetíveis e dos

principais efeitos adversos atribuídos à exposição aos poluentes atmosféricos. Por exemplo, os poluentes gasosos e o material particulado inalável gerados a partir da queima de combustíveis fósseis apresentam efeitos diretos sobre o sistema respiratório, em especial, de crianças e idosos. Esses efeitos têm sido monitorados com base no aumento do número de atendimentos de pronto-socorro e internações hospitalares, e no aumento do número de óbitos, quando os níveis de poluição do ar são elevados.

Segundo Saldiva *et al.* (2004), estudos têm mostrado que, na cidade de São Paulo, os níveis de poluição são danosos à saúde da população, uma vez que foram detectadas associações entre níveis diários de poluentes atmosféricos e mortes em idosos; internações por doenças respiratórias na infância; internações e mortes por doenças cardiovasculares e também mortes fetais tardias. Por exemplo, Saldiva *et al.* (2004) concluíram em seu estudo na cidade de São Paulo (período de 1993 a 1997) em comparação a outros estudos realizados que, para cada incremento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de MP_{10} no ar atmosférico, observa-se um incremento de 1,1% no número de óbitos em idosos e 1,3% nas internações por doenças respiratórias.

Cada poluente atmosférico age de forma diferente no organismo humano ou no meio ambiente natural, contudo, a atmosfera não os limita de agirem em conjunto, sendo difícil a análise dos reais efeitos provocados por cada poluente individualmente. No entanto, sabe-se que uma atmosfera poluída é responsável pela degradação da qualidade de vida do ser humano, e assim sendo, conhecer os efeitos que cada poluente gera na saúde humana e no ambiente natural é imprescindível para se desenvolver uma análise global dos efeitos deletérios que os poluentes atmosféricos acarretam.

Com esse objetivo, serão descritos em seguida, e de forma sintética, os efeitos adversos dos poluentes atmosféricos SO_2 , NO_2 , HC^{20} (com ênfase ao HAPs), CO , MP (com ênfase ao MP_{10}), fluoretos e O_3 , uma vez que são os principais poluentes associados à produção de alumínio primário e causam danos à saúde humana.

2.3.1 Efeitos adversos à saúde humana causados pelo SO_2

O dióxido de enxofre é um gás amarelado, solúvel em água, com odor característico do enxofre e terrivelmente irritante. Estudos feitos com animais mostraram que a inalação

²⁰ Entre HC destacam-se os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), que são poluentes orgânicos persistentes capazes de realizar transformações metabólicas no DNA de forma a produzir compostos mutagênicos e carcinogênicos.

de SO₂ pode interferir na eliminação de bactérias e de partículas inertes dos pulmões e, também, aumenta a produção de catarro, além de dificultar o ato de respirar (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

Como o SO₂ é solúvel em água, parte dele é absorvido no nariz e na faringe, ou na boca quando se respira por ela. Conseqüentemente, o SO₂ inalado, atinge o sistema sanguíneo, sendo distribuído por todo o corpo, depois é metabolizado e removido pelo sistema urinário. Quando a capacidade de absorção das vias aéreas superiores é ultrapassada por altas concentrações, pode ocorrer edema pulmonar e até morte (WHO, 1979).

É importante destacar que o SO₂, ao chegar à mucosa respiratória, transforma-se em ácido sulfúrico que, mesmo em quantidades muito pequenas, ao longo do tempo lesam as células de defesa do trato respiratório, predispondo o indivíduo a infecções respiratórias.

Cabe ressaltar que tanto o SO₂ quanto o NO₂, quando presentes na atmosfera, reagem com o vapor d'água formando substâncias ácidas tais como ácido sulfúrico, ácido sulfuroso, ácido sulfídrico, ácido nítrico e ácido nitroso, que serão precipitados junto com as chuvas, diminuindo o pH e formando as chuvas ácidas. Os principais efeitos nocivos da chuva ácida são: acidificação de sistemas aquáticos (principalmente lagos), do solo e destruição de florestas com conseqüentes prejuízos para as formas de vida que ali habitam; deterioração de materiais, estruturas e monumentos históricos pela intensificação da corrosão.

2.3.2 Efeitos adversos à saúde humana causados pelo NO₂

O dióxido de nitrogênio é um gás oxidante, solúvel nos tecidos e, devido a esse grau de solubilidade nos tecidos, reage não só com o epitélio alveolar, como também com o interstício e o endotélio dos capilares pulmonares. Essa lesão oxidativa tem sido enunciada como o principal mecanismo formador de lesão pulmonar. Apesar de ser menos reagente que o O₃, estudos indicam que as pessoas asmáticas e as que sofrem de doenças pulmonares obstrutivas crônicas são muito sensíveis aos efeitos danosos dos NO₂ sobre a função pulmonar (KURIYAMA *et al.*, 1997; RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

Uma grande parte do NO₂ inalado é retida nos pulmões e depositada primariamente nos brônquios, bronquíolos respiratórios e terminais, com pequena deposição nos alvéolos. É capaz de lesar diretamente o pulmão, em vista de suas propriedades oxidantes, ou indiretamente por aumentar a suscetibilidade às infecções respiratórias. Portanto, seu efeito

tóxico está relacionado ao fato de ser um agente oxidante (KURIYAMA *et al.*, 1997; BRAGA *et al.*, 2002).

Ainda que os sintomas clínicos não apareçam de imediato, a exposição continuada aos níveis de concentração de NO₂ normalmente encontrados no meio ambiente urbano pode provocar mudanças morfológicas pulmonares e nos parâmetros bioquímicos, além de alterações no sistema imunológico (KURIYAMA *et al.*, 1997).

É importante destacar que os dióxidos de nitrogênio são extremamente reativos e na presença de luz solar, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio (O₃), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera.

2.3.3 Efeitos adversos à saúde humana causados pelo CO

Membro da família dos asfixiantes químicos, o monóxido de carbono é um gás perigoso, incolor, inodoro, sem sabor e não irritante. Pode deixar uma pessoa inconsciente ou mesmo matá-la em poucos minutos. Chamado de “assassino silencioso”, ele é produzido pela combustão incompleta de matérias carbonáceas orgânicas, como a madeira, o papel, o óleo, o gás de cozinha, a gasolina. A toxicidade desse gás (monóxido de carbono) varia segundo o tempo de exposição e a concentração inalada, podendo existir casos de intoxicação aguda e crônica (WHO, 1999).

A toxicidade do CO no homem se explica quando ele entra em competição com o O₂ pela hemoglobina. A ação tóxica principal do CO resulta em anoxia (falta de oxigênio) provocada pela conversão da oxihemoglobina em carboxihemoglobina (COHb). Portanto, o transporte de oxigênio pelo sangue, desde os pulmões até aos tecidos fica comprometido devido à ocupação do centro ativo da hemoglobina pelo CO, composto que possui uma afinidade com a hemoglobina 210 vezes superior à do oxigênio. Conseqüentemente, concentrações relativamente pequenas no ambiente podem significar concentrações tóxicas no sangue humano, resultando em uma molécula de hemoglobina que não seja capaz de liberar oxigênio aos tecidos (WHO, 1999; BRAGA *et al.*, 2002; RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

A redução no nível de oxigênio nos tecidos causada por carboxihemoglobina pode causar relevantes efeitos adversos à saúde. Pequenos aumentos de carboxihemoglobina em pacientes com doenças isquêmicas do coração causam diminuição de tolerância a exercícios físicos. Além disso, há uma associação entre níveis elevados de CO no ambiente e aumento da incidência de doenças cardiovasculares (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

Intoxicação crônica ao monóxido de carbono resultante de uma exposição prolongada a baixas concentrações pode ocasionar vários efeitos tóxicos cumulativos como insônia, cefaléia, fadiga, diminuição da capacidade física, tonturas, vertigens, náuseas, vômitos, distúrbios visuais, alterações auditivas, doenças respiratórias, anorexia, síndrome de Parkinson, isquemia cardíaca, cardiopatias e arterosclerose (WHO, 1999).

2.3.4 Efeitos adversos à saúde humana causados pelos HAPs

Os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs) são compostos orgânicos que possuem mais de um anel aromático condensado em sua estrutura. Esses compostos encontram-se na forma de vapor ou adsorvidos em material particulado e são derivados da combustão incompleta de matéria orgânica sendo a indústria de alumínio uma das principais fontes industriais de HAPs, principalmente as plantas que utilizam o anodo Soderberg.

Os HAPs são poluentes orgânicos persistentes, capazes de realizar transformações metabólicas no DNA de forma a produzir compostos mutagênicos e carcinogênicos. De forma geral, os HAPs possuem baixa solubilidade em água e são altamente lipossolúveis, portanto, são absorvidos de forma rápida por meio da inalação, exposição oral ou pela pele. É importante destacar que a maior parte dos HAPs encontrados nas águas e nos solos é resultante da deposição atmosférica (KHAIWAL *et al.*, 2007; REMIÃO, 2007).

Podem ser armazenados em quase todos os tecidos do corpo humano, principalmente no tecido adiposo, no qual se acumulam em maior quantidade, além dos rins e do fígado. Quantidades menores desses compostos também podem acumular-se no baço, nas glândulas adrenais e nos ovários, podendo contaminar até mesmo os fetos (REMIÃO, 2007; IARC, 2006).

O metabolismo do corpo humano tem a função de tornar esses compostos menos tóxicos e mais hidrossolúveis para serem mais facilmente eliminados do organismo. Porém, as reações intermediárias podem torná-los mais tóxicos ou mesmo carcinogênicos antes de serem eliminados. Um exemplo disto é o benzo[a]pireno, que não é mutagênico. No entanto, os produtos das reações pelas quais ele passa no interior das células podem torná-lo carcinogênico. É importante destacar que o benzo[a]pireno pode ser detectado em diversos órgãos em um indivíduo minutos após a exposição, sendo acumulado, principalmente, no fígado (IARC, 2006).

Quando inalados de forma crônica, os HAPs podem causar danos ao sistema respiratório, como irritações, tosse crônica, bronquite e câncer pulmonar. Podem também ocasionar alterações sanguíneas, como a redução do número de glóbulos brancos (leucopenia) e anemia. Sua ingestão pode causar câncer na região dos lábios e na cavidade oral. Pode ser tóxico ao fígado, causar sangramento na urina, câncer na bexiga, nos rins e danos ao sistema imunológico. A exposição dérmica crônica pode desenvolver verrugas, eritema, queimaduras, foto sensibilidade, lesões e câncer de pele. É importante ressaltar que a exposição crônica aumenta as chances de se iniciar um processo carcinogênico. (REMIÃO, 2007; IARC, 2006).

2.3.5 Efeitos adversos à saúde humana causados pelos Fluoretos

Segundo a *Health Canada* (1993) e a *USEPA* (2000), a indústria de produção de alumínio primário é uma das principais fontes antrópicas de emissão de fluoretos (predominantemente na forma de fluoreto de hidrogênio) para a atmosfera. O fluoreto de hidrogênio (HF) é altamente solúvel em vários solventes orgânicos e na água, sendo que na presença de água forma o ácido fluorídrico.

A exposição aguda por inalação de fluoreto de hidrogênio gasoso pode causar graves danos respiratórios em seres humanos, como, por exemplo, edema pulmonar. Além de irritação dos olhos, nariz, lacrimejamento, dor de garganta, tosse, aperto no peito, chiado, queimaduras dérmicas, convulsões e arritmias cardíacas, podendo, ainda, causar morte por insuficiência cardíaca ou respiratória devido à ingestão de altas doses de fluoretos, enquanto que, a exposição por inalação crônica ao fluoreto de hidrogênio tem como resultado a irritação e congestão do nariz, garganta e brônquios. É importante citar que danos aos pulmões, fígado e rins têm sido observados em animais expostos à inalação de fluoreto de hidrogênio em situações crônicas ou agudas (USEPA, 2000).

A exposição ao flúor em níveis baixos tem um efeito benéfico na prevenção da cárie dentária e no tratamento da osteoporose. Todavia, a exposição crônica ao flúor em níveis mais elevados pode causar fluorose dentária ou manchas (ou corrosão) dos dentes. Importante salientar que já foi relatado aumento da densidade óssea (fluorose esquelética) em trabalhadores expostos cronicamente ao flúor (inclusive ao fluoreto de hidrogênio) através da inalação (USEPA, 2000; ATSDR, 2003; WHO, 2002). Vale ressaltar que o flúor é bastante tóxico para o ser humano, e estima-se que, para uma exposição diária de oito

horas, a concentração máxima permitida do gás na atmosfera ambiente deve ser de 0,1ppm, enquanto que para o HF esse valor é de 2ppm a 3ppm (PEIXOTO, 1998).

As plantas mostram-se mais sensíveis aos fluoretos do que os seres humanos. Os fluoretos são os gases mais fitotóxicos que existem, podendo causar danos em espécies vegetais sensíveis em concentrações da ordem de 10 a 100 vezes menores que a concentração de outros poluentes atmosféricos. Os fluoretos tornam-se tóxicos em concentrações menores que 1ppb, sendo que o fluoreto gasoso é a forma mais tóxica para a vegetação, se comparado aos fluoretos particulados (CETESB, 1998).

É importante destacar que os fluoretos, quando presentes na atmosfera, reagem com o vapor d'água formando substâncias ácidas tais como ácido fluorídrico, que serão precipitadas junto com as chuvas (chuva ácida), diminuindo o pH e aumentando a concentração de flúor em rios e lagos entre outros prejuízos para o meio ambiente.

2.3.6 Efeitos adversos à saúde humana devido à exposição ao O₃

O ozônio não é um poluente emitido diretamente pelas fontes poluidoras, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis (COV's) e óxidos de nitrogênio (NO_x) em presença de luz solar. Embora benéfico na Estratosfera, onde forma uma camada protetora contra os efeitos danosos da radiação ultravioleta, nas camadas mais baixas da atmosfera (Troposfera) é prejudicial à saúde humana, à fauna, à flora e aos materiais. O ozônio encontrado no nível do solo é conhecido como ozônio troposférico (BRAGA *et al.*, 2002; RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

Com relação ao efeito do ozônio sobre a saúde humana, as ocorrências mais relatadas devido à exposição ao poluente são: irritação nos olhos, nas vias respiratórias, tosse, chiado e dor no peito, além do agravamento de doenças respiratórias preexistentes, como a asma. O poluente aumenta, também, a susceptibilidade às doenças respiratórias como a bronquite, enfisema pulmonar e pneumonia (USEPA, 1999b; BRAGA *et al.*, 2002; RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

A exposição freqüente ao ozônio pode tornar as pessoas mais suscetíveis a lesões permanentes nos pulmões. Adultos e crianças saudáveis também estão sujeitos aos efeitos danosos causados pelo ozônio se expostos a níveis elevados do poluente, principalmente, durante a prática de exercícios físicos (USEPA, 1999b).

Cabe ressaltar que, além de danoso à saúde humana, o ozônio é extremamente prejudicial à flora, causando danos às colheitas e à vegetação natural. O ozônio, por seu

caráter altamente oxidante, é capaz de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica das plantas (CETESB, 1999; USEPA, 1999b).

2.3.7 Efeitos adversos à saúde humana causados pelo material particulado

Sob a denominação geral de “*material particulado*” encontra-se um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho. É representado por uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas. Essas partículas suspensas variam em tamanho, forma, composição e origem. As partículas líquidas constituem, juntas às sólidas, os aerossóis. O material particulado também pode formar-se na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), entre outros gases, devido às reações químicas que ocorrem na atmosfera (SALGADO, 2003). O material particulado pode ser classificado como *Partículas Totais em Suspensão*²¹ (PTS), *Partículas Inaláveis*²² (MP₁₀) e *Fumaça*²³ (FMC).

As partículas encontradas no ar apresentam tamanho amplamente variável desde aproximadamente 0,005µm até 100µm de diâmetro aerodinâmico, ou seja, do tamanho de apenas alguns átomos até a espessura de um fio de cabelo humano (SALGADO, 2003). O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial de causar problemas à saúde humana, sendo que quanto menor o tamanho da partícula, maiores são os efeitos deletérios por ela provocados.

Por isso, as partículas inaláveis (MP₁₀), além de criarem problemas de visibilidade e incômodo para a população atingida, causam problemas de saúde, incluindo riscos maiores de doenças cardíacas e pulmonares (USEPA, 2003). Diversos estudos mostram que as partículas inaláveis grossas (2,5µm a 10µm) são menos prejudiciais à saúde humana, pois, quando inaladas, são filtradas nos pêlos do nariz ou retidas na garganta. Entretanto, por se acumularem nas vias aéreas superiores, agravam problemas como a asma em pessoas com deficiência respiratória. Ao contrário, as partículas inaláveis finas (diâmetro inferior a

²¹ *Partículas Totais em Suspensão* (PTS): podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50µm (CETESB, 2009b).

²² *Partículas Inaláveis* (MP₁₀): podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10µm. As partículas inaláveis podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis finas – MP_{2,5} (<2,5µm) e partículas inaláveis grossas (2,5 a 10µm) (CETESB, 2009b).

²³ *Fumaça* (FMC): está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na 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, 2009b).

2,5µm) chegam aos brônquios e aos alvéolos pulmonares. Nas vias aéreas inferiores não há mecanismos eficientes de expulsão dessas partículas. Importante salientar que tais partículas possuem a capacidade de adsorver e transportar poluentes com efeitos tóxicos e carcinogênicos até o trato respiratório, como metais tóxicos e compostos orgânicos tóxicos (BRAGA *et al.*, 2002; SALGADO, 2003).

Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças são os mais susceptíveis às ações deletérias da inalação do material particulado, especialmente quando estão realizando atividades físicas, pois aumentam a atividade respiratória e, conseqüentemente, aumentam a inalação e a deposição de material particulado nos pulmões. Mesmo pessoas saudáveis podem desenvolver sintomas temporários como irritação dos olhos, nariz e garganta, além de tosses, catarro, dor no peito e falta de ar (USEPA, 2003).

Exposição prolongada, como aquelas experimentadas por pessoas que vivem em regiões onde as concentrações de material particulado no ar atmosférico são elevadas, tem sido associada a problemas como redução da capacidade funcional do pulmão e desenvolvimento de bronquite crônica e até mesmo morte prematura. Já a exposição de curto prazo pode agravar doenças de pulmão, causando crises de asma e bronquite aguda, e aumentar a susceptibilidade às infecções respiratórias, uma vez exposto à vírus ou bactérias. Estudos evidenciaram a relação entre a exposição de curto prazo e a ocorrência de ataques cardíacos e arritmias em pessoas com doenças cardíacas (USEPA, 2003; SALGADO, 2003).

Nas últimas décadas vários estudos têm demonstrado que o material particulado pode causar efeitos negativos, mesmo quando suas concentrações estão em níveis abaixo dos estabelecidos pelos padrões de qualidade do ar fixados em vários países desenvolvidos e também no Brasil (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

Estudos epidemiológicos realizados em regiões urbanas podem contribuir para identificar níveis de material particulado e de outros poluentes que garantam a saúde das pessoas expostas (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002). Isso demonstra a importância de se realizar estudos sobre a qualidade do ar e poluentes atmosféricos, visto que a poluição do ar deve ser combatida, visando promover a qualidade de vida do ser humano.

CAPÍTULO 3

PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO NO MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO, SÃO PAULO

3.1 Breve histórico do Município de Alumínio

A história do Município de Alumínio iniciou-se por ocasião da construção da Companhia Sorocabana de Estrada de Ferro, que proporcionou à região a possibilidade de se desenvolver e, também, por causa de um empresário chamado Coronel Antônio Proost Rodovalho²⁴ que, ao tomar conhecimento das reservas de calcário existentes na região, adquiriu uma propriedade, situada nas proximidades do município de São Roque, dando a ela o nome de Fazenda Santo Antônio, atualmente Pantojo. Ao comprar a fazenda, foram tomadas providências para implantar uma fábrica de aglomerantes hidráulicos e para instalar uma fábrica de cimento. Em 1892, foi construída a primeira fábrica de cimento do Brasil, a Fábrica de Cimento Rodovalho, que produzia o cimento “Rodovalho”.

Com a construção da Estrada de Ferro Sorocabana (atualmente Ferrobán), houve necessidade de se construir uma estação ferroviária para escoar a produção de cimento. Em 10 de julho de 1895, a estação foi inaugurada, recebendo o nome de Estação Rodovalho, em homenagem ao proprietário da fábrica de cimento.

Em 1921, por motivos desconhecidos, a fábrica foi fechada e, em seguida, vendida para um imigrante português, Antônio Pereira Ignácio²⁵ que retornou a produção de cimento. Como a indústria cimenteira vertia em lucros, em 1935, Antônio Pereira Ignácio resolveu construir uma grande fábrica de cimento no bairro de Santa Helena, em Votorantim-SP, que foi inaugurada em 1936. O cimento produzido no local, por esse motivo, passou a se chamar “Cimento Votoran”, nome que prevaleceu até os dias atuais.

Na década de 1930, a Fazenda Santo Antônio passou a ser um bairro do Município de Mairinque e a se chamar Bairro Rodovalho. Assim, em Rodovalho ficou somente a indústria de cal hidráulica, olarias, extração de pedras e a exploração de lenha para suprir

²⁴ Antônio Proost Rodovalho nasceu em São Paulo no dia 27 de janeiro de 1838, filho de Antônio Joaquim Tavares Rodovalho e Henriqueta Proost Rodovalho. Foi um dos fundadores do Banco Comercial de São Paulo, presidente da Caixa Econômica, fundador da primeira fábrica de papel do Brasil, instalada em Caieiras e fundador da primeira fábrica de fósforo de São Paulo (ALUMÍNIO, 2009a).

²⁵ Antônio Pereira Ignácio nasceu em Baltar, Distrito de Porto, em 29 de março de 1875, filho de João Pereira Ignácio e Maria Coelho Pereira. Acompanhado dos pais, chegou ao Brasil em meados de 1886, residindo no município de Sorocaba no Estado de São Paulo (IHHGS 2009).

as necessidades da empresa que continuava sendo administrada, também, por Antônio Pereira Ignácio.

Antônio Pereira Ignácio, diante de sua visão empreendedora e já tendo sido constituída a Sociedade Anônima Votorantim (em 1941), iniciou, juntamente com seu genro José Ermírio de Moraes, a construção de uma fábrica para produzir alumínio primário, a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), inaugurada em 4 de junho de 1955.

Com a instalação da CBA, o bairro passou a chamar Alumínio, assim como a Estação Ferroviária, mas continuou a pertencer ao Município de Mairinque. Após anos de luta e expectativa, o populoso bairro foi elevado à categoria de Distrito de Mairinque pela Lei Estadual nº. 2.343, de 14 de maio de 1980, aprovada pela Assembléia Estadual e promulgada pelo então Governador Paulo Salim Maluf, dando assim o primeiro passo para sua emancipação. Com a elevação à categoria de Distrito de Mairinque, o bairro Alumínio recebeu a demarcação territorial, estabelecendo suas divisas entre os municípios de Mairinque, Sorocaba, Votorantim e Ibiúna.

Com uma população de 13.500 habitantes, na ocasião da elevação a distrito, Alumínio já era praticamente uma cidade, apresentando seu desenvolvimento homólogo ao da Companhia Brasileira de Alumínio. No dia 30 de dezembro de 1991, o então Governador do Estado de São Paulo Luís Antônio Fleury Filho sancionou a Lei de emancipação político-administrativa de Alumínio.

3.1.1 Caracterização do Município de Alumínio

O município de Alumínio localiza-se na Região Sudeste do Estado de São Paulo, na latitude 23°32'06'' Sul e longitude 47°15'43'' Oeste. Faz divisa com os municípios de Mairinque, Sorocaba, Votorantim e Ibiúna, estando a 74km da capital paulista e 130km do Porto de Santos (Figura 3.1). A topografia do município é acidentada, com relevo montanhoso, dotado de aclives, declives e vales, expressando uma altitude média em torno de 790 metros. A vegetação predominante é de Mata Atlântica. A cidade possui clima subtropical com uma temperatura média anual da ordem de 20°C. O clima de Alumínio é caracterizado por duas estações predominantes: uma estação chuvosa que compreende o período de outubro a abril, e outra estação seca que vai de maio a setembro. A estação chuvosa é influenciada pelo aquecimento continental que, associado à convecção tropical, sistemas extratropicais (frentes frias) e áreas de instabilidade continental, favorece a ocorrência de chuvas abundantes. Na estação seca, o clima é predominantemente

influenciado pela passagem rápida de frentes frias provenientes do Sul do Continente Americano, sendo caracterizada não só pela diminuição da precipitação, mas também pela diminuição das temperaturas e pela ocorrência de períodos de grande estabilidade atmosférica, proporcionando, com isso, condições desfavoráveis à dispersão de poluentes na atmosfera. Os ventos predominantes são do quadrante Leste-Sul (CETESB, 1999a; CETESB, 2009a).



Figura 3.1. Localização do Município de Alumínio

Fonte: CETESB (2004a)

O município possui uma extensão territorial de aproximadamente 84km^2 , com uma população de 16.421 habitantes em 2009, segundo estimativa do SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados). Sua densidade demográfica é de, aproximadamente, $196,1\text{hab}/\text{km}^2$, valor bem alto se comparado à densidade demográfica do Brasil que é de cerca de $22\text{hab}/\text{km}^2$.

O PIB (Produto Interno Bruto) de Alumínio²⁶ é de R\$ 1.911.684 mil e a renda *per capita* é de R\$ 121.934,00 segundo dados publicados pelo IBGE em 2007. O setor industrial representa a maior parcela do valor adicionado ao PIB, com um valor de R\$ 1.156.816 mil, ou seja, o setor industrial responde por 61% do total dos valores adicionados ao PIB de Alumínio, conforme é mostrado na Figura 3.2. A renda *per capita* no município é alta para os padrões brasileiros, porém a maioria dos habitantes do município não têm renda nesses patamares, o que pode ser confirmado pelo IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de renda que é igual a 0,724.

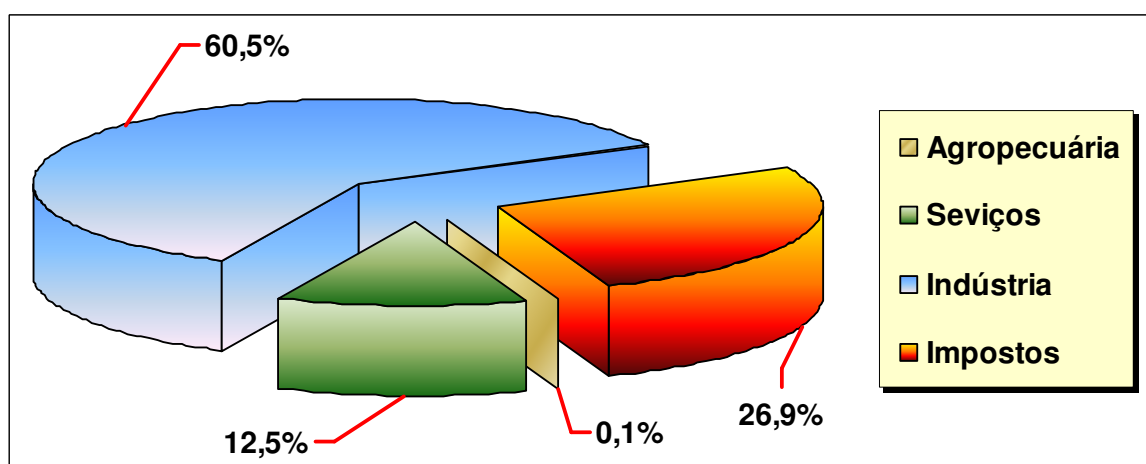


Figura 3.2. Contribuição dos diversos setores ao PIB de Alumínio em 2007

Fonte: Dados do IBGE (2010)

O setor industrial é muito expressivo no PIB de Alumínio por causa, principalmente, da fabricação de alumínio pela CBA, que é a maior indústria geradora de empregos diretos e indiretos da região de Sorocaba²⁷ (região na qual Alumínio está inserido) e segundo dados do IBGE (2010), metade da população aluminense é sustentada diretamente pelos salários da CBA. Além da CBA (Companhia Brasileira de Alumínio), há no município três indústrias de pequeno porte instaladas (Ice Pack – produtora de embalagens plásticas –, Simonnini e Pala’Doro – produtoras de produtos alimentícios –) e uma indústria de médio porte denominada Blowtex. A Blowtex foi fundada em 1988, quando se iniciava a batalha mundial de combate à AIDS. Tem aproximadamente 100 funcionários e a sua capacidade de produção é de 15 milhões de preservativos por mês.

²⁶ O PIB municipal corresponde ao total dos bens e serviços produzidos pelas unidades produtoras residentes. É calculado a partir da soma dos valores adicionados pelos diversos setores acrescida dos impostos líquidos de subsídios sobre produtos não incluídos na valoração da produção, menos os serviços de intermediação financeira indiretamente medidos (IBGE, 2010).

²⁷ Região Administrativa de Sorocaba é composta por 79 municípios (ALSP, 2009).

Segundo dados do SEADE (2010), o município de Alumínio foi responsável por, aproximadamente, 0,61% das exportações do Estado de São Paulo em 2008, e a região de Sorocaba foi responsável por, aproximadamente, 4,16%. A Tabela 3.1 apresenta a participação de alguns municípios paulistas da região de Sorocaba nas exportações realizadas pelo Estado de São Paulo.

Tabela 3.1. Contribuição de alguns municípios nas exportações do Estado de São Paulo

Municípios	%
Alumínio	0,61
Mairinque	0,05
São Roque	0,02
Sorocaba	2,77
Votorantim	0,03

Fonte: Dados do SEADE (2010) relativo a 2008

O município de Alumínio contribui com parcela significativa para as exportações da região de Sorocaba, mesmo sendo menor do que os demais municípios indicados na Tabela 3.1. Tal fato é explicado pela presença da CBA, que exporta parte considerável de sua produção.

Atualmente existem 815 estabelecimentos de comércio e de prestação de serviços em Alumínio, além de três agências bancárias – Bradesco, Banco do Brasil e Banco Real –, que são suficientes para atender a demanda da população, gerando empregos e crescimento econômico para o município. No entanto, a CBA é a empresa que oferece as maiores oportunidades de emprego e de renda na cidade (ALUMÍNIO, 2009b).

A razão de sexo no município de Alumínio é de 1,0047 homem para cada mulher, enquanto que, no Estado de São Paulo a relação é de 0,9561 homem para cada mulher (SEADE, 2010). A diferença no valor da razão de sexo é devido ao fato de a CBA empregar muitos jovens do sexo masculino, e a oportunidade de emprego atrai jovens de outras regiões para trabalhar e residir no município, conseqüentemente, fato que contribui para aumentar o valor da razão de sexo em Alumínio.

De acordo com dados divulgados pelo SEADE (2006), Alumínio é o município que apresenta os maiores salários do Estado de São Paulo seguido, respectivamente, por

Cubatão, São Bernardo do Campo, Paulínia, São José dos Campos, Jaguariúna, Hortolândia, Campo Limpo Paulista e Gavião Peixoto, fato que corrobora a importância do setor industrial para o município e elucida a importância da CBA na localidade.

Como o setor industrial é bastante expressivo no município e exige pessoas com qualificação profissional ou pelo menos alfabetizados, o município apresenta uma taxa de alfabetização da ordem de 93,6%.

Com um IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de 0,787 em 2000, o município de Alumínio é forte na área de educação, pois apresenta um IDHM de educação da ordem de 0,903. Este valor mostra-se expressivo e dentro dos padrões sugeridos, porém o IDHM de longevidade e o IDHM de renda não são tão expressivos quanto o IDHM de educação, todavia em comparação com os índices de outras cidades brasileiras, como apresentados na Tabela 3.2, os mesmos se mostram satisfatórios, já que Alumínio é um município novo e pequeno.

Tabela 3.2. IDHM de algumas cidades brasileiras em 2000

Municípios	IDHM	IDHM-Renda	IDHM-Longevidade	IDHM-Educação
Alumínio (SP)	0,787	0,724	0,734	0,903
Sorocaba (SP)	0,828	0,792	0,777	0,915
São Paulo (SP)	0,841	0,843	0,761	0,919
Mairinque (SP)	0,801	0,719	0,790	0,894
Ouro Preto (MG)	0,787	0,697	0,754	0,911
Belo Horizonte (MG)	0,839	0,828	0,759	0,929

Fonte: Dados do PNUD (2009) relativo a 2000

Em relação a todos os municípios do Brasil, Alumínio apresenta uma boa colocação no *ranking* do IDHM, uma vez que ocupa a 871ª posição, sendo que 870 municípios (15,8%) estão em situação melhor e 4636 municípios (84,2%) estão em situação pior ou igual (PNUD, 2009).

Em Alumínio, há estabelecimentos escolares para cursos até o ensino médio, não existindo cursos superiores, sendo a demanda suprida pelas cidades vizinhas, principalmente Sorocaba e São Roque.

O transporte municipal é de responsabilidade da empresa Jundiá. Como a cidade não possui terminal rodoviário, o transporte intermunicipal é realizado pelas empresas que

passam pelo município, como a Viação Cometa, a Viação Nossa Senhora da Ponte e a Viação Expresso São Roque, que aportam nos terminais rodoviários de Sorocaba e de São Roque.

Em Alumínio, a área de saneamento básico é bem gerenciada, quando comparada ao restante do Brasil, pois 95% da população têm acesso à água tratada, 85% da população está ligada à rede de esgoto e 90% da população é atendida pela coleta domiciliar de lixo. A totalidade da população tem acesso à eletricidade (ALUMÍNIO, 2009b).

Alumínio possui um reservatório de água formado pelos rios Una, Sorocamirim e Sorocabuçu, localizados na sub-bacia do Alto Sorocaba e integrantes da bacia hidrográfica do rio Sorocaba - Médio Tietê. O reservatório é denominado Reservatório de Itupararanga e tem uma área de drenagem de 936km², abrangendo os municípios de Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim, com uma extensão de 26km de calha principal e 192km de margens.

O reservatório de Itupararanga é o principal manancial de abastecimento público da região de Sorocaba, Votorantim, Piedade, Vargem Grande Paulista, Cotia, São Roque, Alumínio, Mairinque e Ibiúna. É ainda destinado à recreação, lazer e à geração de energia elétrica.

Com a publicação da Lei nº. 10100/1998, foi criada a APA (Área de Proteção Ambiental) de Itupararanga, com o objetivo de proteger o reservatório, já que a preservação dessa área reveste-se de primordial importância, devido ao volume e à qualidade da água, considerada uma das melhores do Estado de São Paulo, e devido ao número de habitantes que fazem uso dela (ALUMÍNIO, 2009b).

O município de Alumínio não possui hospital e nem pronto socorro. Todavia a população conta com um Pronto Atendimento – PA com seis leitos para emergências, sendo que os casos mais graves são encaminhados, depois de atendimento prévio, para os hospitais de Sorocaba, São Roque e Mairinque. Contudo há na cidade uma clínica médica particular e dois laboratórios para exames clínicos (ALUMÍNIO, 2009b).

Conforme os dados divulgados pelo SEADE (2010), o município de Alumínio apresentou uma taxa de mortalidade infantil de 22,47 óbitos para cada mil nascimentos em 2008, bem alta se comparada à média do Estado de São Paulo que é 12,56 óbitos para cada mil nascimentos e à média de outros municípios do Estado de São Paulo, que apresentam grande desenvolvimento econômico e estão próximo de Alumínio. A Tabela 3.3 exibe uma comparação entre a taxa de mortalidade infantil de Alumínio com a de outros municípios paulistas e, também, com a taxa média de mortalidade do Estado de São Paulo.

Tabela 3.3. Taxa de mortalidade infantil para cada mil nascimentos em 2008

Localidades	Taxa de mortalidade infantil
Alumínio	22,47
Mairinque - SP	11,90
São Paulo - Capital	11,99
São Roque - SP	10,83
Sorocaba - SP	12,23
Estado de São Paulo	12,56

Fonte: SEADE (2010)

3.2 A Companhia Brasileira de Alumínio (CBA)

A Companhia Brasileira de Alumínio – CBA é uma empresa do Grupo Votorantim e atua na produção de alumínio primário, mineração de bauxita e geração de energia elétrica para produção de alumínio primário. O processamento da bauxita em alumínio primário e produtos diversos é realizado na fábrica da empresa (Figura 3.3), inaugurada em 1955, e localizada no município de Alumínio.



Figura 3.3. Vista aérea da CBA

Fonte: CBA (2009)

A fábrica tem 700.000m² de área construída e cerca de sete mil funcionários, apresentando, ao longo de mais de 50 anos, um crescimento médio anual de 10% na produção de alumínio primário. A empresa é auto-suficiente na produção de bauxita, extraída em duas minas principais localizadas nos municípios mineiros de Poços de Caldas e Itamarati de Minas (região de Cataguazes). A produção anual dessas minas é de 1 milhão e 1,6 milhões de toneladas, respectivamente (CBA, 2009).

Posicionada entre as maiores empresas mundiais do setor, é a maior planta industrial do mundo a operar de forma totalmente verticalizada, realizando, em um mesmo local, desde o processamento da bauxita até a fabricação de produtos (lingotes, tarugos, vergalhões, placas, bobinas, chapas, folhas, perfis, telhas e cabos).

A receita bruta de vendas de produtos fabricados pela CBA em 2007 foi de R\$ 3.525.369 mil, sendo que R\$ 2.497.429 mil foram destinados ao mercado interno e R\$ 1.027.940 mil para o mercado externo, apresentando um lucro líquido de R\$ 793.221 mil (CBA, 2009).

Segundo dados da ABAL (2010), a CBA é a maior produtora de alumínio primário do Brasil com uma produção de 471,3 mil toneladas do metal em 2009. Dentre os diferenciais da CBA está a autogeração de energia elétrica, um dos principais e mais caros insumos empregados na fabricação de alumínio. A CBA produz 60% da energia elétrica que consome²⁸, sendo bastante superior à média mundial, que é 28% (CBA, 2009).

Em termos gerais, a produção de alumínio no Brasil, em 2007, consumiu 28,052 TWh, valor bastante expressivo, quando comparado ao consumo residencial do Brasil que foi de 90,9 TWh no mesmo ano. Em 2007, a CBA foi responsável por aproximadamente 28,8% do consumo total de energia do setor de alumínio²⁹, ou seja, foi responsável por 4,2% do consumo total de energia do setor industrial (ABAL, 2008; MME/EPE, 2008).

Em 2007, a empresa foi responsável, por cerca de 28,8% da produção nacional de alumínio primário, porém, exportou apenas 29% de sua produção, número bastante inferior às exportações nacionais de alumínio que são de 64% da produção total de alumínio. Essas

²⁸ Para garantir a produção de aproximadamente 60% da energia que consome, a CBA conta com 18 usinas hidrelétricas distribuídas no Estado de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A CBA detém 100% da energia de treze dessas usinas (Alecrim, Barra, França, Fumaça, Itupararanga, Jurupará, Porto Raso, Salto do Iporanga, Serraria, Santa Helena, Votorantim, Piraju e Ourinhos), e cinco fazem parte de consórcios com outras empresas (Machadinho, Barra Grande, Campos Novos e Canoas I e II) (CBA, 2009).

²⁹ A transformação da alumina em alumínio é caracterizada pelo consumo intensivo de energia elétrica. Em 2007, segundo dados da ABAL (2008), o consumo de energia para transformação de alumina em alumínio primário foi de 25130 GWh, ou seja, 13,04% do total consumido pelo setor industrial. Essa é a etapa que mais consome energia na produção do alumínio, aproximadamente 89,6% do total consumido de energia.

informações levam à conclusão que os produtos da CBA são importantes para o abastecimento do mercado interno (ABAL, 2008; CBA, 2009).

A fábrica da CBA encontra-se inserida na área urbana do município, ou como citado por Naime (2009): “Alumínio cresceu ao redor da fábrica da CBA...”. Na Figura 3.4, pode-se ver que a população se estende no entorno da fábrica, sendo que, as casas mais próximas da CBA fazem parte do bairro chamado Vila Industrial, pois pertencem à CBA, e são cedidas pela empresa para seus funcionários na forma de aluguel por um preço irrisório. Como a CBA é a maior geradora de recursos no município, a área comercial e urbana se desenvolveu, conseqüentemente, no entorno da Vila Industrial, e se alastrou rumo à Rodovia Raposa Tavares (SP-270), via de trânsito rápido, que liga São Paulo – Capital ao Estado do Mato Grosso do Sul no município de Presidente Epitácio.

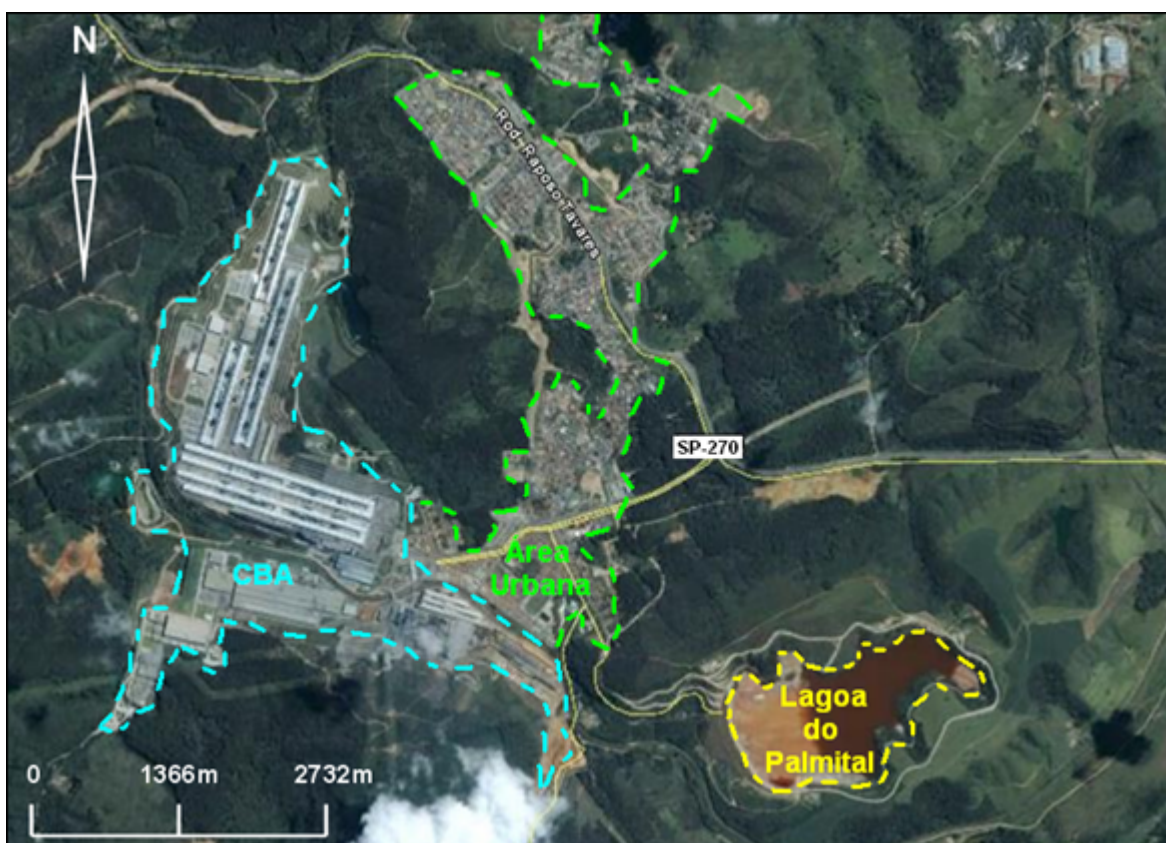


Figura 3.4. Vista aérea da CBA e da área urbana de Alumínio

Fonte: Mapa modificado do GOOGLE MAPS (2009)

Como a CBA encontra-se instalada na área urbana do município de Alumínio e emite um grande volume dos mais diversos tipos de poluentes atmosféricos é necessário dar uma atenção especial para os problemas ambientais que estão ocorrendo ou possam vir a ocorrer, uma vez que, isso reflete diretamente na qualidade de vida não só dos habitantes

do município de Alumínio, mas, também, dos habitantes dos demais municípios que fazem divisa com Alumínio.

3.2.1 Caracterização da Fábrica da CBA

Na Fábrica da CBA localizada em Alumínio ocorre o processo de produção do alumínio primário e de produtos com maior valor agregado. O complexo industrial é formado pela Fábrica de Alumina, pela Fábrica de Pasta, pelas Salas Fornos, pela Fundição e pela Transformação Plástica, sendo que cada uma dessas partes da Fábrica é responsável por uma etapa do processo produtivo (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

A Fábrica de Alumina é a primeira etapa da cadeia produtiva da CBA, e tem como objetivo obter o óxido de alumínio (Al_2O_3) a partir do minério bauxita, proveniente dos municípios mineiros de Poços de Caldas e Itamarati de Minas. A CBA utiliza o Processo Bayer para extrair da bauxita o óxido de alumínio (alumina) com características adequadas aos equipamentos instalados nas Salas Fornos.

A Fábrica de Alumina é dividida em três áreas (Área Vermelha, Branca e de Utilidades) com objetivos distintos, porém todas interligadas entre si, constituindo um processo produtivo contínuo, cada uma dependendo da outra a fim de obter o produto final (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

A Área Vermelha é responsável pelo ataque à bauxita e pela eliminação das impurezas prejudiciais ao processo. É a primeira etapa da produção de alumina, e é a unidade que recebe, distribui, condiciona e faz o ataque químico da bauxita com soda cáustica; elimina a lama, a areia e as demais impurezas contidas no minério. No final dessa etapa do processo, obtém-se um subproduto (aluminato de sódio) apropriado à próxima etapa, que ocorre na Área Branca. Nesta Área estão instalados o virador de vagões, o depósito de bauxita, três moinhos de bola, oito tanques de dessilicatação, três FADs³⁰ (Flash After Digest – Expansão após Digestão), dois decantadores primários

³⁰ Cada FADs da Fábrica de Alumina é composto por três expansores, três trocadores de calor primários e quatro trocadores de calor secundários. Há um rodízio de funcionamento entre os FADs, de forma que há sempre dois FADs funcionando e um de reserva. Os expansores são vasos de pressão onde ocorre a redução da pressão do aluminato de sódio que entra em seu corpo, ocasionando a evaporação de parte da água presente nesse material, reduzindo a temperatura. Já os trocadores de calor secundários são responsáveis por aquecer a soda de ataque dos autoclaves através de uma câmara onde o vapor expandido do aluminato de sódio com temperatura elevada passa, aquecendo a soda de menor temperatura, que passa em tubulações no interior dessa câmara. Após passar pelos trocadores de calor secundários, a soda sofre um novo aquecimento nos trocadores de calor primários, através do uso do vapor gerado pelas caldeiras.

(sedimentadores), cinco decantadores secundários (lavadores), quatro filtros de lama, oito filtros de segurança e sistema composto por três bombas pistão para envio da lama vermelha, gerada no ataque da bauxita, para a Barragem do Palmital³¹ (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

A Área Branca ou Hidrólise é responsável pela precipitação do hidrato de alumínio a partir do aluminato de sódio, recuperando a soda cáustica para ser novamente empregada no ataque à bauxita que é alimentada no processo. Os Fornos de Calcinação também fazem parte dessa área, e sua função é calcinar o hidrato de alumínio proveniente da hidrólise da bauxita, produzindo óxido de alumínio. A CBA dispõe de dois calcinadores de leito fluidizado, (nº.5 e nº.6), dotados de precipitadores eletrostáticos para controle da emissão de material particulado. O gás natural é utilizado como combustível para a produção de alumina, atingindo, na zona de queima, temperaturas superiores a 1100°C (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005). A capacidade total dos calcinadores nº.5 e nº.6 juntos é de 3000t/dia.

A Área de Utilidades contempla os equipamentos de condicionamento do aluminato de sódio utilizado na etapa de hidrólise. É composta, também, por caldeiras, compressores e estação de tratamento de água. Esses equipamentos abastecem a Fábrica de Alumina com vapor, ar comprimido e água desmineralizada (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

Na Fábrica de Alumina estão instalados equipamentos de controle de poluição (ECP) para minimizar a emissão de poluentes para o ar, como filtros de mangas nos silos de consumo de cal e armazenamento de óxido de alumínio, lavador com soda nas cinco caldeiras existentes e, ciclones e precipitadores eletrostáticos nos dois fornos de calcinação. No entanto, em outros equipamentos, não há nenhum controle da poluição ar, sendo emitido para o ar atmosférico, principalmente, vapor de soda (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

A Fábrica de Pasta ou Sala Pasta é o local onde são produzidas as pastas anódicas e catódicas que irão alimentar as cubas eletrolíticas nas Salas Fornos. A Sala Pasta é composta por duas correias transportadoras, uma peneira, cinco silos, um moinho, quatro balanças, um pré-aquecedor e duas caldeiras. Nas principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos foram instalados equipamentos de controle de poluição, tais como filtros de

³¹ A Barragem ou “Lagoa” do Palmital é o local onde é armazenada a lama vermelha gerada pela CBA, já que essa, por conter soda cáustica e outras impurezas, é nociva para o meio ambiente, não podendo ser descartada, sendo, dessa forma armazenada em um local monitorado, a fim de evitar a contaminação do meio ambiente.

mangas, ciclones e um lavador de gases para as duas caldeiras existentes (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

Nas Salas Fornos (salas de redução eletrolítica) ocorre o Processo Hall-Héroult e as cubas eletrolíticas usadas para redução eletrolítica da alumina são denominadas Fornos Soderberg Verticais³², pois as cubas eletrolíticas utilizadas na CBA fazem uso da tecnologia de Anodo Soderberg. As Salas Fornos da CBA são denominadas de Salas Fornos 70kA, 90kA, 127kA (I, II, III, IV, V-A, V-B, VI e VII) e, juntas, têm 1508 Fornos Soderberg conforme destacado na Tabela 3.4, apresentando uma capacidade produtiva de, aproximadamente, 471 mil toneladas de alumínio primário por ano, conforme dados da ABAL (2010) relativos ao ano de 2008. Em todas as Salas Fornos da CBA há lavadores de gases a seco e somente nas Salas Fornos 127kA V (A e B), VI e VII há presença de lavadores de gases a úmido (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005; SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-01312-98).

Tabela 3.4. Número de Fornos Soderberg de cada Salas Fornos da CBA

Salas Fornos	Número de Fornos Soderberg
70kA (64kA)	174
90kA (86kA)	58
127kA I (120kA I)	158
127kA II (120kA II)	160
127kA III (120kA III)	150
127kA IV (120kA IV)	160
127kA V-A (125kA V-A)	144
127kA V-B (125kA V-B)	144
127kA VI (125kA VI)	164
127kA VII (125kA VII)	196
Total	1508

Fonte: SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-01312-98

A Fundação da CBA é a unidade responsável pela conformação primária do alumínio líquido proveniente das Salas Fornos e pelo consumo de toda sucata gerada na

³² Fornos Soderberg Verticais são cubas eletrolíticas com Pinos Verticais que utilizam Anodo Soderberg.

fábrica, além de sucata externa, adquirida de terceiros. Esse material é transformado em bobina *caster*, placas, tarugos, vergalhão *properzi*, lingotes, barramento e granulado. Nas principais fontes de poluição do ar da Fundição há lavadores de gases a úmido e a seco.

A preparação das ligas de alumínio ocorre a partir da dosagem do alumínio eletrolítico, de sucatas de alumínio geradas nas etapas de transformação plástica e de insumos, que são fundidas em fornos alimentados com gás natural. No ano de 2004, as sucatas de alumínio geradas e reaproveitadas na fundição totalizaram 70.000t, representando, aproximadamente, 17% do total de alumínio fundido produzido (416.093t) (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005; SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-01214-04).

A Transformação Plástica, também chamada de Laminação, é a unidade onde ocorre a laminação e a extrusão do alumínio para obtenção de folhas, perfis, cabos e chapas planas e não planas; anodização de perfis e acabamento específico de produtos, como por exemplo, aplicação de filme plástico ou coloração específica em papel alumínio, em equipamentos denominados *Polytype*, utilizando resinas, vernizes e solventes orgânicos. Essa área apresenta uma capacidade produtiva de 321.500t/ano (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

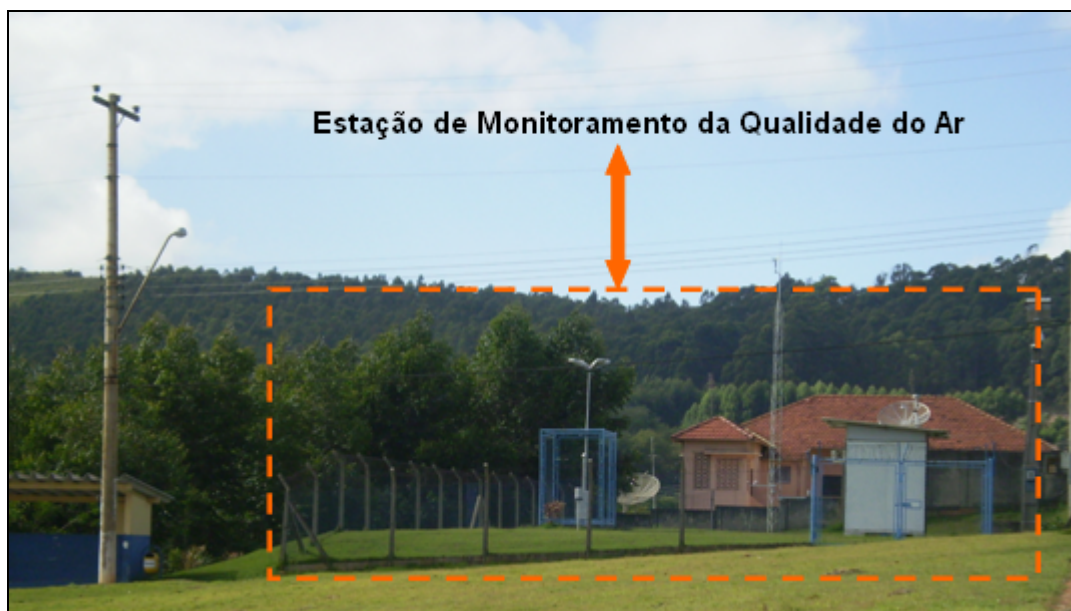


Figura 3.5. Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar da CBA

Fonte: Acervo pessoal, imagem obtida em 15 de julho de 2009

Por exigência da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), a CBA instalou uma Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar (Figura 3.5), em área externa

à indústria, para analisar continuamente a concentração dos poluentes SO₂, NO₂, O₃ e MP₁₀ no ar atmosférico e coletar dados meteorológicos (direção e velocidade de vento a 10m de altura, temperatura e umidade relativa do ar, radiação global e UV total, pressão atmosférica e nível de pluviosidade). A estação começou a operar no final de 2003, mas somente a partir de outubro de 2004 seus dados passaram a ser validados em decorrência do atendimento aos pré-requisitos técnicos estabelecidos pela Divisão de Tecnologia de Avaliação da Qualidade do Ar (ETQ/SP) da CETESB (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

Foram também instaladas pela CBA três estações para monitoramento de fluoretos pelo método do tubo de difusão (duas externas e uma interna à área da indústria) associadas ao biomonitoramento³³ realizado por plantas bioindicadoras de fluoretos (Figura 3.6) e vinte amostradores passivos (externos e internos) do poluente (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).



Figura 3.6. Plantas utilizadas para o biomonitoramento de fluoretos

Fonte: Acervo pessoal, imagem obtida em 15 de julho de 2009

³³ O biomonitoramento é a avaliação da qualidade ambiental de uma determinada área, utilizando organismos vivos que respondem à poluição ambiental alterando suas funções ou acumulando toxinas.

CAPÍTULO 4

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO - SP

A poluição do ar, provavelmente acompanha a humanidade desde tempos remotos. Porém, passou a ser sentida e observada de forma mais acentuada quando as pessoas começaram a viver em assentamentos urbanos de elevada densidade demográfica, desde a Revolução Industrial, a partir da qual o carvão mineral começou a ser utilizado como fonte principal de energia. Contudo, as inovações tecnológicas ocorridas durante o século XX e a utilização dos derivados de petróleo como combustível acentuaram ainda mais os níveis de poluição do ar. Vários eventos de graves conseqüências, que ocorreram principalmente no século XX, demonstraram que a poluição do ar constitui-se em grave ameaça à saúde pública. Muitos desses eventos ocorreram em razão da permanência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes, por vários dias, como intensificação da inversão térmica, a ausência de chuvas, a ocorrência de ventos calmos, aliados à emissão continuada de poluentes e à topografia desfavorável. Alguns desses eventos geraram a morte de centenas até milhares de pessoas, como, por exemplo, aqueles ocorridos no Vale de Meuse³⁴ (Bélgica), Donora³⁵ (Pensilvânia) e Londres³⁶ (Inglaterra).

O município de Alumínio também sofre com a poluição atmosférica, mesmo não sendo um grande centro urbano, devido às atividades da CBA, cuja planta industrial libera, continuamente, vários poluentes atmosféricos, com destaque para os fluoretos e os materiais particulados e em menores quantidades vários outros poluentes, entre eles, o

³⁴ Esse evento ocorreu em 1930, no vale de Meuse, Bélgica, numa região com grande concentração de indústrias, distribuídas em uma faixa de aproximadamente vinte quilômetros de comprimento. Nos cinco primeiros dias do mês de dezembro, condições meteorológicas desfavoráveis, como a ausência de ventos, impediram a dispersão dos poluentes, que permaneceram estacionados sobre a região. Imediatamente foi registrado um aumento do número de doenças respiratórias e um excesso de mortes (60 mortes) até dois dias após o início do episódio (BRAGA *et al.*, 2002).

³⁵ Esse desastre ambiental ocorreu durante os últimos cinco dias do mês de outubro de 1948 na cidade de Donora, Pensilvânia. Os produtos da combustão dos fornos industriais locais permaneceram sobre a cidade devido à ocorrência de inversões térmicas que impediram a dispersão destes poluentes. Durante este período foram observadas 20 mortes ao invés das duas mortes esperadas normalmente em uma comunidade de 14.000 pessoas (BRAGA *et al.*, 2002).

³⁶ O mais clássico, e mais grave, dos episódios acerca dos efeitos deletérios dos poluentes do ar foi o acontecido em Londres, durante o inverno de 1952. Um episódio de inversão térmica impediu a dispersão de poluentes emitidos pelas indústrias e pelos aquecedores domiciliares que utilizavam carvão como combustível, e uma nuvem, composta principalmente por material particulado e dióxido de enxofre (em concentrações até nove vezes maiores do que a média de ambos), permaneceu estacionada sobre a cidade por aproximadamente três dias, levando a um aumento de 4.000 mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes (BRAGA *et al.*, 2002).

monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂) e hidrocarbonetos (HC), os quais, quando liberados para a atmosfera, podem causar severos danos à saúde humana e ao meio ambiente. Além desses poluentes, deve-se citar o ozônio troposférico (O₃) que não é emitido diretamente pela fonte poluidora, porém é formado na atmosfera através da reação entre hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x) em presença de luz solar, sendo o principal componente do *smog fotoquímico*.

A Resolução CONAMA n.º. 03/90 que dispõe sobre padrões de qualidade do ar previstos no PRONAR (Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar), estabelece os padrões de qualidade do ar³⁷ para os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça (FMC), material particulado inalável (MP₁₀), dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono e ozônio troposférico. Portanto, os poluentes a serem analisados na atmosfera aluminense, de acordo com a referida Resolução CONAMA, tomando como referência os poluentes emitidos pela CBA em quantidades significativas, são: CO, SO₂, NO₂ e MP₁₀. Entretanto, mesmo não sendo relacionados na Resolução CONAMA n.º 03/90, os HC devem ser analisados e, principalmente, os fluoretos que são emitidos em grande quantidade pela planta da CBA, em vistas das características tecnológicas do processo industrial. Isso justifica a inclusão de HC e fluoretos nas avaliações realizadas nos Processos de Licenciamento Ambiental da CBA pela CETESB.

No entanto, a Resolução CONAMA n.º. 382/06, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, relaciona apenas os fluoretos e material particulado como poluentes a serem monitorados na indústria do alumínio, conforme destacado Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Limite máximo de emissão de poluentes atmosféricos da indústria do alumínio preconizado na Resolução CONAMA n.º. 382/06

Fonte de Emissão/unidade de medida	Limite de Emissão	
	MP	Fluoreto Total
Forno de calcinação de hidrato/kg/t de Alumina produzida	2,0	N.A.
Sala de cubas ⁽¹⁾ /kg/t de alumínio produzido	4,8	1,10
Forno de cozimento de anodo/kg/t equivalente de alumínio	0,2	0,15

⁽¹⁾ soma das emissões da saída do sistema de controle primário e lanternim.

N.A. - Não aplicável.

Fonte: CONAMA n.º. 382/06

³⁷ São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA n.º. 03/90).

A Resolução CONAMA n°. 382/06 enfatiza o controle da emissão de fluoretos e de material particulado por julgar serem eles os principais poluentes emitidos na indústria do alumínio em grande quantidade. Entretanto, a indústria do alumínio emite outros poluentes em quantidades significativas, especialmente se a tecnologia empregada for obsoleta e a capacidade instalada da planta industrial for projetada para produzir grandes quantidades de alumínio primário.

Cabe ressaltar que o Decreto Estadual n°. 8468/76 de São Paulo também estabelece padrões de qualidade do ar e critérios para episódios agudos de poluição do ar, mas abrange um número menor de parâmetros. Para os poluentes fumaça, partículas inaláveis e NO₂ não foram previstos padrões e critérios de qualidade na Legislação Estadual. Para os parâmetros comuns às legislações federal e estadual foram estabelecidos os mesmos padrões e critérios, com exceção dos critérios de episódio agudo para ozônio, pois a Legislação no Estado de São Paulo é mais rigorosa para o nível de atenção ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$)³⁸.

Os poluentes do ar que foram selecionados para serem investigados neste trabalho, devido à sua periculosidade para saúde humana e à quantidade emitida são os seguintes: HC, CO, SO₂, NO₂, MP₁₀, fluoretos e O₃. Será dada maior ênfase aos fluoretos e MP₁₀, devido ao volume emitido anualmente pela CBA, e ao O₃, uma vez que foi constatado, em uma campanha de monitoramento da qualidade do ar realizada pela CBA³⁹, que ocorreram ultrapassagens do padrão de qualidade do ar. Os efeitos desses poluentes para a saúde humana e para o meio ambiente, bem como sua emissão na planta industrial da CBA e os teores encontrados na atmosfera aluminense serão comentados adiante.

4.1 Emissões da planta industrial da CBA e os teores de poluentes presentes na atmosfera aluminense

4.1.1 Os Fluoretos

De junho de 1992 a novembro de 1993, foi realizado pela CETESB um estudo com o objetivo de determinar as concentrações de fluoretos⁴⁰ no ar atmosférico, visando realizar

³⁸ O nível de atenção preconizado na Resolução CONAMA 03/90 é $400\mu\text{g}/\text{m}^3$.

³⁹ Os resultados foram repassados à CETESB e se encontram no Processo SMA n°. 06-00232-05.

⁴⁰ Para a coleta das amostras, a CETESB utilizou um filtro de papel impregnado com trietanolamina em uma placa de Petri que ficou exposta ao meio ambiente por cerca de 30 dias, em posição horizontal, com a face voltada para o solo, visando evitar a deposição de material particulado. Os fluoretos fixados na placa de Petri foram extraídos com solução aquosa e analisados em potenciômetro com eletrodo específico para íons fluoreto.

um mapeamento do local onde há ocorrência desse poluente (CETESB, 1994). Nos períodos de dezembro de 1998 a dezembro de 1999; janeiro de 2004 a junho de 2005 e fevereiro a maio de 2006 foram realizadas novas medições da concentração de fluoretos no entorno da CBA. As amostras foram coletadas, em todas as campanhas, nos mesmos pontos de amostragem de modo a permitir a comparação dos resultados. Os pontos selecionados para medição das concentrações de fluoretos foram: (1) Capuava – Alto do Morro; (2) Rua Alexandre Albuquerque; (3) Rua Nunes Rabelo (Estação Meteorológica)⁴¹; (4) Horto Florestal. As concentrações medidas nesses períodos mostraram que os pontos mais próximos à CBA (Rua Alexandre Albuquerque e Rua Nunes Rabelo) apresentavam concentrações de fluoretos bem mais altas do que aquelas obtidas nos pontos de amostragem Capuava – Alto do Morro e Horto Florestal, conforme pode ser constatado no gráfico apresentado na Figura 4.1.

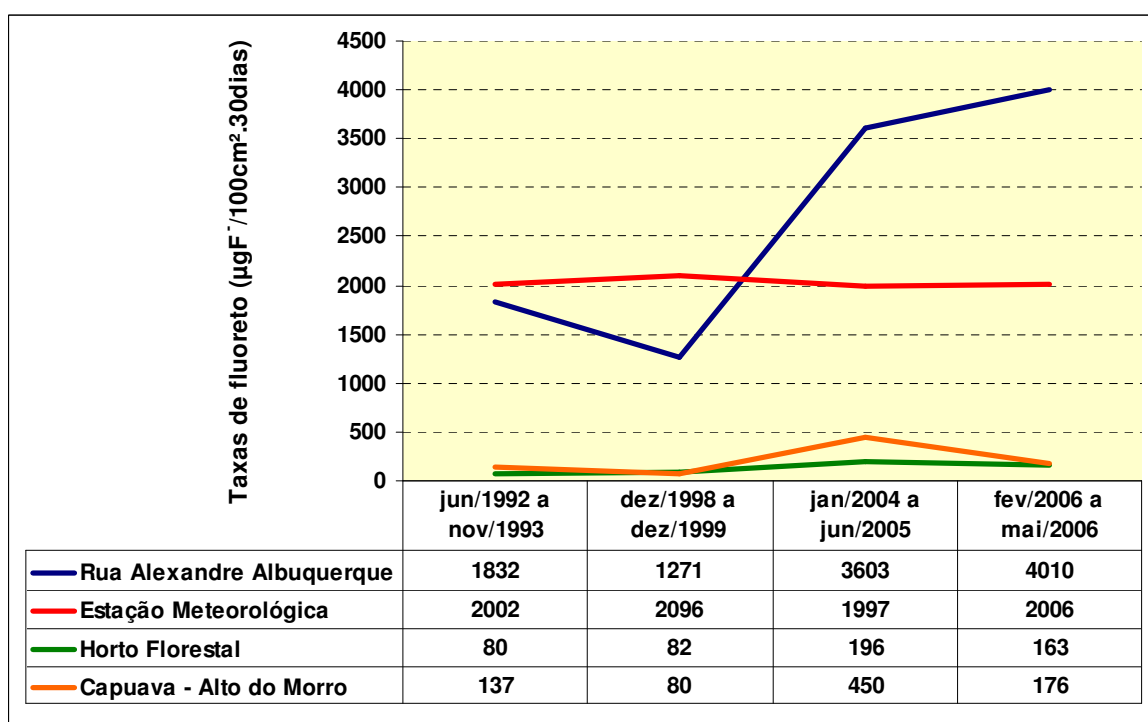


Figura 4.1. Médias das taxas de fluoretos no entorno da CBA ($\mu\text{gF}/100\text{cm}^2.30\text{dias}$)

Fonte: SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-01312-98, 1998

As taxas de fluoretos encontradas no entorno da CBA aumentou na maioria dos pontos de amostragem ao longo do tempo, e somente na Estação Meteorológica não foi

⁴¹ O ponto de amostragem na Rua Nunes Rabelo é próximo à Estação Meteorológica, assim, diferentemente dos estudos anteriores, a CETESB utilizou os dados da Estação Meteorológica em seu último estudo (fevereiro a maio de 2006).

verificada essa tendência, pois os valores medidos se mantiveram constantes ao longo do tempo. Uma boa explicação para o aumento nas taxas de fluoretos encontrado deve-se ao fato das emissões de fluoretos da CBA terem aumentado muito, conforme pode ser constatado no gráfico da Figura 4.2, por causa, principalmente, do aumento da produção de alumínio primário verificado nos últimos anos, como registrado no gráfico da Figura 4.3.

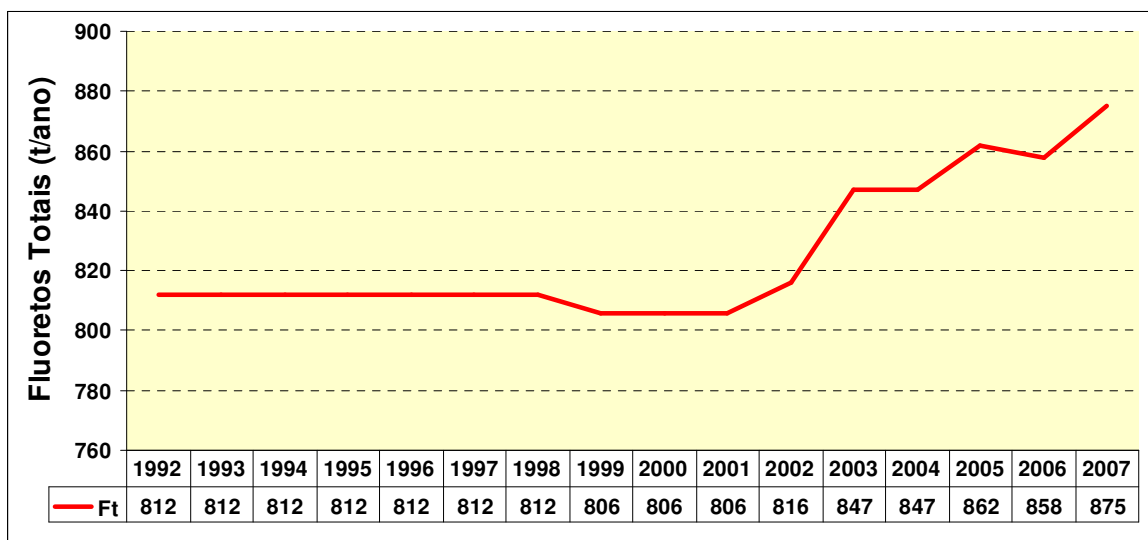


Figura 4.2. Estimativa de emissão de Fluoretos Totais (Ft)⁴² na planta industrial da CBA

Fonte: SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00661-98, 1998

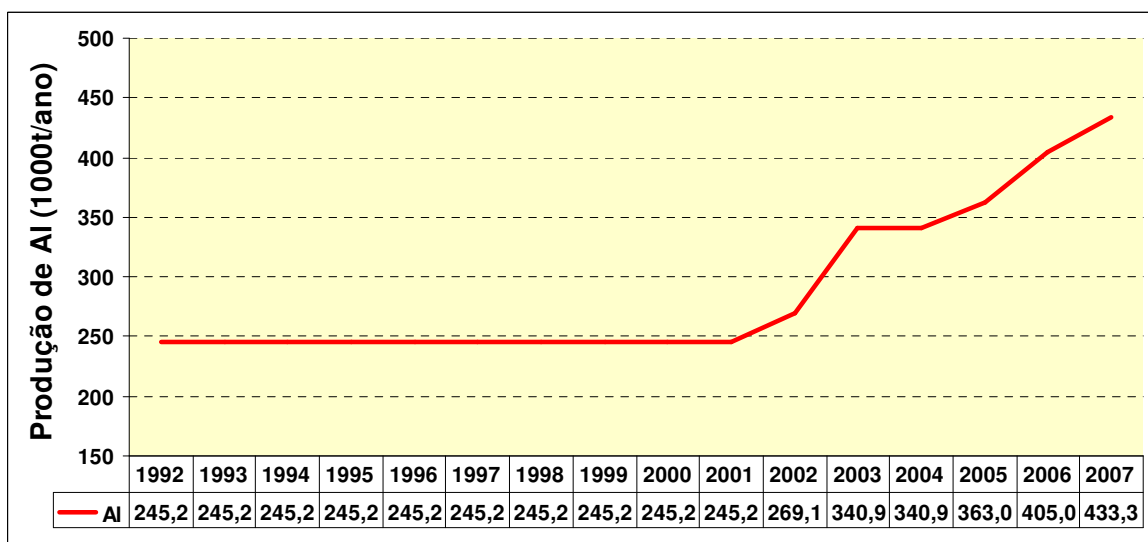


Figura 4.3. Produção de alumínio primário na planta industrial da CBA

Fonte: SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00661-98, 1998

⁴² Os dados apresentados correspondem à soma das emissões primárias (aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão) e secundárias (aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera) de fluoretos totais (fluoretos gasosos mais fluoretos particulados).

Percebe-se um aumento expressivo na produção de alumínio primário a partir de 2002, sendo a mesma tendência verificada em relação à emissão de fluoretos. Entretanto, o aumento verificado na emissão de fluoretos, em porcentagem, foi bem menor que o aumento verificado na produção de alumínio primário. Isso se deve ao fato da instalação de equipamentos de controle da emissão de poluentes atmosféricos (lavadores de gases a úmido) em algumas Salas Fornos, com o objetivo de diminuir as emissões fugitivas.

O período compreendido de dezembro de 1998 a dezembro de 1999 é bastante representativo de como as concentrações de fluoretos variam ao longo do ano, visto que no verão e no inverno esses poluentes se comportam de maneira diferente, conforme pode ser constatado no gráfico da Figura 4.4. Em São Paulo, as transições climáticas entre o inverno e o verão são extremamente curtas, praticamente inexistindo estações de outono e de primavera. O início das chuvas fortes é considerado o critério mais relevante para o estabelecimento desses dois períodos, pois delimita o período favorável e o período desfavorável à dispersão dos poluentes. Além disso, a ocorrência de chuvas diminui a possibilidade da presença de altas concentrações de fluoretos no ar devido à solubilização do fluoreto na água (CETESB, 1998).

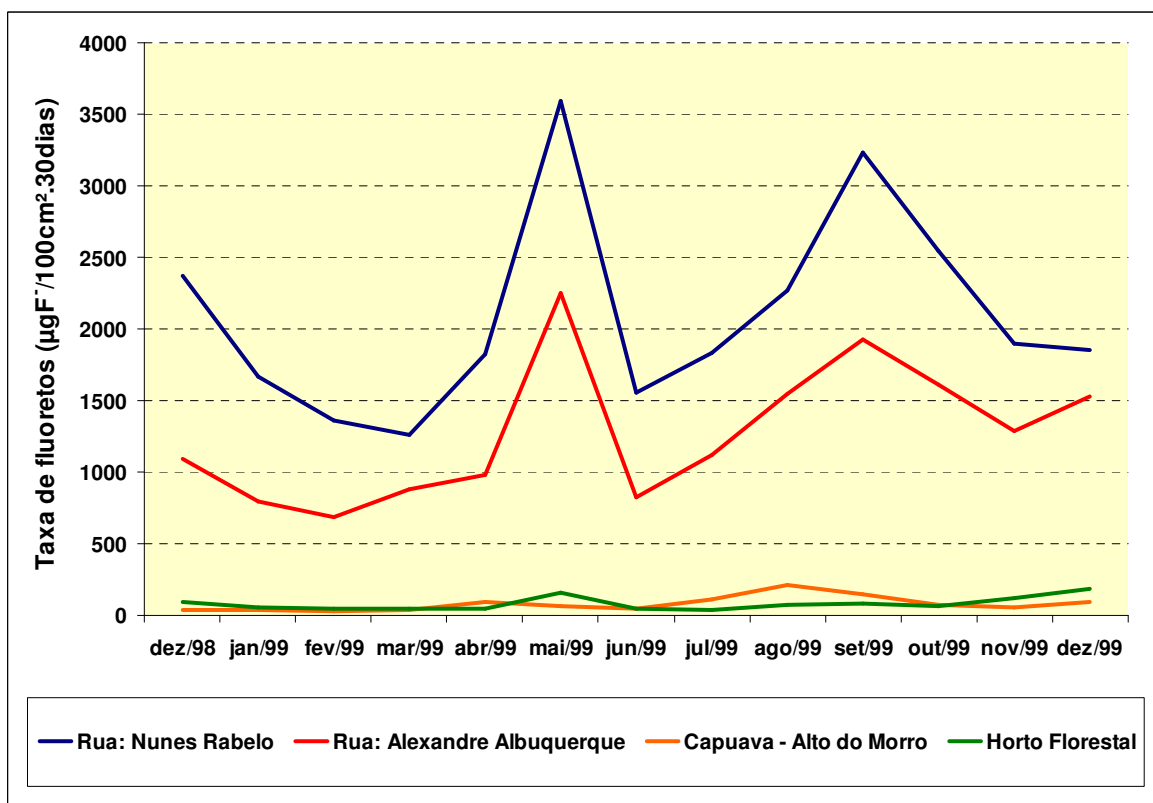


Figura 4.4. Concentração de fluoretos (dezembro de 1998 a dezembro de 1999)

Fonte: Elaboração própria, a partir CETESB (2000)

No gráfico da Figura 4.4, destacam-se os altos valores observados nos pontos de amostragem da Rua Alexandre Albuquerque e da Rua Nunes Rabelo. As concentrações de fluoretos nesses pontos foram, em média, cerca de vinte vezes maiores do que aquelas encontradas nos pontos Capuava – Alto do Morro e Horto Florestal.

Pode-se observar que, nos pontos de amostragem localizados nas ruas Alexandre Albuquerque e Nunes Rabelo, os resultados apresentaram um comportamento semelhante, sendo que os valores registrados nas amostragens realizadas na Rua Nunes Rabelo são um pouco mais elevados. Observa-se, também, a presença de picos de concentração de fluoretos nos meses de maio e setembro de 1999, correspondente ao período de inverno, nos pontos de amostragem das ruas Alexandre Albuquerque e Nunes Rabelo. É possível verificar uma ligeira redução nos níveis de concentração no período de dezembro de 1998 a março de 1999, correspondente ao verão, época mais chuvosa e de maior dissolução dos fluoretos nas águas pluviais.

Em 1992, o Setor de Ecossistemas Terrestres – EQSE da CETESB realizou um estudo em Alumínio constatando que as folhas de grande parte da vegetação dos jardins próximos à CBA apresentavam concentrações de fluoretos extremamente altas e injúrias características de contaminação por esses poluentes. Importante ressaltar que os vidros das janelas e portas de casas vizinhas à CBA estavam foscos, o que foi associado à presença de altas concentrações de fluoretos na atmosfera, uma vez que, o vidro é constituído basicamente de sílica, substância que reage com o ácido fluorídrico.

Devido aos altos teores de fluoretos encontrados na vegetação em 1992, o EQSE realizou, no período de abril de 1996 a abril de 1997, um novo estudo, utilizando uma planta bioindicadora de fluoretos no ponto de amostragem localizado à Rua Alexandre Albuquerque e, constatou novamente altos níveis de contaminação por fluoretos no local. Para a realização desse estudo o EQSE expôs 80 indivíduos da espécie *Cordyline terminalis*⁴³ (Figura 4.5) e efetuou análises do conteúdo foliar de fluoretos e a porcentagem de injúrias nas folhas de cada indivíduo, verificando que, os indivíduos expostos chegaram a acumular 300ppm de fluoretos em suas folhas, valor quinze vezes maior do que aquele considerado normal em vegetação de clima temperado, que é de 20ppm, demonstrando que

⁴³ A *Cordyline terminalis* é uma espécie exótica, originária da Ásia e Polinésia, com porte de até 3m, que floresce no outono. A planta é perenifólia, o que facilita sua exposição aos poluentes atmosféricos em qualquer período do ano. É uma planta comum, amplamente utilizada em jardins e em projetos paisagísticos por estar bem adaptada ao clima brasileiro. É uma espécie sensível aos fluoretos gasosos e pode ser considerada bioindicadora da presença desses poluentes na atmosfera, demonstrando resultados similares às placas de Trietanolamina, constituindo-se, portanto, em um método alternativo ao uso dessas placas (CETESB, 1998).

o impacto causado pela CBA à vegetação local é muito significativo e apresenta um caráter de poluição crônica. Cabe ressaltar que, não há padrões de concentração atmosférica de fluoretos gasosos no Brasil que visam à proteção da vegetação, mesmo sendo o poluente mais tóxico para a vegetação.



Figura 4.5. Indivíduo da espécie *Cordyline terminalis* (bioindicadora de fluoretos)

Fonte: CETESB (1998)

Destaca-se que no mesmo período em que foi realizado o estudo com o bioindicador *Cordyline terminalis*, ocorreu também, um estudo para determinar as concentrações de fluoretos gasosos no ar atmosférico, a partir do qual a CETESB (1998) constatou, no período correspondente ao registro das maiores concentrações de fluoretos (15/08/96 a 13/09/96), a deposição de material particulado de coloração esbranquiçada sobre os vegetais, objetos e casas, em grande quantidade (Figuras 4.6). Nesse mesmo período, foi observado o aparecimento de necroses no meio do limbo foliar de diversas plantas encontradas nos jardins e praças da região (Figura 4.7). Segundo a CETESB (1998), as necroses no meio do limbo foliar, ocorridas nesse período, podem ter tido como causa o fato deste material particulado contendo fluoreto ter se dissolvido no orvalho ou

nas águas das regas dos jardins e ter penetrado nas folhas, causando as injúrias, antes mesmo de ser translocado para as margens e ápice das mesmas.

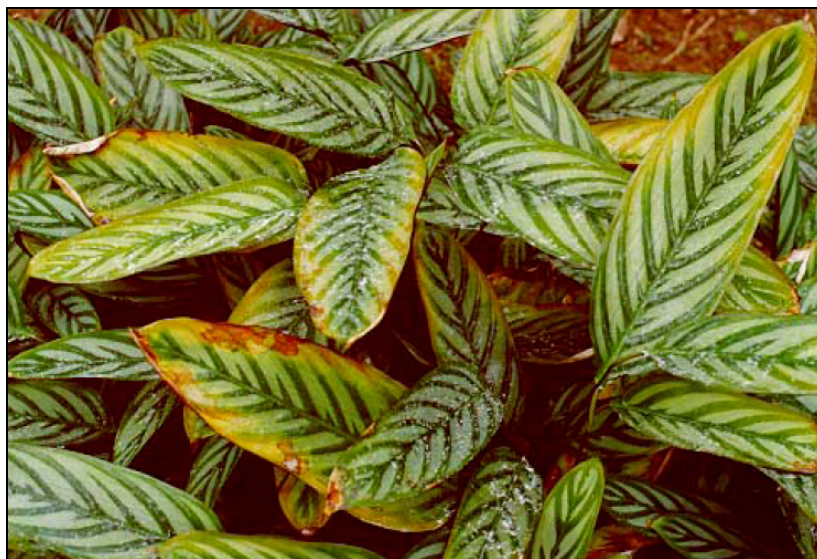


Figura 4.6. *Ctenanthe setosa* com material particulado sobre as folhas e com injúrias características de fluoretos

Fonte: CETESB (1998)



Figura 4.7. Aspecto de planta com injúrias no meio do limbo foliar, bordas e ápices das folhas, no jardim de uma casa próxima à planta industrial da CBA

Fonte: CETESB (1998)

Com o objetivo de avaliar os efeitos crônicos dos fluoretos gasosos em outras espécies vegetais existentes no entorno da planta industrial da CBA, foi realizado, em março de 1998, um biomonitoramento passivo. A avaliação dos efeitos dos fluoretos gasosos na vegetação baseou-se na determinação das concentrações foliares de fluoretos,

em amostras compostas, coletadas em 30 de abril de 1998, contendo folhas de três indivíduos de quatorze espécies vegetais diferentes, com ou sem injúrias foliares características de fluoretos, das quais duas foram analisadas para determinação das concentrações de fluoretos nos frutos. Os resultados dos teores foliares de fluoretos obtidos estão expressos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Concentração de fluoretos em folhas de espécies vegetais coletadas nas proximidades da planta industrial da CBA

Espécie	µgF/g.PS
Tabebuia sp (ipê amarelo)	1603,82
Cordyline terminalis (dracena alba)	150,49
Eriobotrya japonica (nêspereira)	462,9
Ficus carica (figueira)	55,4
Ficus carica (figueira) - análise de frutos	748,6
Arbusto não identificado	616,1
Ficus elastica (falsa-seringueira)	879,7
Cymbopogum citratus (Capim santo)	369,1
Coffea arabica (café)	326,8
Coffea arabica (café) - análise de frutos	29,7
Chrysanthemum sp	201,0
Salvia splendens	724,8
Rhododendron sp (azaléia)	1402,4
Cordyline sp	140,2
Dracaena sp (pau d'água)	1423,82
Hydrangea macrophylla (hortênsia)	220,8

Fonte: CETESB (1999)

As concentrações foliares de fluoretos obtidas na vegetação próxima à CBA são extremamente altas, ultrapassando várias vezes os limites considerados normais encontrados na vegetação de clima temperado que é de 20 µgF/g.PS. Os efeitos da poluição da CBA na vegetação próxima a indústria são facilmente percebidos, tanto em campo quanto através do conteúdo foliar de fluoretos e, podem ser considerados muito

significativos, dificultando ou impedindo o estabelecimento e desenvolvimento de diversas espécies vegetais sensíveis aos fluoretos gasosos. De acordo com o estudo realizado pela CETESB (1999) na área, as emissões de fluoretos são constantes e, portanto, há um efeito crônico sobre a vegetação. Espécies tolerantes, que apesar de propiciarem um aspecto “verde” à região, se melhor observadas, possuem cloroses e algumas necroses em menor quantidade, além de apresentarem uma alta concentração de fluoretos em suas folhas (CETESB, 1998).

4.1.2 O Ozônio (O₃)

No período de 25 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2002, foi realizado no município de Sorocaba, vizinho de Alumínio, um estudo para averiguar os episódios de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar (primário e secundário)⁴⁴, constatando, por meio das medições realizadas, até então, nas quatorze estações da Rede Automática de Qualidade do Ar da CETESB, ocorrências de ultrapassagem do padrão de ozônio, principalmente, nos meses de fevereiro a abril e de agosto a dezembro.

A duração dos episódios agudos de poluição por ozônio, na maioria dos casos, foi de 1 hora, mas houve ocorrências de episódios com duração de até 5 horas e concentrações máximas no período da tarde, entre 13 e 17 horas. Foi observado que, nos dias em que ocorreram episódios agudos de poluição, somente em Sorocaba (em 25 dias), os valores de concentração de O₃ chegaram a ultrapassar o nível de Atenção, que é de 200µg/m³ (Decreto Estadual nº. 8.468/76). Contudo, nos dias em que também ocorreram episódios agudos de poluição na Região Metropolitana de São Paulo, os valores máximos observados em Sorocaba estavam próximos ao padrão de qualidade do ar (160µg/m³)⁴⁵. É importante destacar que, quando ocorrem episódios agudos de poluição em Sorocaba, e a direção predominante do vento é do quadrante Leste-Sul, é possível que ocorra o transporte do ozônio e de seus precursores oriundos de fontes localizadas à Leste e à Sudeste de Sorocaba (CETESB, 2004a). Cabe ressaltar que o município de Alumínio encontra-se à

⁴⁴ A CONAMA nº. 03/90 estabelece, em relação ao controle de poluentes, dois padrões de qualidade do ar: padrões primários de qualidade do ar (são as concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão acarretar danos à saúde da população) e padrões secundários de qualidade do ar (são as concentrações de poluentes abaixo das quais se espera o mínimo efeito adverso sobre a saúde da população, bem como o mínimo de dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente como um todo). Para o ozônio tanto o padrão de qualidade do ar primário quanto o secundário é de 160µg/m³ para a média máxima de 1 hora.

⁴⁵ O novo limite sugerido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para a concentração de ozônio, para um período de exposição de 1 hora, é 100µg/m³ de ozônio, e está sendo adotado pelos países da Europa Ocidental.

Leste-Sudeste de Sorocaba, na direção predominante dos ventos, podendo assim, ocorrer o transporte de poluentes originados em Alumínio para a região do município de Sorocaba.

A partir dos resultados encontrados em Sorocaba, a CETESB começou a estudar o comportamento do ozônio no eixo São Paulo – Sorocaba, já que o estudo relativo ao município de Sorocaba mostrou que tal poluente e seus precursores eram transportados da Região Metropolitana de São Paulo para o município. Daí a importância de se conhecer a direção e a velocidade do vento que predominam na região. De acordo com as medições realizadas pelas estações telemétricas de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, no período de 1996 a 1998 (CETESB, 2004a), pode-se observar que o vento predominante sobre a Região Metropolitana de São Paulo é Leste-Sudeste (ESE).



Figura 4.8. Indivíduo da espécie *Nicotiana tabacum* ‘Bel W3’ (bioindicadora de O₃)

Fonte: Pedroso (2006)

Com o objetivo de conhecer a trajetória do transporte de ozônio da Região Metropolitana de São Paulo para o município de Sorocaba, o Setor de Ecossistemas Terrestres da CETESB realizou campanhas de monitoramento de ozônio em alguns municípios da região abrangida pelo eixo São Paulo – Sorocaba, utilizando uma planta bioindicadora de ozônio, a *Nicotiana tabacum* ‘Bel W3’⁴⁶ (Figura 4.8).

⁴⁶ A *Nicotiana tabacum* ‘Bel W3’ – Solanaceae é uma planta usada pelas indústrias do tabaco como matéria-prima para a fabricação do cigarro e é bioindicadora de ozônio. O conhecimento sobre o uso dessa planta como bioindicadora de ozônio remonta a década de 50, quando as indústrias produtoras de charutos, situadas na cidade de Beltsville, no Vale de Connecticut, EUA, começaram a acumular prejuízos, uma vez que as plantas empregadas na indústria apresentavam manchas nas folhas que impediam sua utilização (PEDROSO, 2006).

Os municípios selecionados para o estudo relacionado ao transporte de ozônio troposférico no eixo São Paulo – Sorocaba (Leste-Oeste) foram os seguintes: Cotia, Vargem Grande, Ibiúna, São Roque, Mairinque e Alumínio. Todos esses municípios encontram-se situados à Oeste de São Paulo - Capital (Figura 4.9).

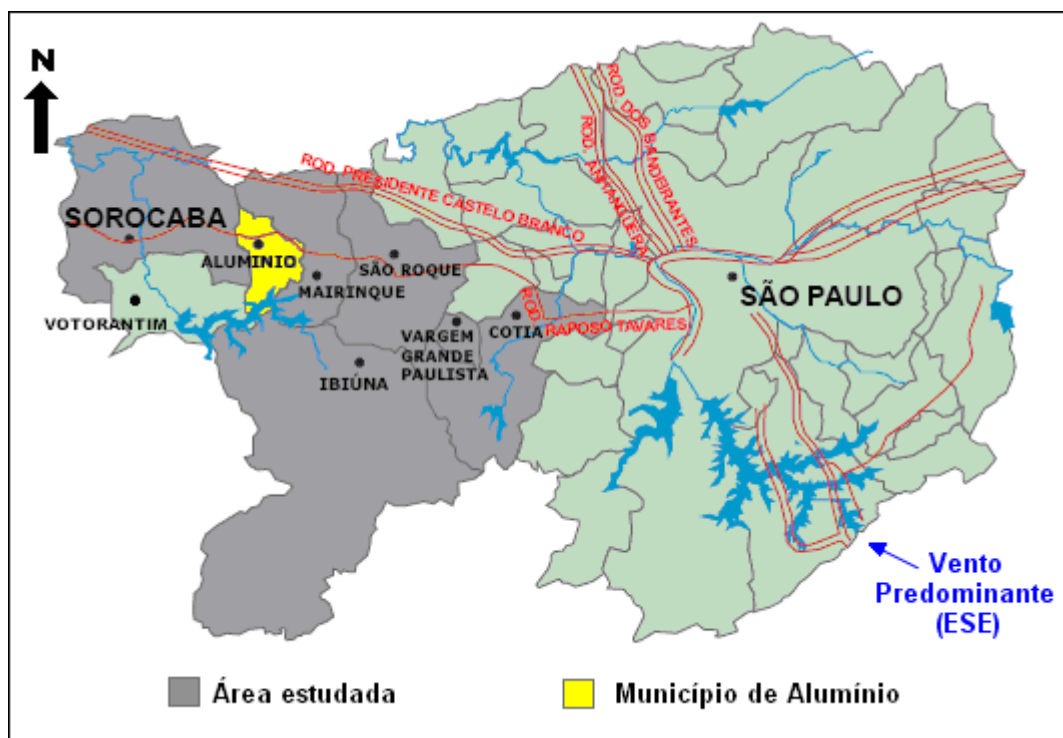


Figura 4.9. Localização da área de estudo referente ao transporte de ozônio no eixo São Paulo - Sorocaba

Fonte: Mapa modificado de CETESB (2004a)

Os períodos de exposição dos indivíduos bioindicadores (*Nicotiana tabacum* ‘Bel W3’) nos municípios estudados foram os seguintes: de 27 de fevereiro a 27 de março de 2002; de 4 de junho a 3 de julho de 2002; de 8 de outubro a 6 de novembro de 2002 e de 20 de fevereiro a 19 de março de 2003. Cabe ressaltar que houve um ano de exposição dos indivíduos bioindicadores, ou seja, o período estudado abrangeu as épocas propícias e não propícias à formação de ozônio troposférico.

Nas quatro campanhas foram observadas ocorrências de injúrias nos indivíduos expostos, e aqueles que se encontravam no município de São Roque foram os que apresentaram maior média e mediana de porcentagem de injúrias nas folhas (Figura 4.10), seguido do município de Alumínio, Mairinque, Ibiúna e Cotia. Em Vargem Grande verificou-se a menor porcentagem de ocorrências de injúrias nos indivíduos expostos, dentre os municípios estudados. Destaca-se que, durante a realização da terceira campanha

de monitoramento, os indivíduos que se encontravam em Vargem Grande sofreram atos de vandalismo impossibilitando a avaliação dos resultados obtidos nesse município.

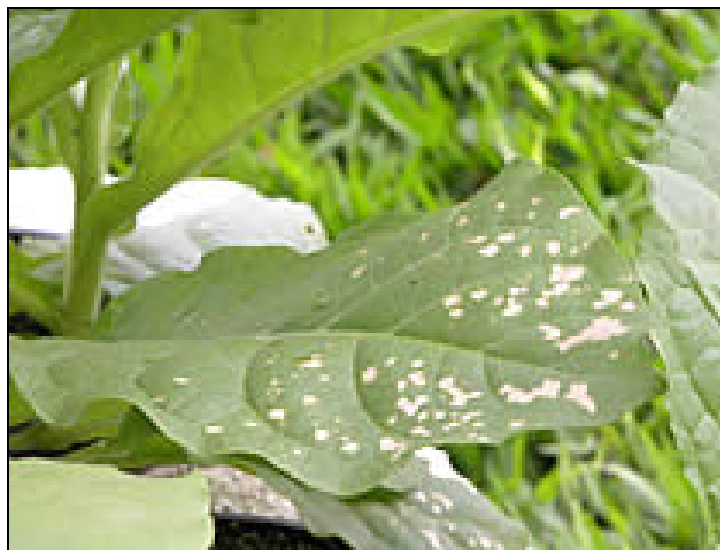


Figura 4.10. Injúria foliar presente em um indivíduo da espécie *Nicotiana tabacum* ‘Bel W3’ devido ao ozônio troposférico

Fonte: CETESB (2009c)

Destaca-se que o município de São Roque localiza-se na base da chamada Serra de São Roque, e sua sede está voltada para o lado da Região Metropolitana de São Paulo. Dessa maneira, a ocorrência de maior porcentagem de injúrias foliares nesse município pode estar ligada ao fato dos poluentes transportados ficarem parcial ou totalmente retidos na região serrana, acumulando-se e/ou transformando-se, considerando-se que tanto os poluentes precursores de ozônio, quanto o próprio ozônio, originados da Região Metropolitana de São Paulo, podem estar sendo transportados.

O que chama atenção é o fato de os indivíduos expostos no município de Mairinque, localizado entre São Roque e Alumínio, apresentarem a menor ocorrência de injúrias foliares dentre os indivíduos desses três locais. Segundo a CETESB (2004a), esse fato sugere a hipótese de que o ozônio transportado da Região Metropolitana de São Paulo pode não influenciar a concentração de ozônio no ar atmosférico do município de Mairinque, uma vez que ele está situado na base da Serra de São Roque, no lado voltado para Sorocaba, ou seja, a serra serve como obstáculo ao transporte do poluente.

Outra hipótese suscitada pelos estudos da CETESB (2004a) está baseada na existência de fontes de emissão de poluentes precursores do ozônio no município de Alumínio, onde se observou grande ocorrência de injúrias nas folhas dos indivíduos

expostos. Nesse caso, o ozônio poderia se formar na região do próprio município, sem que houvesse contribuição significativa do ozônio oriundo da Região Metropolitana de São Paulo e, o ozônio incidente na região urbana de Sorocaba se formaria em Alumínio, apresentando pouca relação com o ozônio oriundo da Região Metropolitana de São Paulo. De fato, em Alumínio há emissão de volumes significativos de substâncias precursoras do ozônio (NO_x e HC) devido às atividades da CBA, e, dadas as condições favoráveis – fonte de emissão e níveis de insolação –, pode ocorrer a formação de ozônio no município.

Importante salientar que, em maio de 2005, a CBA apresentou à CETESB (Regional de Sorocaba) os resultados obtidos no monitoramento da qualidade do ar no período de outubro de 2004 a abril de 2005, os quais foram enviados à CETESB de São Paulo para análise e manifestação. Da verificação preliminar dos resultados apresentados pela empresa referentes a 2004, aparentemente, não foram registradas desconformidades em relação aos padrões primários e secundários para as concentrações médias de 24 horas para partículas inaláveis (MP_{10}), SO_2 e média máxima de 1 hora para NO_2 . No entanto, em relação aos resultados obtidos no monitoramento contínuo de ozônio⁴⁷ verificou-se a ocorrência de 38 picos de concentração de ozônio nos meses avaliados, cujos valores ultrapassaram o padrão de qualidade do ar – $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ –, chegando a atingir o valor máximo de $263\mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 11 de novembro de 2004.

Em relação aos resultados obtidos no período de janeiro a abril de 2005, também, não foram registradas desconformidades em relação aos padrões primários e secundários de qualidade do ar para as concentrações médias de 24 horas para partículas inaláveis (MP_{10}) e SO_2 e média máxima de 1 hora para NO_2 . Com relação ao ozônio, mais uma vez foram registrados 55 episódios de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar, sendo a concentração máxima registrada igual a $295\mu\text{g}/\text{m}^3$, em 24 de fevereiro de 2005 (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

Destaca-se que no referido período de monitoramento da qualidade do ar, o número alto de episódios de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar para ozônio deve-se, além da presença de substâncias precursoras na atmosfera, às condições climáticas, que nesse período é ideal para a formação de ozônio troposférico (temperaturas elevadas e céu claro).

O O_3 é um poluente que deve ser monitorado constantemente no município de Alumínio, pois o número de episódios de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar é elevado. Além disso, é um poluente bastante nocivo à saúde humana e ao meio ambiente.

⁴⁷ A CBA realiza o monitoramento contínuo dos seguintes poluentes atmosféricos: SO_2 , NO_2 , O_3 e MP_{10} .

4.1.3 O Material Particulado (com ênfase ao MP₁₀)

A CBA é uma grande fonte de emissão de material particulado, sendo possível confirmar tal afirmação nos Relatórios Anuais de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo publicado pela CETESB (2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a), que exhibe as estimativas anuais de emissão de material particulado para esse empreendimento. No gráfico da Figura 4.11 foram registrados os valores estimados de emissão anual de material particulado proveniente da queima de combustíveis fósseis na planta industrial da CBA.

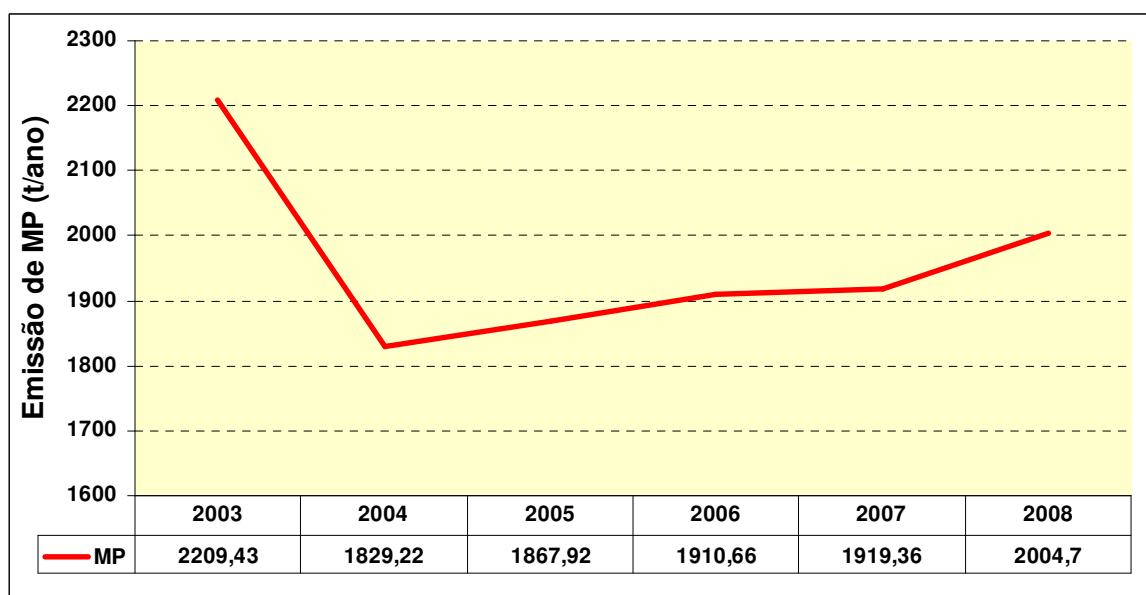


Figura 4.11. Estimativas da emissão de material particulado da planta industrial da CBA

Fonte: CETESB (2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a)

Em relação ao ano de 2003, os anos seguintes registraram menores emissões de material particulado, sendo uma das causas possíveis a substituição da queima de óleo combustível (óleo BPF 2A) por gás natural (GN), que iniciou-se em 2004. Entretanto, observa-se que a emissão de material particulado começou a aumentar novamente em 2005, fato que pode ser explicado pela ampliação da capacidade instalada da CBA, especialmente, com a implantação de novas salas de redução eletrolítica, o que propiciou à CBA aumentar sua produção de alumínio primário.

Segundo os Relatórios de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo (CETESB, 2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a), a planta industrial da CBA é a maior fonte estacionária de emissão de material particulado (MP) proveniente da queima de combustíveis fósseis encontrada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

(UGRHIs) Sorocaba/Médio Tietê⁴⁸. Para efeito de comparação, foram selecionadas algumas empresas instaladas na UGRHIs Sorocaba/Médio Tietê, que são responsáveis pela emissão de grandes quantidades de material particulado, cujas taxas de emissão estão compiladas na Tabela 4.3. A comparação das emissões de material particulado em 2008, proveniente da queima de combustível fóssil nas empresas selecionadas, evidencia que a CBA⁴⁹ emite uma quantidade de material particulado muito superior a das demais indústrias, sendo responsável por 67,5% do total de material particulado emitido (proveniente da queima de combustíveis fósseis) nessa região dentre as indústrias inventariadas pela CETESB, ou seja, é a maior fonte estacionária emissora de material particulado dessa região.

Tabela 4.3. Estimativa da emissão de material particulado proveniente da queima de combustíveis fósseis em plantas industriais localizadas na UGRHIs Sorocaba/Médio Tietê

Empreendimentos	Município	Emissão de MP (t/ano) em 2008
CBA	Alumínio	2004,7
Votorantim Cimentos Ltda – Fáb. de Santa Helena	Votorantim	266,72
Votorantim Cimentos Ltda – Fáb. de Salto de Pirapora	Salto de Pirapora	143,21
Seiren do Brasil Indústria Têxtil Ltda	Sorocaba	108,09
Gerdau Aços Longos S.A	Araçariguama	107,00
Porto Feliz S/A - Divisão Papel	Porto Feliz	101,38
Indústria Mineradora Pagliato Ltda	Votorantim	23,76

Fonte: CETESB (2009a)

A taxa de emissão de material particulado da planta industrial da CBA é superior à soma das emissões das duas indústrias cimenteiras do grupo Votorantim, provando assim, que é muito importante realizar o monitoramento do parâmetro material particulado visando o gerenciamento da qualidade do ar no município de Alumínio, especialmente levando-se em conta a concentração urbana que se estende ao redor da parte Norte da planta industrial da CBA.

⁴⁸ O Estado de São Paulo está dividido em vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos e, o município de Alumínio pertence à UGRHIs nº. 10 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sorocaba/Médio Tietê), sendo que esta unidade é composta por trinta e três municípios (CETESB, 2009a).

⁴⁹ 97,11% das emissões estimadas de MP da CBA são devidas ao processo de produção de alumínio primário (CETESB (2009a).

Segundo a Resolução CONAMA 03/90, o padrão de qualidade do ar para as partículas inaláveis (MP₁₀) é 150µg/m³ para a média diária, tanto para padrões de qualidade do ar primários quanto secundários. No entanto, o novo limite sugerido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para a concentração de MP₁₀ no ar atmosférico, para um período de exposição de 24 horas é de 50µg/m³, valor três vezes menor que o preconizado na Resolução do CONAMA.

Cabe ressaltar que, mesmo não tendo sido reportado nenhum episódio de ultrapassagem dos padrões primários e secundários de qualidade do ar para MP₁₀ no período considerado, há necessidade de se estudar com mais apreço a emissão de material particulado no município de Alumínio e seu impacto sobre a qualidade do ar local, pois, a redução na taxa de emissão de material particulado iniciada em 2004 na planta industrial da CBA devido à substituição gradativa do óleo combustível por gás natural não está mais surtindo efeito positivo em vista do aumento da produção de alumínio primário. Nem mesmo os sistemas de controle de poluição que vem sendo implantados pela empresa ao longo dos anos – conforme ficou acordado em processos de licenciamento ambiental – têm surtido efeito expressivo na redução da carga emitida de material particulado para a atmosfera, pois, conforme registrado em 2008, o empreendimento continua sendo responsável por mais de 50% de todo material particulado lançado para a atmosfera, no total das empresas avaliadas pela CETESB na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sorocaba/Médio Tietê, mesmo tendo apresentado, no ano de 2008, uma redução na taxa de emissão de material particulado de, aproximadamente, 9,3% em relação ao ano de 2003.

Conclui-se que essa redução na taxa de emissão de material particulado conseguida pela CBA no período assinalado é muito pequena se comparada ao investimento e às medidas de controle ambiental adotadas na planta industrial da CBA. Isso induz à hipótese de que a taxa de emissão de material particulado está fortemente determinada pelas condições operacionais da planta industrial, ainda não superada pelas medidas adotadas para o controle da poluição atmosférica.

Outro fato que justifica o desenvolvimento de um estudo mais aprofundado sobre a contaminação ambiental por material particulado em Alumínio é a redução da concentração de MP₁₀ presente na atmosfera sugerido pela Organização Mundial da Saúde, uma vez que os resultados do monitoramento realizado pela CBA foram analisados com base no padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 03/90, o qual é três vezes maior que o sugerido pela OMS.

4.1.4 Os Demais Poluentes

As Figuras 4.12 e 4.13 apresentam gráficos relativos à evolução das estimativas de emissão dos poluentes NO_x e SO_x na planta da CBA nos últimos anos (2003 a 2008).

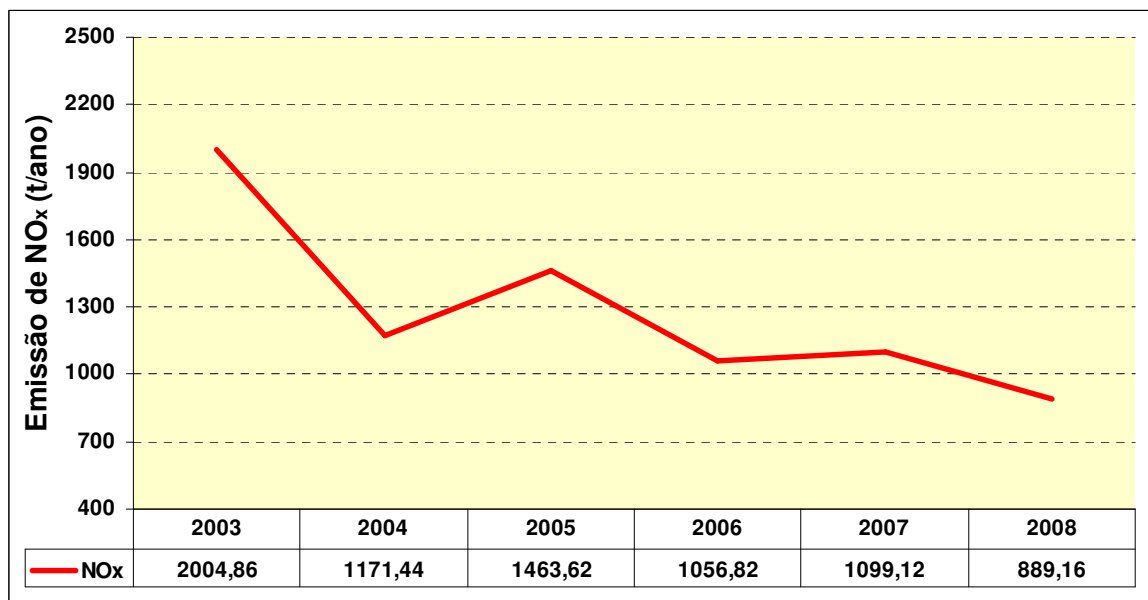


Figura 4.12. Estimativas da emissão de NO_x da planta industrial da CBA

Fonte: CETESB (2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a)

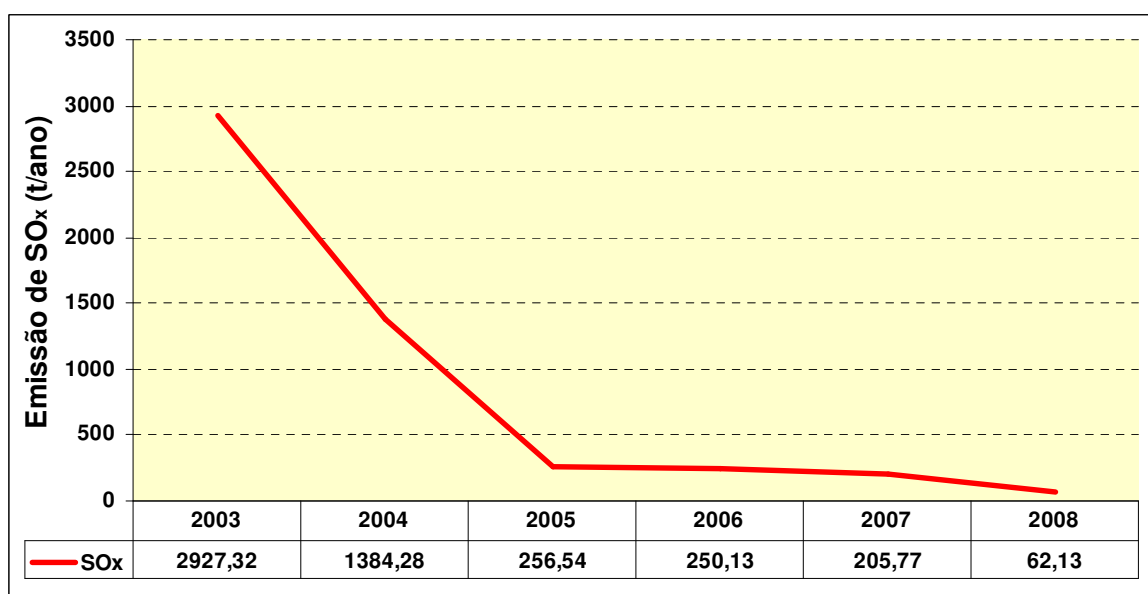


Figura 4.13. Estimativas da emissão de SO_x da planta industrial da CBA

Fonte: CETESB (2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a)

A análise dos dados registrados nos gráficos das Figuras 4.12 e 4.13 evidenciam que houve uma redução bruta na taxa de emissão desses poluentes, especialmente dos

óxidos de enxofre, e que as quedas começaram em 2004, ou seja, coincidiram com a época em que se iniciou a substituição gradativa do óleo combustível (óleo BPF 2A) pelo gás natural (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-01214-04, 2004).

A redução verificada na taxa de emissão de óxidos de enxofre e de óxidos de nitrogênio, no ano de 2008, em relação ao ano de 2003, é de, aproximadamente, 97,9% e 55,6%, respectivamente. As reduções são bastante expressivas, mostrando que as medidas adotadas pela CBA visando a minimização da emissão desses poluentes estão sendo bem sucedidas. Importante destacar que a redução da taxa de emissão desses poluentes diminuiu a intensidade de ocorrências de chuvas ácidas, bem como a ocorrência de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar para os referidos poluentes.

O padrão de qualidade do ar secundário para o NO_2 é de $190\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a média máxima de 1 hora, segundo a Resolução CONAMA nº. 03/90, enquanto que, para o SO_2 , o padrão secundário de qualidade do ar é de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a média de 24 horas. No entanto, a Organização Mundial da Saúde (OMS), propôs, em 2006, novo limite de concentração para o SO_2 na atmosfera: $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a média de 24 horas, mas não sugeriu um valor de referência para o NO_2 . Esse novo limite sugerido pela Organização Mundial da Saúde é bem abaixo do preconizado na Resolução CONAMA nº. 03/90. Vale ressaltar que, a redução no limite SO_2 presente na atmosfera sugerido pela Organização Mundial da Saúde foi de 80%, enquanto que, a redução alcançada pela planta industrial da CBA na emissão de SO_2 para atmosfera foi maior.

A redução verificada na taxa de emissão de óxidos de nitrogênio é benéfica não só em relação à diminuição da concentração do poluente em si, mas, também, devido à sua influência na formação de ozônio troposférico.

Dentre os hidrocarbonetos (HC) que são emitidos pelas atividades produtivas da CBA, existem compostos precursores do ozônio, entretanto, estes, ao contrário do NO_x , não apresentaram queda na taxa de emissão nos últimos anos, como pode ser verificado no gráfico da Figura 4.14. Conforme os dados registrados no gráfico da Figura 4.14, percebe-se um aumento considerável na taxa de emissão de HC para a atmosfera ao longo dos anos, sendo que o aumento verificado no ano de 2008 em relação ao ano de 2003 foi de, aproximadamente, 47%. O aumento verificado na taxa de emissão de HC é preocupante, pois entre eles há substâncias comprovadamente carcinogênicas, como alguns Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs), cuja concentração no ar atmosférico não é monitorada no município de Alumínio por não existir uma legislação específica que limite a emissão desses compostos para a atmosfera, estando a população aluminense

vulnerável aos riscos associados à exposição permanente a esses poluentes. Portanto, há necessidade de um estudo mais aprofundado sobre os riscos à exposição de poluentes perigosos aos quais está exposta a população local.

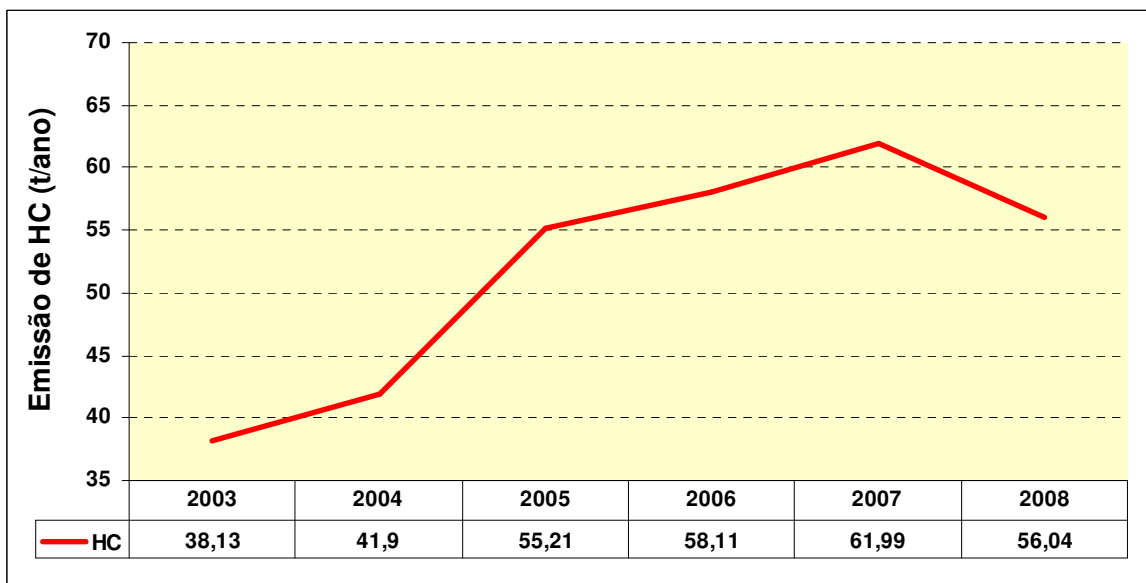


Figura 4.14. Estimativas da emissão de HC da planta industrial da CBA

Fonte: CETESB (2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a)

Outro poluente que apresentou um aumento em sua taxa de emissão na planta industrial da CBA foi o monóxido de carbono, como pode ser constatado no gráfico da Figura 4.15.

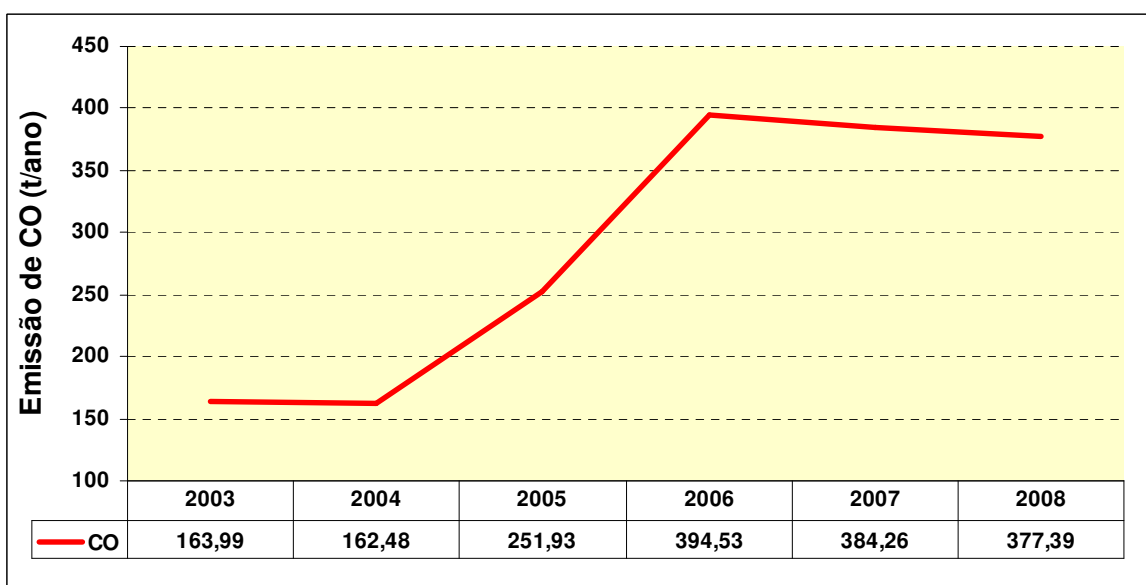


Figura 4.15. Estimativas da emissão de CO da planta industrial da CBA

Fonte: CETESB (2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a)

O aumento verificado no ano de 2008 em relação ao ano de 2003 foi de, aproximadamente, 130%, muito alto, sendo o único poluente que apresentou esse crescimento em sua taxa de emissão ao longo dos anos.

Cabe salientar que o aumento verificado na taxa de emissão de monóxido de carbono em 2006 comparado ao valor registrado em 2005 é devido à expansão da capacidade de produção de alumínio primário da CBA, que passou de 363.046t/ano para 400.032t/ano, ou seja, aumento de aproximadamente 10,2%.

Nos anos seguintes, a emissão de monóxido de carbono diminuiu, fato que pode estar relacionado à substituição gradativa do óleo combustível BPF 2A por gás natural nas instalações da fábrica (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005).

No entanto, se comparada à emissão das duas indústrias cimenteiras pertencentes ao Grupo Votorantim localizadas na UGRHIs Sorocaba/Médio Tietê, a emissão de monóxido de carbono pela CBA é baixa. Porém, se a taxa de emissão de monóxido de carbono da CBA é comparada com a de outras empresas como a Gerdau Aços Longos S/A, ela é alta, como destacado na Tabela 4.4. A Tabela 4.4 apresenta uma comparação entre as taxas de emissão de monóxido de carbono em 2008, proveniente da queima de combustível fóssil, de empresas selecionadas no Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo pertencentes à UGRHIs Sorocaba/Médio Tietê e que emitem quantidades significativas de monóxido de carbono para a atmosfera.

Tabela 4.4. Estimativa da emissão de monóxido de carbono (CO) relativo à queima de combustíveis fósseis

Empreendimentos	Município	Emissão de CO (t/ano) em 2008
CBA	Alumínio	377,39
Votorantim Cimentos Ltda – Fáb. de Santa Helena	Votorantim	674,08
Votorantim Cimentos Ltda – Fáb. de Salto de Pirapora	Salto de Pirapora	2134,58
Cervejaria Petrópolis S/A	Boituva	11,99
Gerdau Aços Longos S.A	Araçariguama	25,60
Ajinomoto Biolatina Indústria e Comércio Ltda	Laranjal Paulista	10,80

Fonte: CETESB (2009a)

Cabe ressaltar que o padrão de qualidade do ar para o CO é de 40000µg/m³ (35ppm) para a média máxima de 1 hora, segundo a Resolução CONAMA nº. 03/90

preconiza para padrões primários e secundários da qualidade do ar. No entanto, a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1999) sugere $30000\mu\text{g}/\text{m}^3$ para um período de exposição de 1 hora.

É importante destacar que no município de Alumínio não há monitoramento da concentração de monóxido de carbono no ar atmosférico e isto se deve, talvez, ao fato de sua emissão por parte da CBA não ser tão grande quando comparada às emissões de outras indústrias de grande porte como as plantas cimenteiras do Grupo Votorantim. Entretanto, devido ao aumento verificado nos últimos anos seria interessante que houvesse, por parte do órgão ambiental, algum interesse em realizar estudos sobre o comportamento desse poluente no ar atmosférico de Alumínio.

CAPÍTULO 5

RISCOS TECNOLÓGICOS AMBIENTAIS

Os conceitos de risco têm sido utilizados em diversas ciências e ramos do conhecimento e adaptados segundo os casos em questão. Nessas situações, freqüentemente, o termo riscos é substituído ou associa-se a potencial, susceptibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais. São vários os conceitos, mas um ponto comum entre eles é a inclusão da noção de probabilidade.

Segundo Amaro (2005), *“o risco é, pois, função da natureza do perigo, acessibilidade ou via de contacto (potencial de exposição), características da população exposta (receptores), probabilidade de ocorrência e magnitude das conseqüências”*. Em outras palavras, o autor expõe a face premonitória dos riscos dado que *“embora as definições e interpretações sejam numerosas e variadas, todos reconhecem no risco a incerteza ligada ao futuro, tempo em que o risco se revelará”*.

Para Veyret (2007), o risco é uma construção social, ou seja, *“a percepção que os atores têm de algo que representa um perigo para eles próprios, para os outros e seus bens”* e, afirma que, *“o risco não depende unicamente de fatos ou processos objetivos”*.

O importante é perceber que, apesar dos conceitos e suas definições, a utilização dos *riscos* como sinalizador de problemas ambientais é a convicção de que, quando se fala em risco se está direta ou indiretamente falando do ser humano individualmente ou em sociedade.

Segundo Veyret (2007), não há risco sem uma população (ser social) ou indivíduo (ser biológico) que o perceba e que poderia sofrer seus efeitos, uma vez que, o risco é a tradução de uma ameaça, de um perigo para aquele que está sujeito a ele e o percebe como tal.

O risco é sempre um objeto social, seja quando uma comunidade ou indivíduo específico são atingidos, vivenciam ou sofrem as conseqüências do risco natural ou telúrico (que de certa forma independe de suas ações diretas), seja quando um determinado grupo industrial emite poluentes atmosféricos e uma comunidade sofre com os efeitos provocados por eles (VEYRET, 2007).

A identificação do risco precede no tempo a identificação de algo impactante, sendo a noção de risco mais abrangente para mostrar os diversos efeitos que um

determinado evento pode ocasionar sobre os seres humanos. No entanto, pode acontecer de um impacto constatado num determinado local origine a percepção sobre as alterações ambientais e a possibilidade de riscos em outros. Portanto, mesmo sendo conceitos diferenciados, a ocorrência de “impactos ambientais” em um local deve ser elemento indicativo para a identificação e localização de riscos em outros locais ou épocas, em virtude da possibilidade de repetição, no espaço e no tempo, dos eventos em situações similares.

Contrariamente à poluição, ou simplesmente a uma paisagem marcada pela indústria, o risco não é diretamente perceptível pela população, visto que esses efeitos visíveis, sensíveis, não são mensuráveis, a não ser após a ocorrência dos danos provocados por um acidente ou catástrofe (VEYRET, 2007).

A percepção de riscos permite abrir espaço para que se questionem ou coloquem em dúvida laudos técnicos ou pareceres de técnicos, peritos e pesquisadores sobre os quais pode pairar alguma desconfiança, pois o respeito pelas diferentes percepções que um risco pode ter, mediadas pela vivência e pelo olhar dos moradores do local, acostumados com os ritmos e as sutilezas das modificações ambientais, permite enxergar desvios nas médias pluviométricas mensais, permite entender porque determinada área é mais vulnerável a sofrer com a poluição do ar do que outra semelhante.

A percepção ambiental sensível e atenta dos cidadãos - sejam eles, trabalhadores, agricultores, pescadores ou pesquisadores - deve ser considerada uma fonte ou parâmetro de indicador de qualidade ambiental. Mas, para isso, é preciso, também, que haja forte compromisso do Poder Público em dotar essas pessoas de informação sobre esses indicadores ambientais, sobre as características das atividades poluidoras e sobre os poluentes emitidos, sua periculosidade e as formas de controle e de preservação ambiental possíveis, tudo isso somado às explicações sobre os cenários de risco e as possibilidades para o gerenciamento do risco. Nada mais apropriado para uma administração municipal e dos órgãos ambientais competentes.

Respeitar as diferentes opiniões e interpretações sobre o ambiente e sobre o quê representa risco e, ainda, estimular para que essas diferenças venham à tona, contribui para fortalecer o debate e o conhecimento de realidades diversas.

Segundo Sánchez (2006), são muitas as classificações possíveis para os riscos ambientais, no entanto, ele cita dentre os riscos ambientais possíveis duas categorias: os riscos naturais (decorrentes de distúrbios da natureza) e os riscos tecnológicos (decorrentes das atividades desenvolvidas pelo homem).

Ainda de acordo com Sánchez (2006), dentre os riscos chamados naturais figuram os riscos de origem atmosférica, os riscos associados aos processos e fenômenos hidrológicos, riscos geológicos, riscos biológicos e os riscos siderais, enquanto que, nos riscos tecnológicos figuram os riscos com características crônicas e agudas associados às atividades humanas. Uma síntese da abordagem de Sánchez (2006) encontra-se na Figura 5.1.

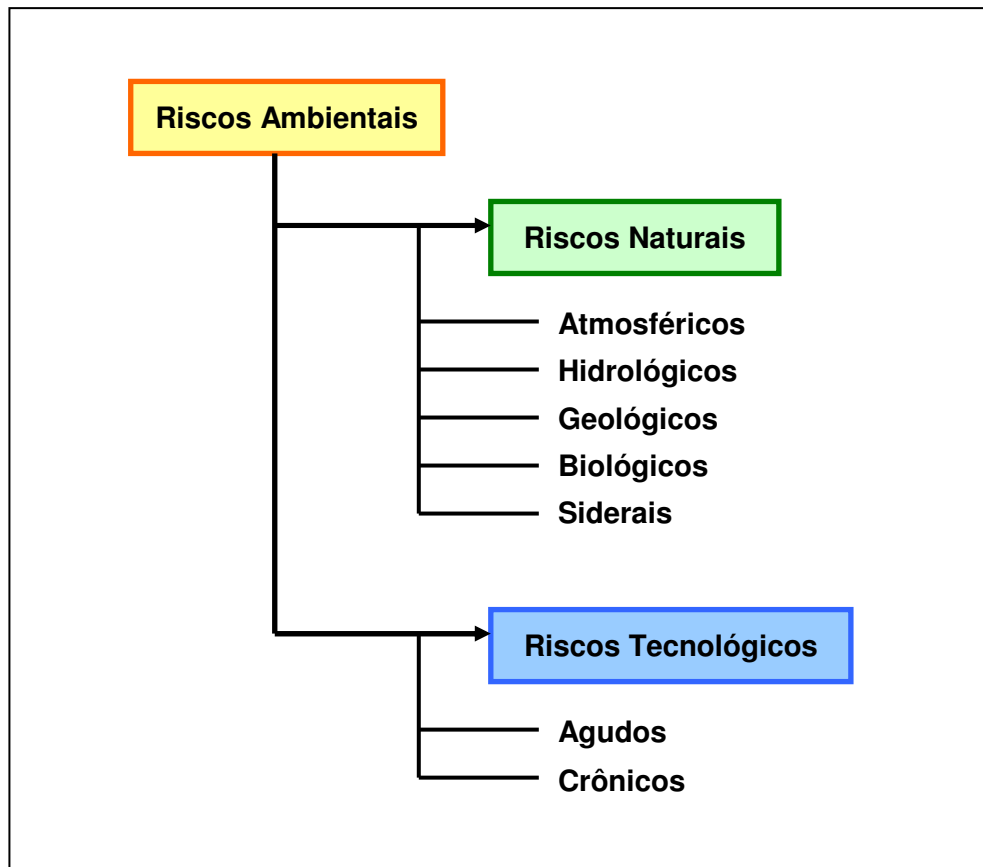


Figura 5.1. Uma síntese da tipologia de riscos ambientais: naturais e tecnológicos

Fonte: Adaptado de Sánchez (2006)

É importante ressaltar que os riscos de caráter tecnológico podem ser controlados tanto na probabilidade de ocorrência quanto na extensão de suas conseqüências. Já os riscos de caráter natural, em geral, somente podem ser controlados no que se refere às suas conseqüências e ao analisá-los, deve-se sempre levar em consideração que a ação do homem pode ser o agente deflagrador ou acelerador de processos naturais. Por exemplo, inundações são fenômenos naturais na maior parte do planeta, mas sua intensidade e freqüência são aumentadas devido às ações antrópicas, como desmatamento e impermeabilização do solo.

5.1 Risco tecnológico ambiental

Principalmente após a industrialização, segundo Giddens (1991), a sociedade em busca da modernização e do desenvolvimento passou a gerar várias situações de risco, criadas no ambiente socialmente construído, ou seja, fabricou riscos – manufactured risks – dando origem ao “*ambiente de risco*” ou “*risco ambiental*” de natureza tecnológica (Risco Tecnológico Ambiental). De fato, a organização da sociedade moderna no espaço, mediada por sistemas técnicos de engenharia, cada vez mais intrincados e aprimorados, resulta num alto grau de complexidade, capaz de aumentar a possibilidade iminente de riscos à integridade da vida.

Porto e Freitas (1997) afirmam que o risco tecnológico ambiental é cada vez mais importante para se analisar a vulnerabilidade ambiental das sociedades contemporâneas, “*pois revela diversas características de distúrbio e pane social nas mesmas, por exemplo, a perda de autonomia dos cidadãos no controle dos riscos, ou mesmo, a opacidade dos fatos ocorridos em casos de acidentes*”.

Segundo Brilhante e Caldas (1999), os riscos tecnológicos ambientais (RTAs) envolvem todos os problemas relativos aos contaminantes ambientais que estão de uma maneira ou de outra, associados ao crescente processo de industrialização verificado desde o final do século passado, em que ao lado do incremento da pesquisa, do desenvolvimento e da difusão de novas tecnologias, os processos de produção e seus produtos têm contribuído para pôr em perigo ou causar prejuízos à saúde do homem e dos ecossistemas.

Segundo Sevá Fº. (1988), a abordagem sobre o risco tecnológico ambiental deve levar em consideração três fatores indissociáveis: o processo de produção (recursos, técnicas, equipamentos, maquinário); o processo de trabalho (relações entre direções empresariais e estatais e assalariados); e a condição humana (existência individual e coletiva, ambiente). Onde pelo menos um desses fatores for encontrado haverá risco tecnológico ou haverá a possibilidade de ocorrer um problema causado por um risco tecnológico.

Brilhante e Caldas (1999) destacam que, nas atividades industriais, há dois tipos de riscos tecnológicos ambientais: o risco com características crônicas (aquele que apresenta uma ação contínua por longo período, como, por exemplo, os efeitos sobre os recursos hídricos, a vegetação, o solo e a saúde humana) e o risco com características agudas (decorrente de emissões de energia ou matéria em grandes concentrações, em um curto espaço de tempo).

Os riscos com características agudas, nos quais a exposição se dá sob alta intensidade e em um tempo curto, são eventos súbitos e abruptos nos quais uma grande quantidade de material ou energia é rapidamente emitida para o ambiente. Resultam em *acidentes* envolvendo emissões súbitas e massivas, com materiais inflamáveis ou tóxicos que podem causar eventos catastróficos, como incêndios e explosões de grande porte, provocando radiações térmicas intensas ou sobrepressões destrutivas, ou imensas nuvens carregadas de substâncias tóxicas que são formadas e levadas pelos ventos, podendo atingir áreas muito populosas, como ocorreu nos acidentes químicos de Bhopal⁵⁰, na Cidade do México⁵¹ e em Cubatão⁵², todos em 1984.

Nos riscos com características crônicas, a exposição se dá sob baixa intensidade e em um longo período de tempo. Um importante fator é que as fontes de poluição têm tendência a produzir emissões mais ou menos continuadas e de baixas concentrações. Por essa razão, os riscos associados a essas fontes de poluição são crônicos, e seus efeitos podem se manifestar a longo prazo. Essas fontes de poluição podem ser do tipo pontuais (chaminés), fontes de linhas (auto-estradas) ou fontes de área (complexos petroquímicos, cidades). As fontes contínuas são geralmente encontradas associadas aos problemas de poluição do ar. Emissões contínuas de materiais tóxicos ou energia (ruídos) são comuns em ambientes ocupacionais, mas também ocorrem a partir de plantas industriais diversas, dentre as quais pode-se citar aquelas destinadas à fabricação de alumínio primário (BRILHANTE; CALDAS, 1999).

Não importando causa ou origem, as fontes produzem emissões de substâncias e/ou formas de energia que provocam efeitos adversos. As emissões ocorrem em um ou mais compartimentos ambientais – ar, água ou solo –, que, por sua vez, estão em contato entre si, interagindo, e agravando ainda mais o quadro de risco.

⁵⁰ Na madrugada de 03/12/1984, ocorreu um acidente no complexo industrial da Union Carbide em Bhopal, na Índia, resultando na formação de uma nuvem tóxica de isocianato de metila que atingiu as áreas vizinha à empresa. Estima-se que ocorreram por volta de 4.000 mortes e cerca de 200.000 pessoas intoxicadas, caracterizando assim a maior catástrofe da indústria química (CETESB, 2009d).

⁵¹ Na manhã de 19/11/1984, ocorreu uma explosão na base de armazenamento e distribuição de gás liquefeito de petróleo da empresa PEMEX, localizada na Cidade do México e as conseqüências deste acidente foram trágicas: morte de 650 pessoas, mais de 6.000 feridos e destruição total da base (CETESB, 2009d).

⁵² Na noite de 24/02/1984 na Vila Socó (atual Vila São José), Cubatão/SP, houve vazamento devido a falha operacional em um dos oleodutos da Petrobrás que ligava a Refinaria Presidente Bernardes ao Terminal de Alemoa. A tubulação passava em região alagadiça, em frente à vila constituída por palafitas e com a movimentação das marés o produto inflamável espalhou-se pela região. Ocorreu ignição e como conseqüência as palafitas foram incendiadas. O número oficial de mortos é de 93, porém algumas fontes citam um número extra-oficial superior a 500 vítimas fatais (CETESB, 2009d).

5.2 Avaliação de risco

A Avaliação de Risco é um importante instrumento de política ambiental e começou a ser usada com maior frequência a partir dos anos 80. Seu campo de aplicação abrange desde os estudos sobre os efeitos da poluição ambiental nos seres humanos e nos ecossistemas até as decisões financeiras. Os diferentes enfoques utilizados para se efetuar uma avaliação de risco podem incluir o estudo de uma propriedade química, física ou biológica de um determinado material, ou atividade, ou mesmo o cálculo de índices e a estimativa das probabilidades de ocorrência de eventos catastróficos e suas conseqüências.

Segundo Lohani *et al.*, (1997), a avaliação de risco ambiental consiste no processo de “*avaliar a possibilidade de ocorrência de efeitos adversos no ambiente, ou transmitidos por este, originados de atividades perigosas, tais como o processamento industrial e o transporte de substâncias perigosas*”.

A avaliação de risco ambiental é útil para as entidades, quando da tomada de decisão, porque permite a hierarquização dos riscos ambientais existentes e a identificação de medidas de minimização do risco. Se os riscos forem considerados como não aceitáveis, prevê-se, então, a adoção de medidas de modo a diminuir o risco ou a limitar a extensão de suas conseqüências (LOHANI *et al.*, 1997). É por isso que o risco é gerenciável e, como tal, há grande interesse em identificá-lo, para se tomar decisões sobre o que fazer para prevenir o dano (a manifestação do perigo) ou, na fatalidade, reduzir a extensão dos danos.

A “Análise de Risco” e “Avaliação de Risco” são termos frequentemente utilizados como sinônimos, embora a análise de risco seja mais abrangente, segundo alguns autores (LOHANI *et al.*, 1997; SÁNCHEZ, 2006), incluindo os aspectos de gestão de risco. No entanto, o Banco Mundial desenvolveu uma metodologia de avaliação de risco ambiental que inclui o processo de gerenciamento de risco. Já a CETESB⁵³ emprega o termo análise de risco e inclui o gerenciamento de risco em seus estudos sobre os riscos tecnológicos ambientais.

Muitas vezes a Avaliação de Risco é subdividida em áreas (riscos à saúde humana, ecologia e segurança), mas qualquer avaliação de risco se inicia com a *identificação do perigo* ou definição do problema. Definidos os perigos, a próxima etapa é a *identificação*

⁵³ No Estado de São Paulo cabe a CETESB exigir e aprovar estudos de análise de riscos (EARs). Os EARs têm conteúdo específico e devem descrever as instalações analisadas, identificar os perigos, quantificar riscos e propor medidas de gestão para reduzi-los, assim como um plano de ação para situações de emergência. Os principais itens desse estudo estão disponibilizados na norma técnica CETESB P4.261 (Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos) e são: caracterização do empreendimento e da região; identificação dos perigos e consolidação de cenários de acidentes; estimativas dos efeitos físicos e análise de vulnerabilidade; estimativas de frequências e gerenciamento de riscos.

das populações receptoras potenciais e os locais de exposição. Posteriormente, na etapa de caracterização do risco, são caracterizadas a natureza e magnitude das consequências de tal exposição. A última etapa visa reduzir ou atenuar os riscos inaceitáveis (THE WORLD BANK, 1997).

Há diversas metodologias desenvolvidas para avaliação de riscos que podem variar entre uma simples identificação de perigos até a aplicação de técnicas de modelagem matemáticas e técnicas quantitativas. Entre as metodologias bastante conhecidas e usadas internacionalmente estão àquelas desenvolvidas pela USEPA (avaliação de risco de situações crônicas) e pelo Banco Mundial (avaliação de risco de situações agudas) descritas adiante.

5.2.1 Avaliação de risco ambiental segundo o Banco Mundial

O Banco Mundial, no âmbito do financiamento de projetos a executar em países em desenvolvimento no Continente Asiático, desenvolveu diretrizes para apoiar o processo de avaliação dos impactos ambientais (AIA)⁵⁴. Em alguns desses documentos orientadores, como o *Environmental Impact Assessment for Developing Countries in Ásia* (LOHANI *et al.*, 1997), a vertente da avaliação de risco ambiental (ERA - Environmental Risk Assessment) é incluída no processo de AIA.

Essa metodologia, elaborada pelo Banco Mundial, é utilizada, principalmente, para analisar os riscos de plantas industriais, ou seja, voltada para a análise de situações agudas, como os acidentes industriais ampliados⁵⁵. As etapas consideradas na implementação da avaliação de risco ambiental são: (1) identificação de perigos; (2) avaliação do perigo; (3) cenários de exposição; (4) caracterização do risco e (5) gestão do risco.

Na etapa de identificação de perigos são listadas todas as fontes potenciais de perigo para o ambiente e nesta etapa a presença de substâncias perigosas assume grande relevância no estudo.

⁵⁴ Segundo Sánchez (2006), a avaliação de impacto ambiental (AIA) é um instrumento e/ou processo de caráter preventivo usado nas políticas de meio ambiente e gestão ambiental com o intuito de assegurar que uma determinada ação antrópica passível de causar danos ambientais seja analisada de acordo com os prováveis impactos causados ao meio ambiente, portanto, levando em consideração tais impactos em seu processo de aprovação. Ou seja, é um processo e/ou instrumento usado para identificar as consequências futuras de uma ação presente ou proposta.

⁵⁵ Os acidentes industriais ampliados, além de produzirem elevado número de óbitos, têm o potencial de expressar sua gravidade além dos muros fabris, atingindo bairros, cidades e países, com danos psicológicos e sociais às populações expostas e ao meio ambiente das gerações futuras (ROCHA Jr., E.; COSTA, M. C. M.; GODINI, M. D., 2006).

Na segunda etapa ocorre a delimitação e a definição dos limites da avaliação de risco ambiental. Na terceira etapa ocorre a definição de cenários de exposição, que consiste na identificação dos potenciais cenários de acidente e da sua probabilidade de ocorrência. Os métodos aplicados para identificação de cenários derivam das metodologias de análise de risco industrial e alguns dos métodos mais utilizados com esta finalidade são o estudo de riscos e operabilidade (Hazard and Operability Studies - HAZOP⁵⁶), a análise de árvore de falhas (Fault Tree⁵⁷) e a análise de árvore de eventos (Event Tree⁵⁸).

A caracterização do risco, na quarta etapa, consiste em estimar as probabilidades de ocorrência de um acidente e determinar a severidade dos impactos nos diversos cenários analisados. A comunicação dos resultados obtidos às entidades decisórias na etapa de caracterização do risco, indicando os riscos associados a cada cenário identificado/estudado e os resultados de uma análise custo-benefício, permite implementar a gestão do risco, correspondente à quinta etapa, que tem por objetivo minimizar ou eliminar os riscos considerados inaceitáveis, ou prever ações de combate ao acidente, de modo a reduzir a extensão de suas consequências.

5.2.2 Avaliação de risco à saúde humana segundo a USEPA

A metodologia de avaliação de risco à saúde humana proposta pela *USEPA* (1989) consiste na caracterização da probabilidade de ocorrência de efeitos adversos originados pela exposição do indivíduo a perigos ambientais e foi desenvolvida de maneira a facilitar a apresentação e a compreensão, pelo público em geral, dos resultados dos estudos sobre os riscos tecnológicos.

É empregada na análise de situações de risco crônico, tal como o risco associado à incineração de resíduos sólidos, que resulta na emissão de uma certa quantidade de poluentes atmosféricos, mesmo quando o incinerador dispõe de equipamentos de controle de poluição do ar. Alguns desses poluentes são particularmente perigosos à saúde humana,

⁵⁶ O estudo de riscos e operabilidade (HAZOP) é um dos métodos mais conhecidos na análise de riscos na indústria química, onde uma equipe busca, de forma criativa, identificar fatores de riscos e problemas operacionais em subsistemas do processo. Com esse método é possível, por exemplo, saber o que acontece quando se adiciona mais, menos ou nenhuma substância num tanque de reação (PORTO; FREITAS, 1997).

⁵⁷ A análise de árvore de falhas (AFF) é um método dedutivo que visa estabelecer a probabilidade de determinados eventos finais. Constrói-se uma malha de falhas anteriores que resultou no evento final, atribuindo-se uma taxa de falha a cada item anterior que compõe a árvore, assim chega-se à probabilidade final, através da lógica tipo e/ou do uso da álgebra booleana (PORTO; FREITAS, 1997).

⁵⁸ A análise de árvore de eventos é um método similar ao de análise de árvore de falhas (Fault Tree), porém indutivo, pois parte de falhas iniciais buscando identificar as possíveis implicações nos estágios mais avançados do processo (PORTO; FREITAS, 1997).

como as dioxinas e furanos, reconhecidos como carcinogênicos. Portanto, a população que vive nas imediações de incineradores ou de outras fontes de poluição do ar, está exposta ao risco de contrair doenças do aparelho respiratório, ou mesmo câncer, devido à presença constante de poluentes no ar que respira. Trata-se de casos de riscos crônicos, ao contrário daqueles decorrentes do mau funcionamento de um sistema tecnológico, que podem resultar em um acidente ampliado, caracterizando os riscos agudos.

As etapas que compõem a metodologia de avaliação de risco à saúde humana, segundo a *USEPA*, são: (1) coleta e avaliação de dados; (2) avaliação de exposição; (3) avaliação de toxicidade e (4) caracterização de risco, conforme está representado no fluxograma da Figura 5.2.

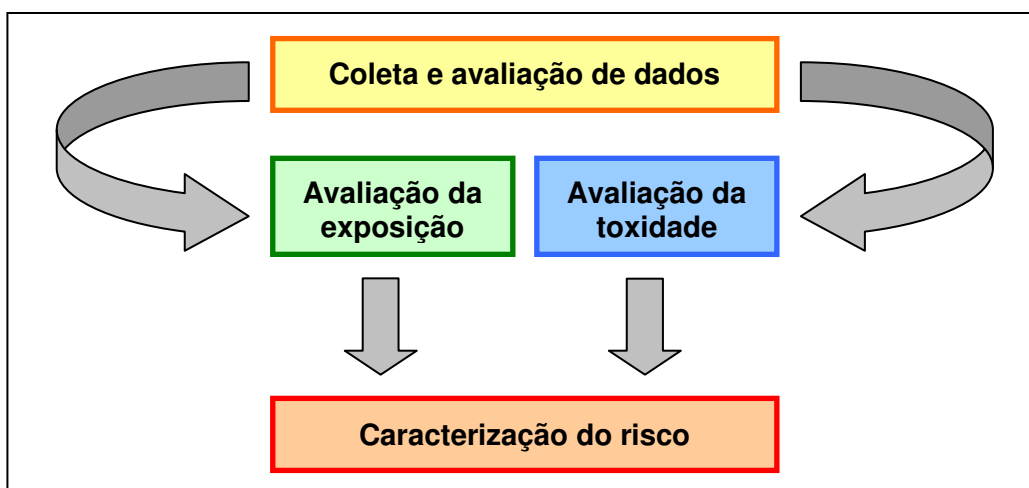


Figura 5.2. Fluxograma esquemático da Avaliação de Risco proposta pela USEPA

Fonte: Elaboração própria

A etapa de coleta e avaliação de dados se inicia com a identificação dos poluentes presentes no meio ambiente, sua distribuição espacial, medida de concentrações e identificação da sua dinâmica no meio físico, caracterização do local de estudo e formulação de um modelo conceitual.

Na etapa de avaliação da toxicidade identifica-se, para cada composto químico de interesse, a toxicidade específica, considerando-se os efeitos deletérios à saúde associados à exposição ao composto. Para tanto, é necessário avaliar a relação entre a magnitude da exposição, o tipo de efeito adverso e a possibilidade de um composto produzir ou não câncer no indivíduo ao longo do período de exposição. Nessa etapa, os bancos de dados toxicológicos servem como fonte de informações sobre a toxicologia dos compostos químicos de interesse e os efeitos adversos à saúde.

A avaliação da exposição é a etapa onde ocorre a determinação da intensidade, a frequência, a duração e as rotas da exposição humana, atual ou futura, a um determinado poluente. Essa estimativa pode ser fundamentada nos dados de monitoramento ambiental e por meio de modelagem matemática. A avaliação é desenvolvida, observando-se os usos atuais, e prevendo-se os usos futuros da área em estudo e seu entorno. As informações obtidas nessa etapa do estudo permitem a elaboração dos cenários de exposição, onde são identificadas as várias possibilidades para que um poluente, a partir da origem da contaminação, atinja as populações potencialmente receptoras.

A etapa de caracterização do risco integra todos os dados obtidos nas etapas anteriores, tendo como objetivo quantificar o risco. Nessa etapa, as concentrações do poluente, medidas nos pontos de exposição, e as concentrações teóricas estimadas por meio de modelos de dispersão, são comparadas com os dados toxicológicos específicos do poluente de interesse. A comparação serve para determinar se os níveis de contaminação no local considerado poderão causar algum malefício à saúde humana.

5.3 Vulnerabilidade de grupos populacionais expostos aos riscos ambientais

As catástrofes sempre acompanharam a humanidade em todas as épocas e lugares, mas sua análise baseava-se no enfoque de que o perigo vinha de fora, jamais de dentro da própria comunidade, como forma de castigo divino. Hoje, essa concepção não é válida, principalmente diante das consequências do modelo de desenvolvimento capitalista, que tornou as relações muito mais complexas, sob o pretexto de melhorar o desenvolvimento humano e a sua própria interação com o meio, razão porque se aceita ficar exposto aos riscos, mesmo que isso torne os indivíduos e as coletividades mais vulneráveis, em grau tal que pode comprometer sua existência ou a própria qualidade de vida.

O risco ambiental não se distribui de forma aleatória entre os diversos grupos sociais, mas obedece aos padrões de desigualdade e segregação social que marcam a estruturação das cidades. Ou seja, são as populações menos favorecidas, por características de renda, escolaridade, cor, gênero, que residem ou utilizam áreas de maior vulnerabilidade ambiental, o que as coloca numa situação de risco ao acidente ambiental ou ao risco de adoecimento, já que se sobrepõem vulnerabilidades sociais à exposição aos riscos ambientais (FREITAS *et al.*, 2001; ALVES, 2006).

Segundo Porto (2001), vários grupos populacionais estão expostos a riscos no Brasil *“devido a falta de igualdade decorrente dos processos de exclusão social,*

caracterizados pela concentração de renda, pela incipiente democracia e pela fragilidade das redes de proteção social". No entanto, tais características, que predominam nos grupos menos favorecidos, podem ser observadas em vários níveis da sociedade, influenciando os problemas de saúde do trabalhador e de saúde ambiental, em particular quando envolvem grupos vulneráveis, aumentando o nível de complexidade dos problemas analisados.

Porto (2007) afirma ainda que "*as vulnerabilidades sociais resultam em gradientes ou diferenciais de exposição e efeito entre os grupos que vivem na periferia social e econômica no desenvolvimento*", e que esses grupos sociais mais vulneráveis aos riscos acabam por arcar com a maior parte da poluição nos ambientes que trabalham e vivem.

Porto e Freitas (1997) ressaltam, ainda, que "*o desenvolvimento industrial e as inovações tecnológicas propiciaram um crescimento dos riscos numa velocidade bem maior do que a capacidade científica e institucional de analisá-los e gerenciá-los*" e isso vem contribuindo ainda mais para a vulnerabilidade das sociedades contemporâneas aos riscos, seja pela exposição aos poluentes emitidos continuamente pelas chaminés das plantas fabris, seja como consequência dos desastres industriais.

No Brasil, além dos riscos decorrentes da própria industrialização, somam-se ainda as fragilidades sociais, institucionais e técnicas existentes, que caracterizam a maior vulnerabilidade da sociedade brasileira frente aos riscos tecnológicos ambientais (PORTO; FREITAS, 1997).

Inerente ao conceito de vulnerabilidade socioambiental está o espaço físico, ou seja, o território onde determinado grupo social sofre as consequências de sua fragilidade no enfrentamento aos riscos a que estão expostos, englobando inclusive determinado grupo de trabalhadores que não possui seus direitos fundamentais assegurados em detrimento da necessidade de manter o emprego, de ter acesso à moradia em condições seguras, de ter acesso à infra-estrutura em saneamento básico, às escolas, às áreas de lazer, às práticas religiosas e outras.

Analisando as discussões desenvolvidas por diversos autores (PORTO; FREITAS, 1997; FREITAS *et al.*, 2001; ALVES, 2006), pode-se constatar que a desigualdade na distribuição dos riscos pode ser atribuída a dois fatores: em primeiro lugar, a pequena renda, que faz com que estas populações só consigam ter acesso à terra ou à moradia em áreas mais desvalorizadas, fortemente marcadas pela poluição e pela degradação ambiental; em segundo lugar, porque essas populações, não têm acesso aos mesmos recursos de poder que as populações de classes mais favorecidas, o que faz com que elas não consigam resistir a processos antrópicos de degradação ambiental.

A falta de organização social dos grupos expostos aos riscos é dificultada pela falta de hábito (ou de oportunidade) de participar nas decisões políticas, pelo fato das questões de sobrevivência serem mais urgentes do que as questões ambientais em si, e pela falta de lideranças fortes que exijam das instituições responsáveis medidas que visam diminuir os riscos aos quais estão expostos. Esses grupos, por não se fazerem ouvidos nas decisões políticas, acabam ficando mais vulneráveis ainda diante das decisões tomadas pelas instituições públicas, muitas vezes influenciadas pelos interesses econômicos de agentes privados.

Reforçando essa idéia, Veyret (2007) afirma que, o clientelismo político verificado na sociedade latino-americana revela o quão frágeis são as instituições governamentais nessa região, por exemplo, esse clientelismo político permite as invasões populares de zonas periurbanas expostas, ou mesmo, tolera a não aplicação de normas de construção em proveito imediato das classes mais favorecidas.

Para Porto (2001), deve-se enfrentar a questão das decisões políticas que se voltam a interesses privados, com propostas de políticas públicas e ações institucionais capazes de reverter esses processos causadores de vulnerabilidade institucional, de modo a priorizar os problemas dos grupos vulneráveis expostos, fortalecendo sua participação e sua capacidade de influência nos processos decisórios relacionados às questões ambientais. O mesmo autor, ainda afirma que:

“...tanto o poder econômico e político como as redes de proteção social, são consideradas chaves na questão da vulnerabilidade dos grupos expostos aos riscos, quando se pretende criar mecanismos de reversão às dinâmicas desfavoráveis à inclusão social”.

Com um enfoque sócio-técnico, Porto (2001) sugeriu a construção de uma matriz de vulnerabilidade que permitisse contextualizar grupos populacionais expostos aos riscos ambientais a partir da análise dos aspectos sociais, econômicos, técnico-científicos e institucionais relacionados com uma dada situação de risco.

Para materializar essa proposta, Porto (2001) propôs a construção de três eixos básicos abordando aspectos distintos para constituir a matriz de vulnerabilidade: o primeiro eixo aborda a complexidade técnica dos riscos tecnológicos ambientais a partir do trinômio perigo-exposição-efeitos e das incertezas associadas; o segundo eixo trata da vulnerabilidade social de grupos populacionais expostos; e o terceiro eixo refere-se à vulnerabilidade institucional.

No **primeiro eixo**, faz-se a caracterização da complexidade técnica do risco, a partir dos conhecimentos existentes e das incertezas sobre o potencial de danos à saúde (perigo), sobre a área territorial atingida e populações expostas (exposição) e os indicadores de efeito à saúde das populações expostas (efeito). As incertezas podem ser técnicas e metodológicas (inexistência ou baixa confiabilidade de dados e análises sobre os mesmos), ou epistemológicas, marcadas por problemas estruturais do conhecimento científico existente quanto à sua capacidade de definir com certo grau de precisão os perigos e efeitos dos riscos em questão.

No **segundo eixo**, busca-se identificar o nível de vulnerabilidade social das populações expostas aos riscos, seja do ponto de vista da desigualdade na distribuição dos benefícios e custos do modelo de desenvolvimento existente na sociedade, seja do ponto de vista da (in)capacidade destas populações enfrentarem tais riscos diante das suas condições de vida e trabalho.

No **terceiro eixo** apresenta-se um diagnóstico dos processos decisórios existentes na esfera pública (políticas públicas, marcos legais, ações institucionais) que contribuem para enfrentar (ou agravar) a complexidade técnico-científica e a vulnerabilidade social frente aos riscos e populações expostas.

Cabe ressaltar que o segundo e terceiro eixos da Matriz de Vulnerabilidade são pouco explorados nos processos de avaliação de risco, sendo que, em geral, pauta-se a avaliação de risco no primeiro eixo que trata do trinômio perigo-exposição-efeitos. Porto e Freitas (1997) enfatizam isso quando afirmam que:

“...os estudos de riscos não levam em consideração o fato de os riscos não se limitarem somente aos danos físicos mensuráveis, sendo constituído por outros mais sutis, tais como os danos psicossociais sobre as populações expostas, além de suas implicações nas relações institucionais e sociais estabelecidas”.

É importante destacar que o conceito de vulnerabilidade não trata simplesmente da exposição aos riscos, mas também da capacidade das pessoas e das instituições de lidarem com os riscos e de se adaptarem às novas circunstâncias (diante dos novos riscos), daí a importância da inseparabilidade das dimensões social, institucional e espacial da vulnerabilidade, como destacado por Porto (2001).

A Tabela 5.1 apresenta uma síntese da Matriz de Vulnerabilidade proposta por Porto (2001), explicitando o conteúdo pertinente a cada um dos três eixos que a compõem.

Tabela 5.1. Esquema Sintético da Matriz de Vulnerabilidade

EIXO 1 Complexidade do trinômio perigo-exposição-efeitos e incertezas associadas	EIXO 2 Vulnerabilidade Social dos Grupos Expostos	EIXO 3 Vulnerabilidade Institucional
<ul style="list-style-type: none"> ● Caracterização do perigo: riscos físicos, químicos e biológicos à saúde e ao meio ambiente reconhecidos na literatura existente; ● Caracterização da exposição: territórios e populações atingidos pelos riscos, a partir de indicadores tecnológicos (processo de trabalho ou fonte emissora) e ambientais (níveis de emissão e contaminação da biota) nos territórios afetados; ● Caracterização dos efeitos: informações disponíveis a partir de indicadores epidemiológicos e toxicológicos, referentes às populações expostas; ● Caracterização das incertezas técnicas, metodológicas e epistemológicas dos riscos, a partir da caracterização do trinômio perigo-exposição-efeitos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Caracterização do nível de qualificação e do tipo de emprego dos grupos populacionais expostos; ● Informações sobre renda familiar dos grupos populacionais expostos; ● Caracterização da proteção social dos grupos populacionais expostos, a partir do acesso aos serviços básicos de saúde, previdência, bem como outras redes de proteção e sociabilidade; ● Caracterização das condições gerais de vida, saúde e moradia, incluindo infra-estrutura básica de saneamento e transporte, e quadro de morbimortalidade; ● Existência de informações sobre os riscos, de instâncias organizativas dos grupos populacionais expostos e redes de sociabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Marco legal e institucional existente com relação aos riscos analisados; ● Mapeamento das instituições existentes que atuam na problemática dos riscos junto aos territórios e grupos expostos; ● Caracterização das ações institucionais quanto ao escopo de sua atuação: área de abrangência; definição de prioridades e planejamento; recursos técnicos, econômicos e humanos empregados; (des)continuidade das ações realizadas; permeabilidade à participação dos atores envolvidos; nível de articulação/fragmentação entre as instituições.

Fonte: Porto (2001)

5.4 Mapeamento dos riscos ambientais

Segundo Veyret (2007), o risco é, certamente, um objeto geográfico. Portanto, é preciso tratá-lo em termos espaciais, uma vez que, o risco situa-se na interface entre um espaço industrial e os espaços urbanos (ou rurais) que o englobam. A autora, ainda afirma que *“o risco inclui as características do local onde mora o perigo: densidade demográfica, modo de urbanização e organização das redes, fluxos e circulação”*.

Veyret (2007) afirma que a partir do momento em que uma nuvem de poluentes se dispersa, um líquido se esparrama, uma deflagração se propaga, o documento cartográfico *“passa a constituir um elemento fundamental na compreensão e na gestão do fenômeno, uma vez que, o mapa permite que qualquer elemento virtual e fugaz se torne perceptível visualmente ao lhe dar uma forma e um contorno”*. O mapa contribui, assim, para a

“afixação” do risco, para a criação do risco quanto objeto geográfico, ao passo que no ponto de partida o risco não era senão um objeto regulamentar abstrato.

Sevá Fº. (1997), em pesquisa realizada no município de Campinas, SP, destaca que é importante descrever as alterações no ambiente, e mais importante, ainda, é representar as alterações ambientais, por meio de “*mapas que estejam atentos e comprometidos com a mudança e com a diversidade das criações humanas*”. Veyret (2007) reforça os pensamentos de Sevá Fº. (1997) quando diz que “*assinalar o risco em um mapa equivale a afirmar o risco no espaço em questão*” e que isso “*constitui a base de uma política de prevenção*”.

Para Sevá Fº. (1997), a relevância de um mapeamento de riscos ambientais está em conseguir elaborar um produto de aplicação didática para usar na formação de outras lideranças, e na educação popular, além de poder utilizar cientificamente, via análise qualitativa, a percepção e o conhecimento dos indivíduos envolvidos com os riscos ambientais. Algo em que os cidadãos se apoiem para o entendimento da própria região e de alguns dos seus próprios problemas.

Dagnino e Carpi Jr. (2006), ressaltam a importância do mapeamento de riscos afirmando ser uma “*ferramenta importante no planejamento estratégico ambiental e até mesmo auxiliar na elaboração de planos diretores*”.

Para Veyret (2007), o mapeamento de riscos “*define os espaços em que há risco elevado, em que a ocupação deve ser regulamentada (às vezes, proibida), e outros em que o risco é menor ou mesmo está ausente*” e complementa afirmando que “*o mapeamento de riscos confere ao risco um caráter objetivo*”.

É importante destacar que, segundo técnicos da TRANSPETRO e da CETESB o mapeamento de riscos ambientais é uma ferramenta prática para o reconhecimento e análise dos elementos mais vulneráveis encontrados no ambiente em estudo. Com base nisso, em 2004, técnicos da TRANSPETRO e CETESB propuseram uma metodologia, denominada MARA (Mapeamento do Risco Ambiental) com o objetivo de mapear e classificar as áreas naturais e os usos do solo e dos recursos hídricos que são susceptíveis a potenciais vazamentos em dutos que transportam hidrocarbonetos, visando subsidiar os planos de ações de contingências (MENDES *et al.*, 2005).

Quando se deseja mapear os riscos ambientais de uma determinada área, deve-se seguir alguns procedimentos preliminares e fundamentais para realizar o mapeamento. Não é algo aleatório, como afirma Sevá Fº. (1997), que adotou alguns procedimentos com a finalidade de mapear a região do município de Campinas, relatando os principais riscos

ambientais ao qual essa região está sujeita. Na metodologia de mapeamento de riscos proposta por Sevá Fº. (1997), a primeira etapa adotada é a alfabetização geográfico-cartográfica, que tem como objetivo fomentar a capacidade de leitura e de abstração dos fatos geográficos presentes no mapa, além da familiarização dos autores do mapa com o ambiente que está sendo estudado. O autor propõe que na etapa inicial do mapeamento de risco se assinale alguns pontos de referência e áreas mais conhecidas com o objetivo de aprimorar o mapa e “*contribuir com o processo de alfabetização geocartográfica*”.

Depois da alfabetização geocartográfica, Sevá Fº. (1997) propõe realizar o mapeamento de riscos ambientais propriamente ditos, buscando valorizar as experiências dos agentes participantes do estudo. Nessa etapa, os aspectos espaciais referentes à ocorrência dos riscos – se são pontuais, lineares ou areais – recebem grande atenção, sendo representados por ícones no mapa, os quais são determinados e idealizados pelos autores do trabalho para identificar os riscos.

Na etapa seguinte, é realizada a compilação dos dados obtidos em campo e aqueles encontrados na investigação documental, podendo ser incluído um tratamento computacional (digitalização, georreferenciamento e tratamento das cores e ícones selecionados), do que foi desenhado e anotado nas tabelas de registro de trabalho de campo, visando a construção de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Segundo Veyret (2007), uma vez que se leva em conta simultaneamente os fatores certos e fatores prováveis, os SIG constituem uma excelente ferramenta de gestão do território. A proposta consiste em representar, em escala, cada um dos fatores de vulnerabilidade do local estudado: densidade populacional, nível de renda, qualidade dos imóveis, localização dos estabelecimentos que atendem ao público, entre outros.

Por último, os dados são divulgados e podem ser apresentados para a população, para órgãos públicos e, também, para os responsáveis pelos riscos, visando a elaboração de um prognóstico em conjunto, podendo-se, assim, realizar uma gestão de riscos ambientais mais adequada ao caso em pauta, cujos resultados contribuiriam para diminuir as vulnerabilidades socioambientais e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida das populações expostas aos riscos ambientais evitáveis (ou gerenciáveis). Para tanto, o que mais interessa é a capacidade que os grupos sociais têm para se conscientizar sobre os riscos e cobrar dos responsáveis ações de prevenção e de mitigação de riscos.

As metodologias propostas por Porto (2007) e Sevá Fº. (1997) foram tomadas como base para se desenvolver uma análise da vulnerabilidade sócio-ambiental no município de Alumínio, que será apresentada no Capítulo 6, a seguir.

CAPÍTULO 6

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SÓCIO-AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE ALUMÍNIO, SP FRENTE AOS RISCOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Este capítulo apresenta uma análise sobre os riscos tecnológicos ambientais decorrentes da presença de fluoretos, material particulado e ozônio troposférico na atmosfera de Alumínio, em concentrações notadamente elevadas (CETESB, 2000; 2004a; 2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a). Os fluoretos e o material particulado são originados das emissões da planta industrial da CBA. O ozônio é poluente secundário, formado a partir da presença de substâncias precursoras, que sofrem conversões químicas na atmosfera em presença de luz solar, como já destacado.

Os resultados da análise dos fluoretos e material particulado foram sintetizados em mapas de risco, sendo que para o material particulado, o mapa de risco baseou-se nos resultados do modelamento matemático da dispersão desse poluente na atmosfera aluminense, realizado com o auxílio do software SCREEN 3 desenvolvido pela *USEPA* (USEPA, 1995).

Ressalta-se que não foi elaborado um mapa de riscos para o ozônio troposférico, visto que, ele não é um poluente emitido diretamente pela planta industrial da CBA e, também, porque a concentração do poluente na região de estudo pode ser influenciada pelo transporte de ozônio troposférico e seus precursores oriundos da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), contribuindo assim, para a ocorrência de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar estabelecido para o poluente. Como o município é atingido como um todo quase que igualmente pelos efeitos do ozônio troposférico, considerou-se que seria mais proveitoso destacar os riscos procedentes do ozônio na Matriz de Vulnerabilidade, construída com base na metodologia proposta de Porto (2001).

Além dos riscos da presença de fluoretos, material particulado e ozônio, aqueles decorrentes da contaminação por hidrocarbonetos, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e o monóxido de carbono foram considerados na referida Matriz de Vulnerabilidade, visto que é imprescindível discuti-los, mesmo que não sejam emitidos em grandes volumes pela

planta industrial da CBA, uma vez que, em conjunto esses poluentes podem trazer grandes prejuízos à saúde humana.

6.1 Mapeamento dos riscos ambientais das atividades da CBA em Alumínio, SP

O mapeamento dos riscos associados à emissão de fluoretos e de material particulado baseou-se nos procedimentos adotados por Sevá F^o. (1997) em seus estudos realizados na Região de Campinas, São Paulo. A simulação da dispersão de material particulado na atmosfera aluminense permitiu indicar as regiões mais afetadas, ou seja, aquelas nas quais as concentrações do poluente são mais elevadas e, portanto, os riscos à saúde humana são mais acentuados.

6.1.1 Mapeamento dos riscos oriundos da emissão de fluoretos pela planta industrial da CBA

O mapa de riscos associados à presença de fluoretos gasosos na atmosfera foi desenvolvido tomando-se como base o mapa do terreno e imagens de satélite disponibilizadas pelo programa Google Earth (2010), que foram georreferenciados no Software ArcGis⁵⁹ 9.1, para serem posteriormente trabalhados. Em seguida, foram identificados os principais pontos de referência do município com o intuito de facilitar a orientação e a localização das áreas de ocorrência de maior concentração de fluoretos, além da delimitação da área urbana e industrial. A área mais relevante para avaliação dos riscos associados aos fluoretos foi indicada no mapa do município, e o resultado pode ser observado na Figura 6.1.

Como os fluoretos gasosos não se dispersam a longas distâncias da fonte emissora, julgou-se que não haveria necessidade de considerar o mapeamento de toda a área municipal. Na realização do mapeamento de riscos para os fluoretos, foram priorizados os riscos mais relevantes – ocorrência de injúrias na vegetação, degradação dos materiais, alteração no pH dos corpos d'água, etc. –, sendo que alguns dos cenários de riscos destacados no mapa já foram registrados no município de Alumínio, conforme os registros de estudos anteriores realizados pela CETESB, como degradação dos materiais e ocorrência de injúrias na vegetação (CETESB, 1994; 1998; 2000).

⁵⁹ ArcGis é uma família de produtos de software que formam um completo sistema de informação geográfica (SIG). Esse software fornece uma plataforma baseada em padrões para análise espacial, gerenciamento de dados e mapeamento (ESRI, 2010).

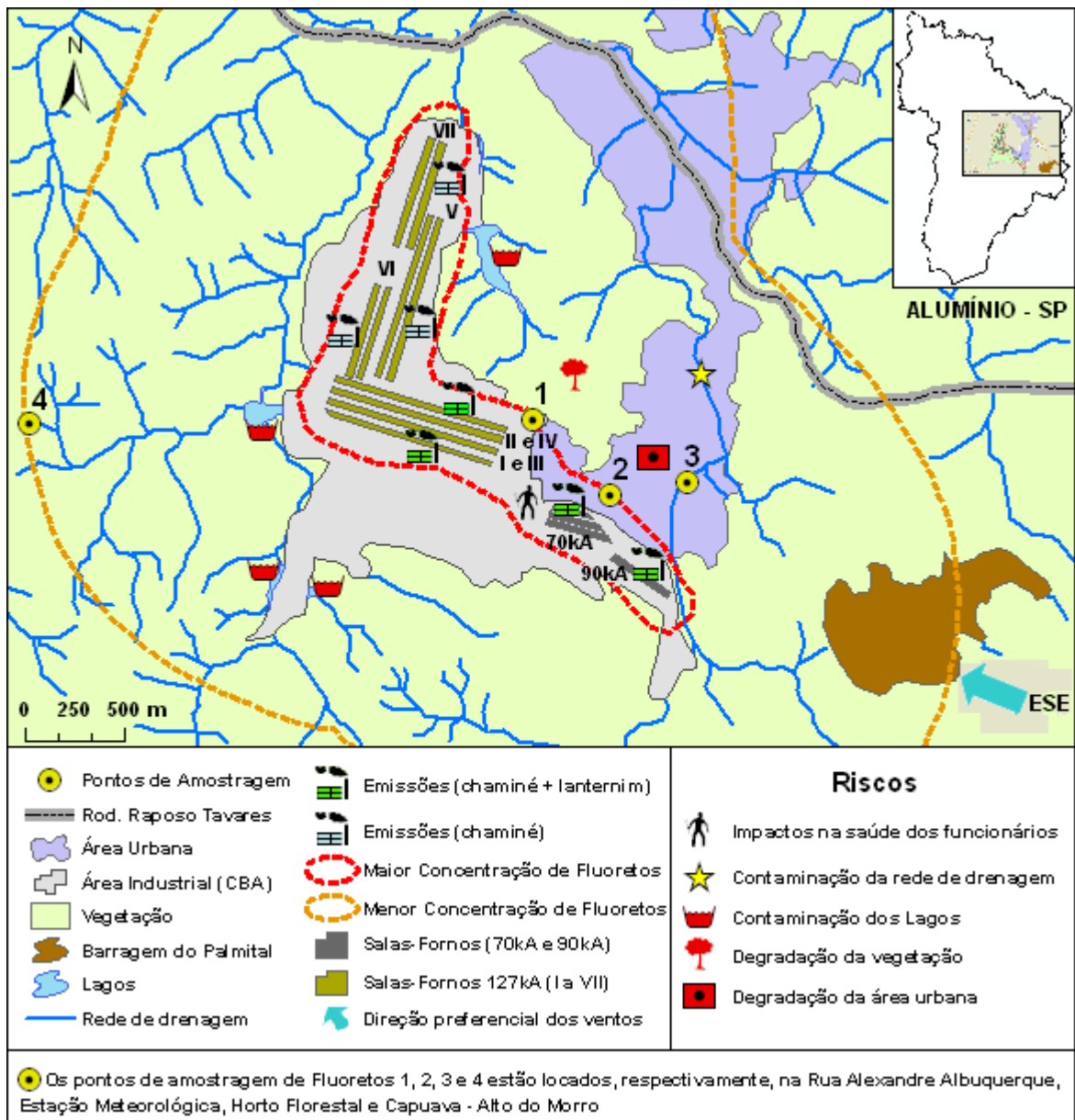


Figura 6.1. Mapeamento dos riscos mais relevantes decorrentes da emissão de fluoretos pela planta industrial da CBA no município de Alumínio – SP

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos nos pontos de amostragem de fluoretos localizados na Rua Alexandre Albuquerque (Ponto 1) e na Estação Meteorológica (Ponto 2), situados no bairro Vila Industrial, apresentaram um comportamento muito semelhante nos estudos realizados pela CETESB no período de 1998 a 1999, com valores de concentração da mesma ordem de grandeza, indicando que os fluoretos se distribuem de maneira uniforme na área compreendida entre esses dois locais. Portanto, esses dois pontos de amostragem foram considerados indicadores dos locais onde as concentrações de fluoretos são mais

elevadas, e tomados como referência para o traçado da curva de *maior concentração de fluoretos* vista na Figura 6.1.

O ponto de amostragem localizado no bairro da Capuava (Ponto 4) no Alto do Morro, apesar de ser o ponto mais distante da indústria, apresentou concentrações semelhantes às aquelas encontradas no monitoramento realizado no Horto Florestal (Ponto 3) localizado no bairro Vila Industrial. Isso pode ser justificado pelo fato, já destacado, que os fluoretos não são transportados a longas distâncias, em vista de sua elevada reatividade, especialmente quando ele se apresenta na forma de fluoreto de hidrogênio, evidenciando o comportamento diferente desses poluentes em relação aos demais, seja no transporte ou na dispersão no ar atmosférico (CETESB, 2000).

Assim, baseando-se nos resultados encontrados nos Pontos 3 e 4, foi desenhada a curva de *menor concentração de fluoretos*, equidistante do contorno da curva de maior concentração de fluoretos, sendo o limite dessa curva de concentração o ponto de amostragem Capuava – Alto do Morro, como pode ser visto na Figura 6.1.

A área compreendida dentro da curva de maior concentração de fluoretos apresenta altos teores de fluoretos na atmosfera devido às emissões provenientes das Salas Fornos da CBA. Portanto, tanto a curva de *maior concentração de fluoretos*, quanto a curva de *menor concentração de fluoretos* levou em consideração, também, a geometria de distribuição das Salas Fornos quando foram desenhadas.



Figura 6.2. Ampliação do Lanternim de uma das Salas Fornos da CBA

Fonte: Sevá Fº. (2006), com destaques inseridos pelo autor

As Salas Fornos 70kA, 90kA e 127kA (I, II, III e IV) apresentam emissões fugitivas devido à abertura na parte superior do telhado (lanternim) das Salas Fornos (Figura 6.2), o que aumenta a emissão de fluoretos para a atmosfera. Por isso, mesmo que

haja um número menor de cubas eletrolíticas nas Salas Fornos⁶⁰ 70kA e 90kA (232 cubas eletrolíticas), o ponto de amostragem localizado na Estação Meteorológica (Ponto 2) registra altos valores de fluoretos gasosos, uma vez que, as Salas Fornos 70kA e 90kA estão próximas desse ponto de amostragem como pode ser verificado no mapa da Figura 6.1.

Próximo ao ponto de amostragem localizado na Rua Alexandre Albuquerque (Ponto 1), estão instaladas as Salas Fornos 127kA (I, II, III e IV) que abrigam, juntas, 628 cubas eletrolíticas, sendo que essas Salas Fornos têm o lanternim aberto. Dessa forma, pode-se justificar os níveis de concentração de fluoretos gasosos registrados no ano de 2006 nesse ponto de amostragem serem mais altos do que aqueles encontrados no ponto de amostragem localizado na Estação Meteorológica (Ponto 2), no mesmo ano.

É importante destacar que nas Salas Fornos 127kA (V, VI, VII) foram instalados lavadores de gases a úmido e, por isso, mantêm o lanternim fechado, já que nos lavadores de gases a úmidos são tratadas as emissões fugitivas do lanternim e têm a função de reduzir a concentração de fluoretos encontrada dentro do ambiente de trabalho.

A área compreendida entre a curva de maior concentração de fluoretos é a que oferece maior risco devido à emissão de fluoretos, tanto para os moradores que residem ao redor da fábrica, quanto para os funcionários da CBA que convivem com as altas taxas de fluoretos encontradas no ambiente de trabalho, uma vez que, os pontos de amostragens referentes aos Pontos 1 e 2, identificados na Figura 6.1, apresentaram concentrações de fluoretos altíssimas, em níveis tais que podem ser comparadas às registradas no município de Cubatão em 1985, quando a localidade ainda estava sujeita às altas emissões industriais de fluoretos, causando, na época, uma severa degradação da vegetação da Serra do Mar (CETESB, 1994; 1998; 2000).

Os resultados do monitoramento da concentração de fluoretos realizado na Rua Alexandre Albuquerque (Ponto 1) apresentaram tendência de crescimento no período de 1998 à 2006, devido a instalação das novas Salas Fornos (V, VI e VII), todas localizadas próximas desse ponto de amostragem. Cabe salientar que os valores encontrados no Ponto

⁶⁰ As Salas Fornos 70kA e 90kA são as Salas Fornos pioneiras da CBA, por isso, ainda não possuem os lavadores de gases a úmido e, conseqüentemente, há necessidade da abertura na parte superior do telhado (lanternim) para circulação (ventilação) de ar no interior das salas, possibilitando, dessa forma, que os operadores trabalhem nesses recintos. Cabe ressaltar que os lavadores de gases a úmido apresentam exaustores que “sugam os gases poluentes” presentes nas Salas Fornos e os conduzem para o tratamento nos lavadores de gases a úmido, possibilitando, dessa forma, que os operadores trabalhem nesses recintos sem que haja a necessidade do lanternim, enquanto que os lavadores de gases a seco tratam os gases emitidos pelas cubas eletrolíticas e, ainda, enriquecem a alumina com fluoretos, o que gera menos desperdício e consumo de matéria-prima (criolita), reduzindo a emissão de fluoretos para a atmosfera.

1, na Rua Alexandre Albuquerque, em 2006, são bem maiores do que os encontrados em Cubatão em 1985. Para efeito de comparação, a Tabela 6.1 apresenta os resultados obtidos em outros estudos realizados pela CETESB nas imediações da indústria de fertilizantes Quimbrasil-Serrana, instalada no município de Cajati, em Paulínia, nas proximidades da indústria de fertilizantes Galvani, em Cubatão (Vale do Mogi), em 1985 e 1987; e em Cordeirópolis na região próxima à indústria de cerâmicas CECOL.

Tabela 6.1. Concentrações de fluoretos ($\mu\text{gF}/100\text{cm}^2.30$ dias) em Cajati, Paulínia, Cubatão, Cordeirópolis e Alumínio

Local de amostragem	Período	Média
Cajati	Nov. 92 a Ago. 93	24
Paulínia	Jun. 92 a Jul, 93	148
Cordeirópolis	Jun. 99 a Dez. 99	163
Cubatão (Vale do Mogi)	Ago. 85 a Nov. 85	2011
Cubatão (Vale do Mogi)	Jun. 87 a Out. 87	1038
Estação Meteorológica	Dez. 98 a Dez. 99	2096
R. Alexandre Albuquerque	Dez. 98 a Dez. 99	1271
Estação Meteorológica	Fev. 2006 a Mai. 2006	2006
R. Alexandre Albuquerque	Fev. 2006 a Mai. 2006	4010

Fonte: SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-01312-98, 1998; CETESB, 2000

O fluoreto de hidrogênio é muito reativo e em presença da água forma ácido fluorídrico. Portanto, quando o material particulado contendo fluoreto de hidrogênio adsorvido deposita-se nos lagos localizados próximos à CBA (Figura 6.1), pode ocorrer uma diminuição do pH da água desses corpos d'água, tornando-a mais ácida e, conseqüentemente, afetando a vida dos seres aquáticos. No entanto, a situação de maior risco ocorre durante as chuvas, pois há precipitação de grande volume de fluoretos dispersos na atmosfera, tanto nos lagos, quanto na rede de drenagem, carreando esses poluentes para corpos d'água distantes da fonte emissora, principalmente para o rio Sorocaba, afetando negativamente não só a vida aquática, mas também as pessoas que fazem uso dessas águas.

Muitos funcionários estão expostos às elevadas concentrações de fluoretos, tanto no chão de fábrica, quanto em suas casas, uma vez que muitos residem próximos à unidade

fábrica, no bairro denominado Vila Industrial (Figura 6.3), podendo a médio e longo prazos (efeito crônico) serem vítimas de sérios problemas de saúde, como destacado anteriormente no Capítulo 2. Compete citar que, não somente as pessoas podem ser afetadas pela presença de fluoretos no entorno da CBA, como, também, os bens materiais e o patrimônio, pois os fluoretos reagem com os vidros e outros materiais, deteriorando-os, trazendo prejuízos e um aspecto desagradável aos olhos daqueles que vivem no município.

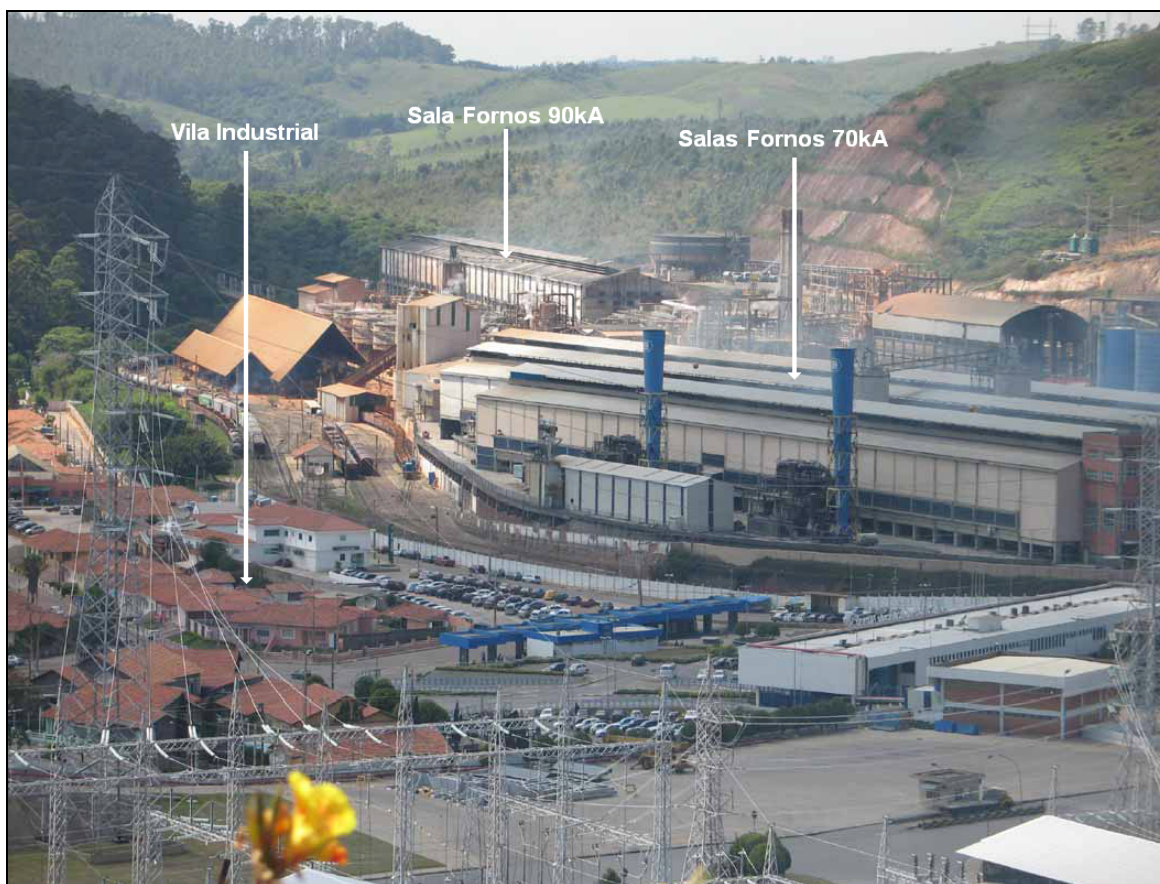


Figura 6.3. Vista geral das Salas Fornos 70kA e 90kA e Vila Industrial

Fonte: Sevá Fº. (2006), com destaques inseridos pelo autor

A vegetação no entorno da CBA também sofre danos devido à exposição aos fluoretos, fato facilmente constatado por inspeção visual, durante as visitas de campo, e nos estudos realizados pela CETESB sobre o conteúdo foliar de fluoretos. Há, em vista disso, um risco de ocorrer seleção das espécies vegetais que suportam essa carga de fluoretos presentes na atmosfera aluminense, pois, como ocorreu em Cubatão (Vale do Mogi), em 1985, as altas concentrações de fluoretos gasosos dificultaram ou impediram o estabelecimento e o desenvolvimento de diversas espécies vegetais sensíveis a esses poluentes.

De acordo com estudo realizado pela CETESB (1999) em Alumínio, as emissões de fluoretos são constantes, logo, há um efeito crônico sobre a vegetação. Portanto, espécies tolerantes, que apesar de propiciarem um aspecto “verde” à região, se melhor observadas, possuem cloroses e algumas necroses em menor quantidade e alta concentração foliar de fluoretos (CETESB, 1998) e as espécies mais sensíveis estão seriamente comprometidas.

6.1.2 Mapeamento dos riscos oriundos da emissão de material particulado pela planta industrial da CBA

Para a elaboração do mapa de riscos associados à exposição ao material particulado, foi utilizado um mapa cartográfico do município, obtido junto à Prefeitura Municipal de Alumínio, sendo possível efetuar a caracterização da região no entorno da CBA quanto à ocupação urbana, vegetação, relevo e vias de tráfego. Essa caracterização foi importante para auxiliar a identificação dos riscos devido à emissão de material particulado e para fornecer dados necessários ao modelamento da dispersão de poluentes.

Com o fim de melhorar a identificação dos riscos decorrentes da emissão de material particulado, foi realizada uma simulação da dispersão desse poluente em Alumínio, utilizando o software SCREEN 3, desenvolvido e disponibilizado pela USEPA. Esse software é uma versão do ISC 3, desenvolvido com base no modelo gaussiano para a pluma originada em uma única fonte. Ele fornece a concentração máxima do poluente, no nível do solo, para fonte pontual, por área, por *flare* e por volume.

A simulação da dispersão de material particulado na atmosfera de Alumínio teve por objetivo identificar as áreas mais comprometidas pela presença desse poluente no município e, assim, auxiliar no desenvolvimento do mapeamento dos riscos.

Os parâmetros utilizados no SCREEN 3 para simular a dispersão atmosférica do material particulado gerado na planta industrial da CBA foram os seguintes: fonte pontual; taxa de emissão do poluente; altura e diâmetro interno da chaminé; temperatura de saída do fluxo gasoso; temperatura ambiente de 293K (20°C); opção completa de meteorologia⁶¹; terreno urbano; altura do receptor ao nível do solo⁶²; distância automática a partir das

⁶¹ Examina as seis classes de estabilidade (cinco classes para fontes urbanas) e velocidade de vento associado. Essa opção é a sugerida pelo programa, pois quando se usa a opção “distância automática a partir da fonte”, o programa calcula a concentração máxima para cada distância considerada, medida a partir da fonte emissora e ainda informa em qual distância da fonte ocorrerá a maior concentração de poluentes (USEPA, 1995).

⁶² Só não é usado receptor ao nível do solo quando se quer calcular, por exemplo, o impacto do poluente em uma varanda de apartamento próximo à fonte (USEPA, 1995).

fontes; base da chaminé no nível do solo; opção de terreno não complexo⁶³; distância da fonte de emissão até o receptor mínima de 10m e máxima de 5km. Não foram utilizadas distâncias discretas e nem a opção de “*building downwash*”⁶⁴.

As fontes pontuais (chaminés) escolhidas para a realização da simulação da dispersão de material particulado emitido pela planta industrial da CBA estão localizadas nas Salas Fornos, Fábrica de Alumina e Fundição, pois – como descrito no Auto de Inspeção SMA nº. 1273506 (2008) entregue à CETESB pela CBA – são as áreas que apresentam as principais fontes pontuais potencialmente poluidoras e emissoras de material particulado da CBA⁶⁵. É importante ressaltar que, de acordo com o documento AP-42, intitulado “*Compilation of air pollutant emission factors*”, Seção 12.1 (USEPA, 1998), as maiores emissões de material particulado provenientes da produção do alumínio primário ocorrem na calcinação do hidróxido de alumínio e nas salas de redução eletrolítica.

As concentrações de material particulado estimadas no SCREEN 3 para as distâncias de 1km a 5km a partir da planta industrial da CBA foram representadas e georreferenciadas no mapa do município utilizando-se o programa ArcGis 9.1, sendo as concentrações expostas para as distâncias de 1km, 2km, 3km, 4km e 5km, pois, as concentrações obtidas no SCREEN 3 para essas distâncias são facilmente percebidas e representadas no mapa⁶⁶.

Todas as chaminés estudadas foram representadas no mapa, no centro da área industrial da CBA, como se fossem uma única chaminé, pois, nos documentos investigados, não foram encontrados os valores correspondentes às coordenadas geográficas de todas as chaminés existentes na planta industrial e, também, porque os círculos que representam a dispersão de material particulado são quase coincidentes para

⁶³ Essa opção foi escolhida, pois as alturas do terreno onde se encontram os receptores podem até exceder a altura da base da chaminé, porém não excedem a altura da chaminé. Nesse caso, são gerados dados de máxima concentração para uma hora, e, assim sendo, para se obter a concentração máxima em 24 horas é sugerido no SCREEN 3 que os resultados obtidos sejam multiplicados por um fator de ajuste igual a 0,4. Esse ajustamento das concentrações obtidas na simulação possibilita a comparação de tais concentrações com o padrão de qualidade do ar preconizado na Resolução CONAMA nº 03/90 para material particulado (USEPA, 1995; CONAMA 03/90).

⁶⁴ A opção de *building downwash* é utilizada quando a chaminé sofre influência de edifícios e/ou construções no seu entorno, ou seja, quando há edifícios com alturas superiores à da chaminé e que sejam razoavelmente largos (USEPA, 1995).

⁶⁵ Os dados das chaminés bem como as referências e considerações feitas estão apresentados no ANEXO I.

⁶⁶ As distâncias menores que 1km não ficam bem representadas na escala do mapa, pois, o SCREEN 3 analisa uma única fonte e, no caso da planta industrial da CBA há diversas fontes. Portanto, as distâncias menores que 1000 metros não foram representadas no mapa, pois, caso os valores de concentração fossem apresentados no mapa estariam superestimados. No entanto, os resultados para essas distâncias foram apresentados em três gráficos que se encontram no ANEXO I, sendo caracterizada cada fonte e as respectivas concentrações obtidas no intervalo de 10m a 1km com o SCREEN 3.

distâncias da fonte de emissão superiores a 2km, devido ao tamanho da área industrial e da escala adotada no mapa.

Cabe ressaltar que as estimativas de concentração de material particulado no ar atmosférico representadas no mapa elaborado devem ser interpretadas como sendo, apenas, uma tendência, pois o SCREEN 3 estima a concentração do poluente para cada fonte de emissão, por meio de equações de dispersão simplificadas.

Para permitir melhor visualização do comportamento da dispersão de material particulado e reconhecimento da área afetada no município de Alumínio, foram elaborados dois mapas, sendo que o primeiro mapa (Figura 6.4) teve por objetivo mostrar os limites do município de Alumínio, a área urbana da cidade, os limites da planta industrial da CBA, a posição da chaminé considerada no estudo de dispersão de material particulado e pontos de referência importantes do município como a Rodovia Raposo Tavares (SP-270) e a Barragem do Palmital.

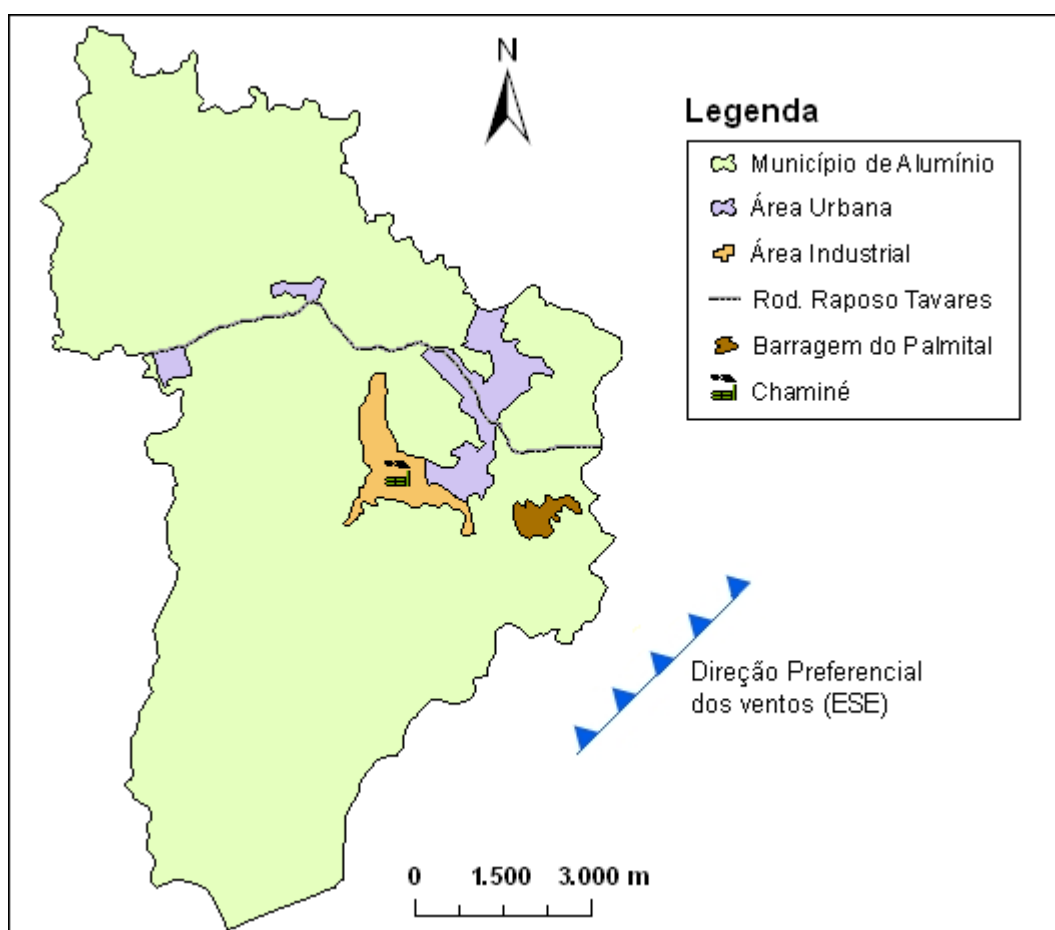


Figura 6.4. Mapa da área considerada no estudo de dispersão de material particulado e dos riscos associados à exposição ao poluente

Fonte: Elaboração própria

No segundo mapa (Figura 6.5), apresenta-se os limites do município, a área urbana, a direção preferencial de vento (ESE) e a posição da chaminé considerada no estudo de dispersão de material particulado⁶⁷. Esse mapa facilita a visualização da dispersão do material particulado em Alumínio, além de possibilitar uma análise dos dados e a inclusão de outros parâmetros como a direção preferencial dos ventos, permitindo assim, identificar os riscos associados a possíveis áreas impactadas pelo material particulado.

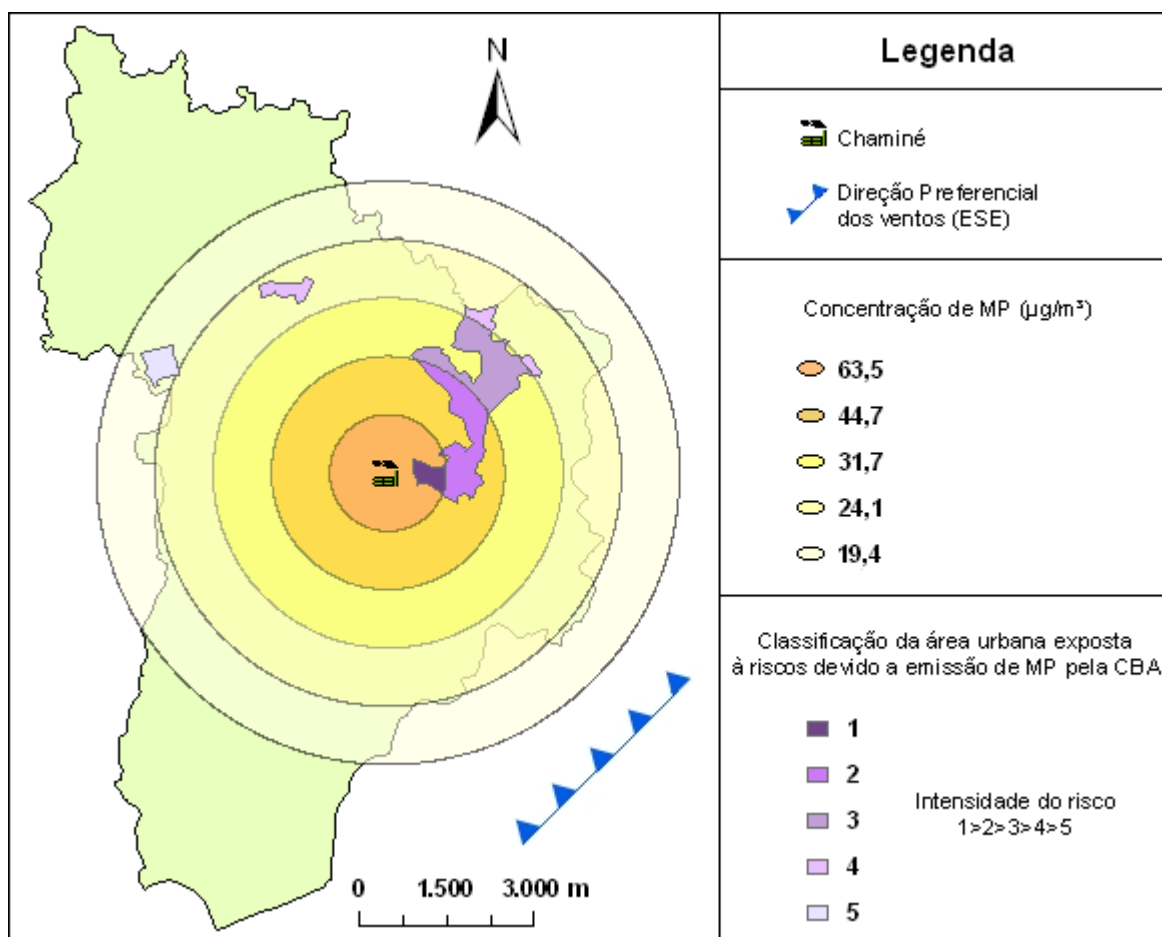


Figura 6.5. Resultados do estudo de dispersão de material particulado no município de Alumínio e dos riscos à saúde associados à exposição ao poluente

Fonte: Elaboração própria

Os círculos concêntricos apresentados no mapa da Figura 6.5 indicam uma maior concentração de poluente encontrada nessas áreas, de acordo com as faixas de concentração assinaladas na legenda. Apesar de serem círculos concêntricos, deve-se lembrar que todas as fontes pontuais da planta industrial da CBA (chaminés) foram consideradas como se fossem uma única fonte pontual, ou seja, se todas as fontes de

⁶⁷ As concentrações apresentadas no mapa encontram-se na Tabela 4 do ANEXO I.

emissão tivessem sido consideradas, os círculos não seriam, necessariamente, concêntricos. Como a direção predominante dos ventos é Leste-Sudeste, os resultados deveriam indicar maiores concentrações de material particulado nas regiões situadas à Noroeste da CBA.

Para facilitar a identificação das áreas que apresentam os maiores e menores riscos à saúde da população urbana residente de Alumínio, foi adotada uma escala de intensidade de risco que varia de 1 a 5, sendo que, as áreas classificadas na classe 1, oferecem maior risco de problemas à saúde da população que aquelas classificadas na classe 2 e, assim, sucessivamente, até a classe 5, que representa a área que oferece menor risco à saúde da população aluminense. A classificação das áreas de acordo com a intensidade do risco à saúde da população foi baseada na concentração estimada de material particulado pelo SCREEN 3, levando-se em conta a direção preferencial do vento (ESE).

As prováveis áreas susceptíveis às ações degradantes do material particulado e de maior risco são a região urbana próxima à indústria, como pôde ser verificado no mapa da Figura 6.5. A população que sofre maior risco de problemas relacionados à saúde devido à emissão de material particulado, localiza-se até dois quilômetros da fonte pontual indicada no mapa. Nessas áreas (Área 1 e Área 2) registra o maior adensamento populacional do município, nela se localiza a sede da Prefeitura Municipal, bem como um grande número de unidades comerciais.

É importante citar que, de acordo com os resultados da simulação da dispersão de material particulado realizada, as maiores concentrações de material particulado ocorrem, em sua maioria, acima dos 1000m de distância da fonte. Portanto, quem está sujeito ao maior risco de desenvolver problemas de saúde são os empregados da CBA que residem na Vila Industrial, pois, além de estarem expostos por longos períodos a elevadas concentrações de material particulado em seus postos de trabalho, ainda convivem com esse poluente em suas casas. Por isso é que a área próxima à zona industrial da CBA foi considerada a área de maior risco dentre aquelas estudadas.

O círculo correspondente ao maior nível de concentração de material particulado supera a concentração máxima sugerida pela OMS de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ de exposição diária ao MP_{10} (partículas inaláveis). A comparação é válida, mesmo que o material particulado apresente partículas maiores que $10\mu\text{m}$, pois, no estudo de dispersão não foi levado em consideração o funcionamento de todas as chaminés dos lavadores de gases a úmido, as fontes de área e volume (Figura 6.6), além de outras fontes pontuais de emissões menos expressivas (se comparadas às emissões das fontes pontuais estudadas) localizadas na área da Sala Pasta e Laminação.



Figura 6.6. Depósito de pasta anódica a céu aberto localizado na Sala Pasta da CBA

Fonte: Adaptado de Sevá Fº. (2006)

Por exemplo, as Salas Fornos 127kA (I, II, III e IV) e as Salas Fornos 70 e 90kA apresentavam abertura no teto de seus galpões (lanternim) até o primeiro semestre do ano de 2008, ou seja, não possuíam lavadores de gases à úmido, e, assim sendo, ocorriam emissões fugitivas de material particulado nesses galpões, as quais não foram consideradas no estudo de dispersão. Destaca-se que essas salas têm, juntas, 860 fornos Soderberg (57% do total). Portanto, as concentrações de material particulado obtidas a partir do estudo de dispersão de poluentes atmosféricos podem ser consideradas aquém de um valor de concentração estimado para o pior cenário possível. Destaca-se ainda, como foi comentado anteriormente, algumas fontes emissoras de material particulado não foram consideradas na simulação devido à falta de dados. Cabe salientar, também, que as maiores emissões de material particulado dentre as fontes pontuais estudadas na CBA provém do conjunto das chaminés dos lavadores de gases a úmido.

A Vila Industrial é bastante próxima às Salas Fornos 70 e 90kA (Figura 6.3), o que aumenta ainda mais o risco à saúde da população residente nessa área devido a emissão fugitiva de material particulado nos lanternins, pois, como foi comentado anteriormente, essas salas de redução eletrolítica (Salas Fornos) não possuem lavadores de gases a úmido que tratem dessas emissões fugitivas.

Para as áreas mais afastadas da CBA (Área 4 e Área 5) também foram encontradas concentrações consideráveis de material particulado, como pode ser verificado no mapa da Figura 6.3. Esses locais são menos povoados que os demais (Área 1, Área 2 e Área 3), situados próximos à planta industrial da CBA.

Com esses resultados, concluiu-se que é importante realizar o monitoramento constante das concentrações de material particulado no ar atmosférico aluminense, visto que a proximidade da zona urbana do município à área industrial da planta da CBA define cenários de riscos elevados pela exposição ao material particulado, com conseqüentes danos à saúde da população.

6.2 Matriz de Vulnerabilidade

Porto (2001) propôs uma metodologia para avaliação de vulnerabilidade sócio-ambiental em áreas de risco, conforme assinalado no Capítulo 5, que foi tomada como referência para a avaliação dos cenários de risco que se configuram no município de Alumínio, em vista do desenvolvimento das atividades da CBA e a emissão de poluentes atmosféricos. Com esse propósito, desenvolveu-se uma análise do caso investigado considerando cada um dos três eixos que constituem a Matriz de Vulnerabilidade desenvolvida por Porto (2001), cujos resultados possibilitaram a elaboração de um quadro referencial sintético, que permitiu contextualizar a situação da população aluminense exposta aos riscos tecnológicos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos pela CBA. Cabe ressaltar que serão enfocados os principais poluentes atmosféricos emitidos pela CBA, sem priorizar nenhum deles.

6.2.1 Perigo-Exposição-Efeitos e Incertezas Associadas

A emissão contínua de poluentes atmosféricos decorrentes dos processos desenvolvidos na planta industrial da CBA estabelece cenários de riscos, caracterizados pela exposição da população aluminense às elevadas concentrações de poluentes presentes na atmosfera local, que podem causar, a curto e longo prazos, problemas à saúde da população, tais como doenças respiratórias⁶⁸ e cardíacas.

⁶⁸ Para efeito de comparação, serão elaborados três gráficos baseados no percentual de óbitos causados por doenças respiratórias em relação ao total de óbitos ocorridos em Alumínio *versus* as taxas de emissão de poluentes atmosféricos pela CBA. Os gráficos e comentários estão apresentados no ANEXO II.

Embora seja possível inferir sobre os riscos da exposição da população aos fluoretos, material particulado, ozônio e outras substâncias poluidoras emitidas pelas chaminés da fábrica de alumínio, não é possível quantificar a extensão dos danos à saúde da população aluminense, devido à ausência de estudos epidemiológicos e, ainda, porque são conhecidos, apenas, os efeitos causados por alguns dos poluentes isoladamente. Entretanto, esses efeitos podem ser agravados pelo efeito de sinergismo entre os poluentes e outras substâncias presentes no ar, o que pode potencializar, negativamente, os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana. Não há conhecimento preciso sobre o que ocorre na atmosfera nas condições em que diversos poluentes são emitidos a partir de diferentes fontes de emissão, ou seja, há forte grau de incerteza sobre os efeitos conjuntos à saúde humana, o que aumenta a vulnerabilidade da população frente aos poluentes atmosféricos.

Os habitantes da Vila Industrial estão sujeitos à maior exposição aos poluentes emitidos pela CBA, devido à proximidade do local da área industrial. Os funcionários da CBA que moram no local são “duplamente” expostos, pois convivem com os poluentes em seu ambiente de trabalho e em suas casas.

As cubas eletrolíticas instaladas na CBA operam com anodo Soderberg, sendo esta tecnologia mais poluente do que aquelas que utilizam anodos pré-cozidos. Assim sendo, a população aluminense, especialmente, as pessoas que residem próximo à área industrial da CBA estão expostas a uma elevada carga de poluentes atmosféricos de elevada periculosidade, uma vez que várias salas de redução eletrolítica da referida empresa apresentam emissões fugitivas de material particulado, fluoretos e outros poluentes pelo lanternim desses galpões. Cabe salientar que na área identificada com o número 1 no mapa de riscos associados à emissão de material particulado, localiza-se a sede da Prefeitura Municipal e quatro escolas de nível fundamental, médio e técnico, o que aumenta ainda mais o número de pessoas expostas aos poluentes atmosféricos na área que oferece os maiores riscos à saúde da população aluminense.

Na estação automática de monitoramento da qualidade do ar da CBA, há um equipamento para monitorar as concentrações de poluentes atmosféricos (ozônio, NO_x e SO_x) em tempo real na atmosfera aluminense por meio de técnicas de eletroscopia. Os dados são obtidos por integração, ao longo de um caminho óptico, de uma fonte de luz e receptor. Esse equipamento é composto por dois aparelhos e sua comunicação se dá através de um feixe de luz que é emitido por um dos aparelhos e receptado pelo outro aparelho. Um dos aparelhos está instalado na estação automática de monitoramento da qualidade do

ar (EAMQar) e o outro na sede da Cooperativa de Economia e Crédito Mútuo dos Empregados da Companhia Brasileira de Alumínio (Coopercred - CBA), a uma distância de, aproximadamente, 200 metros um do outro. Como pode ser verificado nas fotografias apresentadas na Figura 6.7, foram plantadas árvores de grande porte – inclusive eucalipto – nas proximidades dos aparelhos, de modo que os resultados do monitoramento podem ser mascarados, caso os galhos obstruam a “passagem” do feixe de luz entre os dois aparelhos.



Figura 6.7. Vista geral dos aparelhos instalados na EAMQar e Coopercred - CBA

Fonte: Acervo pessoal, imagens obtidas no dia 27 de novembro de 2009

Não foram encontrados estudos sobre os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs), além de ter sido constatado que o monitoramento da emissão de HAPs não é realizado. É sabido que as cubas eletrolíticas emitem quantidades significativas desses poluentes e que alguns desses compostos são cancerígenos (REMIÃO, 2007; IARC, 2006;

USEPA, 1998; USEPA, 1999a), e, assim sendo, em longo prazo, esses poluentes podem causar diversos prejuízos à saúde da população aluminense, manifestados em doenças crônicas degenerativas.

Ressalta-se que, além da utilização do anodo Soderberg em todas as salas de redução eletrolítica, que resulta em maior nível de emissão de poluentes tóxicos como citado no Capítulo 2, algumas destas salas de redução eletrolítica não foram instalados equipamentos de controle de poluição para reduzir as emissões fugitivas no lanternim. Portanto, dada a complexidade do comportamento dos compostos orgânicos, suspeita-se que a população aluminense pode estar exposta a outros poluentes carcinogênicos emitidos nas cubas eletrolíticas, cuja formação no processo de redução é, ainda, desconhecida.

O vento predominante em Alumínio é Leste-Sudeste (ESE). Se levar em consideração essa característica do vento, pode-se concluir que boa parte da área urbana do município não seria atingida pelas emissões da CBA. No entanto, deve-se ressaltar que há ventos provenientes de outras direções, e a direção do vento muda várias vezes durante o dia, de modo que os poluentes emitidos pela CBA podem ser transportados até o centro urbano do município.

A altura das chaminés também influencia a dispersão dos poluentes, como pode ser constatado nas informações e dados constantes nas tabelas e quadros do ANEXO I. Na planta industrial da CBA há chaminés com baixa altura, o que dificulta a dispersão dos poluentes atmosféricos, contribuindo para aumentar o risco da exposição aos poluentes perigosos para os funcionários da fábrica e para a população residente próxima à área industrial da CBA.

A empresa pretende ampliar sua produção de alumínio primário de 475 mil toneladas por ano para 630 mil toneladas por ano, o que aumentará consideravelmente a emissão de poluentes atmosféricos, mesmo que equipamentos de controle de poluição do ar – como os lavadores de gases a seco e úmido – com altas eficiências sejam instalados, pois a contribuição dos poluentes emitidos pelas novas salas de redução eletrolíticas serão somadas às emissões já existentes, tornando, assim a população aluminense mais vulnerável aos efeitos deletérios causados pelos poluentes atmosféricos à saúde humana e ao meio ambiente.

É importante citar que os equipamentos de controle de poluição atmosférica podem não funcionar corretamente durante vários dias, ou por falta de manutenção, ou mesmo, devido ao mau uso desses equipamentos, o que também contribui para aumentar as taxas de emissão de poluentes para a atmosfera e piorar a qualidade do ar.

6.2.2 Vulnerabilidade Social dos Grupos Populacionais Expostos

A população mais próxima à CBA é formada pelos empregados residentes na Vila Industrial, os quais, muitas vezes, por temer perder seu emprego, não fazem reclamações da “*poeira*” que é transportada até suas casas.

Não é possível precisar quantas são as pessoas que sofrem com problemas respiratórios no município, pois muitas delas procuram atendimento médico nas cidades vizinhas, especialmente em Sorocaba, o que torna difícil estabelecer umnexo causal entre a exposição à poluição atmosférica e o aparecimento de doenças na população local. Cabe ressaltar que os funcionários que trabalham no município, mas que não residem em Alumínio, geralmente, procuram assistência médica nas cidades onde residem.

A maioria da população desconhece os perigos da poluição atmosférica originada da planta fabril da CBA, e somente reconhecem o incômodo que a “*poeira*” causa, devido ao pó que chega em suas casas e a irritação nas vias respiratórias que acomete muitas pessoas. Isso reforça a avaliação sobre a percepção do risco associado ao grande complexo industrial e contribui para aumentar a vulnerabilidade da população frente aos poluentes atmosféricos; não há cobranças para que a empresa promova melhorias visando mitigar os níveis de degradação da poluição, quando não se sabe ou se conhece os perigos dos poluentes aos quais se está exposto.

A Companhia Brasileira de Alumínio é considerada, por muitos, o “símbolo” da cidade, a força econômica, vista com orgulho por seus moradores, uma vez que, a cidade dela depende (Naime, 2009). Essa forma de perceber a relação do grande complexo industrial com a reprodução social no espaço urbano é muito ruim, pois as pessoas enxergam somente os benefícios econômicos que a fábrica traz para o município, passando despercebida a degradação ambiental que tal atividade impõe à região. Até mesmo a Prefeitura do Município de Alumínio tem essa percepção, divulgando nos meios de comunicação somente os benefícios gerados pela CBA ao município.

Essa é uma forma de ampliar a vulnerabilidade social, pois, se, de fato, a CBA traz benefícios ao município, enxergar os seus aspectos negativos não significa desprestigiá-la, e sim, possibilitar que a mesma melhore seus indicadores ambientais, promovendo, dessa forma, o desenvolvimento sustentável e a minimização dos riscos aos quais a população está exposta.

A CBA, em parceria com a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) e com o Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN), criou

uma APA (Área de Proteção Ambiental) próxima à fábrica, o que impediu a ocupação do local pela população, fato que contribuiu para reduzir o número de pessoas que poderiam estar expostas às altas concentrações de poluentes atmosféricos. Cabe ressaltar que algumas casas da Vila Industrial foram desmanchadas pela CBA, e no seu lugar, foram plantadas árvores de grande porte, entre elas, o eucalipto, como pode ser visto na fotografia da Figura 6.8. Essa ação contribuiu, também, para diminuir o número de pessoas expostas aos poluentes atmosféricos gerados na planta industrial da CBA.



Figura 6.8. Vista geral de uma parte das árvores plantadas na Vila Industrial

Fonte: Acervo pessoal, imagem registrada no dia 27 de novembro de 2009

Quanto aos projetos de ampliação da capacidade instalada da planta industrial da CBA, a maioria da população atenta-se somente para os recursos financeiros e aos empregos que serão gerados e dificilmente se perguntam sobre os malefícios que essa ampliação poderia causar ao município e, por falta de informação, interesse, ou mesmo, por não entender os processos de licenciamento ambiental, acabam ficando vulneráveis às decisões tomadas por terceiros que muitas vezes não priorizam os interesses e a saúde da população local.

6.2.3 Vulnerabilidade Institucional

É evidente a fragilidade da legislação ambiental brasileira quanto à produção de alumínio primário, haja vista a Resolução CONAMA nº. 382/06, que estabelece limites máximos de emissão para indústria do alumínio primário para material particulado e fluoretos, ou seja, somente esses dois poluentes é que devem ser monitorados, mesmo sendo de conhecimento geral a emissão de outros poluentes em quantidades significativas, para os quais deveriam ter sido fixados limites de emissão. Além disso, a legislação brasileira não previu a definição de um padrão para a concentração de fluoretos na atmosfera (padrão de qualidade do ar para fluoretos).

A CBA ainda não implantou um programa de gestão ambiental, o que aumenta a probabilidade da empresa não gerenciar adequadamente seus aspectos ambientais, visto que, um sistema de gestão dessa natureza, tem por objetivo melhorar os indicadores ambientais da empresa, o que resulta em economia de matéria-prima, menores gastos com a destinação de resíduos sólidos, o aumento da eficiência das unidades produtivas, além das vantagens de mercado que as boas práticas ambientais podem proporcionar. Programas de gestão ambiental resultam, também, na instrução e na conscientização do principal agente envolvido no processo de produção, ou seja, os empregados, sobre os benefícios que um ambiente mais saudável traz à sua saúde e à saúde da população.

A CBA, desde 2002, como citado, vem aumentando consideravelmente sua produção de alumínio e modernizando os sistemas e equipamentos de controle de poluição atmosférica. Entretanto, as emissões de fluoretos vêm aumentando, portanto, mesmo que a fábrica esteja em conformidade com os limites de emissão para fluoretos em cada uma das fontes emissoras e que sistemas de controle da poluição de alta eficiência tenham sido implantados, em conjunto, as emissões de fluoretos de cada chaminé resultam em altas concentrações do poluente na atmosfera aluminense.

Os processos de licenciamento ambiental da planta industrial da CBA consultados⁶⁹ não fazem menção sobre o aumento da concentração de fluoretos na atmosfera devido à ampliação da produção de alumínio primário. Segundo o TAC⁷⁰ (Termo de Compromisso

⁶⁹ Os processos de licenciamento ambiental da planta industrial da CBA que foram consultados são: Processo SMA nº. 06-00073-96; Processo SMA nº. 06-01375-98; Processo SMA nº. 06-01312-98; Processo SMA nº. 06-00916-99; Processo SMA nº. 06-01166-03; Processo SMA nº. 06-00977-04; Processo SMA nº. 06-01214-04; Processo SMA nº. 06-00232-05; Auto de Inspeção SMA nº. 1273506 (2008).

⁷⁰ Em 10/07/2006 foi firmado, entre a CBA e a CETESB novo TAC, o qual concedeu a CBA um prazo máximo de 12 anos para instalação de lavadores de gases a úmido e fechamento do lanternim, baseados na melhor tecnologia disponível no mercado, com o fim de controlar as emissões fugitivas das Salas Fornos da planta industrial da CBA (SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-01312-98, 1998).

de Ajustamento de Conduta) que foi assinado entre a CETESB e a CBA, citado nos processos de licenciamento ambiental da CBA, a empresa comprometeu-se a instalar, em todas as Salas Fornos, lavadores de gases a úmido, visando eliminar as emissões fugitivas de poluentes atmosféricos. Porém, a implantação de tais sistemas tem sido lenta, o que é justificado pela empresa pelos altos custos de tais equipamentos.

Na investigação realizada nos processos de licenciamento ambiental da CBA, constatou-se que faltam dados importantes, como, por exemplo, as coordenadas geográficas das chaminés estudadas – que totalizam 125 –, e, muitas vezes, as informações e os dados disponíveis sobre uma mesma chaminé, estavam dispersos em vários processos de licenciamento ambiental, mesmo que cada processo se refira a um assunto diferente, não cabendo incluir nos documentos informações sobre essa ou aquela chaminé.

Em todas as Salas Fornos da CBA criadas a partir de 2002 foi visado apenas o aumento da produção de alumínio primário, não tendo sido determinado pela CETESB o emprego das melhores tecnologias disponíveis no mercado, pois a ampliação da produção previu a instalação de cubas eletrolíticas com anodo Soderberg (tecnologia mais poluente do que a que utiliza anodo pré-cozido). A CBA praticamente duplicou sua produção, passando de 245 mil toneladas por ano para 475 mil toneladas por ano, e, se o órgão ambiental tivesse exigido a instalação de cubas eletrolíticas com anodo pré-cozido nas novas Salas Fornos, o ganho ambiental seria significativo, com a redução da emissão de poluentes orgânicos perigosos. Mas, infelizmente, não foi cogitada essa hipótese durante o licenciamento ambiental. Ressalta-se que a CBA irá aumentar sua produção de alumínio primário de 475 mil toneladas por ano para 630 mil toneladas por ano, em 2011 (previsão⁷¹), o que aumentará ainda mais a emissão de poluentes para a atmosfera.

Outro fato que demonstra a vulnerabilidade das instituições públicas envolvidas no caso refere-se ao acesso aos dados de monitoramento da qualidade do ar⁷². Durante a pesquisa documental, o acervo de dados foi encontrado, mas o autor não teve acesso a eles, mesmo na presença do técnico ambiental da CETESB⁷³, que argumentou tratar-se de dados técnicos “confidenciais” da empresa, mesmo sabendo-se que um dos objetivos do monitoramento da qualidade do ar é gerar informações sobre as concentrações de poluentes atmosféricos e divulgá-las para a população, possibilitando – quando há necessidade – que

⁷¹ Pode haver atrasos na instalação da nova sala de redução eletrolítica da CBA, visto a crise mundial ocorrida em outubro de 2008.

⁷² Dados constantes nos arquivos do Auto de Inspeção SMA nº. 1273506 (2008), disponibilizados para o órgão ambiental em CD-ROM.

⁷³ Em visita realizada no dia 18 de fevereiro de 2010, na sede da CETESB – Regional de Itu.

sejam tomadas medidas de segurança que visam resguardar a saúde pública. A despeito desse assunto, foi publicada a Lei Federal nº. 10650 de 16 de abril de 2003, que, em seu artigo 2º estabelece:

“Os órgãos e entidades da Administração Pública, direta, indireta e fundacional, integrantes do Sisnama, ficam obrigados a permitir o acesso público aos documentos, expedientes e processos administrativos que tratem de matéria ambiental e a fornecer todas as informações ambientais que estejam sob sua guarda, em meio escrito, visual, sonoro ou eletrônico...”

Ou seja, a Lei Federal nº. 10650 garante à qualquer cidadão brasileiro interessado de ter acesso aos dados e informações constantes no acervo que compõe os processos de licenciamento ambiental das instituições que constituem o Sisnama.

Com certeza, essa decisão tomada pelo técnico da CETESB se deve tanto à pressão exercida pelos representantes da CBA sobre o corpo técnico do órgão ambiental, quanto à falta de qualificação dos analistas ambientais, que, nesse caso, demonstraram total desconhecimento dos termos da referida lei federal, ou, o que seria mais grave, descumpriram suas determinações, ferindo o princípio da legalidade, que rege a Administração Pública.

O órgão ambiental também nunca informou à população aluminense sobre os episódios de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar para o ozônio troposférico e nem que a concentração média de fluoretos na atmosfera chega a ser duas vezes maior do que foi encontrada em Cubatão em 1985. Esses dados encontram-se registrados nos processos de licenciamento ambiental do empreendimento e deveriam ser divulgados para a população local, em linguagem acessível. É outra demonstração da vulnerabilidade institucional que constitui o cenário de risco em Alumínio.

Nas Secretarias de Saúde e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Alumínio não há estudos sobre os impactos das atividades desenvolvidas pela CBA no município e a Secretaria de Meio Ambiente não apresenta uma boa infra-estrutura de recursos humanos e financeiros. Além disso, essas secretarias não esboçam nenhuma reação com vistas à elaboração de estudos nesse sentido. Isso é explicado pelo histórico do município que é caracterizado pelo domínio e exercício direto do poder político local pela empresa, explicitado pelas alianças com a administração municipal, altamente favoráveis aos interesses econômicos da indústria. Tais arranjos ampliam o cenário de risco em Alumínio fortemente caracterizado pela vulnerabilidade institucional.

6.2.4 Síntese da matriz de vulnerabilidade sócio-ambiental em Alumínio

Com base no que fora discutido anteriormente em relação aos três eixos de vulnerabilidade sócio-ambiental propostos por Porto (2001) foi criada uma matriz de vulnerabilidade para o município de Alumínio, apresentada no Quadro 6.1.

Quadro 6.1. Matriz de Vulnerabilidade da população aluminense exposta aos riscos ambientais decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos pela CBA

<p>EIXO 1 Complexidade do trinômio perigo-exposição-efeitos e incertezas associadas</p>	<p>EIXO 2 Vulnerabilidade Social dos Grupos Expostos</p>	<p>EIXO 3 Vulnerabilidade Institucional</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Emissão contínua de poluentes atmosféricos (efeitos crônicos); ● Incertezas do quanto a sinergia entre os poluentes atmosféricos podem influenciar negativamente a saúde da população; ● Maior risco verificado é para os empregados da empresa que convivem diariamente com os poluentes no chão de fábrica e ainda estão expostos à poluição do ar em suas residências na Vila Industrial; ● Faltam estudos e dados de monitoramento de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs) no município; ● Outros poluentes atmosféricos perigosos, potencialmente carcinogênicos, podem estar sendo gerados na produção de alumínio, e ainda não foram estudados; ● A direção preferencial do vento e a altura das chaminés são parâmetros fundamentais para a dispersão dos poluentes no ar atmosférico e, portanto, estão diretamente relacionados com a saúde da população; ● Ampliação da capacidade produtiva de alumínio na planta da CBA aumenta a emissão de poluentes atmosféricos perigosos; ● Podem ocorrer problemas durante o monitoramento da concentração de poluentes atmosféricos na estação automática de monitoramento da qualidade do ar devido à falta de cuidados na estação. 	<ul style="list-style-type: none"> ● A CBA é a força econômica do município e a maior geradora de empregos; ● Não há divulgação para a população sobre as emissões de poluentes atmosféricos pela CBA e suas concentrações no ar atmosférico; ● Não há hospital no município, portanto, não há informações sobre pessoas que procuram assistência médica, quando acometidas por doenças cardiorrespiratórias (e outras), impedindo quaisquer análises sobre o nexo poluição do ar - morbidade; ● A população, por falta de informação, interesse, ou mesmo, por não entender os processos de licenciamento ambiental ficam vulneráveis aos malefícios provocados pelas as atividades da empresa, os quais serão magnificados com a expansão da capacidade instalada de produção de alumínio; ● A criação de uma APA e a revegetação da Vila Industrial contribuirão para que um número menor de pessoas fiquem expostas às altas concentrações de poluentes atmosféricos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Não há legislação específica estabelecendo padrões de qualidade do ar para fluoretos ● A Resolução CONAMA n°. 382/06 estabelece padrões de emissão (para fábricas de alumínio), somente para material particulado e fluoretos; ● Mesmo tendo sido implantadas melhorias nos sistemas de controle da poluição atmosférica e tendo sido ampliado o número de equipamentos de controle da poluição do ar na planta industrial, (resultado do TAC), a ampliação da capacidade produtiva de alumínio aumentou a concentração de fluoretos na atmosfera; ● Desorganização e ausência de dados sobre as chaminés da planta industrial da CBA, como verificado em alguns processos de licenciamento ambiental; ● O órgão ambiental não citou e nem sugeriu, quando da ampliação da capacidade instalada da CBA, o uso das melhores tecnologias disponíveis no mercado; ● A empresa não implantou um Sistema de Gestão Ambiental; ● O órgão ambiental não repassou os dados de monitoramento da qualidade do ar ao autor, infringindo a lei n°. 10650/03 e, também, não divulga os resultados à população; ● O histórico do município é caracterizado pelo domínio e exercício direto do poder político local pela empresa.

Fonte: Elaboração própria

Neste trabalho procurou-se, assim, investigar e analisar os aspectos mais relevantes da poluição do ar no município de Alumínio e os cenários de riscos dela decorrentes, aos quais a população está severamente exposta. A matriz de vulnerabilidade desenvolvida com base na metodologia proposta por Porto (2001) evidenciou cenários de vulnerabilidade socioambiental no Município de Alumínio, caracterizados pela relação **perigo** (poluentes atmosféricos tóxicos) – **exposição** (população exposta aos poluentes; degradação da qualidade do ar) – **efeitos** (danos à saúde humana; danos ao meio ambiente natural; danos aos materiais), agravados pela vulnerabilidade das instituições públicas e pelas incertezas que são inerentes aos estudos sobre os sistemas complexos.

Trata-se, portanto, de um caso onde o meio ambiente urbano pode ser caracterizado por uma série de degradações promovidas por uma grande indústria instalada no local, onde a qualidade de vida das populações é comprometida pelas “*situações extremas de poluição e por um rígido controle político-social por parte do agente poluidor, (...) e pelas políticas públicas e empresariais de meio ambiente aí surgidas*” (BRAGA, 2000). Braga (2000), de forma muito interessante, destaca:

“A cidade monoindustrial é o caso particular mais agudizado da cidade industrial⁷⁴. Nela, uma única grande indústria assume o papel de provedora das condições gerais de produção, da reprodução ampliada da força de trabalho e da urbanização. A cidade é concebida como apenas mais uma atividade de apoio à produção industrial”. (...) “A cidade monoindustrial é um caso extremo, em que a força política da empresa (dos interesses econômicos) é maior, uma vez que ela exerce seu poder sobre o Estado e sobre a sociedade civil de forma direta, pairando absoluta sobre a vida cotidiana. Aqui é a empresa, e não o Estado, a grande receptora das demandas da população e o grande alvo de queixas de demandas não atendidas.”

O risco tecnológico ambiental evidenciado explicita o “*comprometimento da capacidade de reprodução ampliada da força de trabalho*” – os trabalhadores ficam expostos às substâncias perigosas em seu ambiente de trabalho – “*o comprometimento da base material/natural sobre a qual se assenta a reprodução social no espaço urbano*” – neste trabalho considera-se a severa degradação da qualidade do ar devido aos poluentes emitidos pela planta industrial da CBA –, e à “*perda do valor de uso quando o capital transforma a natureza e o espaço de assentamento humano em produto, em simples valor*

⁷⁴ “A cidade industrial, como caracteriza Henri Lefebvre, é a cidade cuja organização, ritmo e relações sociais são regidos pela indústria” (BRAGA, 2000).

de troca” – o ambiente urbano e a população são meros agentes da produção industrial (BRAGA, 2000).

A investigação conduzida neste trabalho não identificou a ocorrência de conflitos entre a população e a empresa, talvez por falta de informação ou interesse, talvez porque os moradores não percebam os processos que caracterizam a produção, a poluição e a degradação ambiental e, talvez ainda, por terem mais interesse na garantia de seus empregos e favores ofertados pela CBA do que quaisquer outros aspectos relacionados à questão ambiental. Outro motivo poderia ser o caráter fortemente técnico que caracteriza a atuação da CETESB em relação à CBA, pois não foram encontradas quaisquer evidências nos processos de licenciamento ambiental sobre os riscos tecnológicos e os processos de exposição da população aos poluentes atmosféricos perigosos emanados das chaminés do complexo industrial da CBA. Trata-se de um assunto a se investigar.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A emissão de poluentes atmosféricos no município de Alumínio é alta como pode ser constatado ao longo da dissertação e tende a aumentar com a nova ampliação da CBA em curso, podendo no caso de novas ampliações e até mesmo em longo prazo gerar um impacto cumulativo⁷⁵ de difícil dimensionamento por parte dos órgãos ambientais ou mesmo pela própria empresa. Um importante exemplo refere-se às emissões de fluoreto, pois mesmo que a empresa tenha instalado uma série de lavadores de gases a seco e a úmido e tenha implantado tecnologias mais modernas, a emissão de fluoretos em sua totalidade é bastante alta na região (em alguns pontos de amostragem a concentração de fluoretos é superior a $2000\mu\text{gF}/100\text{cm}^2.30\text{dias}$), já que não há tecnologia, atualmente, que garanta a remoção desses poluentes em sua totalidade. Para evitar o impacto gerado por novas ampliações das instalações industriais, seria aconselhável que elas fossem implantadas em outras localidades, de modo a contribuir para que não sejam registradas altas concentrações de poluentes na atmosfera aluminense, além de gerar uma melhor distribuição, não somente dos investimentos, renda e impostos, mas, também, da poluição.

É importante que sejam realizados estudos ambientais que levem em consideração os impactos cumulativos dos diversos poluentes atmosféricos emitidos pela planta industrial, para subsidiar a tomada de decisão por parte do órgão ambiental sobre tal instalação, e não somente analisar, de forma simplificada, os impactos decorrentes da ampliação das unidades industriais, ou seja, é necessário analisar os impactos ambientais do empreendimento como um todo, como está preconizado na Resolução CONAMA nº. 01/86. Esta Resolução, aliás, determina que a avaliação dos impactos inclua as “*propriedades cumulativas e sinérgicas*” (Art. 6º, II) da atividade em pauta.

Com relação à unidade fabril já instalada, foi e estão sendo tomadas medidas por parte da CBA que visam a redução da emissão de poluentes atmosféricos, tal como a instalação de lavadores de gases à úmido nas Salas Fornos firmadas no TAC junto à

⁷⁵ Impactos cumulativos ou acumulativos são aqueles que se acumulam no tempo ou no espaço, resultando de uma combinação de efeitos decorrentes de uma ou diversas ações, ou seja, uma série de impactos insignificantes pode resultar em significativa degradação ambiental se concentrados espacialmente ou caso se sucedam no tempo (SANCHÉZ, 2006).

CETESB e a instalação de lavadores de gases a seco que recuperam os fluoretos que seriam emitidos para a atmosfera.

Além dessas medidas, a fábrica também substituiu o combustível anteriormente utilizado (óleo BPF 2A) por gás natural, o que refletiu em redução significativa na emissão de NO_x e SO_x . A adoção de medidas que visam a redução do consumo de matéria-prima; a utilização de combustíveis menos poluentes; o controle e a prevenção da emissão de poluentes promove um ambiente saudável para todos, e, por isso, é importante que se implante na fábrica um sistema de gestão ambiental que garanta que tais medidas sejam propostas, não só durante os processos de licenciamento, mas em longo prazo e para todos os tipos de poluição gerada pela CBA. Por exemplo, a empresa foi multada em R\$124.900, em função de um vazamento ocorrido na Barragem do Palmital em 28 de julho de 2004 e, segundo a CETESB (2010), os efluentes atingiram o Córrego do Bugre, o Ribeirão do Varjão e o Rio Pirajibu, alterando-lhes a qualidade e tornando as suas águas impróprias, nocivas e ofensivas à saúde, além de causar inconvenientes ao bem-estar público e provocar danos à fauna e à vegetação.

Estudos realizados pela CETESB sobre fluoretos e ozônio não indicaram a dimensão dos problemas que a presença desses poluentes na atmosfera de Alumínio pode causar, porque não foi levado em consideração a presença dos demais poluentes na atmosfera e, também, porque não foram considerados estudos sobre os efeitos à saúde causados pelos poluentes na população exposta. No entanto, os dados da CETESB demonstram que há necessidade de controlar os níveis de ozônio troposférico e fluoretos, pois o O_3 é responsável pelas ultrapassagens do padrão de qualidade do ar no município e os fluoretos apresentam concentrações muito elevadas.

A simulação realizada com o SCREEN 3 serviu tanto para estimar a contribuição da CBA para a poluição atmosférica do município de Alumínio, como para indicar os locais que devem ser investigados, em trabalhos de campo, de modo a garantir resultados mais precisos. No que se refere à dispersão dos poluentes atmosféricos, deve-se enfatizar que a utilização de chaminés altas visa reduzir a concentração do poluente no nível do solo das áreas próximas à fonte de emissão, sem, entretanto, alterar as taxas de emissão. Essa constatação pôde ser verificada na simulação com o SCREEN 3. Tal medida de controle é aplicada com o intuito de melhorar as condições de dispersão dos poluentes residuais na atmosfera, mas deve estar associada a outras medidas para a redução da geração de poluentes ou o controle dos níveis de emissão.

É importante destacar que os poluentes provenientes da CBA não ficam restritos apenas às áreas do município de Alumínio, sendo transportados para os municípios vizinhos, como foi elucidado pela CETESB no estudo realizado sobre a presença de O₃ em Sorocaba. O mesmo foi constatado em relação ao material particulado no estudo da dispersão de material particulado que foi desenvolvido neste trabalho, uma vez que esse poluente, produzido pela CBA, apresenta elevadas concentrações em um raio de 5 km, atingindo os limites do município de Mairinque.

Com relação aos mapas de riscos apresentados no Capítulo 6, percebe-se que a população residente próximo à fábrica encontra-se numa área de maior risco à saúde. Disso decorre a importância de se realizar o monitoramento constante da qualidade do ar, nessas áreas visto as altas concentrações encontradas de fluoretos e material particulado.

A CBA adotou medidas que, de alguma forma, minimizaram o número de pessoas expostas à poluição do ar, como a criação de uma APA e a demolição de algumas casas da Vila Industrial com posterior revegetação dessas áreas, embora, há ainda muitas residências nesse bairro. Vale lembrar que algumas casas que se localizam próximas à fábrica não pertencem à CBA, o que dificulta a sua retirada do local. Assim, o monitoramento da qualidade do ar, aliado à adoção de medidas de prevenção da poluição atmosférica surgem como ferramentas importantes na minimização dos riscos nessa área.

A análise da evolução do número de óbitos ocorridos por doenças respiratórias em relação ao total de óbitos ocorridos em Alumínio no período referente (1993 a 2007) não evidencia uma tendência definida, tendo sido registrados períodos de crescimento e decréscimo da relação investigada. Além disso, não foi possível estabelecer uma correlação entre esses resultados e a taxa de emissão dos poluentes atmosféricos oriundos da planta industrial da CBA, pois não há dados anuais referentes às concentrações dos poluentes para os anos anteriores a 2003 (a não ser para os fluoretos), o que impediu a realização de uma análise temporal mais precisa e, desse modo, a análise e a correlação dos dados de concentração de poluentes com os dados de mortalidade ficaram prejudicadas.

A Matriz de Vulnerabilidade apontou aspectos sociais, ambientais e políticos negativos no município, dos quais se destacam a falta de dados e estudos sobre os HAPs liberados pela fábrica, os quais são cancerígenos. Apontou ainda que há necessidade de rever alguns pontos da legislação brasileira e que o órgão ambiental apresenta fragilidades. Porém, o aspecto negativo mais relevante é a falta de informação da população sobre os episódios de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar do ozônio troposférico e a extrema dependência do município dos recursos gerados pela empresa. Ou seja, é muito

difícil fazer qualquer cobrança ou qualquer mudança de atitude da empresa quando a população desconhece ou depende totalmente dos recursos gerados pela mesma.

Portanto, a divulgação e o esclarecimento dos riscos aos quais a população está exposta, que cabem ao órgão ambiental e a prefeitura municipal, são fundamentais. Em vista disso, o resultado deste trabalho tende a colaborar com as autoridades na divulgação e no esclarecimento sobre os riscos tecnológicos e a vulnerabilidade sócio-ambiental no Município de Alumínio, almejando servir como uma ferramenta de auxílio na gestão pública do município.

Importante salientar que a Prefeitura Municipal de Alumínio deve ter participação ativa ao lado dos órgãos ambientais na questão da mitigação dos impactos provocados pelos poluentes atmosféricos no município, especialmente no tocante à elaboração de um planejamento urbano embasado no uso e ocupação do solo adequado, que garanta melhor distribuição espacial das fontes potencialmente poluidoras do ar, aumente a distância entre fonte e receptor, diminua a concentração de atividades poluidoras próximas aos núcleos residenciais, proíba a implantação de fontes de alto potencial poluidor em regiões críticas.

O custo básico suportado pela população aluminense para alcançar níveis de qualidade do ar desejáveis deveria estar, sempre que possível, em equilíbrio com os benefícios econômicos a serem atingidos. Ao se proceder a uma análise do tipo custo-benefício, não se deve comprometer aspectos éticos tais como direitos e deveres.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, surgiram idéias para dar seqüência à pesquisa contida nessa dissertação de mestrado. Assim, são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

Simular a dispersão dos poluentes MP, SO_x e NO_x com o software Aermod, distribuído gratuitamente pela USEPA e correlacionar os dados obtidos no Aermod com dados reais de monitoramento realizado em Alumínio, para averiguar a eficácia do software. Cabe ressaltar que o software não calcula a dispersão de uma única fonte pontual por vez e sim várias fontes pontuais ao mesmo tempo, sendo bastante utilizado nos estudos de dispersão de poluentes atmosféricos emitidos em plantas industriais. É um software mais sofisticado que o SCREEN 3, mas que requer mais dados para sua aplicação.

Desenvolver um estudo epidemiológico de morbi-mortalidade com análise das contagens diárias de admissões hospitalares, em um determinado período, em relação às

variações diárias de poluentes atmosféricos, levando-se em consideração a sazonalidade, dias da semana, fatores meteorológicos, ocupação, idade e local onde reside.

Simular a dispersão dos poluentes MP, SO_x e NO_x com o software Aermol para distâncias superiores a 5km e avaliar o impacto provocado pelas emissões da CBA nos municípios vizinhos à Alumínio, especialmente Sorocaba e Mairinque, os quais, respectivamente, devido a posição geográfica (localizado na direção preferencial do vento) e proximidade da fábrica à zona urbana estão mais expostos aos riscos decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos pela CBA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL, Associação Brasileira do Alumínio. **Fundamentos e Aplicações do Alumínio**. São Paulo: ABAL, 2007. 68p.

_____. **Relatório de Sustentabilidade do Alumínio**. São Paulo: ABAL, 2008. 55p.

_____. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>>. Acessado em 20 de Mai. de 2010.

ALBRAS, Alumínio Brasileiro S.A.. **O processo de produção**. Disponível em: <<http://www.albras.net/processoProducao.htm>>. Acesso em 10 de Nov. de 2009.

ALSP, Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo. **IPRS 2006: Índice Paulista de Responsabilidade Social**. São Paulo: Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, 2006. 304p. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/web/forum/iprs06/>>. Acesso em 17 de Set. de 2009.

ALUMÍNIO, Prefeitura Municipal. **Conheça a História da Cidade**. Disponível em <<http://www.aluminio.sp.gov.br>>. Acesso em 17 de Set. de 2009a.

_____. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Histórico do Município**. Alumínio, 2009b. 11p.

ALVES, H. P. F. **Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais**. Revista Brasileira de Estudos de População, São Paulo, vol. 23, n. 1, p. 43-59, 2006.

AMARO, A. **Consciência e cultura do risco nas organizações**. Territorium, Coimbra, n. 12, p. 5-9, 2005.

AQUINO, T. F. **Beneficiamento químico da bauxita de Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, 2007. 103p. Tese (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico, 2007. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PENQ0232-D.pdf>>. Acesso em 18 de Jul. de 2009.

ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological Profile for Fluorine, Hydrogen Fluoride, and Fluorides**. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2003. Disponível em <<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts11.html>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

BRAGA, T. M. **Risco e conflito ambiental sob o signo da (mono)indústria: um estudo sobre políticas ambientais na bacia do rio Piracicaba, Minas Gerais**. In: População e meio ambiente: debates e desafios/Haroldo Torres e Heloísa Costa (organizadores) – São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2000, p: 327-347.

BRAGA, A., PEREIRA, L. A. A., SALDIVA, P. H. N., **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana**. In: Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia no Brasil:

os próximos 20 anos. Campinas: Unicamp, 2002. 20p. Disponível em <http://www.cgu.rei.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Saldiva.pdf>. Acesso em 18 de Dez. de 2009.

BRAGA, Alfésio Luís Ferreira *et al.* **Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil.** Caderno Saúde Pública [online], vol.23, suppl.4, 2007. p. 570-578. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2007001600017>. Acesso em 20 de Dez. de 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA]. Resolução CONAMA N°. 001, de 17 de fevereiro de 1986. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação do Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Brasília, 1986.

_____. Resolução CONAMA N°. 003, de 06 de junho de 1990. Estabelece padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União. Brasília, 1990.

_____. Resolução CONAMA N°. 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Diário Oficial da União. Brasília, 2007.

BRILHANTE, O. M.; CALDAS, L. Q. A. **Gestão e Avaliação de Risco em Saúde Ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 1999. 155p.

CAMPOS, M. R. **A Indústria do alumínio neste final de século.** Ouro Preto: Fundação Gorceix, 1988. 464p.

CBA, Companhia Brasileira de Alumínio. **Fundamentos da Metalurgia do Alumínio: Treinamento Operacional – Sala Fornos e Sala Pasta – Operação de Fornos.** São Paulo: CBA, 1997. 139p.

_____. **Programa de Treinamento da Fábrica da Alumina.** São Paulo: CBA, 2006. 76p.

_____. **Empresa.** Disponível em <<http://www.cia-brasileira-aluminio.com.br>>. Acesso em 17 de Set. de 2009.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Estudo de fluoretos no Município de Alumínio – SP.** São Paulo: CETESB, 1994. 9p.

_____. **Revisão da metodologia de monitoramento ativo de fluoreto como o bioindicador *cordyline terminalis*.** São Paulo: CETESB, 1998. 41p.

_____. **Avaliação do efeito de fluoretos gasosos em espécies vegetais localizadas junto a Companhia Brasileira de Alumínio – CBA, no município de Alumínio – SP – biomonitoramento passivo.** São Paulo: CETESB, 1999. 16p.

_____. **Avaliação dos teores de fluoretos atmosféricos nos arredores da CBA – Companhia Brasileira de Alumínio – município de Alumínio.** São Paulo: CETESB, 2000. 10p.

_____. **Estudos Investigativos da Ocorrência de Ozônio Troposférico na Região de Sorocaba – SP.** São Paulo: CETESB, 2004a. 81p.

_____. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, 2003.** São Paulo: CETESB, 2004b. 137p.

_____. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, 2004.** São Paulo: CETESB, 2005. 137p.

_____. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, 2005.** São Paulo: CETESB, 2006. 140p.

_____. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, 2006.** São Paulo: CETESB, 2007. 167p.

_____. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, 2007.** São Paulo: CETESB, 2008a. 248p.

_____. **Relatório do inventário estadual de fontes fixas: emissões de CO₂ - fontes industriais - combustíveis fósseis.** São Paulo: CETESB, 2008b. 21p.

_____. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, 2008.** São Paulo: CETESB, 2009a. 340p.

_____. **Poluentes.** Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp#hidro>. Acesso em 02 de Set. de 2009b.

_____. **Notícias: CETESB realiza estudos inéditos para o mapeamento de ozônio.** Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Noticias/004/12/09_ozonio.asp>. Acesso em 18 de Dez. de 2009c.

_____. **Gerenciamento de riscos: Análise de risco, grandes acidentes.** Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 05 de Out. de 2009d.

_____. **Notícias: CBA multada por poluir rios da região de Sorocaba.** Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Noticias/004/07/29_multa.asp>. Acesso em 18 de Jan. de 2010.

DAGNINO, R.; CARPI Jr., S. **Mapeamento participativo de riscos ambientais na bacia hidrográfica do ribeirão das anhumas - Campinas, SP.** III Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação em Pesquisa Ambiente e Sociedade – ANPPAS. Brasília – DF, 2006. 16p.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** São Paulo: Signus Editora, 2000. 164p.

ESRI. **Products.** Disponível em <<http://www.esri.com/products/index.html>>. Acesso em 17 de Fev. de 2010.

FREITAS, Carlos M. de *et al.* **Poluição química ambiental - um problema de todos, que afeta uns mais que os outros.** Bahia análise e Dados, Salvador: SEI, v. 10, n. 4, p. 260-270, 2001.

GIDDENS, Anthony. **As conseqüências da modernidade**. São Paulo: UNESP, 1991. 177p.

GOOGLE MAPS. **Alumínio, SP**. Disponível em <<http://maps.google.com.br/maps>>. Acesso em 18 de Set. de 2009.

GOOGLE EARTH. Versão 5.0. Disponível em <<http://earth.google.com/intl/pt/>>. Acesso em 12 de Fev. de 2010.

GRJOTHEIM, K.; WELCH, B. J. **Aluminium Smelter Technology: a pure and applied approach**. Düsseldorf, Germany: Aluminium-Verlag Publishers, 1980. 146p.

HARNISCH, J.; WING, I. S.; JACOBY, H. D.; PRINN, R. G. Primary Aluminum Production: Climate Policy, Emissions and Costs. **Joint Program on the Science and Policy of Global Change**. MIT. Cambridge, MA, USA. Dez. 1998. 16p. Disponível em: <<http://web.mit.edu/globalchange/www/rpt44.html>>. Acesso em 04 de Set. de 2009.

HEALTH CANADA. **Inorganic Fluorides – PSL1**. Ottawa: Health Canada Publications, 1993. Disponível em: <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/fluorides_inorg_fluorures/fluorides_inorg_fluorures_synopsis-eng.php>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

IAI, International Aluminium Institute. Disponível em: <<http://www.world-aluminium.org>>. Acesso em 03 de Jun. de 2009.

IARC, International Agency for Research on Cancer. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. Vol. 92, Monographs, 2006. World Health Organization (WHO). Disponível em: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Meetings/92-pahs.pdf>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE cidades@**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em 31 de Mai. de 2010.

IHHGS, Instituto Histórico, Geográfico e Genealógico de Sorocaba. **Comendador Pereira Ignácio**. Disponível em <<http://www.ihggs.org.br>>. Acesso em 17 de Set. de 2009.

KHAIWAL, R. *et al.* **Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation**. Atmospheric Environment, 2007. Disponível em: <<https://uhra.herts.ac.uk/dspace/bitstream/2299/1986/1/901994.pdf>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

KURIYAMA, G. S.; MOREIRA, J. C.; SILVA, C. R. S. **Exposição ocupacional ao dióxido de nitrogênio (NO₂) em policiais de trânsito na cidade do Rio de Janeiro**. Cad. Saúde Pública [online], vol.13, n.4, 1997. p. 677-683. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v38n6/01.pdf>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

LEBER, B. P.; TABEREAUX A. T.; MARKS J., LAMB B.; HOWARD T.; KANTEMANENI R.; GIBBS M., BAKSHI V.; DOLIN E.J. Perfluorocarbon (PFC) generation at primary aluminum smelters. **Light Metals**, p. 277-285, 1998. TMS Publications. Edited by: BARRY J. W. A collection of papers from the 1998. TMS Publications. Annual Meeting and Exhibition, San Antonio, Texas, Feb, 1998.

Lianyungang Zhong Ao Aluminium Co., Ltd. **Calcined Alumina Powder**. Disponível em <<http://lianyungangzhongao.itm.com.cn>>. Acesso em 15 de Set. de 2009.

LOHANI, B. J. W. *et al.* **Environmental Impact Assessment for Developing Countries in Asia**. Volume 1 – Overview. Environment Department The World Bank, 1997.

MARKS, J.; KANTAMANENI, R.; PAPE, D.; RAND, S. Protocol for Measurement of Tetrafluoromethane and Hexafluoroethane from Primary Aluminum Production. **Light Metals**, p. 221-226, 2003. TMS Publications. Edited by: CREPEAU P. A collection of papers from the 2003. TMS Publications. Annual Meeting and Exhibition, San Diego, California, March, 2003.

MENDES, R. F.; MINNITI, V.; LOPES, C. F.; MILANELI, J.; TORRES, C.; YOGUI, R.; RODRIGUES, G.; MARIZ, E. MARA. **Elaboração de Metodologia para Análise dos Riscos Ambientais**. In: Rio Pipeline Conference & Exposition 2005. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2005.

MME/EPE, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2008 – Ano base 2007**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. DATASUS. **Informações de Saúde**. Disponível em <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sih/cnv/nrsp.def>>. Acesso em 17 de Jun. de 2009.

NAIME, Laura. **Dependente de uma indústria, Alumínio (SP) sofre com a crise**. Globo: Economia e Negócios – Crise Financeira, São Paulo, 08 de Fevereiro de 2009. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL990897-9356,00-.html>. Acesso em 17 de Set. de 2009.

PEDROSO, A. N. V. **Avaliação estrutural de *nicotiana tabacum* ‘Bel W3’ sob diferentes níveis de contaminação atmosférica**. São Paulo, 2006. 60p. Tese (mestrado) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2006.

PEIXOTO, E. M. A. **Flúor**. In: Elemento Químico. Revista Química Nova na Escola, n.8, p. 41, nov. 1998. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc08/elemento.pdf>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Disponível em <<http://www.pnud.org.br/atlas>>. Acesso em 18 de Set. de 2009.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza; FREITAS, Carlos Machado de. **Análise de riscos tecnológicos ambientais: perspectivas para o campo da saúde do trabalhador**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, vol.13, suppl.2, p. 59-72, 1997.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza. **Vulnerabilidade e situações de risco em grupos populacionais expostos a riscos ocupacionais e ambientais no contexto brasileiro**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz. 2001. 13p.

_____. **Uma ecologia Política dos Riscos: princípios para integrarmos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2007. 248p.

REMIÃO, F. **Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos.** Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto (FFUP), 2007. Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Toxicologia Mecanística do Curso de Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto (FFUP). Disponível em: <http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0708/g8_hap/index.html>. Acesso em 20 de Dez. de 2009.

RIBEIRO, Helena; ASSUNÇÃO, João Vicente de. **Efeitos das queimadas na saúde humana.** Estudos Avançados [online], vol.16, n.44, 2002. p. 125-148. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v16n44/v16n44a08.pdf>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

ROCHA Jr., E.; COSTA, M. C. M.; GODINI, M. D. **Acidentes Ampliados à Luz da “Diretiva Seveso” e da Convenção n.º 174 da Organização Internacional do Trabalho – OIT.** INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente [online], vol.1, n.2, Seção 2, 2006. p. 1-22. Disponível em: <http://www.interfacehs.sp.senac.br/images/artigos/36_pdf.pdf>. Acesso em 14 de Jun. de 2010.

SALDIVA, Paulo H. N. *et al.* **Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997.** Rev. Saúde Pública [online], vol.38, n.6, 2004. p. 751-757. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v38n6/01.pdf>>. Acesso em 20 de Dez. de 2009.

SALGADO, Paulo Eduardo de Toledo. **Informações gerais ecotoxicológicas de Material Particulado.** Salvador: Centro de Recursos Ambientais – CRA, 2003. 155p. (Caderno de referência ambiental; v.14).

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 495p.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Decreto Estadual n.º. 8468 de 08/09/76. Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. São Paulo, 1976.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Processo SMA n.º. 06-01312-98, referente à ampliação das Salas Fornos 120kA I e III (LI) da CBA. São Paulo: CETESB, 1998.

_____. Processo SMA n.º. 06-01375-98, referente à ampliação da Fábrica de Alumina (LI) da CBA. São Paulo: CETESB, 1998.

_____. Processo SMA n.º. 06-00661-98, referente à ampliação das Salas Fornos 127kA II e IV e Laminação (LI) da CBA. São Paulo: CETESB, 1998.

_____. Processo SMA n.º. 06-00916-99, referente à instalação das Salas Fornos 127kA V(A e B) (LI) da CBA. São Paulo: CETESB, 2001.

_____. Processo SMA n.º. 06-01166-03, referente à construção das Salas Fornos 127kA VI (LP) da CBA. São Paulo: CETESB, 2004.

_____. Processo SMA nº. 06-01214-04, referente à Substituição de combustíveis por GN (LI) da CBA. São Paulo: CETESB, 2004.

_____. Processo SMA nº. 06-00073-96, referente à operação de máquinas casters da Fundição e forno de calcinação da Alumina (LO) da CBA. São Paulo: CETESB, 2005.

_____. Processo SMA nº. 06-00977-04, referente à construção das Salas Fornos 127kA VII (LP) da CBA. São Paulo: CETESB, 2005.

_____. Processo SMA nº. 06-00232-05, referente à ampliação da Fábrica de Alumina e da regularização da capacidade produtiva dos calcinadores de óxido de alumínio; Ampliação da Fundição e regularização da capacidade produtiva; Ampliação da Laminação e regularização da capacidade produtiva (LP) da CBA. São Paulo: CETESB, 2005.

_____. Auto de Inspeção SMA nº. 1273506. Documento entregue à CETESB pela Companhia Brasileira de Alumínio referente ao monitoramento da qualidade do ar e amostragens realizadas nas chaminés da fábrica no ano de 2007 e primeiro semestre de 2008. Itu, SP: CETESB, 2008.

SEADE, Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Atlas SEADE da Economia Paulista**. São Paulo: SEADE, 2006.

_____. **Perfil Municipal**. Disponível em <www.seade.gov.br>. Acesso em 31 de Mai. de 2010.

SEVÁ FILHO, A. O. **No limite dos riscos e da dominação: a politização dos investimentos industriais de grande porte**. 1988. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 1988.

_____. **Riscos técnicos coletivos ambientais na região de Campinas. Campinas: UNICAMP**, 1997. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~seva>>. Acesso em 10 de Nov. de 2009.

_____. **Imagens de um Processo de fabricação eletro-intensivo: o Alumínio Primário (visita CBA out. 2006, miscelânea Alcan 1998 e Albrás 2005)**. 1ª versão. Campinas: Universidade Estadual de Campinas [UNICAMP], 2006. Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~seva/pdf_eneramb_serie2b_ALUM_CBA_Albras_Alcan_nov06.pdf>. Acesso em 12 de Fev. de 2010.

SHREVE, Randolph Norris. **Shreve's Chemical Process Industries**. New York: McGraw-Hill, 1984. 859p.

SORLIE, M., OYE, H. A. **Cathodes in aluminium electrolysis**. Dusseldorf, Germany: Aluminium-Verlag Publishers, 1989. 294p.

THE WORLD BANK. **Environmental assessment sourcebook – Update**. Environmental hazard and risk assessment. Number 21. Environmental Department, 1997. Disponível em <<http://siteresources.worldbank.org/INTSAFEPOL/Resources/Update21EnvironmentalHazardAndRiskAssessmentDecember1997.pdf>>. Acesso em 10 de Dez. de 2009.

USEPA, US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Risk Assessment Guidance for Superfund. Human Health Evaluation Manual (Part A)**. Interim Final,

1989. Disponível em <<http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/index.htm>>. Acesso em 12 de Dez. de 2009.

_____. **SCREEN 3 Model User's Guide**. Washington: USEPA, 1995. Disponível em: <<http://www.epa.gov/scram001/userg/screen/screen3d.pdf>>. Acesso em 20 de Fev. de 2010.

_____. **Compilation of air pollutant emission factors. Primary Aluminum Production, Section 12.1**. Final Section, 1998. Washington: USEPA, 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s01.pdf>>. Acesso em 04 de Nov. de 2009.

_____. **Plain Language Guide to the Primary Aluminum NESHAP 40 CFR Part 63, Subpart LL, Emission Standards Division (ESD)**. Policy, Planning, and Standards Group (PPSG), 1999a. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/atw/alum/pal-guid.pdf>>. Acesso em 04 de Nov. de 2009.

_____. **Ozone and your health**. Washington: US Environmental Protection Agency, 1999b. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ozonepollution/pdfs/health.pdf>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

_____. **Hydrogen Fluoride**. Washington: US Environmental Protection Agency, 2000. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hydrogen.html>>. Acesso em 04 de Nov. de 2009.

_____. **Particle Pollution and Your Health**. Washington: US Environmental Protection Agency, 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/particles/pdfs/pm-color.pdf>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007.

WHO, WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Sulfur oxides and suspended particulate matter**. Environmental Health Criteria, 8. Geneva: World Health Organization, 1979. 108p. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc008.htm>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

_____. **Carbon monoxide**. Environmental Health Criteria, 213, 2º ed. Geneva: WHO, 1999. 492p. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc213.htm>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

_____. **Fluorides**. Environmental Health Criteria, 227. Geneva: WHO, 2002. 268p. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc227.htm>>. Acesso em 19 de Dez. de 2009.

ANEXOS

ANEXO I – Dados e resultados obtidos na simulação da dispersão de material particulado em Alumínio, SP, usando o software SCREEN 3 da US Environmental Protection Agency

Área: Salas Fornos

Todos os valores referentes à emissão de poluentes atmosféricos, temperatura e velocidade dos gases na saída da chaminé dos lavadores de gases presentes nas Salas Fornos (Tabela 1) foram considerados como sendo a média aritmética dos valores de concentração de material particulado obtidos no monitoramento realizado pela CBA e CETESB, constantes nos Processos SMA n°. 06-00977-04, 2004; n°. 06-0916-99, 2001; n°. 06-1166-03, 2003 e no Auto de Inspeção SMA n°. 1273506, 2008. Cabe reiterar que os lavadores de gases a seco são muito semelhantes, sendo a única diferença entre eles o tamanho do diâmetro interno da chaminé. Assim sendo, foram consideradas as emissões médias de material particulado, a temperatura e a velocidade dos gases na saída da chaminé para todos os lavadores. Como existem 27 lavadores de gases a úmido na planta industrial da CBA e cada lavador tem quatro chaminés, sendo uma reserva, o valor de concentração média de material particulado considerado para uma única chaminé dos lavadores de gases a úmido será multiplicado por 3 e logo depois por 27, podendo-se, assim, estimar a quantidade total de material particulado emitido pela planta da CBA. O mesmo procedimento será adotado para os lavadores de gases a seco. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos na simulação realizada com base no modelo SCREEN 3 para as chaminés das Salas Fornos.

Tabela 1. Dados de chaminés das Salas Fornos da CBA usados no SCREEN 3 para simular a dispersão de material particulado no ar atmosférico de Alumínio, SP

Fontes de emissão de poluentes da Redução Eletrolítica								
Fonte/Processo	Sistema de controle da poluição do ar	Emissão	T (K)		Q (m³/h)	V (m/s)	Chaminé (m)	
		MP (g/s)	Chaminé	Ambiente			Altura	Diâmetro
Salas Fornos 70-90kA	Lavador de Gases a Seco-Central SF 70-90kA (1 lavador)	0,264	355	293	224375,5	15,0	50	2,0
Salas Fornos 127kA	Lavador de Gases a Seco-Central 1e 2 (2 lavadores) ^(a)	0,264	355	293	224375,5	15,0	50	2,2
Salas Fornos 127kA	Demais Lavadores de Gases a Seco (8 lavadores) ^(b)	0,264	355	293	224375,5	15,0	50	2,4
Salas Fornos 127kA (V, VI e VII)	Lavador de Gases a Úmido (27 lavadores de gases a úmido) ^(c)	0,089	296	293	318272,3	23,3	34	2,2
^(a) Os valores apresentados na tabela se referem apenas aos valores de uma chaminé dos lavadores gases a seco								
^(b) Os valores apresentados na tabela se referem apenas aos valores de uma chaminé dos lavadores gases a seco								
^(c) Cada lavador a úmido é composto por quatro chaminés e os valores apresentados na tabela se referem apenas aos valores de uma chaminé								

Fonte: SÃO PAULO/Processo SMA n°. 06-00977-04, 2004; SÃO PAULO/Processo SMA n°. 06-00916-99, 2001; SÃO PAULO/Processo SMA n°. 06-01166-03, 2004; SÃO PAULO/Auto de Inspeção SMA n°. 1273506, 2008

Quadro 1. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para o Lavador de Gases a Seco-Central SF 70-90kA

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M³) 24h
10	0	1	1	1,3	320	242,04	8,35	8,08	NO	0,0000
100	0,06334	3	10	13,8	3200	66,07	21,68	20,11	NO	0,0253
200	1,00200	2	5	6,4	1600	88,41	62,01	53,08	NO	0,4008
300	1,19700	3	4,5	6,2	1440	89,38	63,12	60,78	NO	0,4788
400	1,22300	3	3	4,1	960	109,06	83,43	81,76	NO	0,4892
500	1,15600	3	2	2,8	640	138,6	103,56	103,15	NO	0,4624
600	1,12700	4	3	4,5	960	104,5	87,61	78,88	NO	0,4508
700	1,10300	1	1	1,3	320	242,04	205,45	225,81	NO	0,4412
800	1,06900	1	1	1,3	320	242,04	229,48	263,37	NO	0,4276
900	1,04000	3	1	1,4	320	227,19	177,17	186,98	NO	0,4160
1000	1,15400	6	1	1,6	10000	111,96	94,64	53,60	NO	0,4616
1100	1,28300	6	1	1,6	10000	111,96	102,38	56,88	NO	0,5132
1200	1,38100	6	1	1,6	10000	111,96	109,94	60,04	NO	0,5524
1300	1,45000	6	1	1,6	10000	111,96	117,33	63,09	NO	0,5800
1400	1,49700	6	1	1,6	10000	111,96	124,56	66,03	NO	0,5988
1500	1,52600	6	1	1,6	10000	111,96	131,64	68,88	NO	0,6104
1600	1,54000	6	1	1,6	10000	111,96	138,57	71,64	NO	0,6160
1700	1,54300	6	1	1,6	10000	111,96	145,36	74,32	NO	0,6172
1800	1,53800	6	1	1,6	10000	111,96	152,01	76,93	NO	0,6152
1900	1,52600	6	1	1,6	10000	111,96	158,53	79,46	NO	0,6104
2000	1,50900	6	1	1,6	10000	111,96	164,3	81,94	NO	0,6036
2100	1,48800	6	1	1,6	10000	111,96	171,21	84,35	NO	0,5952
2200	1,46500	6	1	1,6	10000	111,96	177,38	86,70	NO	0,5860
2300	1,44000	6	1	1,6	10000	111,96	183,44	89,00	NO	0,5760
2400	1,41300	6	1	1,6	10000	111,96	189,40	91,25	NO	0,5652
2500	1,38600	6	1	1,6	10000	111,96	195,26	93,46	NO	0,5544
2600	1,35900	6	1	1,6	10000	111,96	201,02	95,62	NO	0,5436
2700	1,33200	6	1	1,6	10000	111,96	206,69	97,74	NO	0,5328
2800	1,30500	6	1	1,6	10000	111,96	212,27	99,81	NO	0,5220
2900	1,27800	6	1	1,6	10000	111,96	217,77	101,85	NO	0,5112
3000	1,25100	6	1	1,6	10000	111,96	223,19	103,86	NO	0,5004
3500	1,12700	6	1	1,6	10000	111,96	249,15	113,39	NO	0,4508
4000	1,02000	6	1	1,6	10000	111,96	273,45	122,24	NO	0,4080
4500	0,92790	6	1	1,6	10000	111,96	296,35	130,52	NO	0,3712
5000	0,84940	6	1	1,6	10000	111,96	318,04	138,34	NO	0,3398
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
1681	1,54300	6	1	1,6	10000	111,96	144,01	73,9	NO	0,6172

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna à direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada por meio da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração de Material Particulado máxima ocorre a 1681m da chaminé.

Quadro 2. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para o Lavador de Gases a Seco-Central 1 e 2

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M ³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M ³) 24h
10	0,00000	1	1	1.3	320	271,55	8,82	8,56	NO	0,0000
100	0,04167	3	10	13.8	3200	68,63	21,69	20,13	NO	0,0167
200	0,82890	2	5	6.4	1600	94,31	62,07	53,15	NO	0,3316
300	1,03800	3	5	6.9	1600	90,88	63,06	60,72	NO	0,4152
400	1,06000	3	3,5	4.8	1120	108,41	83,29	81,62	NO	0,4240
500	1,01000	3	2,5	3.4	800	131,77	103,10	102,69	NO	0,4040
600	0,99180	1	1	1.3	320	271,55	183,67	192,83	NO	0,3967
700	1,06300	1	1	1.3	320	271,55	207,86	228,01	NO	0,4252
800	1,04900	1	1	1.3	320	271,55	231,64	265,26	NO	0,4196
900	0,99340	1	1	1.3	320	271,55	254,94	304,39	NO	0,3974
1000	1,00700	6	1	1.6	10000	116,02	94,86	54,00	NO	0,4028
1100	1,13300	6	1	1.6	10000	116,02	102,58	57,25	NO	0,4532
1200	1,23200	6	1	1.6	10000	116,02	110,13	60,39	NO	0,4928
1300	1,30500	6	1	1.6	10000	116,02	117,51	63,42	NO	0,5220
1400	1,35800	6	1	1.6	10000	116,02	124,73	66,35	NO	0,5432
1500	1,39400	6	1	1.6	10000	116,02	131,80	69,19	NO	0,5576
1600	1,41500	6	1	1.6	10000	116,02	138,72	71,94	NO	0,5660
1700	1,42500	6	1	1.6	10000	116,02	145,50	74,61	NO	0,5700
1800	1,42700	6	1	1.6	10000	116,02	152,15	77,20	NO	0,5708
1900	1,42200	6	1	1.6	10000	116,02	158,66	79,73	NO	0,5688
2000	1,41100	6	1	1.6	10000	116,02	165,06	82,19	NO	0,5644
2100	1,39700	6	1	1.6	10000	116,02	171,34	84,60	NO	0,5588
2200	1,37900	6	1	1.6	10000	116,02	177,50	86,95	NO	0,5516
2300	1,36000	6	1	1.6	10000	116,02	183,56	89,24	NO	0,5440
2400	1,33800	6	1	1.6	10000	116,02	189,51	91,49	NO	0,5352
2500	1,31600	6	1	1.6	10000	116,02	195,37	93,69	NO	0,5264
2600	1,29300	6	1	1.6	10000	116,02	201,13	95,84	NO	0,5172
2700	1,26900	6	1	1.6	10000	116,02	206,79	97,95	NO	0,5076
2800	1,24600	6	1	1.6	10000	116,02	212,37	100,03	NO	0,4984
2900	1,22200	6	1	1.6	10000	116,02	217,87	102,06	NO	0,4888
3000	1,19900	6	1	1.6	10000	116,02	223,28	104,06	NO	0,4796
3500	1,08700	6	1	1.6	10000	116,02	249,23	113,58	NO	0,4348
4000	0,98830	6	1	1.6	10000	116,02	273,53	122,41	NO	0,3953
4500	0,90260	6	1	1.6	10000	116,02	296,42	130,68	NO	0,3610
5000	0,82870	6	1	1.6	10000	116,02	318,10	138,49	NO	0,3315
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
1769	1,42700	6	1	1,6	10000	116,02	150,04	76,38	NO	0,5708

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna à direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada por meio da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração máxima de Material Particulado ocorre a 1769m das chaminés.

Quadro 3. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para os demais Lavadores de Gases a Seco das Salas Fornos 127kA

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M ³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M ³) 24h
10	0,00000	1	1	1,3	320	302,44	9,27	9,04	NO	0,0000
100	0,26420	3	10	13,8	3200	71,31	21,70	20,14	NO	0,1057
200	0,73820	3	10	13,8	3200	71,31	42,51	40,18	NO	0,2953
300	0,89860	3	5	6,9	1600	96,58	63,14	60,81	NO	0,3594
400	0,93030	3	4	5,5	1280	108,23	83,07	81,39	NO	0,3721
500	0,88670	3	3	4,1	960	127,64	102,84	102,43	NO	0,3547
600	0,95610	1	1	1,3	320	302,44	186,90	195,91	NO	0,3824
700	1,04100	1	1	1,3	320	302,44	210,72	230,61	NO	0,4164
800	1,03500	1	1	1,3	320	302,44	234,20	267,50	NO	0,4140
900	0,98340	1	1	1,3	320	302,44	257,28	306,35	NO	0,3934
1000	0,94290	3	1	1,4	320	282,92	197,48	210,78	NO	0,3772
1100	1,00300	6	1	1,6	10000	119,96	102,80	57,64	NO	0,4012
1200	1,10100	6	1	1,6	10000	119,96	110,33	60,75	NO	0,4404
1300	1,17700	6	1	1,6	10000	119,96	117,70	63,77	NO	0,4708
1400	1,23400	6	1	1,6	10000	119,96	124,91	66,68	NO	0,4936
1500	1,27500	6	1	1,6	10000	119,96	131,97	69,50	NO	0,5100
1600	1,30200	6	1	1,6	10000	119,96	138,88	72,24	NO	0,5208
1700	1,31800	6	1	1,6	10000	119,96	145,65	74,90	NO	0,5272
1800	1,32500	6	1	1,6	10000	119,96	152,29	77,48	NO	0,5300
1900	1,32600	6	1	1,6	10000	119,96	158,80	80,00	NO	0,5304
2000	1,32100	6	1	1,6	10000	119,96	165,19	82,46	NO	0,5284
2100	1,31200	6	1	1,6	10000	119,96	171,46	84,86	NO	0,5248
2200	1,29900	6	1	1,6	10000	119,96	177,63	87,20	NO	0,5196
2300	1,28400	6	1	1,6	10000	119,96	183,68	89,49	NO	0,5136
2400	1,26700	6	1	1,6	10000	119,96	189,63	91,73	NO	0,5068
2500	1,24900	6	1	1,6	10000	119,96	195,48	93,92	NO	0,4996
2600	1,23000	6	1	1,6	10000	119,96	201,24	96,07	NO	0,4920
2700	1,21000	6	1	1,6	10000	119,96	206,90	98,18	NO	0,4840
2800	1,19000	6	1	1,6	10000	119,96	212,48	100,24	NO	0,4760
2900	1,16900	6	1	1,6	10000	119,96	217,97	102,27	NO	0,4676
3000	1,14800	6	1	1,6	10000	119,96	223,38	104,27	NO	0,4592
3500	1,04800	6	1	1,6	10000	119,96	249,32	113,77	NO	0,4192
4000	0,95770	6	1	1,6	10000	119,96	273,61	122,59	NO	0,3831
4500	0,87790	6	1	1,6	10000	119,96	296,49	130,85	NO	0,3512
5000	0,80840	6	1	1,6	10000	119,96	318,17	138,65	NO	0,3234
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
1858	1,32700	6	1	1,6	10000	119,96	156,02	78,93	NO	0,5308

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna à direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada por meio da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração máxima de Material Particulado ocorre a 1858m das chaminés.

Quadro 4. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para os Lavadores de Gases a Úmido

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M ³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M ³) 24h
10	0,00000	5	1	1,4	10000	72,88	11,16	11,14	NO	0,0000
100	0,41810	2	5	6	1600	59,6	32,18	26,16	NO	0,1672
200	0,92450	3	4	5,7	1440	60,75	43,02	40,72	NO	0,3698
300	0,92610	3	2	3,2	800	82,16	63,86	61,56	NO	0,3704
400	0,88210	4	3	4,1	960	71,75	60,39	54,00	NO	0,3528
500	1,12400	6	1	1,4	10000	69,41	51,22	31,89	NO	0,4496
600	1,44100	6	1	1,4	10000	69,41	60,13	36,26	NO	0,5764
700	1,61300	6	1	1,4	10000	69,41	68,81	40,40	NO	0,6452
800	1,68100	6	1	1,4	10000	69,41	77,26	44,32	NO	0,6724
900	1,68200	6	1	1,4	10000	69,41	85,49	48,05	NO	0,6728
1000	1,64500	6	1	1,4	10000	69,41	93,52	51,60	NO	0,6580
1100	1,58800	6	1	1,4	10000	69,41	101,34	55,00	NO	0,6352
1200	1,52000	6	1	1,4	10000	69,41	108,97	58,26	NO	0,6080
1300	1,44900	6	1	1,4	10000	69,41	116,43	61,39	NO	0,5796
1400	1,37800	6	1	1,4	10000	69,41	123,71	64,41	NO	0,5512
1500	1,30900	6	1	1,4	10000	69,41	130,84	67,33	NO	0,5236
1600	1,24400	6	1	1,4	10000	69,41	137,80	70,15	NO	0,4976
1700	1,18300	6	1	1,4	10000	69,41	144,63	72,89	NO	0,4732
1800	1,12600	6	1	1,4	10000	69,41	151,31	75,54	NO	0,4504
1900	1,07200	6	1	1,4	10000	69,41	157,86	78,12	NO	0,4288
2000	1,02300	6	1	1,4	10000	69,41	164,29	80,64	NO	0,4092
2100	0,97660	6	1	1,4	10000	69,41	170,60	83,09	NO	0,3906
2200	0,93390	6	1	1,4	10000	69,41	176,79	85,48	NO	0,3736
2300	0,89420	6	1	1,4	10000	69,41	182,87	87,81	NO	0,3577
2400	0,85720	6	1	1,4	10000	69,41	188,84	90,09	NO	0,3429
2500	0,82290	6	1	1,4	10000	69,41	194,72	92,32	NO	0,3292
2600	0,79080	6	1	1,4	10000	69,41	200,50	94,51	NO	0,3163
2700	0,76090	6	1	1,4	10000	69,41	206,18	96,65	NO	0,3044
2800	0,73300	6	1	1,4	10000	69,41	211,78	98,75	NO	0,2932
2900	0,70680	6	1	1,4	10000	69,41	217,29	100,81	NO	0,2827
3000	0,68230	6	1	1,4	10000	69,41	222,72	102,84	NO	0,2729
3500	0,57990	6	1	1,4	10000	69,41	248,72	112,46	NO	0,2320
4000	0,50280	6	1	1,4	10000	69,41	273,06	121,37	NO	0,2011
4500	0,44290	6	1	1,4	10000	69,41	295,99	129,71	NO	0,1772
5000	0,39530	6	1	1,4	10000	69,41	317,70	137,57	NO	0,1581
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
851	1,68800	6	1	1,4	10000	69,41	81,57	46,28	NO	0,6752

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna da direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada através da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A máxima concentração de MP ocorre a 851m das chaminés dos lavadores de gases a úmido.

Área: Alumina

Todos os valores referentes à emissão, à temperatura e à velocidade dos gases na saída das chaminés presentes na área da Alumina (Tabela 2) foram considerados como sendo a média aritmética dos valores de concentração de material particulado obtidos no monitoramento realizado pela CBA e CETESB constantes nos Processos SMA n°. 06-00232-05, 2005; n°. 06-01375-98, 1998; n°. 06-00073-96, 2005 e no Auto de Inspeção n°. 1273506, 2008. Em seguida são apresentados os resultados gerados pelo SCREEN 3 para as chaminés da área da Alumina.

Tabela 2. Dados de chaminés da área da Alumina usados no SCREEN 3 para simular a dispersão de Material Particulado em Alumínio, SP

Fontes de emissões de poluentes da Alumina								
Fonte/Processo	Sistema de controle da poluição do ar	Emissão	T (K)		Q (m ³ /h)	V (m/s)	Chaminé	
		MP (g/s)	Chaminé	Ambiente			Altura (m)	Diâmetro (m)
Calcinador nº. 5	Precipitador eletrostático nº. 5	0,444	468	293	106363	16,7	39,30	1,5
Calcinador nº. 6	Precipitador eletrostático nº. 6	0,639	448	293	214552	19,0	43,27	2,0
Caldeiras (6 caldeiras)	Lavador de Gases	0,389	423	293	157271	11,5	50,00	2,2

Fonte: SÃO PAULO/Processo SMA n°. 06-01375-98, 1998; SÃO PAULO/Processo SMA n°. 06-00073-96, 2005; SÃO PAULO/Processo SMA n°. 06-00232-05, 2005; SÃO PAULO/Auto de Inspeção SMA n°. 1273506, 2008

Quadro 5. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para o Calcinador nº. 5 da Alumina

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M³) 24h
10	0,00000	1	1	1,2	320	287,39	7,25	6,94	NO	0,0000
100	0,22330	3	10	13,1	3200	61,78	21,71	20,15	NO	0,0893
200	1,93000	3	10	13,1	3200	61,78	42,52	40,19	NO	0,7720
300	2,07700	3	5	6,6	1600	85,64	63,18	60,85	NO	0,8308
400	1,95700	3	3	4,6	1120	105,49	83,57	81,90	NO	0,7828
500	1,90800	4	4	6,3	1440	87,38	74,31	66,71	NO	0,7632
600	1,82300	4	3	4,9	1120	101,12	88,00	79,32	NO	0,7292
700	1,82700	1	1	1,2	320	287,39	210,30	230,23	NO	0,7308
800	1,81100	1	1	1,2	320	287,39	233,82	267,17	NO	0,7244
900	2,12900	6	1	1,5	10000	109,29	87,21	51,05	NO	0,8516
1000	2,40900	6	1	1,5	10000	109,29	95,09	54,40	NO	0,9636
1100	2,62200	6	1	1,5	10000	109,29	102,80	57,64	NO	1,0488
1200	2,77400	6	1	1,5	10000	109,29	110,33	60,76	NO	1,1096
1300	2,87600	6	1	1,5	10000	109,29	117,70	63,77	NO	1,1504
1400	2,93800	6	1	1,5	10000	109,29	124,91	66,68	NO	1,1752
1500	2,96900	6	1	1,5	10000	109,29	131,97	69,50	NO	1,1876
1600	2,97500	6	1	1,5	10000	109,29	138,88	72,24	NO	1,1900
1700	2,96400	6	1	1,5	10000	109,29	145,65	74,90	NO	1,1856
1800	2,93800	6	1	1,5	10000	109,29	152,29	77,49	NO	1,1752
1900	2,90200	6	1	1,5	10000	109,29	158,80	80,01	NO	1,1608
2000	2,85900	6	1	1,5	10000	109,29	165,19	82,46	NO	1,1436
2100	2,81100	6	1	1,5	10000	109,29	171,47	84,86	NO	1,1244
2200	2,75900	6	1	1,5	10000	109,29	177,63	87,20	NO	1,1036
2300	2,70500	6	1	1,5	10000	109,29	183,68	89,49	NO	1,0820
2400	2,65000	6	1	1,5	10000	109,29	189,63	91,73	NO	1,0600
2500	2,59400	6	1	1,5	10000	109,29	195,48	93,92	NO	1,0376
2600	2,53900	6	1	1,5	10000	109,29	201,24	96,07	NO	1,0156
2700	2,48400	6	1	1,5	10000	109,29	206,90	98,18	NO	0,9936
2800	2,42900	6	1	1,5	10000	109,29	212,48	100,25	NO	0,9716
2900	2,37600	6	1	1,5	10000	109,29	217,97	102,28	NO	0,9504
3000	2,32400	6	1	1,5	10000	109,29	223,38	104,27	NO	0,9296
3500	2,08300	6	1	1,5	10000	109,29	249,32	113,77	NO	0,8332
4000	1,87800	6	1	1,5	10000	109,29	273,61	122,59	NO	0,7512
4500	1,70500	6	1	1,5	10000	109,29	296,49	130,85	NO	0,6820
5000	1,55700	6	1	1,5	10000	109,29	318,17	138,65	NO	0,6228
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
1582	2,97600	6	1	1,5	10000	109,29	137,58	71,73	NO	1,1904

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna da direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada através da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração máxima de Material Particulado ocorre a 1582m da chaminé.

Quadro 6. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para o Calcinador nº. 6 da Alumina

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M³) 24h
10	0,00000	1	1	1,2	440,8	439,75	9,19	8,95	NO	0,0000
100	0,01440	3	10	13,4	3200	79,79	21,78	20,23	NO	0,0058
200	1,24400	3	10	13,4	3200	79,79	42,61	40,29	NO	0,4976
300	1,67700	3	8	10,7	2560	89,33	62,86	60,51	NO	0,6708
400	1,59800	3	5	6,7	1600	116,97	83,11	81,44	NO	0,6392
500	1,54900	4	8	11,5	2560	86,08	73,75	66,08	NO	0,6196
600	1,49800	4	5	7,2	1600	111,76	88,18	79,52	NO	0,5992
700	1,44700	4	5	7,2	1600	111,76	100,91	91,21	NO	0,5788
800	1,37600	4	4	5,8	1280	128,88	114,06	103,51	NO	0,5504
900	1,44900	1	1	1,2	440,8	439,75	271,70	318,56	NO	0,5796
1000	1,63800	6	1	1,6	10000	130,93	96,28	56,46	NO	0,6552
1100	1,89300	6	1	1,6	10000	130,93	103,90	59,58	NO	0,7572
1200	2,11000	6	1	1,6	10000	130,93	111,36	62,60	NO	0,8440
1300	2,29000	6	1	1,6	10000	130,93	118,66	65,53	NO	0,9160
1400	2,43500	6	1	1,6	10000	130,93	125,82	68,36	NO	0,9740
1500	2,54800	6	1	1,6	10000	130,93	132,83	71,12	NO	1,0192
1600	2,63500	6	1	1,6	10000	130,93	139,70	73,80	NO	1,0540
1700	2,69800	6	1	1,6	10000	130,93	146,43	76,40	NO	1,0792
1800	2,74200	6	1	1,6	10000	130,93	153,04	78,94	NO	1,0968
1900	2,76900	6	1	1,6	10000	130,93	159,52	81,41	NO	1,1076
2000	2,78300	6	1	1,6	10000	130,93	165,88	83,83	NO	1,1132
2100	2,78700	6	1	1,6	10000	130,93	172,13	86,19	NO	1,1148
2200	2,78100	6	1	1,6	10000	130,93	178,26	88,49	NO	1,1124
2300	2,76800	6	1	1,6	10000	130,93	184,30	90,75	NO	1,1072
2400	2,74900	6	1	1,6	10000	130,93	190,23	92,96	NO	1,0996
2500	2,72500	6	1	1,6	10000	130,93	196,06	95,12	NO	1,0900
2600	2,69800	6	1	1,6	10000	130,93	201,80	97,25	NO	1,0792
2700	2,66800	6	1	1,6	10000	130,93	207,45	99,33	NO	1,0672
2800	2,63600	6	1	1,6	10000	130,93	213,01	101,37	NO	1,0544
2900	2,60200	6	1	1,6	10000	130,93	218,49	103,38	NO	1,0408
3000	2,56700	6	1	1,6	10000	130,93	223,89	105,36	NO	1,0268
3500	2,38500	6	1	1,6	10000	130,93	249,78	114,77	NO	0,9540
4000	2,20800	6	1	1,6	10000	130,93	274,02	123,51	NO	0,8832
4500	2,04500	6	1	1,6	10000	130,93	296,88	131,72	NO	0,8180
5000	1,89900	6	1	1,6	10000	130,93	318,53	139,47	NO	0,7596
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
2082	2,78700	6	1	1,6	10000	130,93	170,95	85,74	NO	1,1148

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna da direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada através da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração máxima de Material Particulado ocorre a 2082m da chaminé.

Quadro 7. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para o Lavador de Gases das Caldeiras da Alumina

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M³) 24h
10	0,00000	1	1	1,3	320	318,25	6,81	6,48	NO	0,0000
100	0,03677	3	10	13,8	3200	71,66	21,71	20,15	NO	0,0147
200	1,07100	3	10	13,8	3200	71,66	42,52	40,19	NO	0,4284
300	1,26600	3	8	11	2560	78,72	62,69	60,34	NO	0,5064
400	1,29000	3	4	5,5	1280	111,88	83,14	81,47	NO	0,5160
500	1,22900	3	3	4,1	960	132,5	103,15	102,74	NO	0,4916
600	1,40600	1	1	1,3	320	318,25	188,69	197,61	NO	0,5624
700	1,52700	1	1	1,3	320	318,25	212,31	232,07	NO	0,6108
800	1,51700	1	1	1,3	320	318,25	235,63	268,75	NO	0,6068
900	1,44200	1	1	1,3	320	318,25	258,58	307,44	NO	0,5768
1000	1,37300	3	1	1,4	320	297,51	198,93	212,13	NO	0,5492
1100	1,40000	3	1	1,4	320	297,51	213,71	231,09	NO	0,5600
1200	1,53600	6	1	1,6	10000	121,88	110,43	60,94	NO	0,6144
1300	1,64900	6	1	1,6	10000	121,88	117,79	63,94	NO	0,6596
1400	1,73500	6	1	1,6	10000	121,88	125,00	66,84	NO	0,6940
1500	1,79700	6	1	1,6	10000	121,88	132,05	69,66	NO	0,7188
1600	1,84100	6	1	1,6	10000	121,88	138,96	72,39	NO	0,7364
1700	1,86900	6	1	1,6	10000	121,88	145,73	75,05	NO	0,7476
1800	1,88300	6	1	1,6	10000	121,88	152,36	77,63	NO	0,7532
1900	1,88800	6	1	1,6	10000	121,88	158,87	80,14	NO	0,7552
2000	1,88400	6	1	1,6	10000	121,88	165,26	82,59	NO	0,7536
2100	1,87400	6	1	1,6	10000	121,88	171,53	84,99	NO	0,7496
2200	1,85900	6	1	1,6	10000	121,88	177,69	87,32	NO	0,7436
2300	1,84000	6	1	1,6	10000	121,88	183,74	89,61	NO	0,7360
2400	1,81800	6	1	1,6	10000	121,88	189,69	91,85	NO	0,7272
2500	1,79400	6	1	1,6	10000	121,88	195,54	94,04	NO	0,7176
2600	1,76800	6	1	1,6	10000	121,88	201,29	96,18	NO	0,7072
2700	1,74100	6	1	1,6	10000	121,88	206,95	98,29	NO	0,6964
2800	1,71300	6	1	1,6	10000	121,88	212,53	100,35	NO	0,6852
2900	1,68500	6	1	1,6	10000	121,88	218,02	102,38	NO	0,6740
3000	1,65700	6	1	1,6	10000	121,88	223,43	104,38	NO	0,6628
3500	1,51700	6	1	1,6	10000	121,88	249,36	113,87	NO	0,6068
4000	1,38900	6	1	1,6	10000	121,88	273,65	122,68	NO	0,5556
4500	1,27600	6	1	1,6	10000	121,88	296,53	130,94	NO	0,5104
5000	1,17700	6	1	1,6	10000	121,88	318,21	138,73	NO	0,4708
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
1901	1,88800	6	1	1,6	10000	121,88	158,87	80,14	NO	0,7552

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna da direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada através da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração máxima de Material Particulado ocorre a 1901m da chaminé.

Área: Fundição

Todos os valores referentes à emissão, à temperatura e à velocidade dos gases na saída das chaminés presentes na área da Fundição (Tabela 3) foram considerados como sendo a média aritmética dos valores de concentração de material particulado obtidos no monitoramento realizado pela CBA e CETESB constantes no Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005 e no Auto de Inspeção SMA nº. 1273506, 2008. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos pela aplicação do SCREEN 3 para as chaminés da área de Fundição.

Tabela 3. Dados de chaminés da área da Fundição usados no SCREEN 3 para simular a dispersão de Material Particulado em Alumínio, SP

Fontes de emissões de poluentes da Fundição							
Fonte/Processo	Emissão	T (K)		Q (m³/h)	V (m/s)	Chaminé	
	MP (g/s)	Chaminé	Ambiente			Altura (m)	Diâmetro (m)
Wagstaff	0,139	313	293	56062	10,1	23,6	1,4
Caster 7/10	0,167	375	293	63006	13,0	18,5	1,31
Chaminé na Central de Gases	0,361	371	293	126761	11,2	47,8	2

Fonte: SÃO PAULO/Processo SMA nº. 06-00232-05, 2005; SÃO PAULO/Auto de Inspeção SMA nº. 1273506, 2008

Quadro 8. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para o Wagstaff da Fundação

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M³) 24h
10	0,00000	1	1	1,1	320	67,62	5,96	5,58	NO	0,0000
100	5,25800	1	2,5	2,8	800	41,21	31,78	25,67	NO	2,1032
200	6,32800	3	1,5	1,8	480	51,71	43,09	40,80	NO	2,5312
300	5,90100	4	1,5	1,9	480	50,53	46,00	40,96	NO	2,3604
400	5,41700	4	1	1,2	320	63,99	60,53	54,16	NO	2,1668
500	4,57100	4	1	1,2	320	63,99	73,94	66,29	NO	1,8284
600	4,61200	6	1	1,3	10000	56,61	60,02	36,08	NO	1,8448
700	4,59700	6	1	1,3	10000	56,61	68,71	40,23	NO	1,8388
800	4,41300	6	1	1,3	10000	56,61	77,17	44,17	NO	1,7652
900	4,15800	6	1	1,3	10000	56,61	85,41	47,91	NO	1,6632
1000	3,88300	6	1	1,3	10000	56,61	93,44	51,47	NO	1,5532
1100	3,61400	6	1	1,3	10000	56,61	101,27	54,87	NO	1,4456
1200	3,36200	6	1	1,3	10000	56,61	108,91	58,14	NO	1,3448
1300	3,13000	6	1	1,3	10000	56,61	116,37	61,28	NO	1,2520
1400	2,91900	6	1	1,3	10000	56,61	123,66	64,31	NO	1,1676
1500	2,72900	6	1	1,3	10000	56,61	130,78	67,23	NO	1,0916
1600	2,55700	6	1	1,3	10000	56,61	137,76	70,06	NO	1,0228
1700	2,40100	6	1	1,3	10000	56,61	144,58	72,79	NO	0,9604
1800	2,26100	6	1	1,3	10000	56,61	151,27	75,45	NO	0,9044
1900	2,13400	6	1	1,3	10000	56,61	157,82	78,04	NO	0,8536
2000	2,01900	6	1	1,3	10000	56,61	164,25	80,55	NO	0,8076
2100	1,91400	6	1	1,3	10000	56,61	170,56	83,01	NO	0,7656
2200	1,81900	6	1	1,3	10000	56,61	176,75	85,40	NO	0,7276
2300	1,73100	6	1	1,3	10000	56,61	182,83	87,73	NO	0,6924
2400	1,65100	6	1	1,3	10000	56,61	188,81	90,02	NO	0,6604
2500	1,57700	6	1	1,3	10000	56,61	194,68	92,25	NO	0,6308
2600	1,50900	6	1	1,3	10000	56,61	200,46	94,44	NO	0,6036
2700	1,44700	6	1	1,3	10000	56,61	206,15	96,58	NO	0,5788
2800	1,38800	6	1	1,3	10000	56,61	211,75	98,68	NO	0,5552
2900	1,33400	6	1	1,3	10000	56,61	217,26	100,74	NO	0,5336
3000	1,28400	6	1	1,3	10000	56,61	222,69	102,77	NO	0,5136
3500	1,07800	6	1	1,3	10000	56,61	248,70	112,40	NO	0,4312
4000	0,92590	6	1	1,3	10000	56,61	273,04	121,32	NO	0,3704
4500	0,81010	6	1	1,3	10000	56,61	295,97	129,66	NO	0,3240
5000	0,71920	6	1	1,3	10000	56,61	317,68	137,52	NO	0,2877
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
180	6,45	3	1,5	1,8	480	51,71	39,28	37,08	NO	2,5800

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna da direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada através da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração máxima de Material Particulado ocorre a 180m da chaminé.

Quadro 9. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para o Caster7/10 da Fundição

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M³) 24h
10	0,00000	1	1	1,1	320	144,14	6,57	6,22	NO	0,0000
100	3,60600	3	10	11,3	3200	29,77	21,66	20,10	NO	1,4424
200	3,32500	4	5	5,8	1600	42,13	31,40	27,88	NO	1,3300
300	3,05700	4	3	4,1	1120	52,26	46,37	41,37	NO	1,2228
400	2,65400	4	2	2,9	800	65,76	60,94	54,61	NO	1,0616
500	2,66100	6	1	1,2	10000	71,54	52,44	33,82	NO	1,0644
600	3,22700	6	1	1,2	10000	71,54	61,18	37,98	NO	1,2908
700	3,52900	6	1	1,2	10000	71,54	69,73	41,95	NO	1,4116
800	3,64200	6	1	1,2	10000	71,54	78,08	45,73	NO	1,4568
900	3,63200	6	1	1,2	10000	71,54	86,23	49,35	NO	1,4528
1000	3,55000	6	1	1,2	10000	71,54	94,19	52,82	NO	1,4200
1100	3,42800	6	1	1,2	10000	71,54	101,97	56,14	NO	1,3712
1200	3,28700	6	1	1,2	10000	71,54	109,56	59,34	NO	1,3148
1300	3,13900	6	1	1,2	10000	71,54	116,97	62,42	NO	1,2556
1400	2,99100	6	1	1,2	10000	71,54	124,23	65,39	NO	1,1964
1500	2,84700	6	1	1,2	10000	71,54	131,32	68,27	NO	1,1388
1600	2,71000	6	1	1,2	10000	71,54	138,27	71,05	NO	1,0840
1700	2,58100	6	1	1,2	10000	71,54	145,07	73,75	NO	1,0324
1800	2,46000	6	1	1,2	10000	71,54	151,73	76,38	NO	0,9840
1900	2,34600	6	1	1,2	10000	71,54	158,27	78,93	NO	0,9384
2000	2,24100	6	1	1,2	10000	71,54	164,68	81,42	NO	0,8964
2100	2,14300	6	1	1,2	10000	71,54	170,97	83,85	NO	0,8572
2200	2,05100	6	1	1,2	10000	71,54	177,15	86,22	NO	0,8204
2300	1,96600	6	1	1,2	10000	71,54	183,21	88,53	NO	0,7864
2400	1,88700	6	1	1,2	10000	71,54	189,18	90,79	NO	0,7548
2500	1,81300	6	1	1,2	10000	71,54	195,04	93,01	NO	0,7252
2600	1,74300	6	1	1,2	10000	71,54	200,81	95,18	NO	0,6972
2700	1,67900	6	1	1,2	10000	71,54	206,49	97,31	NO	0,6716
2800	1,61800	6	1	1,2	10000	71,54	212,08	99,39	NO	0,6472
2900	1,56200	6	1	1,2	10000	71,54	217,58	101,44	NO	0,6248
3000	1,50800	6	1	1,2	10000	71,54	223,00	103,45	NO	0,6032
3500	1,28600	6	1	1,2	10000	71,54	248,98	113,02	NO	0,5144
4000	1,11700	6	1	1,2	10000	71,54	273,30	121,89	NO	0,4468
4500	0,98550	6	1	1,2	10000	71,54	296,21	130,20	NO	0,3942
5000	0,88070	6	1	1,2	10000	71,54	317,90	138,03	NO	0,3523
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
838	3,64900	6	1	1,2	10000	71,54	81,28	47,16	NO	1,4596

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna da direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada através da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração máxima de Material Particulado ocorre a 838m da chaminé.

Quadro 10. Resultados da simulação realizada com o SCREEN 3 para a Chaminé na Central de Gases da Fundação

 *** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

 *** TERRAIN HEIGHT OF 0. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M ³)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH	CONC (UG/M ³) 24h
10	0,00000	1	1	1,3	320	226,28	6,81	6,48	NO	0,0000
100	0,17700	3	10	13,7	3200	61,58	21,67	20,10	NO	0,0708
200	1,60200	2	5	6,3	1600	83,5	61,99	53,05	NO	0,6408
300	1,87300	3	4	5,5	1280	89,06	63,27	60,94	NO	0,7492
400	1,87000	3	2,5	3,4	800	113,82	83,86	82,19	NO	0,7480
500	1,77400	3	2	2,7	640	130,32	103,15	102,74	NO	0,7096
600	1,73700	4	2,5	3,7	800	108,85	87,96	79,27	NO	0,6948
700	1,67300	4	2	3	640	124,12	101,37	91,72	NO	0,6692
800	1,60700	4	2	3	640	124,12	113,52	102,92	NO	0,6428
900	1,62000	6	1	1,6	10000	107,86	86,61	50,00	NO	0,6480
1000	1,85400	6	1	1,6	10000	107,86	94,54	53,43	NO	0,7416
1100	2,03100	6	1	1,6	10000	107,86	102,28	56,72	NO	0,8124
1200	2,15700	6	1	1,6	10000	107,86	109,85	59,88	NO	0,8628
1300	2,24200	6	1	1,6	10000	107,86	117,25	62,94	NO	0,8968
1400	2,29400	6	1	1,6	10000	107,86	124,49	65,89	NO	0,9176
1500	2,32000	6	1	1,6	10000	107,86	131,57	68,74	NO	0,9280
1600	2,32600	6	1	1,6	10000	107,86	138,50	71,51	NO	0,9304
1700	2,31700	6	1	1,6	10000	107,86	145,29	74,19	NO	0,9268
1800	2,29700	6	1	1,6	10000	107,86	151,95	76,80	NO	0,9188
1900	2,26900	6	1	1,6	10000	107,86	158,47	79,34	NO	0,9076
2000	2,23400	6	1	1,6	10000	107,86	164,87	81,82	NO	0,8936
2100	2,19600	6	1	1,6	10000	107,86	171,16	84,23	NO	0,8784
2200	2,15400	6	1	1,6	10000	107,86	177,33	86,59	NO	0,8616
2300	2,11100	6	1	1,6	10000	107,86	183,39	88,90	NO	0,8444
2400	2,06700	6	1	1,6	10000	107,86	189,35	91,15	NO	0,8268
2500	2,02300	6	1	1,6	10000	107,86	195,21	93,36	NO	0,8092
2600	1,97900	6	1	1,6	10000	107,86	200,97	95,52	NO	0,7916
2700	1,93500	6	1	1,6	10000	107,86	206,65	97,64	NO	0,7740
2800	1,89200	6	1	1,6	10000	107,86	212,23	99,72	NO	0,7568
2900	1,85000	6	1	1,6	10000	107,86	217,73	101,76	NO	0,7400
3000	1,80800	6	1	1,6	10000	107,86	223,15	103,77	NO	0,7232
3500	1,61800	6	1	1,6	10000	107,86	249,11	113,31	NO	0,6472
4000	1,45700	6	1	1,6	10000	107,86	273,42	122,16	NO	0,5828
4500	1,32100	6	1	1,6	10000	107,86	296,32	130,45	NO	0,5284
5000	1,20600	6	1	1,6	10000	107,86	318,01	138,27	NO	0,4824
MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 10. M:										
1586	2,32600	6	1	1,6	10000	107,86	137,47	71,1	NO	0,9304

Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Os resultados que se encontram na última coluna da direita (cor cinza) correspondem à concentração média de 24 horas de Material Particulado, calculada através da multiplicação dos resultados encontrados para a concentração de 1 hora por um fator de ajuste igual a 0,4 sugerido pelo SCREEN 3. A concentração máxima de Material Particulado ocorre a 1586m da chaminé.

Gráficos das concentrações estimadas de Material Particulado para distâncias entre 10m e 1000m da fonte de emissão

Como as distâncias menores que 1km não serão visualizadas no mapa de riscos da emissão e dispersão de Material Particulado, pois não ficam bem representadas na escala adotada no mapa, serão criados três gráficos que ilustram as concentrações médias diárias (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dispersadas de cada chaminé considerada no estudo referente à CBA. As distâncias assinaladas nos gráficos variam de 10m a 1km de acordo com as estimativas encontradas na simulação com o software SCREEN 3, apresentadas nos Quadros 1 a 10, anteriormente. Cada gráfico refere-se às chaminés de uma única área, ou seja, serão criados três gráficos, visto que, foram analisadas três áreas de produção da CBA. A finalidade dos gráficos é permitir a visualização da dispersão de Material Particulado a partir de cada chaminé, nos primeiros 1000m. Ressalta-se que não será estimada a contribuição de todas as chaminés dos lavadores de gases a úmido e seco presentes nas Salas Fornos da CBA, sendo, portanto, analisadas apenas quatro chaminés que se diferenciam nessa área como visto e comentado nas informações constantes nos Quadros de 1 a 4 deste anexo.

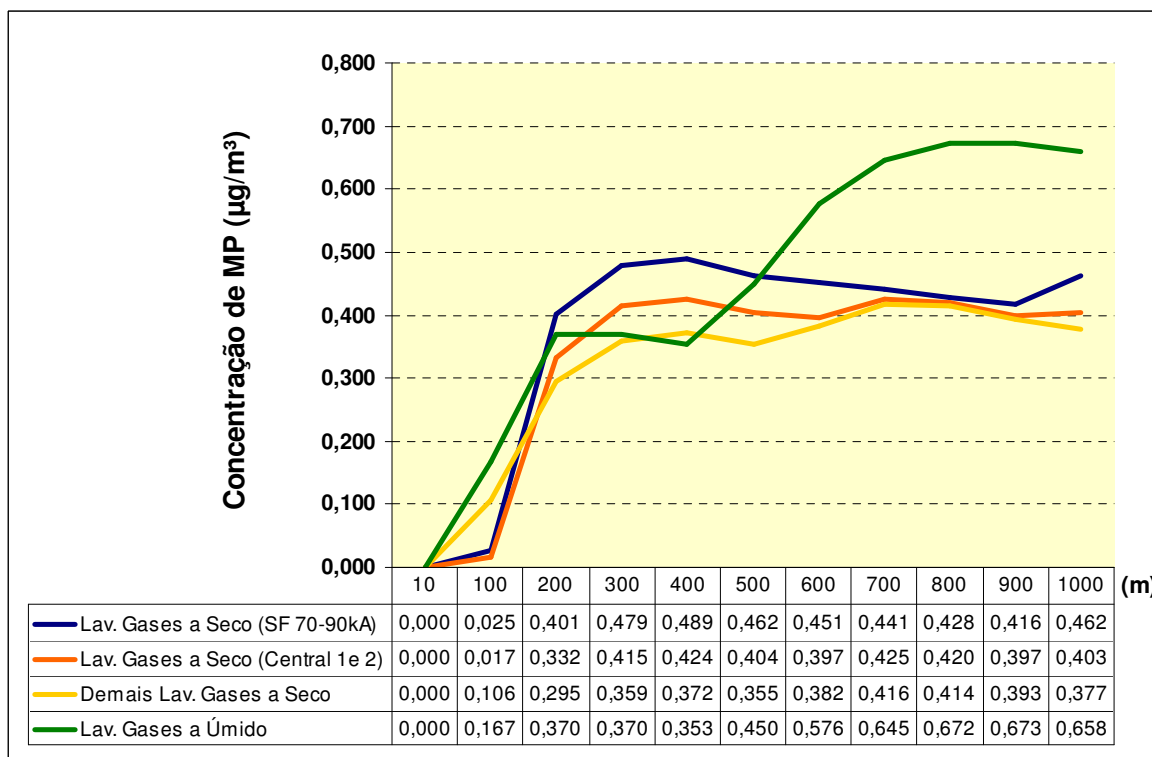


Gráfico 1. Concentrações estimadas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Material Particulado das chaminés das Salas Fornos para as distâncias entre 10m a 1000m da fonte (chaminé)
 Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

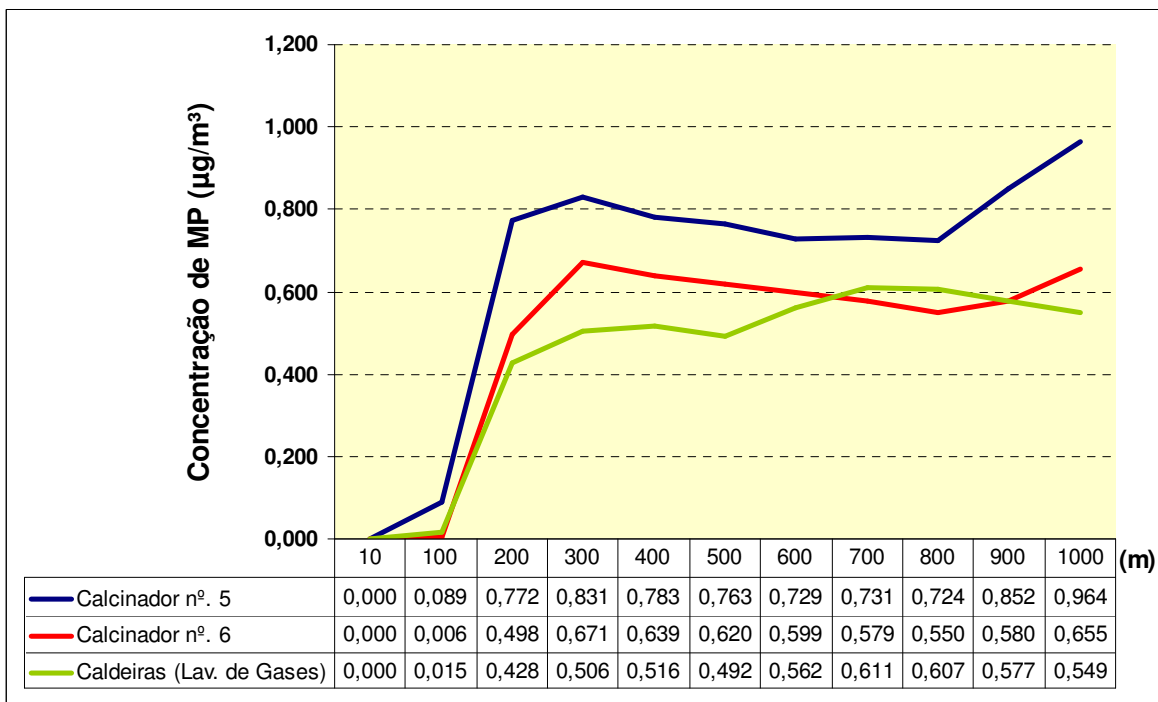


Gráfico 2. Concentrações estimadas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Material Particulado das chaminés da área da Alumina para as distâncias entre 10m a 1000m da fonte (chaminé)
 Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

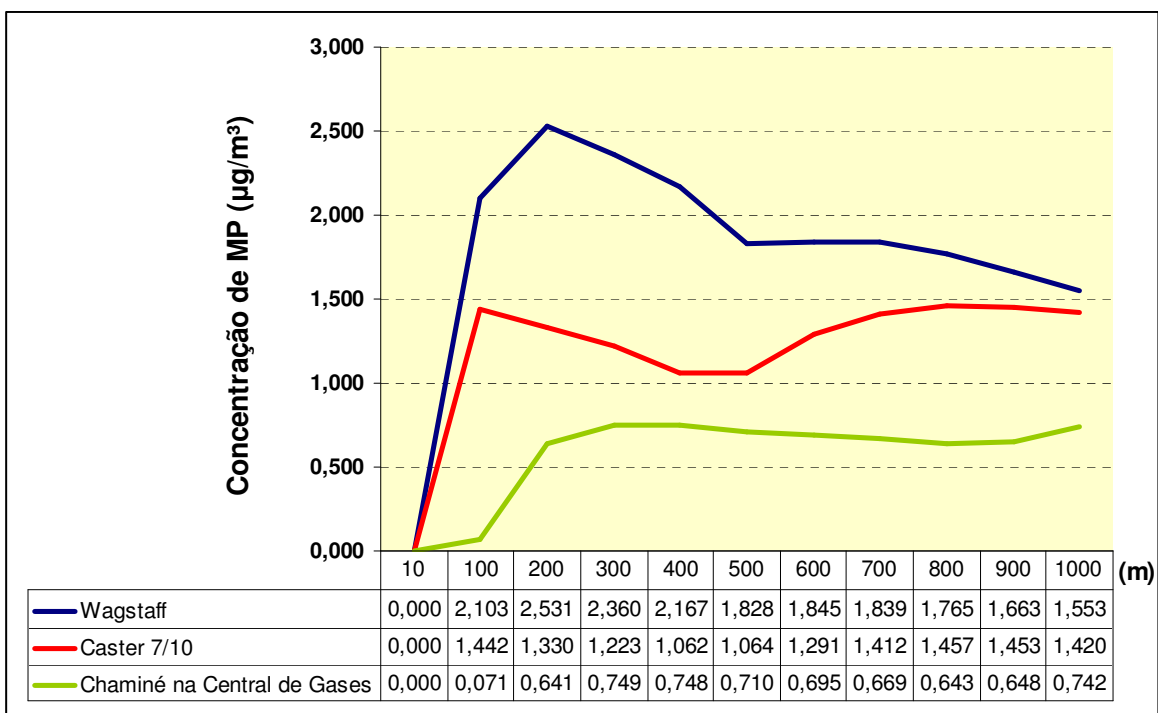


Gráfico 3. Concentrações estimadas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Material Particulado das chaminés da área da Fundição para as distâncias entre 10m a 1000m da fonte (chaminé)
 Fonte: Dados gerados pelo software SCREEN 3

Tabela das concentrações estimadas de Material Particulado para as distâncias entre 1000 e 5000m da fonte de emissão

A Tabela 4 apresenta os valores das concentrações de Material Particulado estimadas no SCREEN 3 para distâncias de 1km, 2km, 3km, 4km e 5km contados a partir das fontes de emissão, e a somatória da concentração média diária de cada uma e da totalidade das fontes de emissão. O valor da concentração média diária de todas as fontes foi utilizada na confecção do mapa de risco de exposição ao Material Particulado no ar atmosférico de Alumínio, SP.

Tabela 4. Concentrações estimadas de Material Particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por fonte para as distâncias compreendidas entre 1000m a 5000m da fonte emissora

Fonte Pontual	Concentração de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de cada tipo de fonte					Quantidade	Concentração de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) final de cada tipo de fonte				
	1000	2000	3000	4000	5000		1000	2000	3000	4000	5000
Lavador de Gases a Seco-Central SF 70-90kA	0,4616	0,6036	0,5004	0,4080	0,3398	1	0,4616	0,6036	0,5004	0,4080	0,3398
Lavador de Gases a Seco-Central 1e 2	0,4028	0,5644	0,4796	0,3953	0,3315	2	0,8056	1,1288	0,9592	0,7906	0,6630
Demais Lavadores de Gases a Seco	0,3772	0,5284	0,4592	0,3831	0,3234	8	3,0173	4,2272	3,6736	3,0646	2,5869
Lavador de Gases a Úmido	0,6580	0,4092	0,2729	0,2011	0,1581	81	53,2980	33,1452	22,1065	16,2907	12,8077
Calcinador nº. 5	0,9636	1,1436	0,9296	0,7512	0,6228	1	0,9636	1,1436	0,9296	0,7512	0,6228
Calcinador nº. 6	0,6552	1,1132	1,0268	0,8832	0,7596	1	0,6552	1,1132	1,0268	0,8832	0,7596
Caldeiras (Lavador de Gases)	0,5492	0,7536	0,6628	0,5556	0,4708	1	0,5492	0,7536	0,6628	0,5556	0,4708
Wagstaff	1,5532	0,8076	0,5136	0,3704	0,2877	1	1,5532	0,8076	0,5136	0,3704	0,2877
Caster 7/10	1,4200	0,8964	0,6032	0,4468	0,3523	1	1,4200	0,8964	0,6032	0,4468	0,3523
Chaminé na Central de Gases	0,7416	0,8936	0,7232	0,5828	0,4824	1	0,7416	0,8936	0,7232	0,5828	0,4824
Concentração Total de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de todas as 98 Fontes Pontuais juntas							63,4653	44,7128	31,6989	24,1440	19,3729

Fonte: Elaboração própria

Cabe ressaltar que, 27 chaminés dos lavadores de gases à úmido não foram contabilizadas, visto que, são consideradas chaminés reservas, embora, algumas vezes as quatro chaminés operam simultaneamente. É importante citar, também, que as maiores concentrações ocorrem bem próximas ou acima dos 1000m de distância da fonte, ou seja, a escala adotada no mapa é adequada para representar a dispersão de Material Particulado das fontes pontuais. Todos os dados das chaminés apresentadas nesse anexo se referem a dados coletados até o primeiro semestre do ano de 2008, portanto, a partir do segundo semestre do ano de 2008, pode ter ocorrido mudanças que foram firmadas no TAC (Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta) junto à CETESB, como, por exemplo, terem instalado lavadores de gases à úmido em outras Salas Fornos. Cabe reiterar que não há dados mais recentes sobre as chaminés da CBA, segundo o técnico ambiental da CETESB.

ANEXO II – Avaliação da influência da emissão de poluentes atmosféricos pela CBA sobre os indicadores de mortalidade no município de Alumínio, SP

Neste trabalho não se pretendeu realizar um estudo epidemiológico para confrontar os dados de concentração de poluentes encontrados na atmosfera aluminense e os problemas de saúde da população local. No entanto, julgou-se interessante comparar o total de óbitos ocorridos no município com os níveis de poluição atmosférica, fortemente influenciados pela atividade industrial da CBA.

Com esse objetivo, foram preparados três gráficos correlacionando a porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias em relação ao total de óbitos e as taxas de emissão de poluentes atmosféricos pela planta industrial da CBA.

Os dados de mortalidade dos municípios brasileiros são disponibilizados pelo DATASUS (Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde). Para o município de Alumínio, os dados disponíveis abrangem o período de 1993 a 2007.

As informações referentes à poluição atmosférica foram obtidas nos Relatórios de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, publicados pela CETESB. Para o município de Alumínio há dados de emissão anual para a planta industrial da CBA para os seguintes poluentes atmosféricos: monóxido de carbono (CO); hidrocarbonetos totais (HC); óxidos de enxofre (SO_x); óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP), referentes ao período de 2003 a 2008.

Os gráficos elaborados referem-se, portanto, ao período de 2003 a 2007, para o qual foi possível haver convergência de dados.

Não foi feita nenhuma avaliação sobre a presença de ozônio troposférico na atmosfera de Alumínio, pois ele é um poluente secundário, formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis (COV's) e óxidos de nitrogênio (NO_x) em presença de luz solar, portanto, não há dados de emissão para este poluente atmosférico.

Como a emissão de HC e CO, em toneladas por ano, é bem menor do que a de SO_x, NO_x e MP, decidiu-se elaborar um gráfico separado para esses dois poluentes, de modo a facilitar a comparação dos níveis de emissão de poluentes atmosféricos com a porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias, evitando-se, assim, que haja distorção nas curvas obtidas para esses dois poluentes. O gráfico resultante está apresentado na Figura 1.

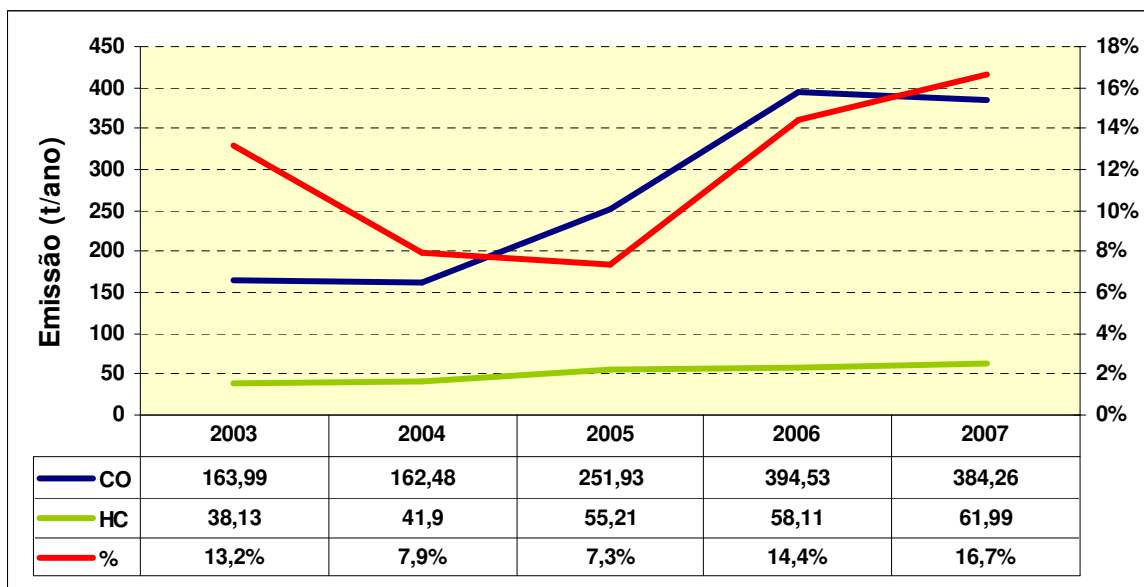


Figura 1. Comparação entre os dados de emissão de HC e CO com a porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias no município de Alumínio (2003-2007)

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a); Ministério da Saúde/DATASUS (2009)

A curva do gráfico referente ao poluente CO e a porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias apresenta, em 2005 e 2006, a mesma tendência, entretanto, nos outros anos não há coincidência, bem como não há relação entre a curva de HC com a de porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias.

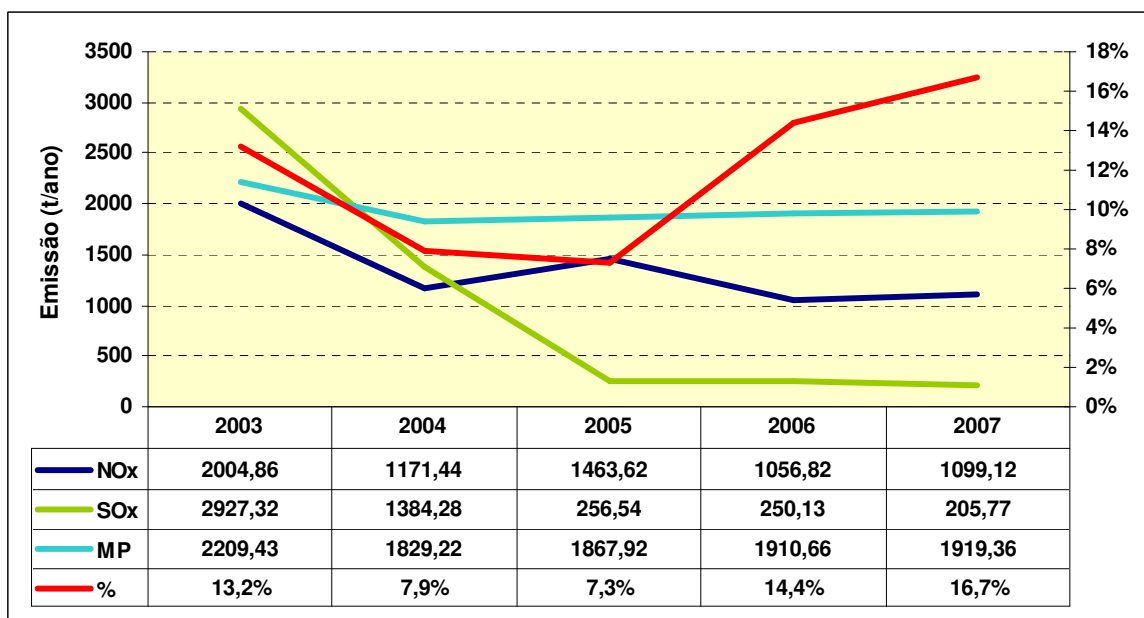


Figura 2. Comparação entre os dados de emissão de SO_x, NO_x e MP com a porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias no município de Alumínio (2003-2007)

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2004b; 2005; 2006; 2007; 2008a; 2009a); Ministério da Saúde/DATASUS (2009)

As curvas obtidas para os poluentes NO_x, SO_x e material particulado abrangeram o período 2003 a 2007, como assinalado. A comparação dos resultados com a curva de porcentagem de óbitos por doenças respiratórias está apresentada no gráfico da Figura 2.

A curva referente à porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias não seguiu a tendência de nenhuma das curvas dos poluentes considerados no gráfico da Figura 2, porém, nos anos de 2003 e 2004, a curva de porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias mostra uma queda semelhante àquela verificada nas curvas dos poluentes considerados.

Para os fluoretos, há dados de emissão para o período de 1993 a 2007 constantes no Processo SMA n°. 06-00661-98 e, por isso, foi elaborado um gráfico independente dos outros poluentes, também com o objetivo de comparar os níveis de emissão de fluoretos com a porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias. O gráfico resultante está apresentado na Figura 3.

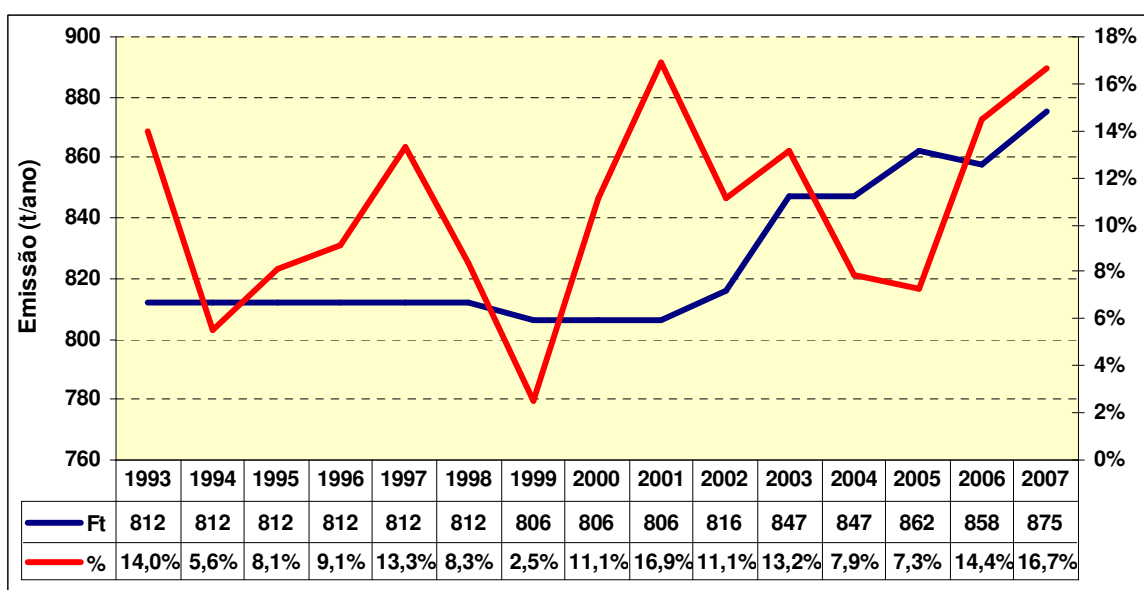


Figura 3. Comparação entre os dados de emissão de Fluoretos Totais (Ft)⁷⁶ com a porcentagem de óbitos causados por doenças respiratórias no município de Alumínio (1993-2007)

Fonte: Elaboração própria com base em SÃO PAULO/Processo SMA n°. 06-00661-98, 1998; Ministério da Saúde/DATASUS (2009)

Pode-se verificar no gráfico da Figura 3, que não há similaridade nenhuma entre as curvas de emissão de fluoretos totais com a curva de porcentagem de óbitos causados por

⁷⁶ Os dados apresentados correspondem à soma das emissões primárias (aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão) e secundárias (aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera) de fluoretos totais (fluoretos gasosos mais fluoretos particulados).

doenças respiratórias. Somente em 2006 e 2007 é que ambas as curvas apresentaram uma tendência de crescimento similar.

É difícil contabilizar exatamente quantos dos problemas de saúde da população verificados na área de estudo são de responsabilidade exclusiva da poluição atmosférica, ou mesmo, apontar um único poluente como potencializador do aumento de alguma doença em específico, devido, principalmente, à inexistência de estudos epidemiológicos. Cabe ressaltar que na atmosfera os poluentes atmosféricos estão todos em contato, podendo os mesmos, por efeitos sinérgicos, causar maiores danos à saúde humana em conjunto do que individualmente.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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