

OSWALDO DOS SANTOS LUCON

**MODELO HORUS
INVENTÁRIO DE EMISSÕES
DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS
PELA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS EM
INDÚSTRIAS NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

*Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física) para a obtenção do título de **Doutor em Energia.***

São Paulo
2003

OSWALDO DOS SANTOS LUCON

**MODELO HORUS
INVENTÁRIO DE EMISSÕES
DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS
PELA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS EM
INDÚSTRIAS NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

*Tese apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física) para a obtenção do título de **Doutor em Energia**.*

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Moutinho dos Santos

São Paulo
2003

FICHA CATALOGRÁFICA

Lucon, Oswaldo dos Santos
Modelo HORUS - Inventário de emissões de poluentes atmosféricos pela queima de combustíveis em indústrias no Estado de São Paulo. São Paulo, 2003.
229 p.

Tese (Doutorado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo

1. Poluição atmosférica 2. Energéticos. 3. Inventário de emissões
4. Bases de dados
I. Universidade de São Paulo. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA INTERUNIDADES EM ENERGIA

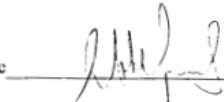
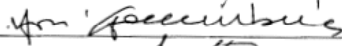
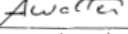
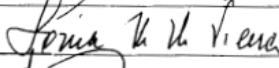
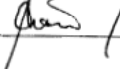
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA – ESCOLA POLITÉCNICA –
FACULDADE DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO – INSTITUTO DE FÍSICA

TERMO DE JULGAMENTO DE
DEFESA DE TESE

Aos dezessete dias do mês de março de 2003, às 9 horas, no Auditório do Prédio de Materiais do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Senhores Professores Doutores: Edmilson Moutinho dos Santos, José Goldemberg, Arnaldo da Silva Walter, Suani Teixeira Coelho, Sonia Maria Manso Vieira, iniciou-se a Defesa de Tese do Sr. **Oswaldo dos Santos Lucon**, intitulada:

“Modelo Horus – Inventário de Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Queima de Combustíveis em Indústrias no Estado de São Paulo”

Concluída a arguição, procedeu-se o julgamento na forma regulamentar, tendo cada membro da Comissão Julgadora considerando a candidata (aprovada/reprovada).
Para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora.

	Assinatura	Conceito
Prof. Dr. <i>Edmilson Moutinho dos Santos</i> - Presidente		(aprovado)
Prof. Dr. <i>José Goldemberg</i>		(aprovado)
Prof. Dr. <i>Arnaldo da Silva Walter</i>		(aprovado)
Prof.ª Dr.ª <i>Sonia Maria Manso Vieira</i>		(aprovado)
Prof.ª Dr.ª <i>Suani Teixeira Coelho</i>		(aprovado)
O candidato foi considerado	<u>aprovado</u>	

Observação: _____

Homologado pela CPG
em 27 03, 03

Agradecimentos

Ao grande amigo João Wagner Alves, que me levou ao IEE.

A Edmilson Moutinho dos Santos, Sonia Maria Manso Vieira e Fernando Rei, que sempre acreditaram em minhas idéias.

Ao Prof. José Goldemberg e à amiga Suani Teixeira Coelho, que resgataram a esperança na CETESB.

Ao eterno Mestre, Prof. José Araújo Santos, pela amizade e revisão do texto, enviada dos longínquos Açores.

À família e à Tarcila, pelo apoio e compreensão.

E a todos os obstáculos que trouxeram a fé e a coragem de seguir em frente.

RESUMO

O estudo objetiva determinar uma metodologia de modelagem a partir de dados pré-existentes para se obter uma primeira aproximação das emissões de poluentes atmosféricos por fontes industriais, decorrentes da queima de determinados combustíveis, de forma geograficamente localizada dentro do estado de São Paulo. A partir deste modelo, será possível elaborar cenários ambientais decorrentes de alterações na matriz energética. Para tal, foram verificadas, dentre as bases de dados disponíveis, quais permitiriam, direta ou indiretamente, estabelecer emissões de poluentes em uma abordagem descentralizada em empreendimentos individuais e quais seriam as chaves, as variáveis de relacionamentos necessárias para interligar tais bases. As entradas para este modelo são os consumos de gás natural, óleo diesel e óleo combustível, além de, para cada empreendimento, seus respectivos setor industrial, localização e número de funcionários. O passo inicial foi uma abordagem *top-down*, centralizada, onde os consumos para um dado setor industrial foram desmembrados por uso final e posteriormente cruzados com fatores gerais de emissão para principais poluentes atmosféricos: óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e partículas inaláveis. Adicionalmente, o modelo calcula as emissões de dióxido de carbono e a parcela de energia útil aproveitada no processo. O modelo conecta as informações disponíveis nos Balanços Energéticos do Estado de São Paulo (BEESP, 1992 a 2000); Balanço de Energia Útil (BEU 1993); Pesquisa Industrial Nacional (PIN 1998 - IBGE); Sistema de Informações sobre Fontes de Poluição (SIPOL - CETESB, 1998) e nos fatores de emissão para poluentes atmosféricos recomendados pela agência ambiental norte-americana (FIRE, v.623 - EPA). Os resultados são inventários para os anos de 1992 a 2000 na abordagem *top-down* (isto é, para o Estado de São Paulo como um todo) e inventários análogos de 1992, 1998 e 2000 na abordagem *bottom-up* (para setores selecionados). Para o ano 2000, o modelo desmembrou as parcelas de emissão por tipo de combustível. Também foram produzidas estimativas (cenários) para as novas emissões decorrentes da substituição de diesel e óleo combustível por gás natural. Acompanha o trabalho um CD-ROM com as bases de dados e planilhas de cálculos. A concepção do modelo é flexível, podendo-se nele aplicar outros insumos e resíduos, além de combustíveis e poluentes atmosféricos. A função deste modelo pode ser considerada como análoga à de um pequeno dicionário de viagem, que propicie meios de comunicação entre diferentes línguas.

ABSTRACT

The present study aims at determining a model methodology from already existing data to obtain, in a first approach, the emissions of air pollutants from industrial sources caused by burning specific fuels, geographically located within the State of São Paulo in Brazil. From such model it would be possible to elaborate environmental scenarios for shifts in the energy matrix. To achieve this goal, it was verified, amongst the available databases, which of those would allow directly or indirectly establishing pollutant emissions from a decentralized bottom-up approach to individual enterprises– and which would be the keys, the necessary relationships variables necessary to connect such bases. Model inputs are the consumption of natural gas, Diesel and fuel oils, together with, for each enterprise, its industrial sector, location and the personnel number. The first step was a top-down approach, where the consumptions for a given industrial sector were disaggregated by end-use, and later crossed with default emission factors for the main air pollutants: Nitrogen oxides, Sulphur oxides and inhalable particulates. The model also determines emissions of Carbon dioxide and the net energy used by the process. The model links the available informations from the State Energy Balances (1992-2000), the Brazilian Net Energy Balance 1993, the National Industry Census 1998); the São Paulo Environmental Agency's Pollution Sources Information System (as of 1998) and in the U.S. Environmental Protection Agency's Air Pollutants Emission Factor Information Retrieval Data System. Outputs are top-down inventories (for the State of São Paulo as a whole, in the years of 1992 to 2000) and analog bottom-up outcomes (for 1992, 1998 and 2000). For year 2000 the model has also split emission shares from each input fuel. Also were produced scenario estimates for emissions from the substitution of Diesel and fuel oils by natural gas. Follows the present work a CD-ROM with the databases and spreadsheets used for calculations. Model's conception is extremely flexible, accepting several inputs and residues, other than fuels and air pollutants. The function of such model must be considered similarly to a small travel dictionary, providing communication means to different languages.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO	pág. I-1
1.1. Objetivo	I-3
1.2. Motivação	I-6
1.3. Informações hoje disponíveis sobre emissões por fontes móveis e fixas	I-12
1.4. Requisitos para um modelo de inventário de emissões	I-13
1.5. Estrutura do texto	I-14
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	II-1
2.1. Introdução	II-2
2.2. A poluição do ar: principais componentes, processos industriais e tecnologias de controle	II-2
2.3. Aspectos regulatórios	II- 18
2.4. Inventários de emissões de poluentes atmosféricos	II- 38
2.5. Conclusões do capítulo	II-68
CAPÍTULO 3. BASES DE DADOS DISPONÍVEIS E METODOLOGIA DO MODELO	III-1
3.1. Fundamentação teórica	III-4
3.2. Operacionalização computacional dos cálculos	III-20
3.3. As bases de dados utilizadas	III-21
3.4. Chaves: correspondências entre as bases de dados	III-32
3.5. Adaptações necessárias ao modelo e dificuldades operacionais	III-36
3.6. Abordagem <i>top-down</i> : procedimentos adotados	III-49
3.7. Abordagem <i>bottom-up</i> : procedimentos	III-51
3.8. Conclusões do Capítulo	III-57
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E APLICAÇÃO DO MODELO HORUS	IV-1
4.1. Introdução do Capítulo	IV-2
4.2. Resultados da abordagem <i>top-down</i> para todos os setores	IV-3
4.3. Emissões localizadas geograficamente: abordagem <i>bottom-up</i>	IV-13
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	V-1
5.1. Aderência do modelo HORUS <i>bottom-up</i>	V-2
5.2. Comparações metodológicas entre o modelo HORUS e relatos da bibliografia	V-12
5.3. Recomendações finais	V-21
REFERÊNCIAS	
APÊNDICES	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
<i>Figura 2.1. Opções de tecnologias de controle de poluentes atmosféricos de origem industrial</i>	II-15
<i>Figura 2.2. Equipamentos para remoção de SO₂ e NO_x: atomizador rotacional de solução de cal para a remoção de SO₂ e resfriamento dos gases</i>	II-15
<i>Figura 2.3. Equipamentos para remoção de SO₂ e NO_x: redutor seletivo catalítico (SCR) para NO_x</i>	II-15
<i>Figura 2.4. Equipamentos para controle de material particulado: ciclone</i>	II-16
<i>Figura 2.5. Equipamentos para controle de material particulado: separador Venturi</i>	II-16
<i>Figura 2.6. Equipamentos para controle de material particulado: filtro manga</i>	II-16
<i>Figura 2.7. Equipamentos para controle de material particulado: precipitador eletrostático</i>	II-16
<i>Figura 2.8. Trajetórias de chegada de MP na cidade de São Paulo no dia 15/06/1999</i>	II-28
<i>Figura 2.9. Formação e transporte de ozônio no sudeste paulista em 12/08/1999: 12h</i>	II-30
<i>Figura 2.10. Formação e transporte de ozônio no sudeste paulista em 12/08/1999: 15h</i>	II-30
<i>Figura 2.11. Formação e transporte de ozônio no sudeste paulista em 12/08/1999: 18h</i>	II-30
<i>Figura 2.12. Formação e transporte de ozônio no sudeste paulista em 12/08/1999: 21h</i>	II-30
<i>Figuras 2.13. Viscosidade dos óleos combustíveis e diesel, brasileiros e norte-americanos</i>	II- 54
<i>Figura 3.1. Objetivo do modelo</i>	III-33
<i>Figura 3.2. Bases de dados e outras fontes de informação</i>	III-34
<i>Figura 3.3. Chaves, conectores entre as bases a serem determinados</i>	III-35
<i>Figura 3.4. Configuração final do modelo HORUS</i>	III-36
<i>Figura 3.5. Subdivisão do Estado de São Paulo em macro-regiões</i>	III-56
<i>Figura 4.1. Consumo de combustíveis, energia útil e emissões de CO₂, topdown, no Estado de São Paulo.</i>	IV-4
<i>Figura 4.2. Consumo e energia útil, por energético, top-down</i>	IV-5
<i>Figura 4.3. Emissões de NO_x top-down, totais e por combustíveis, cenários Alto e Baixo</i>	IV-7
<i>Figura 4.4. Emissões de SO_x, top-down, totais e por combustíveis, cenários Alto e Baixo</i>	IV-9
<i>Figura 4.5. Emissões de MP₁₀, top-down, totais e por combustíveis, cenários Alto e Baixo</i>	IV-10
<i>Figura 4.6. Distribuição regional do consumo energético nos setores industriais selecionados em 1992</i>	IV-14
<i>Figura 4.7. Distribuição regional do consumo energético nos setores industriais selecionados em 2000</i>	IV-14
<i>Figura 4.8. Distribuição do consumo total de energia, bottom-up, segundo frequências de municípios</i>	IV-17
<i>Figura 4.9. Evolução das emissões de CO₂, bottom-up 1992 e 2000, por macro-região</i>	IV-18
<i>Figura 4.10. Evolução regional das emissões de NO_x, bottom-up 1992 e 2000</i>	IV-20
<i>Figura 4.11. Distribuição das emissões de NO_x segundo frequências de municípios</i>	IV-22
<i>Figura 4.12. Emissões de NO_x por município, cenário Alto, 1992.</i>	IV-23
<i>Figura 4.13. Emissões de NO_x por município, cenário Alto, 2000.</i>	IV-23
<i>Figura 4.14. Emissões de NO_x por município, cenário Alto, 2000.</i>	IV-24
<i>Figura 4.15. Evolução das emissões de SO_x (cenário Alto) e subdivisão por região</i>	IV-26
<i>Figura 4.16. Distribuição das emissões de SO_x segundo frequências de municípios</i>	IV-27
<i>Figura 4.17. Emissões de SO_x por município, cenário Alto, 1992.</i>	IV-28
<i>Figura 4.18. Emissões de SO_x por município, cenário Alto, 2000.</i>	IV-28
<i>Figura 4.19. Distribuição das emissões (cenário Alto) de MP₁₀ segundo frequências de municípios</i>	IV-30
<i>Figura 4.20. Evolução por região das emissões de MP₁₀</i>	IV-31
<i>Figura 4.21. Emissões de MP₁₀ por município, cenário Alto, 1992.</i>	IV-32
<i>Figura 4.22. Emissões de MP₁₀ por município, cenário Alto, 2000.</i>	IV-32
<i>Figura 4.23. Emissões de MP₁₀ nos eixos da Capital, cenário Alto, 2000.</i>	IV-33

LISTA DE TABELAS

	pág.
<i>Tabela 2.1. Escalas e categorias dos problemas de poluição do ar</i>	II-4
<i>Tabela 2.2. Sumário das tecnologias de limpeza de gases</i>	II-17
<i>Tabela 2.3. Estrutura dos padrões de qualidade do ar</i>	II-19
<i>Tabela 2.4. Padrões internacionais de qualidade do ar</i>	II-20
<i>Tabela 2.5. Escala simplificada de qualidade do ar</i>	II-21
<i>Tabela 3.1. Correspondências de setorização da indústria pelo BEESP e IBGE</i>	III-40
<i>Tabela 3.2. Portes dos empreendimentos em função do pessoal</i>	III-45
<i>Tabela 3.3. Fatores de emissão adotados (t/tep)</i>	III-49
<i>Tabela 3.4. Valores dos coeficientes de proporcionalidade K: abrangências calculadas e adotadas das amostras em relação ao universo de cada setor industrial.</i>	III-53
<i>Tabela 3.5. Características do universo dos empreendimentos, por macro-região</i>	III-57
<i>Tabela 4.1. Síntese dos cálculos top-down</i>	IV-12
<i>Tabela 4.2. Comparação entre a amostra dos setores bottom-up com o universo de consumo total da abordagem top-down para os anos selecionados.</i>	IV-13
<i>Tabela 4.3. Energia consumida e aproveitada, por região.</i>	IV-16
<i>Tabela 4.4. Cruzamento de dados de energia total com indexadores da distribuição (funcionários e área)</i>	IV-17
<i>Tabela 4.5. Emissões bottom-up de CO₂</i>	IV-19
<i>Tabela 4.6. Emissões regionais de NO_x, bottom-up 1992 e 2000</i>	IV-21
<i>Tabela 4.7. Comparação entre as emissões bottom-up de SO_x em 1992 e 2000, nos cenários Alto e Baixo, por região</i>	IV-26
<i>Tabela 4.8. Emissões regionais de particulados finos, bottom-up, 1992-2000.</i>	IV-31
<i>Tabela 5.1. Comparação entre os dados do Relatório 2000 (CETESB, 2001b) com os resultados da abordagem bottom-up do modelo HORUS, cenário Alto, por empreendimento, na região de Sorocaba e Votorantim.</i>	V-5
<i>Tabela 5.2. Comparação entre os inventários oficiais de emissões industriais da CETESB, de 1998 e 2001.</i>	V-6
<i>Tabela 5.3. Informações espaço-temporais comparativas entre os dados do Relatório 2000 e os cálculos bottom-up do modelo HORUS.</i>	V-7
<i>Tabela 7.1. Conversão de unidades energéticas (BEESP e BEN)</i>	II
<i>Tabela 7.2. Outras equivalências</i>	II
<i>Tabela 7.3. Conversão de combustíveis - cálculo cruzado de coeficientes de eficiência energética (baseados no BEU/1993)</i>	III
<i>Tabela 7.4. Relação de planilhas bottom-up, por área de abrangência e municípios</i>	IX
<i>Tabela 7.5. Dicionário de siglas utilizadas nas planilhas</i>	XII
<i>Tabela 7.6. Estrutura da base FIRE</i>	XII
<i>Tabela 7.7. Estrutura da base SIPOL</i>	XIII
<i>Tabela 7.8. Determinação do porte do empreendimento em função do pessoal ocupado no estado de São Paulo, 1998 (IBGE, 1999)</i>	XIV
<i>Tabela 7.9. Relação das planilhas e bases de dados na mídia eletrônica (CD-ROM) anexa</i>	XVI

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abrev./Sigla	Significado
µg	microgramas (massa)
A&B	setor de alimentos e bebidas (BEESP)
AD	aquecimento direto (BEU)
<i>AFD</i>	<i>Air Framework Directive</i>
AP-42	<i>Compilation of air pollutant emission factors</i> (Compilação de fatores de poluentes do ar da EPA)
<i>ASA</i>	<i>Applied Science Associates</i>
<i>BATNEEC</i>	<i>Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs</i> (melhor tecnologia disponível não acarretando custos excessivos)
BEESP	Balanco Energético do Estado de São Paulo
BEU	Balanco de Energia Útil
CAE	Cadastro de Atividades Econômicas (IBGE)
CAMP	Grande Campinas
<i>CAS</i>	<i>Chemical Abstract Service</i>
CCGT	<i>combined cycle gas turbine</i> (turbina a gás em ciclo combinado)
CDEST	coeficiente de destinação (adimensional)
<i>CDM</i>	<i>Clean Development Mechanism</i> (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo)
<i>CD-ROM</i>	Compact Disc - Read-Only Memory
CE	Comunidade Européia
CEE	coeficiente de eficiência energética (adimensional)
CEP	Código de Endereçamento Postal
CER	setor de cerâmica (BEESP)
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFCs	clorofluorcarbonos
CIM	setor de cimento (BEESP)
CNAE	Cadastro Nacional de Atividades Econômicas (IBGE)
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
COM	setor comercial (BEESP)
COMGÁS	Companhia de Gás do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COVs	compostos orgânicos voláteis (VOCs, <i>volatile organic compounds</i>)
CP	calor de processo (BEU)
CSPE	Comissão de Serviços Públicos de Energia (São Paulo)
DIESEL	óleo diesel
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental
ENE	setor de empreendimentos energéticos (BEESP)
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
<i>ESP</i>	precipitadores eletrostáticos
FGA	setor de ferro gusa e aço (BEESP)
<i>FIRE</i>	<i>Factor Information Retrieval System</i> (Sistema de Recuperação de Informações sobre Fatores de emissão da EPA)
FLI	setor de ferro-ligas (BEESP)
FM	força motriz (BEU)
GASBOL	gasoduto Brasil-Bolívia
GASNAT	gás natural
GLP	gás liquefeito de petróleo
H	hora (tempo)
HCN	ácido cianídrico
HCNM	hidrocarbonetos não-metano
HCs	hidrocarbonetos

Abrev./Sigla	Significado
Hg	mercúrio
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
IIASA	<i>International Institute for Applied Systems Analysis</i>
IL	iluminação (BEU)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
IPPC	<i>Integrated Pollution Prevention and Control Directive</i>
JI	<i>Joint Implementation</i> (Implementação Conjunta)
kg	quilograma (massa)
km	quilômetro (distância)
kt	kilotoneladas (massa)
ktep	kilotep, mil toneladas equivalentes de petróleo (energia)
kWh	kilowatt-hora (energia)
kWth	kilowatt térmico-hora (energia)
l	litro (volume)
LPCD	<i>Large Combustion Plant Directive</i>
LI	Licença de Instalação
LIT	Região sul e litoral de São Paulo
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
M ³	metro cúbico
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MERCOSUL	Mercado Comum da América do Sul
mg	miligrama (massa)
MIN	setor de mineração (BEESP)
Mm ³	milhões de metros cúbicos (volume)
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MNF	setor de minerais não-ferrosos e outros da metalurgia (BEESP)
MP	material particulado
MP ₁₀	materiais particulados finos (10 micra ou menos de diâmetro), inaláveis
MP _{2,5}	materiais particulados finos (2,5 micra ou menos de diâmetro), inaláveis
MPtotal	material particulado total
Mt	megatoneladas (massa)
MW	megawatt (potência)
N	nitrogênio
N	Região Norte do Estado de São Paulo
NE	Região Nordeste do Estado de São Paulo
NH ₃	amônia
NO	monóxido de nitrogênio
NO	Região Noroeste do Estado de São Paulo
NO ₂	dióxido de nitrogênio
NO ₃	trióxido de nitrogênio
NO _x	óxidos de nitrogênio
NSCR	<i>non-selective catalytic reduction</i> (redução não-seletiva catalítica)
O	Região Oeste do Estado de São Paulo
O ₃	ozônio
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico)
OLCOMB	óleo combustível
OSI	outros setores industriais (BEESP)
OU	outros usos finais (BEU)

Abrev./Sigla	Significado
P&C	setor de papel e celulose (BEESP)
Pb	chumbo
PI	partículas inaláveis
PIB	Produto Interno Bruto
ppb	parte por bilhão
ppm	parte por milhão
PQAR	padrão de qualidade do ar
PST	partículas suspensas totais
PTS	partículas totais em suspensão
PUB	setor público e institucional (BEESP)
QUI	setor químico (BEESP)
RES	setor residencial (BEESP)
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
S	enxofre
<i>SCC</i>	<i>Source Code Classification (FIRE)</i>
<i>SCR</i>	<i>selective catalytic reduction (redução seletiva catalítica)</i>
SIPOL	Sistema de Informações sobre Poluição (CETESB)
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
<i>SNCR</i>	<i>selective non-catalytic reduction (redução seletiva não-catalítica)</i>
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO _x	Óxidos de enxofre
tC/TJ	toneladas de carbono por terajoule (massa por energia)
Tep	toneladas equivalentes de petróleo (energia)
TEX	setor têxtil (BEESP)
TFE	setor de transportes ferroviários (BEESP)
THI	setor de transportes hidroviários (BEESP)
TRO	setor de transportes rodoviários (BEESP)
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UK	<i>United Kingdom (Reino Unido)</i>
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe 1988. Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Convenção sobre a Poluição Transfronteiriça de Longo Alcance)</i>
<i>UNFCCC</i>	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas)</i>
US\$/t	dólares norte-americanos por tonelada
USP	Universidade de São Paulo
VPAR	Região do Vale do Paraíba
<i>WEA</i>	<i>World Energy Assessment</i>
<i>WEC</i>	<i>World Energy Council</i>

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

Índice do Capítulo

1.1. OBJETIVO.....	I-3
1.2. MOTIVAÇÃO	I-6
1.2.1. <i>A evolução do conceito</i>	I- 7
1.2.2. <i>Aspectos ambientais decorrentes da troca de combustíveis fósseis pelo gás natural</i>	I-9
1.2.3. <i>A importância de uma linha de base</i>	I-10
1.3. INFORMAÇÕES HOJE DISPONÍVEIS SOBRE EMISSÕES POR FONTES MÓVEIS E FIXAS	I-12
1.4. REQUISITOS PARA UM MODELO DE INVENTÁRIO DE EMISSÕES	I-13
1.5. ESTRUTURA DO TEXTO.....	I-14

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

Apesar dos avanços no monitoramento da qualidade ambiental, a distribuição geo-referenciada das emissões de poluentes atmosféricos é pouco conhecida no Brasil. Em especial, as informações disponíveis sobre o que sai das chaminés das indústrias é bastante incipiente, tanto em São Paulo como no resto do país. Este é um importante elo na cadeia de informações necessárias para o estabelecimento de políticas energéticas e ambientais: saber de onde vêm e quanto são as emissões de poluentes, dado um certo consumo de insumos, em especial os combustíveis.

Visando a responder alguns destes questionamentos, o modelo aqui obtido - entitulado HORUS¹ - parte de uma concepção original, mas com semelhanças metodológicas em experimentos relatados na literatura. Seus resultados indicam regiões de probabilidades de emissões, passadas, presentes e futuras. Possibilitam análises de cenários ambientais decorrentes de alterações na matriz energética de um dado local, que pode ser desde todo o estado de São Paulo até uma macro-região, um município ou uma indústria isolada.

Tais resultados são o primeiro passo para um inventário mais refinado, a partir de fatores de emissão e consumos reais, obtidos a partir de dados reais obtidos em campo. De posse destas informações, podem se estabelecer políticas públicas que, por exemplo, não onerem excessivamente novos empreendimentos pela poluição gerada pelos mais antigos. Podem-se relacionar com uma maior precisão os impactos ambientais com sua origem. Pode-se ter uma idéia das linhas de base em termos de emissões, a situação a partir da qual políticas econômicas, sociais, energéticas ou ambientais deverão atuar.

¹ em geral, adotam-se para modelos siglas que resumem nomes complexos, como o RAPIDS - *Regional Air Pollutant Inventory Development System* (STRASSER; SADEGHI; OLIVER, 1995). No caso, até por não encontrar uma sigla interessante, preferiu-se adotar o nome HORUS em homenagem ao símbolo do "olho que tudo vê", uma luz sobre informações que permaneceram obscuras até então.

A conquista do modelo HORUS é, assim, uma primeira idéia das emissões de origem industrial em São Paulo, empreendimento a empreendimento. Não pretende substituir a avaliação existente das grandes indústrias poluidoras, mas complementá-las, fornecendo dados também das médias e pequenas. Assim como a maior parte dos modelos existentes, a primeira função deste modelo deve ser considerada como análoga à de um pequeno dicionário de viagem, que propicie meios de comunicação entre diferentes línguas². Tal dicionário poderá ser ampliado e melhorado. A flexibilidade e transparência do modelo permite que boa parte das limitações verificadas no sistema seja superável sem maiores dificuldades.

1.1. Objetivo

O estudo em questão objetiva determinar uma modelagem a partir de dados pré-existentes que permita estabelecer, em uma primeira aproximação, as emissões de poluentes atmosféricos por fontes industriais, decorrentes da queima de determinados combustíveis, de forma geograficamente localizada dentro do estado de São Paulo. A partir deste modelo, seria possível elaborar cenários ambientais para alterações na matriz energética, como as decorrentes do aumento da participação do gás natural.

Para a concepção do modelo, foram verificadas, dentre as bases de dados disponíveis, quais permitiriam estimar ordens de grandeza de emissões de poluentes com um mínimo nível de geo-referenciamento. As incógnitas do sistema são as chaves, as variáveis de relacionamento necessárias para interligar tais bases. O passo inicial foi uma abordagem agregada (*top-down*³) para a estimativa global de emissões em São Paulo, onde o consumo de

² Ainda com exemplos da Antiguidade, o modelo HORUS teria função análoga à da Pedra de Roseta, datada de 170 a.C. e descoberta pelo arqueólogo francês Jean Champollion em 1799, que permitiu a tradução parcial dos hieróglifos egípcios para o grego (THE BRITISH MUSEUM, 2002).

³ Para não se utilizarem termos longos e pouco claros como "de baixo para cima" e "desagregado" ou "de cima para baixo" e "agregado", mantiveram-se os termos em inglês *bottom-up* e *top-down*, os quais apresentam-se com frequência na maior parte da literatura pesquisada. Os termos fazem parte do glossário básico das áreas de pesquisas energéticas e ambientais no Brasil.

energia para um dado setor industrial é desmembrado por uso final e posteriormente cruzado com fatores *default*⁴ de emissão para principais poluentes atmosféricos. Em seguida, realiza-se uma abordagem descentralizada (ou *bottom-up*), que distribuiu os fluxos de combustíveis e usos finais por empreendimento. Os resultados obtidos referem-se aos anos de 1992, 1998 e 2000, abrangendo o Estado de São Paulo.

O objetivo final do trabalho é a determinação do inventário *bottom-up*, de emissões processo a processo, empreendimento a empreendimento. A situação ideal seria uma perfeita conciliação entre este e o inventário *top-down*, ou seja, um fechamento de 100% nos balanços de massa e de energia e no número de funcionários das empresas. Na realidade, o inventário *top-down* define, para o Estado de São Paulo, como um todo mas sem o geo-referenciamento local, as fronteiras para os resultados do inventário *bottom-up*. Os cálculos *top-down* respondem a perguntas como *quanto se emite em São Paulo*, mas não *onde em São Paulo*. Já os *bottom-up* fornecem uma idéia de onde partiram - e de quanto podem ter sido - as emissões de poluentes atmosféricos de *determinados setores e empreendimentos*.

Como os recursos disponíveis são bastante limitados, o inventário preliminar a ser proposto teve como premissa a utilização de estatísticas oficiais e demais dados já disponíveis, prescindindo-se do levantamento de novas informações em campo. Tais dados serão interrelacionados através de conectores, ou chaves, no sentido de obtermos, no final, inventários de emissões aproximados, que constituem uma informação inédita, somente obtida por tal sistema de tradução de diferentes linguagens.

A premissa principal é a de que as chaves devem interferir ao mínimo nas bases de dados originais, agilizando as atualizações com menor periodicidade (a partir de, por exemplo, novos balanços energéticos). Por outro lado, a concepção do modelo prevê a possibilidade de refinamentos em vários níveis,

⁴ Preferiu-se, no caso, também manter o termo mais conhecido, original em inglês. Fatores *default* poderiam ser traduzidos como fatores "tentativas", números adotados na falta de valores mais precisos.

com ou sem levantamento de dados em campo: cada registro individual de empreendimento poderá ser editado, opção que, se por um lado dificulta as atualizações automáticas, por outro lado contribui para maior precisão de resultados⁵.

O escopo deste estudo restringe-se a montar um modelo para um determinado ano-base (1998, onde converge a maioria dos dados disponíveis, em especial os do IBGE) e testá-lo, obtendo-se uma estimativa para o total de emissões de determinados poluentes por localização geográfica, tipo de indústria e uso final (como, por exemplo, quantas toneladas de NO_x foram emitidas em 1998 no município de Limeira pela queima de óleo diesel para aquecimento direto na indústria têxtil).

Dos combustíveis, foram escolhidos o gás natural (GASNAT), dada a sua potencial penetração na matriz energética estadual e os seus ainda pouco conhecidos efeitos ambientais, e os principais combustíveis substitutos em fontes fixas, que geram considerável poluição do ar: os óleos combustíveis (OCOMB) e diesel (ODIESEL). As principais conexões entre as bases de dados foram estabelecidas, permitindo uma estimativa de emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO) e material particulado total (MPtotal), por empreendimento industrial e por região (município ou código de endereçamento postal). Os usos finais de energia que fizeram parte das conexões foram os principais para a indústria os dados combustíveis: aquecimento direto (AD), o calor de processo (CP) e a força motriz (FM).

O inventário gerado por esta metodologia alternativa pode ser rapidamente atualizado e melhorado por um grupo reduzido de técnicos. A partir desta linha de base, que destaca tais emissões das demais (por exemplo, de veículos, queimadas, movimentações de terra, outros processos que não

⁵ Foi recentemente instituído no estado de São Paulo um sistema de licenciamento único e periódico, que permitirá um influxo muito melhor de informações sobre os empreendimentos e processos (Decreto n.º 47.400, de 4 de dezembro de 2002). O levantamento paulatino de novas informações em campo, ou os dados de automonitoramento devidamente verificados, são

envolvem combustão) podem ser analisados os efeitos ambientais de substituição de insumos energéticos. Como não se podem avaliar tais efeitos locais de maneira agregada, faz-se necessário um desmembramento geográfico, setorial, por porte do empreendimento e pelos seus processos internos.

Apesar de seus reconhecidos benefícios sociais, econômicos e ambientais, energias renováveis não fazem parte do escopo deste trabalho, o que não impede que sejam incorporadas após a validação da metodologia.

1.2. Motivação

A idéia do modelo partiu da dificuldade na obtenção de inventários de emissões por fontes fixas, que possam ser correlacionadas com informações sobre a qualidade ambiental local ou que informem, a partir de uma abordagem *bottom-up*, emissões de gases causadores do aumento no efeito estufa. Partiu também da idéia de amparar as ações de controle de poluição industrial no Estado de São Paulo, determinando em uma primeira aproximação as emissões dos poluentes por fontes geográfica e tipologicamente localizadas. O conhecimento das emissões desagregadas dos poluentes industriais no Estado pode ser considerado ainda incipiente, baseado em um inventário de 1990 atualizado para 1998 (CETESB, 1998), que abrange apenas uma amostra das principais indústrias do Estado. Além de basear-se em um cadastro antigo, no relatório não se apresenta a metodologia pela qual se obtiveram os valores das emissões. Surgiu, assim, a necessidade de se propor um inventário transparente, abrangente e passível de atualizações e revisões periódicas.

Associadas à situação estão as perspectivas de sensíveis modificações na matriz energética brasileira e paulista, com reflexos diretos na qualidade

ambiental. Apenas como exemplo, podem-se citar as recentes discussões sobre energia renovável, a entrada do gás natural e a termogeração emergencial de eletricidade a diesel. É cada vez mais evidente a convergência entre os temas Energia e Sustentabilidade Ambiental e a sociedade deve ter uma participação ativa nesse debate, com o devido acesso à informação.

O direito à informação tem alguns dos mais notáveis exemplos nos inventários encontrados no exterior, especialmente dos inventários de emissões das agências ambientais norte-americana (EPA, 2002 a,b) e inglesa (THE ENVIRONMENT AGENCY OF ENGLAND AND WALES, 2002), utilizados para subsidiar programas de controle de chuva ácida ou para a informação comunitária sobre os lançamentos locais de produtos tóxicos.

Neste contexto, é preciso aproveitar o elevado grau de integração entre a academia e o governo, notadamente a possibilidade de trabalhos conjuntos entre a Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo, a CETESB e a Universidade de São Paulo. A proposta do modelo HORUS encaminhada através do PIPGE convida, assim, ao debate outros atores da sociedade, governo e universidade.

1.2.1. A evolução do conceito

A primeira idéia proposta para o trabalho foi estudar os efeitos ambientais da penetração do gás natural em São Paulo. Nas primeiras etapas de concepção deste estudo, visava-se um levantamento puro e simples de melhores tecnologias e de perspectivas da penetração do gás natural em São Paulo. Por ocasião do início de operação do gasoduto da Bolívia (GASBOL), foram amplamente divulgadas na imprensa as perspectivas um aumento na participação do gás natural na matriz energética nacional de 2,5% a 12% até 2010 (FUNDAÇÃO SEADE, 2002; O ESTADO DE SÃO PAULO, 2002). O esforço de penetração do gás natural deveria ocorrer principalmente em São

Paulo, onde o nível de industrialização justifica o avanço deste novo energético, em substituição aos óleos combustíveis e diesel, com relevantes - porém desconhecidos em detalhes - ganhos ambientais.

Durante a crise de abastecimento de eletricidade de 2001, um vigoroso programa de fomento a termelétricas (BRASIL, 2002) foi proposto pelo governo federal. Evidentemente, a instalação destes novos empreendimentos em território paulista, próximos aos centros de consumo, adicionaria consideráveis cargas de poluentes atmosféricos sobre as atuais - e muito pouco conhecidas - linhas de base de emissões. Analisar as vantagens ambientais do gás natural na geração de eletricidade é uma tarefa complexa que foge ao escopo deste trabalho.⁶

O avanço do gás natural encontrou uma série de barreiras e incertezas. O fato do preço do insumo ser atrelado ao dólar norte-americano, com suas decorrentes instabilidades, tem desacelerado os efeitos-substituição com outros energéticos. Por outro lado, as dificuldades no licenciamento ambiental das termelétricas, especialmente em São Paulo, por conta dos já altos níveis de poluentes atmosféricos (especialmente NO_x e ozônio) e da necessidade de grandes volumes de água para resfriamento, principalmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica paralizaram o programa térmico no Estado. Além disso, a competição com a hidreletricidade já instalada, barata e disponível em época de chuvas adicionou mais insegurança aos investidores privados, já bastante relutantes em razão de falhas na regulamentação do setor energético. A necessidade de fortes investimentos e outros incentivos para capilarizar os usos do gás natural em veículos, comércio e residências, também tem impedido uma maior penetração deste energético.

⁶ Muito dependerá da forma de operação e do tipo de tecnologia a ser adotado das termelétricas. Além disso, existe a alternativa de termogeração descentralizada, com a mesma quantidade de gás em instalações situadas nos próprios consumidores, operando como unidades de cogeração ou em queimas diretas substituindo a eletricidade em processos de eletrotermia. Adicionalmente há o efeito dos pequenos geradores a diesel para os horários de pico com elevado preço de eletricidade. Tais geradores apresentam um potencial poluidor bastante elevado e ainda não são controlados pelas autoridades ambientais. Todas essas

Assim, torna-se muito difícil prever o comportamento desta penetração, mesmo sabendo que, de uma forma ou de outra, o insumo deverá avançar consideravelmente na matriz energética paulista. Um panorama da situação do gás natural antes da privatização da COMGÁS é apresentado por GOMES (1996)⁷. Contudo, após a desestatização, a obtenção de informações de mercado tornou-se extremamente difícil, pois os dados são tratados com sigilo comercial pelas novas concessionárias. As informações disponíveis ao público na Comissão de Serviços Públicos de Energia (CSPE) não possuem o nível de precisão necessário para indicar as rotas do energético por setor, porte industrial e usos finais.

De qualquer forma, é na indústria de São Paulo que o gás natural continua encontrando o seu maior potencial de penetração - e onde o avanço tem ocorrido de forma mais sistemática. Retorna-se, assim, à antiga concepção do papel que cabia a este energético, com melhores contribuições ao meio ambiente paulista. A presente pesquisa recupera, assim, a sua grande importância estratégica como instrumento de avaliação e formulação de políticas públicas ambientais e energéticas.

1.2.2. Aspectos ambientais decorrentes da troca de combustíveis fósseis pelo gás natural

O gás natural, composto em sua maior parte por metano (CH_4), propicia uma queima mais eficiente em termos de emissões de dióxido de carbono (CO_2) por unidade de energia gerada. Apresenta, também, em sua queima, menor emissão de poluentes como óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado (MP), além de metais pesados como o chumbo. É, portanto, dentro do universo das energias não-renováveis, uma boa opção em termos ambientais. Entretanto, como todo combustível que é queimado em presença de ar,

questões, externas aos objetivos deste trabalho, são recentes e também fogem ao projeto inicialmente proposto para o GASBOL, cuja vantagem ambiental estava justamente na substituição de outros combustíveis fósseis.

apresenta a emissão de óxidos de nitrogênio, um poluente precursor do ozônio troposférico e de hidrocarbonetos poliaromáticos. A queima do gás natural em grandes quantidades junto a áreas urbanas pode causar graves episódios de poluição do ar. As tecnologias existentes para redução da emissão de dióxido de nitrogênio - como os queimadores *low NO_x* - não são suficientes para garantir a qualidade do ar nesses locais.

A substituição de outros combustíveis fósseis pelo gás natural importa em ganhos ambientais, que devem ser contrapostos a avaliações em termos de custo-benefício. A priorização de investimentos deve ser feita tanto em função das eficiências energéticas atingidas quanto da redução da poluição local.

1.2.3. A importância de uma linha de base

Ressalte-se que há uma etapa preliminar a ser transposta. Antes de se avaliarem os efeitos decorrentes da penetração do gás natural, é preciso que se determinem as condições atuais ambientais, a linha de base em termos de emissões. É preciso também que se estabeleçam algumas regras, um modelo para a avaliação desta mudança.

Equações *top-down* podem ser eficientemente aplicadas a inventários de emissões de gases causadores do aumento do efeito estufa (principalmente o dióxido de carbono e o metano), impactos globais, a partir dos dados agregados de consumo de combustíveis. Contudo, esta abordagem não se aplica à determinação de efeitos localizados, como a poluição urbana ou a chuva ácida. A qualidade ambiental local depende das emissões das fontes móveis e estacionárias, das condições meteorológicas, da interação

⁷ A COMGÁS era a antiga companhia estatal de gás natural canalizado do estado de São Paulo, que foi privatizada em 1997, tendo sua área de atuação dividida em três. Detalhes são disponíveis na página da CSPE - Comissão de Serviços Públicos de Energia (SÃO PAULO, 2001).

sinérgica ou antagônica entre os poluentes e da capacidade de suporte que o meio tem para assimilar os impactos.

A capacidade de suporte do meio merece uma atenção especial, uma vez que existem significativas variações e incertezas quanto às diferentes condições de dispersão de poluentes (como o regime de ventos horizontais e verticais), de disponibilidade de recursos naturais (como água para refrigeração, por exemplo) e de resposta dos meios bióticos e abióticos aos impactos (como danos a ecossistemas frágeis). Para se avaliar a capacidade de suporte de uma dada região, deve-se monitorar a qualidade do meio através de medições por aparelhos, observação de bioindicadores, verificações de condições topográficas e meteorológicas e simulações em modelagens de dispersão. As fronteiras destas regiões devem ser avaliadas, uma vez que não coincidem com convenções de uso e ocupação do solo, como limites entre municípios.

Além de toda a delimitação e dinâmica de impactos ambientais, é corolário o fato que as emissões mais significativas dos diversos processos deve ser conhecida. Em outras palavras, uma abordagem integrada de prevenção e controle de poluentes prescinde de um inventário, suficientemente abrangente e confiável, geograficamente localizado e temporalmente atualizado.

Como não se podem avaliar efeitos ambientais locais de maneira agregada, faz-se necessário um desmembramento geográfico, setorial (em especial no caso da indústria), por porte do empreendimento e pelos seus processos internos (tanto no que se refere à tecnologia de produção quanto aos equipamentos de controle de poluição do ar). Assim, a importância de inventários *bottom-up* reside exatamente na possibilidade de identificação e controle das fontes de poluição.

1.3. Informações hoje disponíveis sobre emissões por fontes móveis e fixas

Atualmente, em São Paulo, a política de controle da poluição industrial se dá através do estabelecimento de padrões de emissão para os processos, em especial para óxido de enxofre e material particulado. Dá-se também através de padrões de qualidade do ar, aferida em estações de monitoramento. Episódios agudos de poluição do ar ensejam o controle das fontes fixas e móveis. Dentre as últimas, temos os automóveis e caminhões, sujeitos muitas vezes a medidas de restrição de tráfego - caso da política de rodízio na cidade de São Paulo. O inventário de fontes móveis se dá através da estimativa da frota de veículos, suas composições, idades e distâncias médias de percurso. A localização dos veículos se dá a partir dos dados de licenciamento, uma imprecisão que mereceria pesquisas metodológicas adicionais.

As principais fontes fixas em termos de emissão de poluentes atmosféricos decorrem da queima de combustíveis fósseis nas indústrias e usinas termelétricas. Outras fontes que merecem ser citadas, mas não farão parte do presente trabalho por questões de delimitação de escopo, são a queima da palha e bagaço da cana-de-açúcar e os geradores a diesel. A última consolidação do inventário de fontes estacionárias de poluição do ar no Estado de São Paulo foi realizada pela CETESB (1998). Tal consolidação baseou-se em um inventário realizado em 1990⁸, elaborado a partir de planilhas de processos de 3589 indústrias consideradas significativas. Para o relatório de 1998, houve uma revisão das empresas inventariadas, considerando informações sobre aquelas que encerraram ou paralisaram suas atividades. Foram também realizadas correções nas maiores distorções com respeito a emissões de material particulado total e óxidos de enxofre.

Apesar de sua importância, a realização do inventário a partir de dados reais de campo demanda consideráveis tempo e recursos, inviabilizando

⁸ Não foram publicados os registros detalhados deste inventário de 1990. Este é apenas citado no relatório de 1998. A metodologia de determinação de emissões não é explicitada na publicação.

atualizações periódicas e refinamentos. A opção do automonitoramento das fontes estacionárias, onde são exigidas compulsoriamente as informações sobre os processos e emissões, defronta-se com dificuldades como a necessidade de formas confiáveis de obtenção, armazenamento, processamento e transmissão de dados. A regulamentação desta compulsoriedade também é uma barreira a transpor, eventualmente com o licenciamento periódico de fontes, em fase de implantação.

O objeto deste trabalho é a terceira alternativa: o desenvolvimento de um método expedito que possibilite uma estimativa das emissões de poluentes globais e locais, com base em dados existentes e possibilitando refinamentos a partir de indicadores e outras informações indiretas. Trata-se de uma abordagem de estimativas, mas bastante flexível enquanto instrumento de políticas públicas. Além disso, deve-se reconhecer que esta foi a única alternativa possível de desenvolvimento no âmbito de uma pesquisa individual, com escassos recursos disponíveis.

1.4. Requisitos para um modelo de inventário de emissões

O modelo proposto baseia-se na integração de bases de dados existentes: censos industriais, balanços energéticos diversos, listas de fatores de emissões de poluentes específicas para cada processo. Trata-se de uma abordagem de baixo para cima (*bottom-up*), integral (não amostral), dinâmica (atualizável à medida em que as bases de dados se atualizam), acessível (ao técnico da agência ambiental e à população) e passível de refinamentos (à medida em que as bases de dados têm sua integração aferida).

Um modelo preditivo deve ser suficientemente flexível e rápido para reagir a flutuações em mercado e em políticas energéticas. Deve ser baseado em dados externos, prescindindo da inserção na sistemática de informações dedicadas, isto é, dos esforços concentrados de técnicos para a inclusão e atualização de dados. Deve aproveitar bases de dados com outras funções,

como os cadastros de licenciamento ambiental de empresas, de fatores de emissão por processos, de uma relação de processos típicos por setor e porte de empreendimento e de estatísticas oficiais de consumo de combustíveis, além de pesquisas industriais por parte dos órgãos estatísticos oficiais.

Um ponto de partida foi o trabalho de TELLES (1997), que calculou por estimativas as variações de emissões dos principais poluentes atmosféricos na Região Metropolitana de São Paulo pela penetração do gás natural. Para tal, o autor utilizou-se de uma pesquisa por questionários enviados a 61 empresas locais, com 36% de respostas consideradas satisfatórias. À época, como já mencionado, as informações da concessionária de gás eram públicas e acessíveis.

O modelo HORUS, baseado em gestão de informação, apresenta diversas vantagens em relação à abordagem de pesquisas por questionários. Custo, abrangência e possibilidade de atualização e expansão são algumas a citar.

1.5. Estrutura do texto

O trabalho está dividido em 4 capítulos. Após este texto introdutório, no Capítulo 2 será apresentada uma revisão de literatura e de informações da Internet, subdividida em três partes. A primeira parte trata da poluição do ar, dos processos industriais de geração e sistemas de controle de poluentes atmosféricos. A segunda, de aspectos regulatórios e da complexa relação entre emissões, cargas críticas e instrumentos de compensação. A última refere-se especificamente ao papel dos inventários de emissão e seus aspectos metodológicos.

O Capítulo 3 subdivide-se na explanação de materiais e métodos e na apresentação dos resultados. Finalmente, no Capítulo 4, discute-se a metodologia do modelo HORUS, comparada à dos relatos da bibliografia.

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Índice do Capítulo

2.1. INTRODUÇÃO	II- 2
2.2. A POLUIÇÃO DO AR:PRINCIPAIS COMPONENTES, PROCESSOS INDUSTRIAIS E TECNOLOGIAS DE CONTROLE.....	II-2
2.2.1. <i>O problema da poluição atmosférica</i>	II-3
2.2.1.1. Óxidos de Nitrogênio (NO _x) e Ozônio (O ₃).....	II-5
2.2.1.2. Dióxido de enxofre (SO ₂)	II-9
2.2.1.3. Monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO ₂).....	II-10
2.2.1.4. Material particulado (MP) e partículas finas inaláveis (MP ₁₀) ...	II-11
2.2.2. <i>Tecnologias de controle de emissões</i>	II-13
2.3. ASPECTOS REGULATÓRIOS	II-18
2.3.1. <i>Padrões de qualidade do ar</i>	II-18
2.3.2. <i>Controle, fiscalização e licenciamento de fontes em São Paulo</i>	II-22
2.3.3. <i>A questão das cargas críticas</i>	II-31
2.3.4. <i>Comércio de emissões (offset liabilities)</i>	II-33
2.4. INVENTÁRIOS DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	II-38
2.4.1. <i>O papel dos inventários no controle da poluição</i>	II-39
2.4.1.1. Inventários para emissões em escala global: CO ₂ e as mudanças climáticas	II-39
2.4.1.2. Inventários para poluentes de escala regional transfronteiriça .	II-42
2.4.1.3. Inventários em escala local	II-44
2.4.1.4. Inventários como instrumento de políticas energéticas e planejamento de controle de poluentes	II-45
2.4.2. <i>Aspectos metodológicos de inventários</i>	II-47
2.4.2.1. Fatores de emissão	II-50
2.4.2.2. Levantamento de fontes: alocação espacial	II-57
2.4.2.3. Alocação temporal	II-61
2.4.3. <i>Recursos computacionais</i>	II-62
2.5. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO	II-68

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

Será apresentado a seguir um levantamento de informações existentes sobre o assunto, subdividido em três partes. Inicialmente, uma descrição de tópicos sobre a poluição do ar apresentará, com ênfase nos processos industriais de combustão, seus principais componentes, origens, efeitos e classificações. Na mesma parte, de forma sucinta apresentar-se-ão as tecnologias dos principais processos que geram poluentes atmosféricos e sistemas de controle final de poluentes.

A segunda parte trata dos aspectos regulatórios: padrões de qualidade do ar; controle, fiscalização e licenciamento de fontes. Relata ainda a complexidade da relação emissão-qualidade de poluentes, a poluição de longas distâncias, o conceito de cargas críticas e instrumentos de compensação por emissões, dentro do princípio do poluidor-pagador.

A terceira e última é específica à escala dos inventários de emissões, suas funções, aspectos metodológicos e outros requisitos para um sistema eficiente deste tipo de informações.

2.2. A poluição do ar: principais componentes, processos industriais e tecnologias de controle

Nos itens seguintes será exposta de maneira resumida as principais questões sobre poluição do ar e seu controle.

2.2.1. O problema da poluição atmosférica

Segundo o BANCO MUNDIAL (1998), o Brasil sofre de uma série de problemas que afetam a saúde humana, reduzem a qualidade de vida, aumentam os custos de produção e causam danos ecológicos a longo prazo. A poluição do ar, por particulados finos, óxidos de enxofre e nitrogênio, ozônio, monóxido de carbono e aldeídos tem origem por processos de combustão e emissões de compostos voláteis no setor de transportes e nas chamadas fontes fixas, em especial as indústrias. Dentre os principais danos ao ser humano, podem-se citar as doenças respiratórias e a mortalidade prematura. Tais problemas são altamente específicos a certos locais, afetando milhões de residentes em grandes centros urbanos e outras cidades com grandes poluidores industriais. A poluição concentrada em determinadas fontes, caso da indústria, em geral é mais fácil de controlar do que a proveniente de fontes difusas. O Banco considerou a poluição do ar com particulados a segunda maior prioridade para o Brasil, antes do tratamento de esgotos e gestão de resíduos sólidos, somente atrás do abastecimento de água e coleta de esgotos. Reconhece ainda que "dados sobre meio ambiente são a base para formulação de políticas, mas estão atualmente incompletos e dispersos entre várias entidades", que "a compilação de inventários sobre emissões deve ter alta prioridade para todos os ecossistemas importantes" e que "preocupações devem concentrar-se nas emissões de um número limitado de indústrias dominadas por empresas pequenas e médias", que "resistirão à pressão para melhorar seu desempenho ambiental, temendo que isso aumente seus custos e prejudique sua posição competitiva". Ainda conforme o Banco, "a fiscalização efetiva pode ser melhorada mediante um enfoque estratégico de recursos limitados sobre os poluidores com o maior impacto potencial de poluição e os menores custos de controle" (BANCO MUNDIAL, 1998).

A indústria consome 35% a 45% de toda a energia utilizada nos países desenvolvidos e uma porção maior na maioria dos países em

desenvolvimento. Os setores industriais mais intensivos energeticamente (com maior consumo de energia por unidade de produto) são o de papel, químico, metais primários (particularmente o alumínio) e a própria indústria do petróleo. A indústria como um todo é responsável por aproximadamente 20% da poluição total do ar no mundo (GOLDEMBERG, 1998).

A sólida compreensão das origens das emissões dos poluentes é requisito importante para a definição de estratégias eficientes de melhoria da qualidade do ar. O conhecimento neste campo e as habilidades para quantificar os impactos das diversas fontes de poluição melhoraram significativamente durante os anos recentes. Tal fato tem ajudado poderes decisórios em muitas partes do mundo a reverter as tendências de crescimento nas emissões, pelo menos para alguns dos poluentes tradicionalmente mais relevantes (AMANN, 2001).

Não existe apenas um problema de poluição do ar, mas vários fenômenos distintos, com suas próprias características. Estes podem ser descritos por sua escala, conforme a Tabela 2.1, proposta por STERN (1984) em quatro dimensões: (a) horizontal, onde se verifica quanto a superfície da terra está envolvida; (b) vertical, profundidade em que a atmosfera está envolvida; (c) escala de tempo em que os problemas se desenvolvem e sobre a qual seus controles operam e; (d) escala de organização requerida para a sua resolução.

Tabela 2.1. Escalas e categorias dos problemas de poluição do ar (STERN, 1984).

Escala	Categorias do problema da poluição do ar				
horizontal	local	urbana	regional	continental	global
vertical	altura das chaminés	primeira milha	troposfera	estratosfera	atmosfera
temporal	horas	dias	meses	anos	décadas
organização requerida para a sua resolução	municipal	metro-politana	estadual ou nacional	nacional ou internacional	inter-nacional

O problema de poluição do ar de uma dada localidade pode ter sua origem em um complexo somatório de emissões. Assim, sem deixar de reconhecer o maior peso das emissões locais, o ar que se respira na cidade de São Paulo contém vestígios de erupções vulcânicas, queimadas de florestas e areia de desertos a milhares de quilômetros de distância. Pode também ser afetado por indústrias, termelétricas e veículos situados em outros estados ou municípios, cujas emissões não possuam o devido controle.

O nível de poluição atmosférica é medido pela concentração das substâncias poluentes presentes no ar. Os poluentes podem ser classificados da seguinte forma: (a) *primários*, emitidos diretamente pelas fontes de emissão e; (b) *secundários*, formados na atmosfera por meio da reação química entre poluentes primários e constituintes naturais do ambiente. Quando se determina a concentração de um poluente na atmosfera, mede-se o grau de exposição dos receptores (seres humanos, ecossistemas e construções, dentre outros) a tais substâncias, considerando-se processos físicos (como a diluição) e químicos (reações). Como regra geral, o grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, em razão da sua maior frequência de ocorrência e dos efeitos adversos que causam no meio, são a poeira em suspensão, dióxidos de nitrogênio e de enxofre, monóxido de carbono e ozônio. Uma descrição dos impactos destes poluentes, todos gerados por processos energéticos, encontra-se no relatório *World Energy Assessment* (UNDP; UNDESA; WEC, 2000).

2.2.1.1. Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e Ozônio (O₃)

O termo NO_x representa a combinação de monóxido e dióxido de nitrogênio - NO e NO₂. Gases de exaustão resultantes da combustão de combustíveis fósseis constituem-se, principalmente, de NO, que representa de 90 a 95% do total de NO_x, dadas as limitações cinéticas na oxidação de NO₂. A formação dos NO_x ocorre por três diferentes mecanismos fundamentais: (a) dissociação

térmica e subsequente reação do nitrogênio e oxigênio moleculares presentes no ar de combustão (*thermal* NO_x) em altas temperaturas; (b) evolução e reação do nitrogênio ligado ao combustível com o oxigênio (*fuel* NO_x) e; (c) formação intermediária de ácido cianídrico (HCN), seguida de sua oxidação para NO (*prompt* NO_x). Carvão e óleos residuais possuem altos níveis de nitrogênio ligado ao combustível, formando os NO_x por todos os mecanismos (EPA, 1991).

O dióxido de nitrogênio (NO₂) é um gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (que contribuem por reações químicas para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos. É gerado por processos de combustão em veículos automotores, processos industriais em geral, usinas termoelétricas e incineração. Causa um aumento da sensibilidade à asma e bronquite e reduz a resistência a infecções respiratórias. Leva também à formação de chuva ácida e a danos à vegetação e colheitas. Produzido pela reação da radiação solar sobre os NO_x, e compostos orgânicos voláteis - COVs⁹, o ozônio (O₃) troposférico¹⁰ é um gás incolor, o principal componente da névoa fotoquímica. Causa irritação nos olhos e vias respiratórias, com diminuição da capacidade pulmonar. O ozônio é associado ao aumento de internações hospitalares e a danos à vegetação (CETESB, 2000).

Os COVs são emitidos através de processos evaporativos, da queima incompleta de combustíveis automotivos e em processos industriais. A formação do ozônio na troposfera depende da velocidade de fotólise do NO₂ e da razão [NO₂]/[NO]. Assim, se nenhum outro processo convertesse NO em NO₂, a concentração de ozônio não aumentaria significativamente. No entanto, na presença dos compostos orgânicos voláteis, as concentrações de ozônio aumentam, uma vez que NO é convertido em NO₂ via formação de

⁹ Também conhecidos como VOCs – *volatile organic compounds*

¹⁰ Troposférico: de baixa altitude, que não deve ser confundido com a camada de ozônio estratosférico que filtra a radiação ultravioleta

radicais. A velocidade de formação do ozônio depende da quantidade e da reatividade de cada um desses compostos. Muitas são as reações químicas envolvendo os COVs presentes na atmosfera. Além da complexidade do sistema de reações químicas, fatores meteorológicos e topográficos fazem com que os gases precursores emitidos sejam transportados a vários locais, às vezes distantes das fontes, resultando em níveis altos de ozônio em locais distintos da área onde ocorreram as emissões. A formação de ozônio ocorre também, com menor velocidade de reação, devido à oxidação do monóxido de carbono, CO, na presença de óxidos de nitrogênio. De maneira geral, a formação de ozônio é limitada pelas concentrações de COVs e/ou NO_x presentes na atmosfera de uma dada região. O aumento da temperatura e da radiação solar incidente favorece a formação do ozônio na atmosfera, o que explica a mínima ocorrência de episódios críticos de poluição do ar nos meses mais frios do ano. Dias quentes, sem nuvens e secos, favorecem a formação de ozônio. Com relação a distribuição dos episódios durante os dias da semana, não há diferenças significativas entre os dias úteis e finais de semana. Quanto aos COVs, o valor máximo de hidrocarbonetos não-metano (HCNM) coincide com os picos de tráfego associados à estabilidade atmosférica (CETESB, 2000b).

A formação dos NO_x depende da temperatura de queima, da razão entre ar e combustível e da umidade. A reação endotérmica tem um efeito de resfriamento na zona de combustão, reduzindo a formação de *thermal* NO_x. Motores com câmaras de pré-ignição geralmente emitem menos NO_x que os motores de injeção direta de combustível. Como a eficiência de uma turbina a gás é determinada pela temperatura de queima, o aumento da temperatura do ar de entrada gera emissões de NO_x mais altas. Queimadores do tipo *low-NO_x* reduzem significativamente tais emissões. As emissões de NO_x por caldeiras e sistemas de aquecimento dependem de diversos parâmetros de projeto e operação, incluindo os tipos de combustíveis (eu geram mais ou menos *fuel* NO_x), de queimadores, o pré-aquecimento do ar de combustão, a temperatura da câmara de queima, o nível de ar em excesso e a carga de combustível

aplicada (determinantes do *thermal NO_x*). O parâmetro mais importante que afeta as emissões de NO_x em uma caldeira ou sistema de aquecimento é o conteúdo de nitrogênio no combustível (EPA, 1991).

O carvão gera mais NO_x por unidade de energia que entra no sistema do que o óleo que, por sua vez, emite mais do que o gás natural. Outros fatores de projeto que têm grande efeito sobre as emissões de NO_x são o tipo de queimador e os métodos de atomizar o óleo antes da combustão. Dois são os tipos de queimador: o convencional e o de queima por estágios (*staged combustion air oil burners*), com diferentes proporções estequiométricas de ar. A temperatura da câmara de queima afeta as emissões de NO_x por sua relação com a temperatura da chama: altas temperaturas da câmara induzem a altas emissões de NO_x. As condições de mistura do combustível com o oxigênio do ar também influenciam diretamente as emissões de NO_x, quer pelo desenho da câmara, quer pela relação ar/combustível aplicada (EPA, 1991).

Sistemas de controle de NO_x em turbinas podem ser do tipo *dry-low NO_x combustors* (eficiências relatadas de até 80%) e resfriamento da câmara por injeção úmida (*wet injection*), aplicável a combustíveis gasosos e líquidos. Tal alternativa possui inconvenientes, como maior emissão de CO e HCs, além de comprometer o desempenho do sistema. Em motores de combustão interna, podem-se controlar os NO_x pelo retardamento na injeção (pré-ignição) pelo controle da razão ar/combustível e por injeção úmida. Em caldeiras, pode-se reduzir o ar em excesso, utilizar queimadores *low-NO_x* (de queima estagiada ou de combustíveis por estágios), pela requeima ou pela recirculação dos gases de emissões, pela redução da temperatura de queima ou da taxa de queima. Técnicas de redução pós-combustão incluem o uso da redução catalítica seletiva (*selective catalytic reduction - SCR*), redução catalítica não-seletiva (*NSCR*) e redução não-catalítica seletiva (*SNCR*), que pode utilizar amônia ou uréia como agente redutor (EPA, 1991).

Nos EUA, uma maior conscientização da sociedade fez com que os óxidos de nitrogênio (NO_x) recebessem alta atenção regulatória em níveis local, estadual e federal. Contribuem para isso: (a) as constatações de uma crescente deterioração ambiental por ozônio (O_3) e da chuva ácida; (b) as dificuldades no abatimento e controle dos poluentes precursores de tais efeitos e; (c) o crescimento em número e volume dos sistemas de combustão por fontes fixas. Além dos esforços na identificação das fontes, várias normas de desempenho foram editadas em nível federal para regular os NO_x em processos que incluem caldeiras industriais e comerciais, plantas de ácido nítrico, turbinas a gás de termelétricas e incineradores de resíduos municipais. Uma ampla variedade de novas tecnologias de controle está à venda em países desenvolvidos, porém o desempenho não é bem documentado pela literatura, existindo poucas informações disponíveis para demonstrar a sua verdadeira aplicabilidade. A EPA editou, em 1991, uma compilação de tais tecnologias, detalhando os mecanismos de formação de poluentes por tipo de combustão e equipamentos de controle final e apresentando os níveis de emissões atingidos. O trabalho apresenta também a situação de então quanto à sua aplicação nos EUA e em países como Japão e Alemanha (EPA, 1991).

2.2.1.2. Dióxido de enxofre (SO_2)

Um dos componentes dos óxidos de enxofre (SO_x), o dióxido (SO_2) é um gás incolor, de odor forte, que pode ser transformado em SO_3 . Este, reagindo com vapor de água, gera ácido sulfúrico. É também precursor de sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis (as de diâmetro menor que 10 micra, que penetram mais profundamente no aparelho respiratório e são as que apresentam efetivamente mais riscos à saúde). São gerados principalmente por processos de queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, veículos a diesel e indústrias de papel e celulose. Causam desconforto na respiração e doenças respiratórias, agravando as cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma ou doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO_2 , que causa também chuva ácida,

corrosão em materiais e danos à vegetação natural e às colheitas (CETESB, 2000b).

A chuva ácida é uma forma de poluição na qual poluentes - principalmente SO_2 e NO_x produzidos pela combustão de combustíveis fósseis - são transportados a grandes distâncias na atmosfera, transformados em ácidos pelo contato com a água e depositados por precipitação em ecossistemas vulneráveis. Tais problemas adquirem características transfronteiriças, as quais se estenderam mais tarde a outras substâncias poluentes regionais que participam no complexo conjunto de transformações químicas atmosféricas, como COVs, O_3 e metais pesados (DINCER, 1999). NAKICENOVIC, GRÜBLER e McDONALD (1998) afirmam que, dentro de pouco tempo, preocupações sobre as emissões de enxofre na Ásia terão precedência sobre outras problemáticas globais, como as mudanças climáticas. O nitrogênio que contém a chuva ácida forma nutrientes que se acumulam em leitos de águas recipientes, causando a proliferação de algas, a chamada eutrofização (BANCO MUNDIAL, 1998).

2.2.1.3. Monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2)

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e insípido, gerado pela combustão incompleta. Em altos níveis, afeta os reflexos humanos. Após oxidar-se completamente, gera o dióxido de carbono (CO_2), gás causador do aumento do efeito estufa (CETESB, 2000b). GOLDEMBERG *et al.* (1983) descrevem de maneira pormenorizada a importância de se minimizar o consumo de combustíveis fósseis (por ganhos de eficiência ou substituição por fontes renováveis) e sua relação com as concentrações de CO_2 no planeta. NAKICENOVIC, GRÜBLER e McDONALD (1998) apresentam diversos cenários em termos de emissões mundiais da substância, em função do consumo de energia.

2.2.1.4. Material particulado (MP) e partículas finas inaláveis (MP₁₀)

As partículas totais em suspensão são material sólido ou líquido de tamanho inferior a 100 micra, suspenso na forma de poeira, neblina, aerossóis, fumaça ou de fuligem. Suas fontes principais são processos industriais, exaustão de veículos motorizados, poeira de rua em suspensão e queima de biomassa. Fontes naturais incluem o solo, pólen e aerossóis marinhos. Quanto menor o tamanho da partícula, pior o efeito à saúde, especialmente em pessoas com doenças pulmonares, idosos e crianças. Causam também danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo. Merecem especial atenção as partículas inaláveis (MP₁₀), com tamanho inferior a 10 micra, geradas principalmente por processos de combustão e aerossóis secundários (CETESB, 2000b). Os impactos de particulados finos (MP₁₀ ou menores) sobre a saúde têm especial relevância, uma vez que as concentrações ambientais de tais poluentes não são somente influenciadas por emissões primárias, mas em significativa extensão por aerossóis secundários que são quimicamente formados na atmosfera através das emissões precursoras de SO₂, NO_x, NH₃ e COVs. Significativas economias em sistemas de saúde pública são esperadas se as medidas de controle de poluição puderem ser estendidas a tais poluentes (AMANN, 2001).

O *World Energy Assessment 2000* (UNDP; UNDESA; WEC, 2000) apresenta curvas relacionando taxas de mortalidade e concentrações de MP₁₀. Um estudo de MURRAY e NELSON (2000) apontou um crescimento de 1,5% nas taxas de mortalidade na população da cidade de Filadélfia entre 1973 e 1990, nas épocas de mais altas concentrações de partículas suspensas totais (PST). OSTRO *et al.* (1999) determinaram uma forte correlação entre a mortalidade diária e a concentração de MP₁₀ em climas tropicais, em especial para Bangkok, uma área metropolitana com uma população acima de 6 milhões de habitantes na Tailândia. A magnitude do efeito é comparável ou ainda maior do que as encontradas na América do Norte e Europa Ocidental, para mortalidade por doenças respiratórias, cardiovasculares e todas as outras modalidades de mortes não acidentais. Tais conclusões, em uma cidade

tropical com padrões sazonais muito diferentes e para uma população com características diversas, fornecem um forte apoio à interpretação da associação entre a poluição e a mortalidade. Na média, um aumento de 10 microgramas por metro cúbico nas concentrações de MP₁₀, em uma média diária, associa-se a aproximadamente 1% de aumento na taxa de mortalidade. Os autores apresentam também uma comparação entre 8 cidades dos EUA, mais Santiago do Chile, apontando que um aumento de 10 µg/m³ de MP₁₀ equivale a aumentar as taxas de mortalidade natural em valores de 0,6% a 1,2%, as cardiovasculares em 0,4 a 1,8% e as respiratórias em 1,3 a 3,7%. Como, infelizmente, informações de substâncias como O₃ e SO₂ não eram disponíveis, os MP₁₀ servem como um indicador dos efeitos agregados da poluição do ar. Ainda assim, os autores mencionam estudos sobre o efeito de MP₁₀ na mortalidade em cidades que apresentam um baixo nível destes outros poluentes e concluem, para todas as áreas, uma associação positiva entre a mortalidade e MP₁₀, com magnitudes similares de efeitos.

Partículas são geradas por diversas fontes, dentre as quais a queima de óleos. O *Electric Power Research Institute* – EPRI (1984) descreve as técnicas de medição, os diferentes tamanhos de partículas e composição para cada óleo. O termo óleo combustível aplica-se a diversos derivados líquidos de petróleo, inclusive o óleo cru, destilados e residuais. Os óleos números 1 e 2 são destilados, enquanto os 5 e 6 são residuais do processo de refino. Óleos número 4 são destilados ou misturas com uma apreciável proporção de destilados. O óleo 6 requer pré-aquecimento para transferência e queima, enquanto o nº 5 pode requerer prévio aquecimento, dependendo da temperatura ambiente. Graus mais leves não requerem pré aquecimento. Pelo seu mais baixo custo, o nº 6 é o mais utilizado para a geração de vapor na indústria, ao passo que o nº 2 é mais utilizado em caldeiras menores, industriais e comerciais, pela sua mais alta conveniência e pela queima mais limpa. HUFFMAN *et al.* (2000) também tratam sobre a caracterização de particulados finos produzidos pela combustão de óleo residual. Além dos esperados compostos de enxofre, diversos metais pesados foram identificados

e quantificados: níquel, ferro, cobre, zinco, chumbo, arsênico e vanádio.

2.2.2. Tecnologias de controle de emissões

O termo "controle de poluição" representa historicamente todas as ações que eliminam ou reduzem a geração de poluentes, incluindo-se o tratamento das emissões. Dentre as medidas preventivas, podem-se citar a substituição de insumos, o bom uso dos equipamentos dentro de sua capacidade nominal, o armazenamento e manuseio adequados de produtos e insumos, a correta utilização de processos de menor potencial poluidor e os bons cuidados na produção e transporte, aliados a treinamento e conscientização. Esgotados tais esforços, devem-se utilizar equipamentos de controle de poluição do ar, que se dividem em função do estado físico do poluente a ser considerado: material particulado ou gases e vapores. O material particulado pode ser classificado, segundo o método de formação, em poeiras (de cimento, amianto, algodão ou da rua), fumos (de chumbo, alumínio, zinco, cloreto de amônia), névoas (partículas líquidas) e fumaça (partículas da queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos ou madeira, fuligem, partículas líquidas ou cinzas). Gases e vapores são poluentes na forma molecular, podendo, inclusive, causar odores incômodos ou conter poluentes altamente tóxicos, como as dioxinas e os furanos (ASSUNÇÃO, 2002).

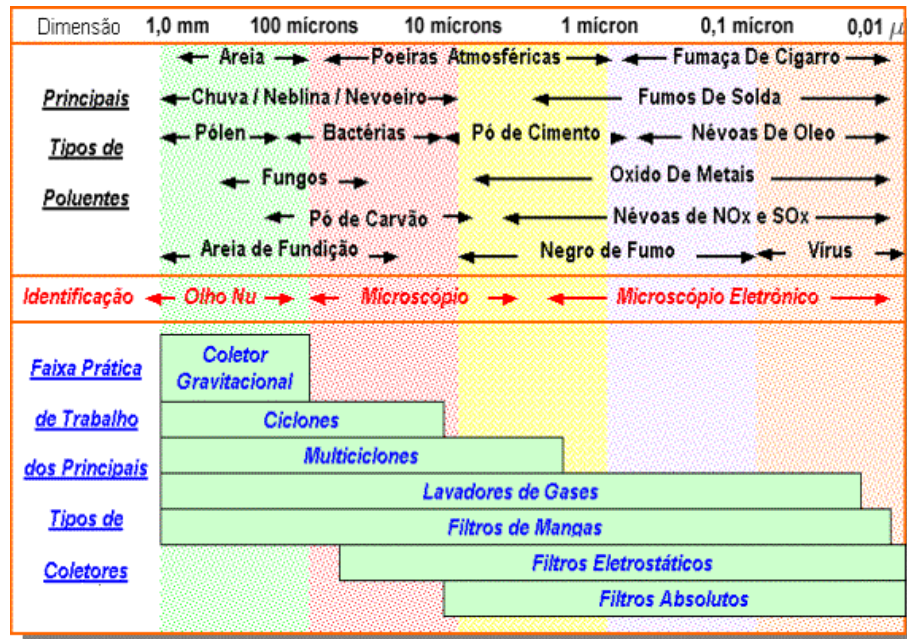
Segundo BUONICORE e DAVIS (1992), o material particulado pode ser removido do fluxo gasoso poluído mediante sistemas secos (coletores mecânicos inerciais e gravitacionais; coletores centrífugos, como os ciclones; precipitadores eletrostáticos secos e filtros de tecido, os chamados filtros-mangas) e por sistemas úmidos (lavadores com pré-atomização, do tipo spray; lavador com atomização pelo gás, como os lavadores venturi e de orifício; lavador de leito móvel; lavador com enchimento; precipitadores úmidos, dinâmicos ou eletrostáticos). Gases e vapores podem ser removidos do fluxo poluído através de absorvedores (lavadores de gases), adsorvedores

(como os à base de carvão ativado), por incineração térmica (de chama direta) ou catalítica (como os combustores dos automóveis), condensadores, biofiltros ou processos especiais. Conforme a tecnologia, são obtidas eficiências de remoção superiores a 99%. Para material particulado, os equipamentos possuem uma eficiência fracionada, isto é, diferentes taxas de remoção em função do diâmetro das partículas ou do estágio do sistema (câmara de sedimentação, ciclones de baixa e alta pressão, lavadores, filtros de tecido e precipitador eletrostático). Além disso, influem na eficiência as características do sistema de captação: captores, dutos, moto-ventilador e chaminé. A seleção do equipamento, além da eficiência, leva em conta cálculos de custo anualizado¹¹. A Figura 2.1 apresenta um esquema para a seleção de tecnologias de controle para poluentes.

Para óleo combustível, os principais equipamentos de controle final são os coletores mecânicos para particulados. Quando se requer controle de emissão de materiais finos, utilizam-se precipitadores eletrostáticos. O controle de emissões da queima de óleos de alto teor de enxofre pode ser feito através de lavadores e atomizadores. Já para os NO_x, a redução se dá na combustão, como a queima com ar em excesso, recirculação de emissões e combustão estagiada, com reduções de até 60%. Maiores reduções são feitas pelo uso de redutores catalíticos, bem mais caros. O gás natural, apesar de significativamente mais limpo para particulados e enxofre, apresenta problemas semelhantes aos do óleo combustível no que se refere aos NO_x (BUONICORE e DAVIS, 1992).

¹¹ custo anualizado é uma forma de cálculo financeiro da relação custo-benefício, função dos investimentos e custos requeridos pelo projeto e fator de recuperação de capital. Este, por sua vez, depende da taxa de juros e da duração do projeto.

Figura 2.1. Opções de tecnologia de controle de poluentes atmosféricos de origem industrial (AGUIAR, 2002)

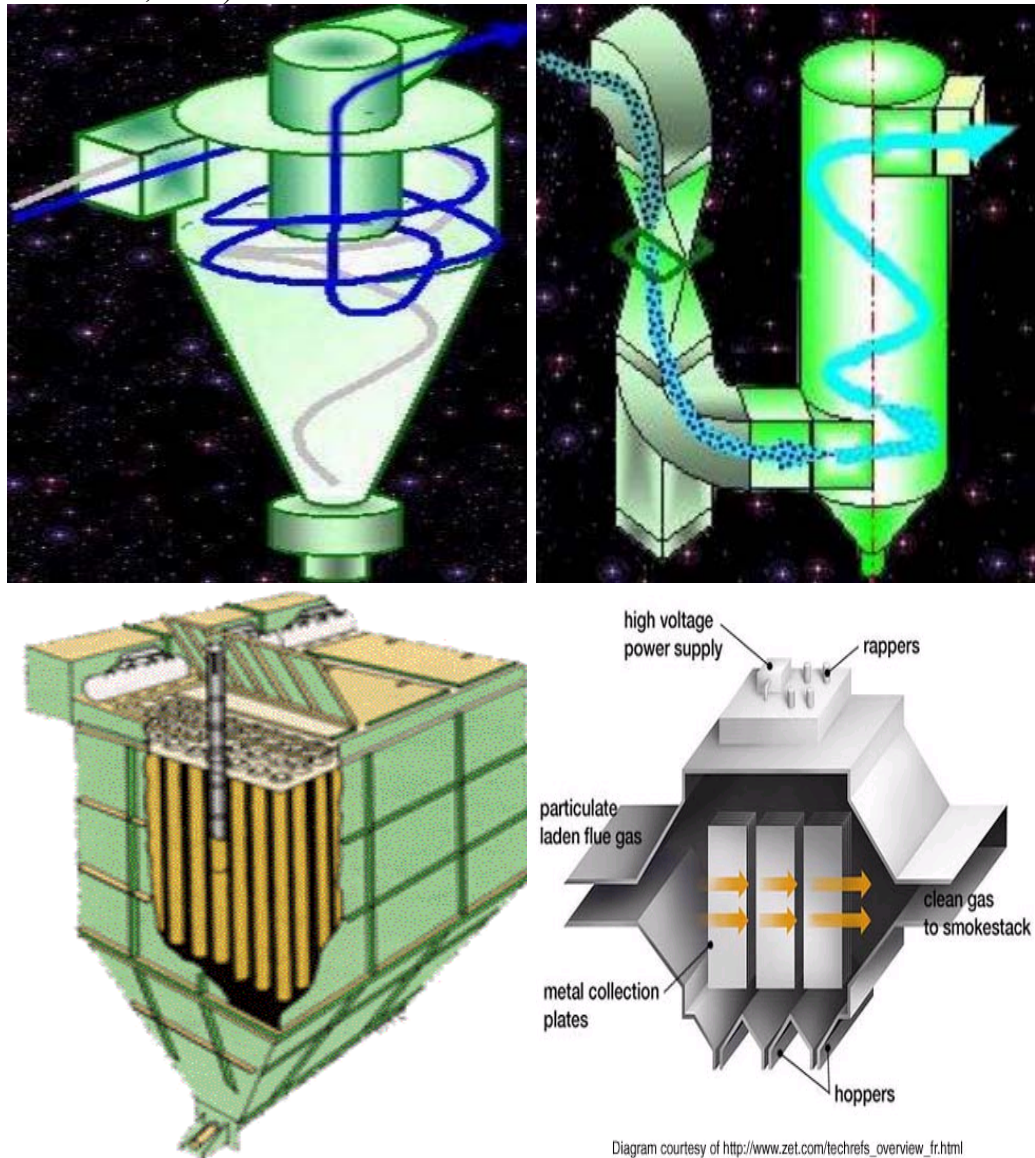


As figuras 2.2 a 2.7 exemplificam algumas das tecnologias de limpeza de gases.

Figuras 2.2 e 2.3. Equipamentos para remoção de SO₂ e NO_x. (SEGHERS, 2002). À esquerda (Fig.2.2), atomizador (tecnologia rotacional) de solução de cal para a remoção de SO₂ e resfriamento dos gases. À direita (Fig.2.3), redutor seletivo catalítico (SCR) para NO_x, através de reações termoquímicas, com injeção de amônia (NH₃) ou uréia (CO(NH₂)₂) nos gases, em presença de um catalisador.



Figuras 2.4 a 2.7 . Equipamentos para controle de material particulado. Diagramas de um ciclone (Fig. 2.4, alto à esquerda), separador Venturi (Fig. 2.5, à direita), filtro manga (Fig. 2.6, abaixo à esquerda), conforme AGUIAR (2002). Abaixo à direita, precipitador eletrostático (Fig. 2.7, conforme ENVE411, 2002).



Na Tabela 2.2 é apresentado um sumário de equipamentos de controle final de poluentes atmosféricos, por tipologia, principais equipamentos e princípios de operação.

Tabela 2.2. Sumário das tecnologias de limpeza de gases (SCIENTECMATRIX, 2002)

Tipo	Equipamento	Princípio	Observações
Separadores mecânicos	Gravitacionais	Criação de velocidades diferentes entre gás e partículas, separadas por gravidade	Pré-separador em instalações modernas
	Centrífugos	Força centrífuga separa partículas sólidas finas ou gotículas dos gases.	Ciclones ou multi-ciclones, em geral usados como pré-separadores
Eletrofiltros (precipitadores eletrostáticos ou ESP)	Secos	Coleta de poeira em eletrodos, sob um campo elétrico	
	Úmidos	Assim como os secos, exceto que eletrodos são limpos para maior eficiência.	Gases saturados com vapor antes de entrar no precipitador
	Condensação	Idem, com resfriamento dos eletrodos do coletor. Uma barreira separa a poeira dos gases.	
Filtros mecânicos	Filtros-mangas	Limpeza no local por pulsos de ar, contra-fluxo ou batidas mecânicas	Técnica mais difundida; confiabilidade depende do material filtrante.
	Filtros-envelopes	Idem, forma diferente	
Filtros de alta temperatura	Cerâmicos	Idem, material cerâmico	Técnica metalúrgica, aplicada em pequenas instalações
	Metálicos	Idem, metal	Ainda em fase de demonstração
Lavadores	Torre de atomização	O fluido de limpeza é atomizado sobre os gases em uma coluna	Sistema simples com pouca perda de pressão. Recirculação do fluido é dificultada por entupimentos nos bocais.
	Venturi	Atomização no gargalo da coluna	Eficiente remoção, mas alta perda de pressão
	Por jato	Gases e fluido de limpeza são misturados por bombeamento	Alto consumo de água
	Módulos "Amazon"	Contato de fluxo cruzado: fluido de limpeza flui por fios verticais que atravessam o fluxo de gases	Pouco usado, pequena perda de pressão
	Colunas preenchidas	A coluna é preenchida com enchimento para aumentar a superfície de contato entre as fases gasosa e líquida.	Muito utilizada, para uso em gases sem poeiras.
	Coluna de disco	Gases formam bolhas através da camada líquida.	Alta flexibilidade para vazões e temperaturas, alta eficiência; própria para gases sem poeiras.
	Rotacionais	Atomização do fluido de limpeza por um disco de alta rotação	Caro, mas não requer pré-remoção de poeira dos gases
Remoção semi-úmida de ácidos	Ionizadores	Idem aos ESP	Em demonstração
	Condensadores	Mesmo princípio dos condensadores ESP.	
	Atomização pressurizada	Suspensão de cal é atomizada nos gases por ar pressurizado e bocais de duas fases.	Alto consumo de ar.
	Atomizador rotativo	Suspensão de cal atomizada por um disco rotativo.	Altíssima eficiência; qualidade da atomização independe de temperatura e vazão de gases.
Remoção de ácidos semi-seca		Injeção de um reagente seco em gases umidificados	
Remoção de ácidos seca	Cal	Injeção de cal nos gases através de ar aquecido, passando por um filtro que serve como zona de reação secundária.	Aplicação com ou sem recirculação do resíduo.
	Bicarbonato de sódio	Mesmo princípio que injeção de cal	Idem ao acima. Possível a reciclagem do reagente.
Injeção de adsorvente	Carvão ativado	Injeção de pó de carvão ativado nos gases com ar poseurizado, sobre um filtro.	Tecnologia de referência. Necessita de pós-tratamento após a reação.
	Zeólitos	Idem	Para altas temperaturas
	Cal - carvão ativado	Idem	Combinação de remoção ácida seca e adsorção.
Oxidação/redução catalítica	SCR deNOx	NO _x reage com a amônia/uréia injetada em um catalizador para produzir nitrogênio e água.	Altíssima eficiência (>90%) com estequiometria otimizada.
	DeDInOx	Combinação de deNOx e destruição de dioxinas, que se oxidam no catalizador sob a influência do oxigênio remanescente nos gases.	Melhor tecnologia disponível para a destruição de dioxinas e furanos nos gases.
	Oxidação	Sob a influência do oxigênio restante nos gases.	Usado em pequenas vazões, para oxidar dioxinas e hidrocarbonetos.
SNCR deNOx	Uréia, amônia ou produto comercial	Injeção de reagente formador de NH ₃ na câmara de pós-combustão em locais com temperatura em torno de 900-1000°C.	Possível eficiência de remoção de 70%, com emissões aceitáveis de amônia.

2.3. Aspectos regulatórios

Para se controlar a poluição não basta fiscalizar de maneira instantânea um determinado número de fontes. Um mesmo processo pode emitir grandes cargas durante um curto período de tempo. Adicionalmente, um sem-número de pequenos e médios processos emitem de forma difusa os poluentes que refletirão na qualidade do ar. Os próprios poluentes primários emitidos podem transformar-se em secundários - através de reações fotoquímicas, por exemplo. Podem ainda ser transportados por longas distâncias, cruzando fronteiras internacionais.

Cada local tem uma condição de suportar os impactos pelos poluentes a que são submetidos, a chamada capacidade de suporte do meio. Esta também varia em função de, por exemplo, condições meteorológicas.

Assim, a relação emissão-impacto não é constante. Por outro lado, instrumentos regulatórios devem prever tais condições e interferir nas atividades econômicas de maneira a garantir a melhor qualidade ambiental possível, identificando quem poluiu e cobrando-lhe o ônus que está sendo pago indiretamente por toda a sociedade.

2.3.1. Padrões de qualidade do ar

Os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são: (a) fornecer dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica (falta de vento e chuva), quando os níveis de poluentes na atmosfera possam representar risco à saúde pública; (b) avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem estar das pessoas e; (c) acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas a alterações nas emissões dos poluentes (CETESB, 2002b).

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e o bem estar das pessoas. Os padrões nacionais foram estabelecidos pelo IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis - e aprovados pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 1990). A estrutura dos padrões de qualidade do ar consta da Tabela 2.3.

Tabela 2.3. Estrutura dos padrões de qualidade do ar (CETESB, 2002a)

PARÂMETROS	NÍVEL DE QUALIDADE					
	50% PQAR	PQAR	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA	CRÍTICO
SO ₂ - Dióxido de Enxofre (µg /m ³)	80	365	800	1.600	2.100	2.620
PI - Partículas Inaláveis (µg /m ³)	50	150	250	420	500	600
CO - Monóxido de Carbono (ppm)	4,5	9,0	15,0	30,0	40,0	50,0
O ₃ - Ozônio (µg /m ³)	80	160	200	800	1.000	1.200
NO ₂ - Dióxido de Nitrogênio (µg /m ³)	100	320	1.130	2.260	3.000	3.750

PQAR - Padrão de qualidade do ar / µg - micrograma / ppm - partes por milhão. PI são as MP₁₀ ou menores.

Os padrões de qualidade do ar adotados pela EPA e Banco Mundial são apresentados na Tabela 2.4.

No Estado de São Paulo, as áreas críticas em termos de emissões de poluentes atmosféricos são a Grande São Paulo e as regiões de Cubatão, Vale do Paraíba e Grande Campinas. Incluído nesta última está o município de Paulínia, que possui diversas fontes industriais de grande porte, inclusive a maior refinaria de petróleo do país. Dentre os principais problemas da região estão a falta de água e a poluição do ar por particulados e ozônio. A preocupação com a qualidade de vida no município se intensificou com a perspectiva da instalação de termelétricas e outras indústrias, induzidas pela chegada do gás natural da Bolívia. A possibilidade de se ter a área saturada de poluentes iniciou uma discussão sobre o licenciamento de grandes fontes

baseado na capacidade de suporte do meio, isto é, da carga de poluentes que o ambiente local pode suportar em um determinado período sem ter suas condições excessivamente comprometidas (CETESB, 2001a).

Tabela 2.4. Padrões internacionais de qualidade do ar (CETESB, 2002a)

Poluente	Concentração (mg/m ³)	Período	Entidade
MP ₁₀	150 (máximo)	24h	EPA
	50 (média aritmética)	ano	EPA
MP _{2,5}	65 (máx)	24h	EPA
	15 (m.a.)	ano	EPA
SO ₂	365 (máx)	24h	EPA
	80 (m.a.)	ano	EPA
	125 (max)	24h	Banco Mundial
NO ₂	100 (m.a.)	ano	EPA
	200 (max)	1h	Banco Mundial
O ₃ ,	235 (0,12 ppm) max	1h	EPA
	157 (0,08 ppm) max	8h	EPA
	120 (max)	8h	Banco Mundial
CO	40.000 (35 ppm) max	1h	EPA
	10.000 (9 ppm) max	8h	EPA, Banco Mundial

Uma avaliação da qualidade do ar na região de Paulínia no inverno de 2000 monitorou as partículas inaláveis, SO₂, CO, NO_x e O₃. Para as primeiras, segundo o relatório da CETESB (2001b) o padrão diário foi ultrapassado em 9 dos 85 dias, sendo provável que também o padrão anual viesse a ser ultrapassado. Os padrões diários primário e secundário para SO₂ não foram ultrapassados, sendo consideradas baixas as concentrações do poluente na região, ocorrendo o mesmo com o CO. Devido a problemas técnicos do equipamento, os NO_x não foram monitorados. O padrão de O₃ foi ultrapassado em 8 dias, sendo em 5 ultrapassado o nível de atenção (> 200

$\mu\text{g}/\text{m}^3$). O relatório afirma ainda ser possível que, durante os períodos de primavera e verão, quando a radiação solar é mais intensa, se verifique maior número de ultrapassagens do padrão para este poluente secundário.

Todos os dias a CETESB divulga os dados de qualidade do ar, juntamente com a previsão meteorológica da dispersão dos poluentes para as 24 horas seguintes. Para simplificar a informação, um índice de qualidade do ar é utilizado desde 1981, tendo como parâmetros SO_2 , partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, CO, O_3 e NO_2 . Para cada poluente medido é calculado um índice e a divulgação utiliza o índice mais elevado, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso (CETESB, 2002b). Depois de calculado o valor do índice, o ar recebe uma qualificação, que é uma espécie de nota, feita conforme a escala apresentada na Tabela 2.5.

Tabela 2.5. Escala simplificada de qualidade do ar (CETESB, 2002b).

ESCALA	QUALIDADE DO AR	ESTADO
0 - 50	BOA	
51 - 100	REGULAR	
101 - 199	INADEQUADA	
200 - 299	MÁ	ATENÇÃO
300 - 399	PÉSSIMA	ALERTA
> 400	CRÍTICA	EMERGÊNCIA

Cubatão foi um marco nas políticas brasileiras, modificando as prioridades de desenvolvimento industrial do regime militar para a proteção ambiental dos governos democráticos. Casos de anencefalia - que deram à região o nome de Vale da Morte - levaram a uma aliança política com ampla participação popular e transparência. O programa de controle para a região iniciou-se em 1983, com a identificação pela CETESB de 320 fontes primárias. Até 1993, 288 foram controladas. O exemplo de Cubatão gerou ganhos tanto para a CETESB quanto para os movimentos populares. As indústrias também

lucraram, provando que o atendimento de padrões de conformidade não necessariamente significa aumento do desemprego. Entretanto, até hoje, a formação de políticas ambientais ainda é extremamente dependente da posição pessoal do governante com respeito ao assunto e da habilidade de movimentos populares para atrair o apoio no processo político, quase sempre dependente de um líder carismático e engajado (LEMOS, 1995).

2.3.2. Controle, fiscalização e licenciamento de fontes em São Paulo

Padrão de emissão é um limite estabelecido legalmente e que deve ser respeitado para a emissão na fonte. Em geral, são fixados pela autoridade estadual, como é o caso das emissões de material particulado, SO_x, NO_x, CO e ácidos de incineradores hospitalares. Já o padrão de condicionamento e projeto representa a exigência legal em relação à fonte, que limita seu uso ao atendimento de determinados parâmetros de projeto ou exigências, como temperatura de incineração, tipo de combustível e localização da fonte. Fatores de emissão expressam a emissão em função de um parâmetro da fonte, como o consumo de combustível ou a produção (ASSUNÇÃO, 2002).

A Resolução CONAMA no. 237 (BRASIL, 1997) disciplina o licenciamento ambiental no país, requerido para a localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental. Os empreendimentos sujeitos constam do apêndice à lei. Para impactos considerados regionais e outros casos expressos na Resolução, a atribuição é do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (órgão executor do SISNAMA, Sistema Nacional de Meio Ambiente). O IBAMA licencia os empreendimentos após considerar o exame técnico procedido pelos órgãos ambientais dos Estados e Municípios em que se localizar a atividade ou

empreendimento, bem como, quando couber, o parecer dos demais órgãos competentes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios envolvidos no procedimento de licenciamento. O IBAMA, ressalvada sua competência supletiva, pode delegar aos Estados o licenciamento de atividade com significativo impacto ambiental de âmbito regional, uniformizando, quanto possível, as exigências. Compete ao órgão ambiental estadual ou do Distrito Federal o licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades localizados ou desenvolvidos em mais de um Município ou em unidades de conservação de domínio estadual ou do Distrito Federal. Incluem-se nessa competência os localizados ou desenvolvidos em formas de vegetação natural de preservação permanente e aqueles cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites de um ou mais Municípios, além dos delegados pela União aos Estados ou ao Distrito Federal, por instrumento legal ou convênio.

Por sua vez, compete ao órgão ambiental municipal, ouvidos os órgãos competentes da União, dos Estados e do Distrito Federal, quando couber, o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades de impacto ambiental local e daquelas que lhe forem delegadas pelo Estado por instrumento legal ou convênio. Os empreendimentos e atividades são autorizados em um único nível de competência, através de licenças Prévia (LP), de Instalação (LI) ou de Operação (LO), conforme a fase do processo.

O controle e fiscalização das emissões atmosféricas industriais objetiva atingir os padrões de qualidade do ar. Controlar a emissão de poluentes industriais na atmosfera requer, dentre outras medidas, a realização de análises periódicas e implementação de medidas preventivas. Em São Paulo vigora a Lei Estadual nº 977, de 31 de maio de 1976 (SÃO PAULO, 1976b), regulamentada pelo Decreto no. 8468, de 18 de setembro de 1976. Este dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição e estabelece as atribuições da CETESB, os padrões de qualidade ambiental, os padrões de emissão de poluentes, o sistema de licenciamento de fontes de poluição e as sanções aplicáveis às infrações cometidas (SÃO PAULO, 1976a).

Quando não há um padrão estabelecido de emissão para a fonte, caso dos NO_x, são exigidos, conforme o Art. 41, *caput* e parágrafo único do referido Decreto, *sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível para cada caso, cuja adoção será feita pela análise e aprovação da CETESB de plano de controle apresentado por meio do responsável pela fonte de poluição, que especificará as medidas a serem adotadas e a redução almejada para a emissão* (SÃO PAULO, 2002a).

O Artigo 42 deste Decreto, *caput* e inciso I, ainda determina que *fontes novas de poluição de ar, que pretendam instalar-se ou funcionar, quanto à localização serão: I - obrigadas a comprovar que as emissões provenientes da instalação ou funcionamento não acarretarão, para a Região ou Sub-Região tida como saturada, aumento nos níveis dos poluentes que as caracterizem como tal* (SÃO PAULO, 2002a)¹².

No Estado de São Paulo, toda operação industrial deve obter licenças de instalação e funcionamento junto à CETESB, órgão de controle ambiental. O sistema de licenciamento é estabelecido pelo regulamento da Lei 977/76 e exige uma série de informações sobre o empreendimento, principalmente o processo produtivo, as características das fontes de poluição, o entorno da instalação e restrições ambientais específicas. Após obter a licença de instalação e para o funcionamento, a CETESB vistoria o empreendimento e verifica se as informações fornecidas são verídicas e se foram cumpridas as determinações técnicas exigidas. Caso isso não aconteça, cabe uma advertência e, posteriormente, multa (SÃO PAULO, 2002 a, b). Nos ensaios de amostragem de chaminés, comparam-se os valores obtidos com padrões de emissão, baseados na AP-42 da EPA, exigindo-se, caso necessário, equipamentos de controle final. A legislação estadual sofreu forte influência

¹² A redação do artigo gera considerável controvérsia: em primeiro lugar, por considerar como saturação um pequeno número de ultrapassagens do padrão, ainda que no restante do período em questão a qualidade ambiental seja boa; em segundo, por delimitar a região por critérios de municípios, não pelas áreas efetivamente impactadas ou impactáveis.

da legislação norte-americana, adaptada às condições de São Paulo (MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL, 2000).

Dessa forma, o controle ambiental em São Paulo adota procedimentos fiscalizatórios baseados nas emissões de cada empreendimento, que devem conformar-se aos padrões legais, que por sua vez são baseados em legislação internacional.

Com a intensificação das atividades industriais, de transporte, comerciais e outras formas de geração de poluentes (como, por exemplo, as queimadas), o atendimento por parte de cada emissor a tais padrões não garante a boa qualidade do ar de uma dada região. A emissão de poluentes se dá por um grande número de fontes, em sua maior parte não controladas. A importância de um inventário *bottom-up* de emissões está exatamente na maior precisão da identificação destas fontes e do quanto elas emitem.

Ao mesmo tempo, a importação de padrões de emissão estrangeiros, apesar de ser uma solução rápida e de baixíssimo custo, não reflete a realidade das fontes locais. É um paliativo, que deve ser refinado por dados de campo e outras formas de pesquisa adequadas às condições reais.

A opinião pública é bastante sensível aos empreendimentos emissores de grandes cargas individuais de poluentes, em especial as usinas termelétricas. A questão da qualidade do meio (Decr. 8468/76, Art. 42, *caput* e inc.I) é levantada principalmente na discussão pública dos Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), obrigatórios em São Paulo para empreendimentos energéticos com capacidade instalada acima de 10MW. Entretanto, fontes menores (como veículos, conjuntos motogeradores) causam um impacto suficiente para comprometer a qualidade do ar, colocando-a fora dos padrões. Apesar de na prática não ocorrer, há muito pouca ou nenhuma justificativa teórica para o tratamento diferenciado de

fontes novas e velhas de emissão por regulamentos ambientais, como bem descrevem ACKERMAN *et al.* (1999).

É fundamental a abordagem das cargas críticas nas regiões mais poluídas ou ecologicamente mais sensíveis, considerando a totalidade das emissões, ou pelo menos a parte mais significativa, distribuindo o ônus pelos impactos de forma justa e equitativa. As cargas críticas são as emissões que o ambiente e a saúde humana local pode suportar, não importando sua procedência local ou distante, mas a capacidade que o meio tem de assimilá-las. Determinar esta capacidade é uma tarefa complexa, uma vez que há diversos fatores interferentes em questão.

Diversas formas de modelagens tentam explicar essa dinâmica. Segundo ASSUNÇÃO (2002), dentre os vários modelos matemáticos propostos para determinar a elevação da pluma de fumaça de uma chaminé, os mais comuns são o SCREEN e o ISC, ambos da EPA. O primeiro serve para trabalhos preliminares em uma fonte, dispensando dados meteorológicos detalhados. O ISC permite a simulação da dispersão e da conseqüente qualidade do ar resultante da emissão de muitas fontes ao mesmo tempo, porém necessita de dados meteorológicos horários e topografia detalhada da região.

A relação entre a qualidade do meio e as emissões locais de poluentes não é simplesmente direta, uma vez que muitos poluentes são transportados por grandes distâncias, as cinéticas de formação podem ser complexas e há o efeito dos ventos verticais. Por exemplo, materiais particulados provenientes de queimadas são poluentes que podem ser transportados por longas distâncias e por diversos caminhos. A Figura 2.8 mostra um exemplo para materiais particulados, monitorado pelo Instituto Astronômico e Geofísico da USP (IAG).

A dispersão de poluentes na atmosfera é condicionada por fatores topográficos, meteorológicos (como a velocidade e direção dos ventos -

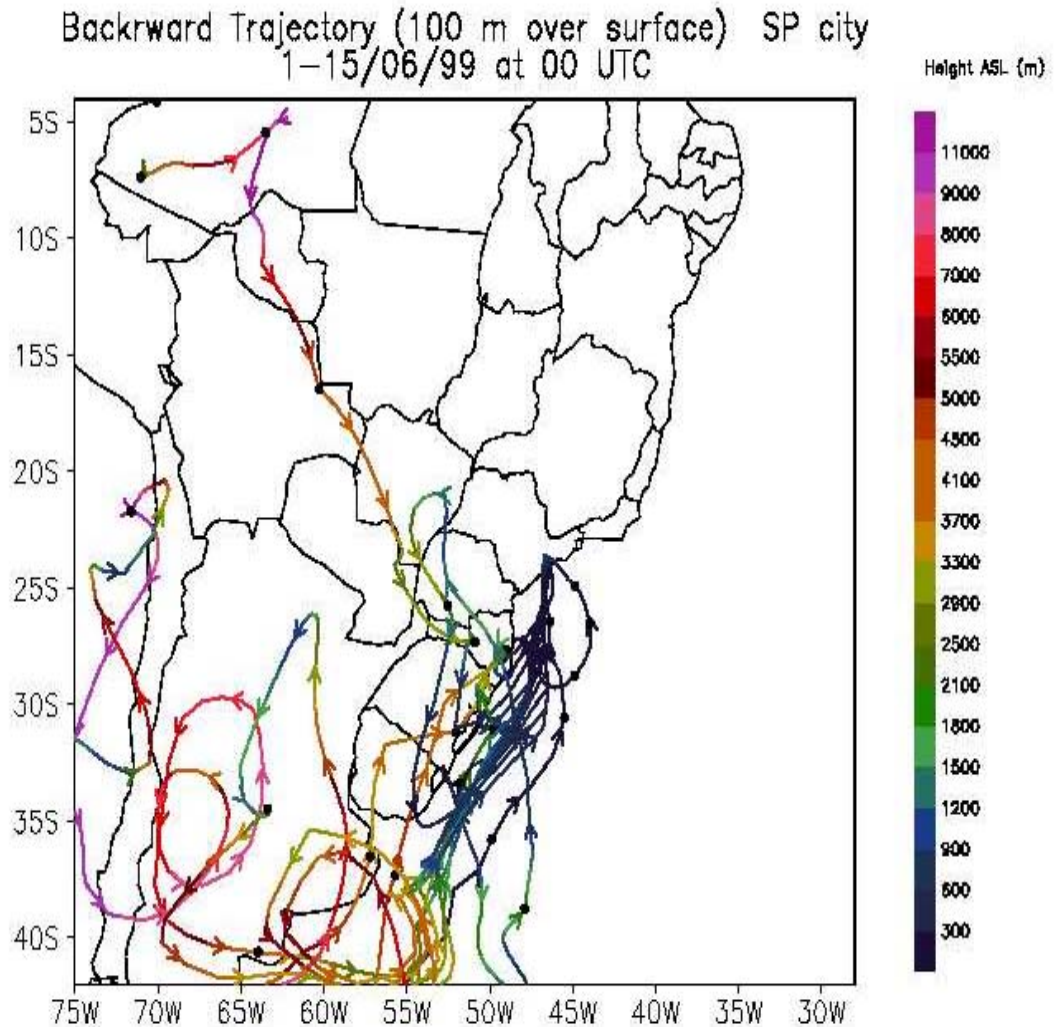
inclusive verticais, intensidade da radiação solar, perfil vertical da temperatura, regime de chuvas e turbulência da atmosfera) e pela reatividade dos poluentes na atmosfera (como os hidrocarbonetos e os NO_x, formadores de ozônio) (ASSUNÇÃO, 2002).

O ozônio de baixa altitude, por exemplo, é formado pela oxidação fotoquímica dos NO_x e pelos compostos orgânicos voláteis, que englobam os hidrocarbonetos (como as emissões fugitivas de postos de gasolina, tubulações de gás ou mesmo o metano de pântanos, manguezais e da fermentação entérica de bovinos) e os terpenos (como as emissões de certas árvores - pinheiros e eucaliptos). O ozônio pode levar horas ou dias para ser formado. As emissões de NO_x de um grande congestionamento numa sexta-feira em São Paulo podem levar a picos de ozônio detetados na zona rural de Salesópolis, em um sábado ensolarado sem nenhum veículo em circulação.

NIZICH, KUYKENDAL e BORMBERG (1995) apresentam interessantes compilações de dados históricos e geo-referenciados, a partir de inventários de emissão de poluentes do ar, realizados desde o início do século XX, nos EUA, Canadá, México e em 30 nações européias. Tendo 1990 como referência, apresentam emissões de poluentes como SO₂, NO_x, COVs, metanol, CO, CO₂, NO₂, NH₃ e MP. Em uma representação esquemática no mapa nacional, os níveis mais altos de COVs estão na região sudeste dos EUA (devido às emissões naturais de terpenos de pinheiros e outras árvores), enquanto os NO_x se concentram na região dos Grandes Lagos, altamente industrializada e com muitas termelétricas.

Segundo a CETESB (1998), na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o ozônio ultrapassa freqüentemente o padrão de qualidade do ar de 160 µg/m³, estabelecido pela Lei Estadual 8.468, de 1976, e por diversas vezes supera o valor de 200 µg/m³ (102 ppb), o que determina a qualidade do ar considerada "má", destacando-se, atualmente, como o poluente com maior número de ultrapassagens do padrão.

Figura 2.8. Trajetórias de chegada de MP na cidade de São Paulo no dia 15/06/1999 (USP, 2002b)

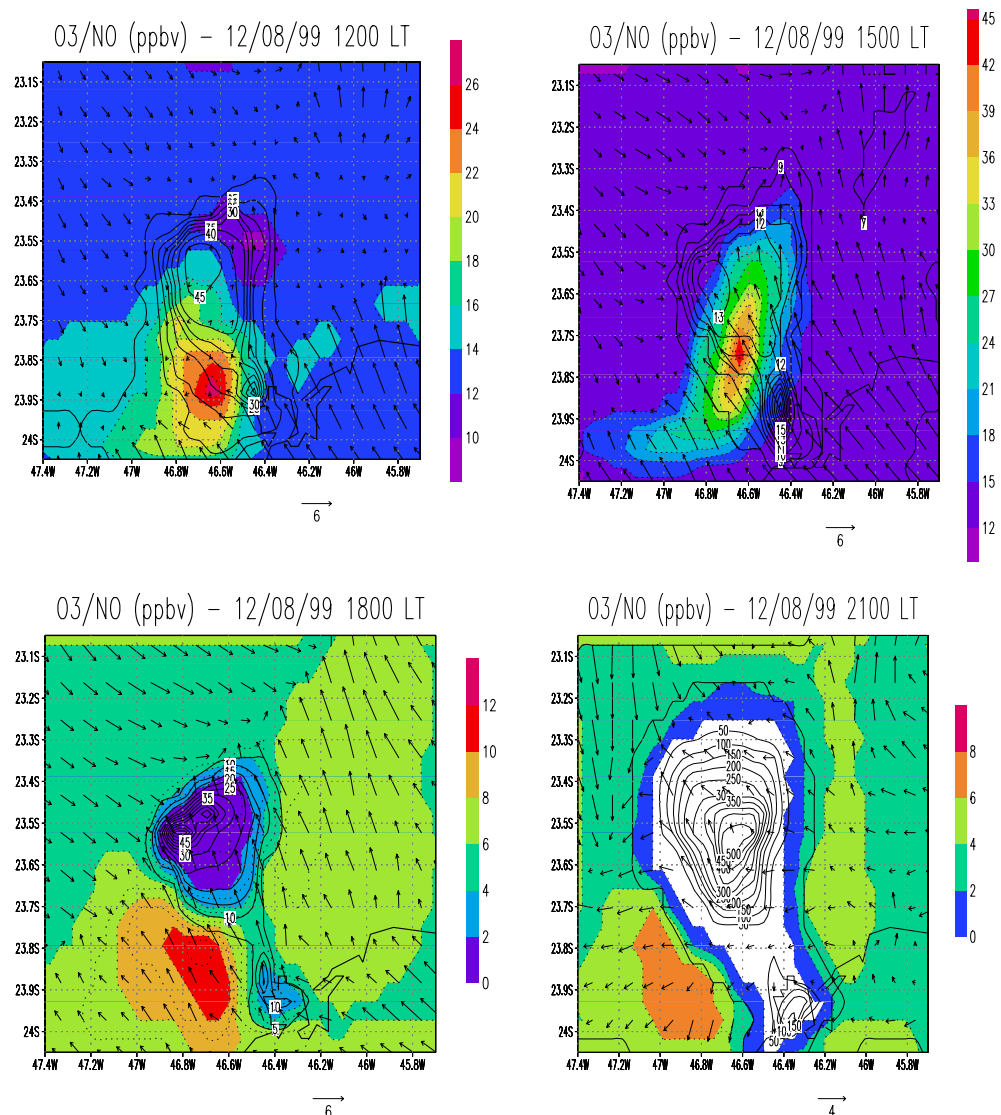


O perfil sazonal do ozônio na RMSP mostrou maior ocorrência de altas concentrações desde o final do inverno até início do verão. A maior frequência não ocorre nos meses mais quentes e com maior incidência de radiação solar, provavelmente pelo aumento da nebulosidade que ocorre nesses meses, o que reduz a quantidade de radiação solar que incide sobre a

superfície e, conseqüentemente, diminui a formação do ozônio na baixa troposfera. A duração dos episódios, em geral, é curta, isto é, as ultrapassagens do padrão ocorrem com maior freqüência por uma ou duas horas no dia, entre 13 e 15 horas. Em relação à distribuição dos episódios durante os dias da semana, não se observaram diferenças significativas entre os dias úteis e os finais de semana. Através da análise dos perfis médios dos poluentes de cada uma das estações observou-se um comportamento diferenciado devido à distância da via, pelo efeito dos veículos. Causam efeitos sensíveis nas concentrações de ozônio outros fatores, como a nebulosidade, o regime e intensidade de ventos e a interferência de hidrocarbonetos e outros COVs. Concluindo, este relatório da CETESB (1998) reconhece que, para um melhor entendimento do processo de formação do ozônio, deverão ser realizados estudos específicos nos dias de ultrapassagem do padrão, bem como pesquisas para avaliação de modelos de formação e transporte do poluente.

A dinâmica dos NO_x/ozônio é bastante complexa, como se pode ver nas figuras 2.9 a 2.12, também fornecidas pelo IAG-USP, que mostram a dispersão das emissões na RMSP em intervalo de 9 horas. As maiores concentrações de poluentes são associadas às cores *quentes* (amarela, laranja e vermelha), mostrando um pico de concentrações em regiões pouco habitadas do litoral sul paulista, à noite.

Figuras 2.9 a 2.12. Formação e transporte de ozônio no sudeste paulista em 12/08/1999 (Fonte: USP, 2002a). As concentrações de O_3 (ppb) estão em escala de cor, contornadas por linhas pontilhadas, as concentrações de NO (ppb) estão contornadas por linhas cheias. Ao meio dia, as emissões concentram-se sobre a cidade de São Paulo (Fig. 2.9, acima à esquerda). Às 15h, apresentam dispersão em direção noroeste (Fig. 2.10, acima à direita). Às 18h, a cidade de São Paulo já se recupera da poluição que gerou e a contaminação se concentra em regiões menos habitadas a sudeste da Capital (Fig. 2.11, abaixo à esquerda). Às 21h, a poluição praticamente atinge somente o interior do Estado (Figura 2.12).



2.3.3. A questão das cargas críticas

O progresso científico levou ao melhor entendimento de alguns dos mecanismos pelos quais a poluição causa dano ambiental e a um mais profundo conhecimento dos processos químicos e físicos que afetam os poluentes na atmosfera (UNECE, 1979 e EMEP, 2002a,b). Como consequência tornou-se possível determinar a extensão de reduções de emissões através dos impactos da poluição, para se procurarem esquemas de redução custo-efetivos que atendam a um objetivo politicamente estabelecido. Modelos de avaliação integrados são ferramentas úteis para gerenciar informações nos campos da economia, tecnologias de abatimento, dispersão atmosférica de poluentes e impactos ambientais, sistematicamente procurando-se soluções custo-efetivas. O gerenciamento da qualidade do ar é hoje uma tarefa multipoluentes e multiefeitos, considerando as importantes interações entre causas e consequências como, por exemplo, emissões de SO_x e NO_x contribuindo para a acidificação de ecossistemas aquáticos e terrestres, mais os NO_x e COVs atuando como importantes precursores do ozônio de baixa altitude (AMANN, 2001).

A Europa e América do Norte desenvolveram estratégias de controle ambiciosas, levando a significativas reduções nas emissões de alguns poluentes convencionais (como, por exemplo, SO₂, NO_x e COVs). Existem também alguns primeiros indicadores de uma quebra estrutural que pode reverter a tendência de longo prazo de crescimento de emissões de SO₂ nas nações de rápido desenvolvimento da Ásia (TICKLE, 1999).

Segundo TICKLE (1999), estudos sobre a chuva ácida remontam na Europa à época do trabalho científico pioneiro do primeiro inspetor de poluição britânico, Robert Angus Smith (1852-1872). Na década de 1960, cientistas escandinavos lideraram os estudos de identificação de problemas com a deposição ácida em água doce. Tais estudos geraram programas internacionais multidisciplinares patrocinados por agências supranacionais,

iniciativas que instrumentalizaram a comunidade científica com uma grande influência para conduzir as negociações políticas sobre a chuva ácida no continente. A evolução de tais discussões pode ser ilustrada por fases distintas: (a) a de oposição e negação às conclusões científicas; (b) a internalização da pesquisa junto às políticas, porém sem um consenso sobre causas antropogênicas ou naturais, como erupções vulcânicas e; (c) a internacionalização do problema, com o conceito de **cargas críticas** (*critical loads*). Tal conceito pode ser entendido como:

"a mais alta carga que não causará modificações químicas que levem a efeitos danosos no longo prazo nos sistemas ecológicos mais sensíveis", ou

"a quantidade estimada da exposição a um ou mais poluentes abaixo da qual efeitos danosos significativos em elementos sensíveis especificados do ambiente não ocorrerão conforme o conhecimento atual".

A colaboração disseminada para a discussão sobre o problema levou, em 1988, a UNECE¹³ a reconhecer as necessidades das áreas que sofriam por cargas acima das críticas. Havia também consenso geral de que a teoria das cargas críticas era importante tanto como meio de identificar a significância de diferentes fatores nos danos ecológicos tanto quanto na determinação de limites para poluentes em particular. Programas de pesquisa se direcionaram para a determinação das cargas, para o mapeamento dos locais sensíveis e para os trabalhos de modelagem que relacionavam diferentes cenários de emissões com seus impactos. As conclusões se traduziram na determinação de limites nacionais de emissões, que seriam distribuídos entre os diferentes poluidores, em especial as companhias de energia. Em 1978 foi negociado na Comunidade Européia um protocolo de múltiplos efeitos, a Convenção sobre a Poluição Transfronteiriça de Longo Alcance, dentro da qual se

¹³ Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa

compreendem os principais poluentes responsáveis pela acidificação e eutrofização, como SO₂, NO_x, COVs e NH₃ (TICKLE, 1999).

Valores de cargas críticas em geral são derivados de dois métodos: (a) empiricamente pela interpretação de dados de campo ou laboratório ou; (b) através da utilização de balanços de massa calculados por modelos computacionais. (TICKLE, 1999). Para a determinação de limites (tetos) regionais de emissão, TIDMORE (1995) fala de tecnologias avançadas para o levantamento e a localização exata das coordenadas das fontes poluentes, por imagens aéreas com varredura por laser, fotos digitais ou térmicas.

2.3.4. Comércio de emissões (offset liabilities)

Em países do Mercosul a poluição do ar não chega a ser um problema transfronteiriço: não há episódios de poluição de país a país que cheguem a gerar conflitos ou polêmicas. Há na região, porém, um problema compartilhado, com foco em temas de comércio e de harmonização da legislação ambiental (HICKS *et al.*, 2001). Entretanto, no Brasil, a poluição transfronteiriça pode se dar em termos de unidades de uma mesma federação. Um exemplo são as termelétricas situadas na fronteira de Estados, ou indústrias que afetam municípios de uma mesma região.

Já na Comunidade Européia, onde muitas nações compartilham os impactos da poluição comum transfronteiriça, são estabelecidos limites legais para cargas de poluentes emitidos no período de um ano para todo o continente, distribuídos por país. Dentro de cada país, por sua vez, determina-se a cada um dos principais poluidores o quanto poderá ser emitido no período. Os emissores devem, a partir desse teto (*cap*), adequar-se ou comprar os direitos de poluir de outro empreendimento que esteja abaixo de seu limite particular (*trade*) (UNECE, 1979 e EMEP, 2002a,b).

A primeira política de **limitação de emissões futuras** (*offsets*) surgiu nos EUA em 1976, baseada na falta de adequados direitos de propriedade e na ineficácia de regulações fundadas no tradicional comando-e-controle, uma abordagem tipicamente econômica. Define-se a meta, sem especificar padrões individuais de tecnologia ou de emissões. As fronteiras do sistema são amplas: metas agregadas de emissão para todo um setor econômico ou uma região geográfica. O controle se dá para uma única substância em um único meio. Operadores de instalações podem buscar a flexibilidade através do mercado, comercializando suas permissões. Nos Estados Unidos, as leis são consideradas complexas e rígidas e há um extenso uso de normas uniformes. A auto-regulação industrial gera suspeitas e as cortes são frequentemente acionadas. Os custos administrativos são altos e a discricionariedade é mínima. As relações entre a indústria e o regulador se caracterizam pelo conflito, refletido no plano político. Por outro lado, há uma grande liberdade de informações (SORRELL, 1999).

Nos Estados Unidos, o Programa de Chuva Ácida estabeleceu o sistema de mercado e de permissões de emissões de dióxido de enxofre, que permite aos empreendimentos adotarem a estratégia mais efetiva em termos de custos para reduzir as emissões em suas plantas e comercializar os excedentes (EPA, 2002a). Os empreendimentos fiscalizados devem instalar sistemas que monitorem continuamente as emissões de SO₂, NO_x e outros poluentes relacionados, de maneira a acompanhar suas evoluções e garantir a conformidade com a lei (AMANN, 2001).

A EPA emitiu autorizações limitando as emissões de SO₂, que poderiam ser vendidas, compradas ou transferidas entre as utilidades ou partes interessadas. Utilidades cujas emissões de SO₂ em um dado ano excedessem suas permissões adquiriam permissões tradicionais de outras empresas ou enfrentavam multas e pesados requerimentos de *offsets*. As opções dos empreendedores para se adequarem eram a aquisição de permissões

adicionais, instalação de equipamentos de dessulfurização, modificação do combustível ou combinação com outros menos poluentes, reforma ou mesmo desativação da instalação. Em 1995, 5,55 Mt de SO₂ foram alocadas, sendo 4,46 utilizadas e 1,09 negociadas. As reduções das emissões totais atribuídas ao programa de chuva ácida norte-americano passaram de 4,65 MtSO₂ em 1990 a 9.96 Mt SO₂ em 1995 (ZIPPER e GILROY, 1998).

Já no Reino Unido, o Controle Integrado de Poluição se baseia em princípios de controle sobre a melhor tecnologia disponível, uma abordagem de engenharia adotada desde o final do século XIX na qual há o envolvimento do regulador na tomada de decisões. As fronteiras do sistema são estreitas: os limites de **melhor tecnologia disponível não acarretando custos excessivos**, ou *BATNEEC*, são definidos para um processo individual em um determinado local. O controle se dá sobre a emissão de uma ampla gama de substâncias para os três meios (água, ar e solo) de uma maneira integrada. Os operadores de instalações têm a flexibilidade de negociar com a fiscalização ambiental. Isso é possível graças à informalidade dos regulamentos, de pequena exposição política e baixos custos administrativos, que privilegiam negociações individuais e padrões específicos para cada local. Através de um alto nível de discricionariedade administrativa, mantém-se a confidencialidade e encoraja-se a auto-regulação industrial, sendo pouco utilizadas as cortes de justiça (SORRELL, 1999).

A estrutura européia para a regulação de emissões de enxofre por plantas industriais iniciou-se em 1984 com a *Air Framework Directive - AFD* (84/360/EEC), que não especificava limites de emissão para nenhuma classe particular de planta, mas determinava as circunstâncias sob as quais certos tipos de plantas devem ser autorizados a operar e quais plantas e substâncias serão sujeitos a controles, introduzindo o conceito de *BATNEEC* para novas plantas. As plantas que operavam antes de 1987 deveriam gradualmente se adaptar a estas exigências, levando em consideração sua vida útil restante.

Em 1996, a AFD foi revogada (a partir de 1999) pela Diretiva sobre Controle e Prevenção Integrados de Poluição (*Integrated Pollution Prevention and Control Directive* ou IPPC 96/61/EC), para fontes industriais que adotavam o enfoque integrado para a poluição em diferentes meios, embutindo o conceito de não acarretar custos excessivos na definição. A *Large Combustion Plant Directive - LCPD* 1988 (88/609/EEC) estabeleceu novos limites de emissão para SO₂ e NO_x, além de tetos de emissão para plantas existentes. Dentro desta Diretiva, cada país deveria submeter o seu programa nacional de redução de emissões para a Comissão Européia. Cotas anuais de emissões de SO₂ foram alocadas para cada setor industrial, a partir de uma linha de base para 1991, estabelecida através de estimativas de emissões geralmente inconsistentes, devido à inadequação dos dados disponíveis. Subsequentes alocações de cotas levavam em consideração fatores econômicos, de praticidade e de equidade. O plano requeria que cada setor devesse contribuir com uma redução de emissão que fosse pelo menos equivalente a uma tradução pro-rata da meta do LCPD, sendo que nenhum setor deveria cumprir com suas obrigações através do *business-as-usual*. Crédito deveria ser dado para reduções históricas nas emissões e as permissões deveriam ser feitas levando em conta os custos altos incrementais de futuras reduções em emissões, reconhecendo-se explicitamente os investimentos planejados e prováveis para o dado empreendimento (SORRELL, 1999).

Tais políticas integradas já demonstraram sua eficácia. Nos EUA, as emissões de dióxido de enxofre ficaram, em 1998, cerca de 40% abaixo dos níveis de 1970. As emissões de NO_x e COVs foram cerca de 20% mais baixas enquanto, no mesmo período, o PIB e as distâncias totais viajadas por veículos aumentaram por um fator acima de 2. Na Europa, o Protocolo de Gotemburgo para o Abatimento de Acidificação, Eutrofização e Ozônio Troposférico, junto com a proposta Diretiva em Tetos Nacionais de Emissões devem diminuir as emissões de SO₂ em cerca de 70% entre 1990 e 2010. As metas para 2010 são reduções de NO_x, COVs e NH₃ para níveis respectivamente 40%, 45% e 24% abaixo dos de 1990. Os fatores que

contribuíram para tal reversão foram os choques do petróleo e as pressões ambientais, que levaram a uma mudança para combustíveis mais limpos e ganhos de eficiência energética. A partir de 1985 entraram no mercado tecnologias de alta eficiência no controle de emissões. O colapso das economias planificadas da Europa oriental elevou os níveis de emissão de SO₂ na década de 1990 para níveis do início dos anos 1960 (AMANN, 2001).

BENKOVIC e KRUGER (2001), analisando o programa de comércio de emissões de SO₂ nos EUA, contabilizam os ganhos do regime de tetos máximos e comércio de emissões, o *cap and trade*: abatimentos de mais de 4 Mt/ano SO₂ e 0,24 Mt/ano NO_x, reduzindo em mais de 25% os níveis ambientais dos poluentes em ecossistemas sensíveis. Citam o reconhecimento mundial da ferramenta de gestão, mencionando outros países onde há tais iniciativas, como Chile (com 600 fontes em 2000), China (projetos pilotos), Eslováquia e Polônia.

O início de uma tendência de reversão também pode ser detectado na Ásia. AMANN (2001) relata uma avaliação feita em 1994 pelo modelo RAINS-ASIA, que abrangeu 24 países em uma região desde o Paquistão até o Japão e desde a Mongólia até a Indonésia. Segundo o autor, diversos países desenvolveram programas ambiciosos para controle de emissões através de mudanças na legislação. As emissões de SO₂ na China estão decrescendo, apesar do rápido crescimento econômico. Levadas em consideração, estimativas recentes sugerem a aumento nas emissões do poluente não ultrapassarão os 50% nas duas próximas décadas .

No Canadá, segundo BERGER *et al.* (1991), o modelo MARKAL estabelece limites globais de emissões de gases ácidos para a província de Quêbec, calculando os preços-sombra (custos marginais) de estratégias de abatimento de poluição. O enfoque para SO₂ reside especialmente nas indústrias de cobre (57% das emissões) e caldeiras industriais a carvão e óleo (26%). O conteúdo de enxofre no óleo variou entre 0,5 e o máximo permitido de 2,5%. Já os NO_x

são emitidos principalmente pelos setores de transportes (71%) e combustão industrial (14%). O estudo sugere estratégias de redução de emissões através de medidas de eficiência energética, gerais (troca de combustíveis, tecnologias de abatimento, mudanças em processos industriais e redução na demanda final de produtos e serviços) e específicas (recuperação de ácidos no processo de fabricação de cobre, e congêneres).

Instrumentos de mercado podem alcançar as desejadas reduções de emissões por custos mais baixos do que os enfoques convencionais. O gerenciamento da qualidade do ar atualmente é entendido como uma tarefa que abrange múltiplos poluentes e múltiplos efeitos, propiciando uma significativa economia se os recursos disponíveis forem sinergisticamente utilizados. Modelos de avaliação integrados provaram ser bastante eficientes no gerenciamento de um vasto volume de informações relevantes e necessárias para a definição de estratégias custo-efetivas de controle de emissões (AMANN, 2001).

Evidentemente, tais enfoques inovadores para controle de poluentes dependem de inventários de emissão.

2.4. Inventários de emissões de poluentes atmosféricos

Não basta limitar as emissões dos principais processos para se garantir a qualidade do meio. É preciso um conhecimento de outras informações, como a dispersão e o nível basal de poluição, gerada por outras fontes. Para este último, um bom inventário de emissões por fontes é uma ferramenta imprescindível. Um bom inventário dependerá de sua abrangência, nível de desagregação (espacial, temporal e tipológica) e da qualidade e procedência dos fatores de emissão, que podem ser pontuais (um processo industrial), lineares (como uma distância percorrida por um veículo) ou de área (como é o caso de queimadas).

Inventários adequados são a forma de se conhecer quem poluiu, o que emitiu, onde, quando e quanto. São essenciais para análises ambientais em escalas global, regional ou local. Suas funções serão explicadas mais detalhadamente na revisão que se segue. Também se discutirão os aspectos metodológicos necessários para se ter um inventário de boa qualidade a um custo acessível em um prazo razoável.

Com base na experiência dos relatos da bibliografia, o modelo HORUS busca suprir a deficiência de inventários nacionais ou estaduais.

2.4.1. O papel dos inventários no controle da poluição

Conforme as medidas para reduzir a poluição do ar se tornam mais caras, é importante estudar formas de reduzir custos para se atingirem os desejados objetivos ambientais. Apesar de políticas bem sucedidas, ainda há a necessidade de maiores reduções de emissão de poluentes, exigindo um planejamento complexo que requer sistemas de decisão embasados cientificamente. Análises de cenários de emissão, propostas de medidas a serem adotadas e avaliações de custos de redução requerem informações detalhadas sobre a estrutura das fontes poluidoras e maior resolução espacial-temporal, delas servindo como variáveis de entrada para modelos de transporte atmosférico e processos de transformação fotoquímica (LAING, WICKERT e FRIEDRICH, 1998).

2.4.1.1. Inventários para emissões em escala global: CO₂ e as mudanças climáticas

A Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas requer inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa (UNFCCC, 2000) para a definição das linhas de base a partir das quais deverão ser alcançadas reduções e negociações ente países. O Painel Intergovernamental

sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com o apoio da Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD) e a Agência Internacional de Energia (IEA) prepararam manuais para tais inventários (IPCC, 1997).

Há várias experiências de inventários desagregados de CO₂. LIASKAS *et al.* (2000) decompueram as emissões industriais de CO₂ na Europa em quatro fatores: nível de produção, intensidade energética, composição dos combustíveis e mudança estrutural da indústria. Suas análises mostraram que é possível reduzir as emissões sem afetar negativamente o crescimento econômico. Esforços para a diversificação da matriz energética e mudanças para combustíveis produzidos domesticamente reduziram a dependência dos países em relação ao petróleo e mudaram o nível e a composição de consumo de energia no setor industrial no período 1973 - 1993. O Brasil é um paradigma mundial com o programa do álcool.

SCHIPPER *et al.* (2001) avaliaram as emissões de carbono pelo uso energético na indústria manufatureira de 13 países desenvolvidos, baseadas nos dados nacionais desagregados pelos níveis setoriais números 2 e 3 da ISIC¹⁴, considerando a intensidade energética e o tipo de combustível. Após comparação detalhada por país e setor para 1994, concluem os autores que as emissões eram comparáveis, na maioria dos países, às de 1973, dados os ganhos de eficiência e mudanças na matriz energética, em geral, passando de carvão e óleo para o gás natural.

Exercícios de inventários também são muito úteis para análises comparativas. Por exemplo, TITHERIDGE, BOYLE e FLEMING (1996) desenvolveram e validaram um modelo computacional para avaliar a demanda energética e os padrões de fornecimento de combustíveis do ambiente urbano para duas cidades no Reino Unido e na Espanha, definindo as emissões de CO₂ por combustível, setor e uso final, a partir de projetos comparáveis. Por outro

¹⁴ *International Standard Classification Codes. Mais detalhes sobre a classificação estão em UNITED NATIONS (2002).*

lado, FICHTNER, GRAEHL e REUTZ (2001) discutem linhas de base para avaliação de instrumentos de flexibilização *JI* e *CDM*¹⁵, para um comércio internacional de emissões de carbono. Os autores descrevem um modelo de inventário denominado PERSEUS, que leva em consideração energéticos primários, (dentre os quais óleo e gás), tecnologias de conversão intermediárias de usos finais energéticos (no caso, calor, eletricidade e força) e setores de uso final (ferro-gusa e aço, ferro-ligas, cimento, papel e celulose, outros setores industriais, transporte, setores doméstico e terciário). Os cenários energéticos serão constituídos de acordo com os processos de conversão de energia, as tecnologias de redução de emissão, dados econômicos do projeto (como investimento, depreciação, gastos) e fatores de emissão. Os critérios para um bom sistema composto de inventário e comércio de emissões de CO₂, segundo os autores, são: a aplicabilidade (em níveis político e de projeto); a abrangência (que capta as conseqüências da causa, a adequação das fronteiras); a transparência (como o projeto pode ser reproduzido e verificado) e a precisão (a conformidade minimamente requerida), a robustez ao longo do tempo (que permita futuras mudanças no sistema), o conservadorismo ambiental (evitando superestimativas de redução, ou seja, gerando benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo) e a eficiência econômica (a metodologia deve ter um custo compatível com o nível de projeto e sua verificação).

No Brasil, algumas experiências de levantamentos específicos de inventários podem ser destacadas. TOLMASQUIM, COHEN e SZKLO (2001) concluem, após realizar tais levantamentos, que ganhos de eficiência energética nem sempre geram vantagens ambientais, sendo preciso convergir estas metas em políticas públicas. Utilizando-se de indicadores de intensidade energética, os autores simulam diferentes cenários em um modelo integrado de planejamento ambiental e energético, inclusive com a introdução de combustíveis menos poluentes e tecnologias mais eficientes. Os resultados

¹⁵ Respectivamente, *Joint Implementation* (Implementação Conjunta entre países desenvolvidos do Anexo I do Protocolo de Kyoto) e *Clean Development Mechanism* (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, aplicável aos países que não fazem parte do Anexo I). Mais detalhes em UNFCCC (2002).

indicam, conforme o cenário, intensidades de emissões de CO₂ partindo de 0,46 kg por dólar produzido em 1995 para valores entre 0,36 e 0,42 kg/US\$ em 2010. As emissões específicas de carbono por energia consumida partiram de 30,2 tC/TJ em 1995, devendo chegar a valores entre 28,93 e 30,92 tC/TJ em 2010. Ainda pelo mesmo estudo, a indústria contava com mais de 34% das emissões nacionais de CO₂ da primeira metade da década de 1990, situando-se somente atrás do setor de transportes.

2.4.1.2. Inventários para poluentes de escala regional transfronteiriça

No contexto europeu existe um número substancial de acordos internacionais que requerem a preparação de inventários regionais de emissão. Um deles é a Convenção sobre Poluentes do Ar Transfronteiriços de Longo Alcance, adotada em Genebra em 1979, no âmbito da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (UNECE). Nesta, os estados-membros devem informar os dados de emissões para atender suas obrigações (em conformidade com os protocolos¹⁶) e para avaliar em quais países é preciso adotar estratégias de abatimento mais restritas.

Inventários regionais permitem a determinação das linhas de base (*baselines*), a partir das quais se definem os mecanismos de comércio (*trading*) de direitos de emissão entre agentes situados em uma mesma região. Na Europa, dois modelos de avaliação integrada, o RAINS¹⁷ e o ASAM¹⁸, encontraram aplicações práticas em políticas e negociações internacionais, no âmbito do Protocolo de Gotemburgo para o Abatimento de Acidificação, Eutrofização e Ozônio Troposférico (1999). O modelo RAINS, acessível pela Internet, também foi utilizado pela Comissão da União Européia para quantificar as emissões de cada um dos processos poluentes de todos os Estados-membros,

¹⁶ Os protocolos são: (a) sobre a Redução de Emissões de Enxofre ou seus Fluxos Transfronteiriços - 1985; (b) sobre as Próximas Reduções de Emissões de Enxofre pós 1993 -1994; (c) sobre o Controle de Emissões de Óxido de Nitrogênio e seus Fluxos Transfronteiriços - 1988; e (d) sobre o Controle de Emissões de Compostos Orgânicos Voláteis ou seus Fluxos Transfronteiriços - 1991 (HUTCHINGSON, 1995).

¹⁷ *Regional Air Pollution Information and Simulation*, desenvolvido pelo *International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)*, 2002)

¹⁸ *Abatement Strategy Assessment Model* do *UK Imperial College* (WARREN e APSIMON, 2000)

que possuem limites máximos nacionais regulamentados por uma norma comum, a *EC 2001 Emission Ceilings Directive* (EC, 2001).

Nos Estados Unidos verifica-se algo parecido, em decorrência da lei *1990 Clean Air Act*: o *Regional Acid Deposition Model (RADM)* estima a deposição de enxofre no ambiente, a partir da base de dados de permissões de emissão, a *National Allowance Data Base (NADB)*. Segundo o inventário nacional, utilidades e indústrias representavam 87% de todas as emissões de SO₂ do país em 1995. Cálculos apontaram que uma redução de 50% nas emissões destes processos diminuiria a deposição ácida nas regiões abrangidas pelo *RADM* entre 58% e 63%. Constatou-se, também, que a implantação efetiva da legislação de ar limpo até o ano 2010 reduzirá a deposição em receptores aquáticos sensíveis entre 30% e 40% em relação aos níveis de 1980 (WARREN e APSIMON, 2000).

A partir dos anos 1990, a EPA ampliou sua cobertura para os inventários, em processos (como a queima de madeira em residências e incêndios florestais), poluentes (como, por exemplo, os MP₁₀), áreas geográficas e métodos de análise (como cenários de crescimento econômico). NIZICH, BOLLAN e CHAPPELL (1995) estudaram as influências econômicas, demográficas e regulatórias nas tendências históricas de emissões de NO_x, SO₂ e MP₁₀ entre 1940 e 1994 nos EUA. A maioria dos níveis de emissão dos poluentes do ar teve o seu máximo na década de 1970, tendência que se reverteu por esforços regulatórios e ganhos de produtividade. A única exceção foram as emissões de MP₁₀, que decrescem desde a década de 1950, quando começaram a ser reguladas.

Estratégias para o controle de concentrações de partículas do ar devem levar em conta suas diferentes origens, o que é uma tarefa exaustiva considerando-se a extensão das informações a serem coletadas e tratadas. Uma crescente preocupação com os efeitos sobre a saúde proveniente de partículas finas, tanto primárias quanto secundárias, levou ao desenvolvimento, na Europa, de

modelos integrados de avaliação para identificar estratégias de mínimo custo visando a controlar múltiplas emissões de poluentes precursores de acidificação, eutrofização e ozônio troposférico. Novamente, um dos modelos mais importantes é o RAINS, que considera atividades econômicas como agricultura, uso de energia, solventes e processos industriais, definindo emissões (de NH₃, SO₂, NO_x e COVs), custos de controle e modelos de dispersão para emissões e formação de O₃. As metas derivadas de impactos ambientais avaliados são cargas críticas de acidificação e de eutrofização e níveis críticos de ozônio. Os autores propõem a expansão do modelo para incluir emissões primárias de material particulado, as suas atividades geradoras, a dispersão na atmosfera e a exposição da população ao poluente (AMANN *et al.*, 2001).

2.4.1.3. Inventários em escala local

O inventário de emissões urbanas no Reino Unido existe desde a década de 1960, a partir da qual sua abrangência e precisão foram incrementadas. Apesar das concentrações de SO₂ serem decrescentes em Londres desde 1950, havia a preocupação de níveis ainda altos, tanto por inadequação com a diretiva europeia de qualidade do ar, quanto a efeitos adversos na saúde, na vegetação e em edifícios. Desde 1979 existe no país um mapa de distribuição geográfica de emissões, de importante ajuda no planejamento do uso de solo, pois permite identificar regiões mais propensas a apresentar altos níveis de poluição, além de localizar pontos de emissão em relação a áreas sensíveis. Em 1991, o antigo *Department for the Environment* era responsável por controlar, em nível nacional, cerca de 5000 processos mais poluentes; enquanto isso, as autoridades locais controlavam mais de 20.000 processos menos ameaçadores à saúde. O *National Atmospheric Emissions Inventory* abrangia os principais poluentes do ar, além de CFCs, metais pesados e halógenos. As indústrias de Londres emitiram, segundo o inventário de 1991, 6 kt de NO_x pela indústria (sendo 1 kt pela de eletricidade), 43 kt de SO₂ (2 kt pela de eletricidade) e 1 kt de fumaça preta (HUTCHINGSON, 1995).

ESKELAND, JIMENEZ e LIU (1998) sugeriram um modelo que avaliava a redução de emissões por substituição de insumos para o Chile e a Indonésia. Calcularam a elasticidade de emissões em relação a preços de combustíveis, subsidiando estudos de tributação de poluição. Adotaram fatores de emissão para óxidos de enxofre e partículas suspensas totais, por grupos de países e de energéticos (eletricidade, carvão, óleo combustível, querosene, diesel, gás natural, GLP e gasolina).

Um estudo de decomposição estrutural das emissões de CO₂ em Taiwan, relacionou, para o período entre 1981 e 1991, matrizes de insumo-produto de 34 setores a 9 fatores, dentre os quais o valor adicionado, a intensidade de carbono, a substituição entre combustíveis e as taxas de produção e exportação. Os principais setores identificados pelo modelo para potenciais reduções de emissão foram os de transportes e de ferro-gusa e aço (CHANG e LIN, 1998).

2.4.1.4. Inventários como instrumento de políticas energéticas e planejamento de controle de poluentes

Além de ajudar no planejamento do uso do solo e em políticas ambientais, um bom inventário de emissões também pode facilitar a estimativa de custos da introdução de controle de poluição e identificar quem deve pagar por tais custos. Pode igualmente auxiliar na localização de pontos representativos para redes de monitoramento da qualidade do ar, reduzindo custos com equipamentos e tornando mais significativa a informação a ser obtida. De forma ideal, deve-se utilizar um inventário de emissões em conjunção com um modelo de dispersão atmosférica, de forma a se preverem concentrações de poluentes no curto prazo, em nível do solo, durante condições meteorológicas adversas. Quando essas técnicas encontram-se completamente desenvolvidas, podem ser usadas para alertar autoridades sobre possíveis incidentes de poluição do ar e determinar estratégias para evitá-los.

Adicionalmente, o monitoramento da qualidade do ar pode ser utilizado para validar inventários de emissão, indicando onde fatores de emissão podem ser excessivamente altos ou baixos, em relação aos valores propostos pelos modelos (HUTCHINGSON, 1995).

Ainda que não haja consenso sobre a questão das externalidades ambientais de processos energéticos, NAKADA e PEARCE (1995) citam alguns valores obtidos pelo modelo *EXTERN-E*, onde os danos causados à saúde humana pelas emissões de SO₂ perfazem 7.500 dólares por tonelada. Outros valores calculados são de 838 US\$/tSO₂ para edifícios, 88 para plantações, 6 para florestas e 1,2 para as águas do continente europeu.

SCHAEFFER e SZKLO (2001) adaptaram um modelo norte-americano, testado no setor elétrico chinês, com características detalhadas de tecnologias de geração de energia. O modelo também calculou externalidades de emissões de poluentes para o Brasil até 2015. Os energéticos contemplados foram carvão nacional e importado, óleo diesel (em motores), óleo residual combustível e bagaço de cana (ciclo Rankine) e gás natural (turbina a gás em ciclo combinado - *CCGT*). Os valores obtidos foram das ordens de US\$3770/tSO₂, US\$2010/t NO_x, US\$1450/t MP₁₀ e US\$120/tCO₂ para 3 cenários, assumindo um aumento no produto doméstico bruto entre 4,7% e 5,6% ao ano.

Fatores de emissão específicos por combustível e tecnologia para CO₂, NO_x, MP e SO₂ também foram utilizados por SCHAEFFER *et al.* (2001) em um modelo de mínimos custos para as termelétricas brasileiras, que considerou 3 cenários: (a) limitações por controle ambiental (tetos de emissões e *offsets*); (b) estratégias de eliminação de carbono (uso de energia renovável) e; (c) tecnologias avançadas (novos equipamentos). O estudo concluiu que normas ambientais mais rigorosas e a adoção de políticas de energia renovável podem reduzir as emissões de CO₂ e de enxofre em 82% e 75% respectivamente.

Inventários de emissão podem ser o ponto central retrospectivo e prospectivo para diversas decisões de negócios, como a formulação química de produtos, política de relacionamento com o cliente e licenciamento ambiental. VLAEMINCK (1995) apresenta esta perspectiva em um estudo de caso para o desenvolvimento de negócios na indústria de plásticos, baseando-se em balanços de massa de periodicidade diária para três fábricas. WILLIAMS *et al.* (1995) compararam técnicas de campo e inventários em uma avaliação das emissões de CO₂, NO_x e COVs na região de Perth, costa oeste da Austrália. A proposta para aumentar a capacidade de geração de energia e verificar sua influência nas ocorrências de níveis de ozônio acima de 120 ppb motivaram tal estudo, que inventariou as emissões e as correlacionou com os fluxos dos poluentes na atmosfera medidos através de aviões.

Um estudo de inventário feito por GÁLVEZ *et al.* (1995) para a região metropolitana da Cidade do México assinalou que um dos principais problemas locais era o ozônio. Para os NO_x de fontes pontuais, recomendaram implantar sistemas automáticos de controle nas maiores indústrias. Outra necessidade detectada foi a estabilização dos COVs, principalmente os emitidos por postos de gasolina e usuários de solventes. A estimativa de emissões anuais para a região, somente das fontes fixas, foi de 53,8 kt NO_x, 50,2 kt SO_x e 8,9 kt MP. Apesar dos problemas encontrados em São Paulo serem os mesmos, ainda não se publicaram inventários a respeito do assunto.

Guardadas as diferenças nas matrizes energéticas, as citações possuem claros paralelos com a realidade de São Paulo, em termos da necessidade de inventariar de forma desagregada e local as emissões de poluentes.

2.4.2. Aspectos metodológicos de inventários

Como já foi relatado, um inventário de emissões é uma lista da quantidade de

poluentes de todas as fontes entrando na atmosfera em um dado período de tempo e uma dada área, definida a partir de fronteiras fixas. Tabelas de inventário de emissões são muito úteis para agências ambientais e de planejamento do uso do solo, uma vez que podem indicar as principais fontes cujo controle pode levar a uma considerável redução da poluição na área. Modelos matemáticos, integrando emissões por fontes e monitoramento ambiental, auxiliam na determinação do grau de controle necessário para atingir os padrões de qualidade dos meios locais. Inventários de emissão também podem ser utilizados para propósitos políticos ou de conscientização social (STERN, 1984).

Inventários de emissões precisos são muito importantes para a tomada de decisões sobre estratégias de controle da poluição. Atividades de inventário de emissão agora estão bem estabelecidas por todo o mundo e uma grande quantidade de recursos está disponível para auxiliar na estimativa de emissões em escalas local, regional e global. Posseguem os esforços no sentido de se refinarem as metodologias e para se incluírem fontes adicionais de poluentes (AMANN, 2001).

Durante os últimos anos, muito progresso foi feito para se entenderem e quantificarem as fontes de emissão em escalas local, regional e global. Diversas instituições definiram manuais para desenvolvimento de inventários de emissão. Um exemplo é a *UNFCCC*¹⁹, que fornece a todas as partes manuais detalhados para a coleta, cálculo e informação dos dados nacionais de emissão de gases de efeito estufa, para que estas possam atender às obrigações internacionais de provisão de informação (UNFCCC, 1997). A Convenção também desenvolveu manuais de boas práticas para permitir a produção de inventários que não sejam nem subestimados nem excessivamente imprecisos.

¹⁹ *United Nations Framework Convention on Climate Change*

Amostragens industriais devem ser precedidas de estimativas por balanços de massa e energia, além da adoção de fatores de emissão (como, por exemplo, a AP-42 da EPA) e da definição de fontes prioritárias, como geradores de vapor, incineradores, produção de cimento Portland e de ácidos nítrico e sulfúrico (BRENCHLEY, TURLEY e YARMAC, 1973).

Mesmo regiões com inventários considerados bons ainda podem apresentar erros na determinação de padrões. É o caso da área da baía de São Francisco, como descrito por FAIRLEY (1999) que, baseado nas medições de qualidade ambiental, cita uma tendência de superestimativas nos valores de padrões de ozônio. A região conhece a prática de inventários *bottom-up* há mais de 30 anos. Para a área da Baía de São Francisco em 1970, FELDSTEIN (1971) descreve um inventário de emissões de HCs, NO_x, SO_x, CO e particulados pela queima de óleo combustível e gás natural. O estudo cobriu, dentre outras fontes, 3806 caldeiras industriais, cujas emissões totalizaram 30 t/dia de NO_x, 25,5 t/dia de SO_x e 5,3 t/dia de MP, para um consumo de 6,7 milhões de metros cúbicos de gás natural e 1109 t/dia de óleo.

Inventários de emissões possuem elementos de erro, mas suas alternativas são caras e sujeitas às suas próprias falhas. A primeira alternativa seria monitorar continuamente cada maior fonte na área. O segundo método seria monitorar continuamente os poluentes no ar do ambiente em muitos pontos e aplicar equações de difusão para calcular as emissões. Na prática, o melhor sistema seria uma combinação destas alternativas (STERN, 1984).

Métodos simplificados ou híbridos são uma interessante opção a considerar para inventários de poluentes atmosféricos locais. Há diversos relatos interessantes sobre métodos híbridos de cálculos de emissões. Por exemplo, o Departamento de Defesa norte-americano definiu sua própria metodologia de inventários de emissão para o exército e a força aérea, combinando os dados efetivamente medidos com técnicas de fatores de emissão, balanços de massa, cálculos de engenharia e modelos computacionais (AMOS e REHM,

1995). McLAREN *et al.* (1995) também utilizaram sistemas paralelos de cálculos de emissões, ao estudar a formação de ozônio no Canadá. O sistema de modelagem levou em consideração os COVs e os NO_x, com o objetivo de reduzir os níveis de O₃ a abaixo de 82 ppb em todas as regiões do país até o ano de 2005.

Este ainda foi o caso do levantamento nacional do México, cujo plano de ação descrevem detalhadamente DICKSON *et al.* (1995). A metodologia híbrida de inventários adotada utilizou-se de 6 práticas: (a) amostragem das emissões das chaminés de grandes fontes por sensoriamento remoto; (b) imagens de satélite para usos do solo; (c) pesquisas de campo para fontes pontuais; (d) usos de censos de atividade e fatores de emissão; (e) cálculos por balanço de materiais e; (f) extrapolação, somente quando as técnicas anteriores não oferecessem respostas. Em alguns casos, dois ou mais métodos foram identificados e avaliados para uso. A fase inicial do projeto, de curto prazo, realizou-se com a extensa utilização de fatores de emissão e dados de atividades. A fase seguinte previa ajustes paulatinos no modelo com a inclusão de outras multi-variáveis.

Note-se que se encaixa nas parcelas (d) e (e) desse contexto a proposta do estágio inicial do modelo HORUS, proposto neste trabalho.

2.4.2.1. Fatores de emissão

Fatores de emissão válidos para cada fonte são a chave para os inventários de poluentes. Não é raro encontrar diferenças em valores de fatores acima de 50% para uma mesma condição de fonte, dependendo da forma como foram obtidos. Tais erros podem ser tratados por técnicas estatísticas apropriadas e pela verificação da validade da fonte. Alguns fatores de emissão utilizados por muitos anos foram apenas estimativas grosseiras propostas para estabelecer a ordem de magnitude da fonte particular (STERN, 1984).

MYERS (1995) enumera quatro diferentes metodologias para estimar as emissões de uma fonte: (a) testes de emissão (*source emission tests*); (b) fatores de emissão baseados na AP-42 da EPA; (c) balanços de massa e; (d) julgamento científico. Todas possuem um certo grau de incerteza mas, regra geral, os testes de emissão na fonte são os métodos mais precisos. Balanços de massa sob determinadas condições podem ser tão precisos quanto testes de emissões. Os fatores da AP-42 oferecem uma alternativa para estimativas, tratando-se porém de valores médios, sem as variantes inerentes aos processos. O julgamento científico é o último recurso, tratando-se praticamente um pouco mais do que um palpite (MYERS, 1995).

Métodos de teste de fontes são a base das estimativas de emissões de unidades individuais de processo. Antes de subsidiar inventários, foram utilizados para verificar se uma fonte específica estava sendo controlada conforme requerido pela legislação. Em alguns casos, podem representar as emissões reais de um processo. Às vezes, são apenas indicadores das emissões reais ou do desempenho do sistema de controle de poluição utilizado por um empreendimento. Alguns exemplos de métodos analíticos que podem ser considerados medidas reais de emissões são os testes de referência da EPA para CO, SO₂ e NO_x. O uso de monitores de emissões contínuas para esses poluentes não apenas fornecerá estimativas instantâneas ou integrados de emissões, mas também pistas para a variabilidade inerente das emissões e sugestões sobre aspectos dos processos que tenham um significativo impacto sobre as emissões, os quais podem ser otimizados por sistemas integrados de controle.

Testes desenvolvidos por analistas independentes devem ser vistos com cautela e não podem ser considerados medidas das emissões reais. Em muitos casos, a falta de especificidade e precisão nas medições tem de ser justificada pelo interessado perante a autoridade de licenciamento, que avaliará se de fato o método é o melhor disponível. Há situações em que os resultados de

um teste de fonte podem ser melhorados por ajustes metodológicos adequados.

Balanços de massa auxiliam as estimativas nas fontes onde a evaporação de algum componente conhecido representa uma parte significativa do total dessas emissões. Antes de se utilizar um balanço de massa, todas as reações químicas que podem ocorrer devem ser caracterizadas. Poluentes à base de enxofre podem ser definidos com facilidade por balanços de massa, já que o enxofre que sai nas emissões é praticamente todo o enxofre que entra junto com combustível.

Já poluentes como o NO_2 possuem muitas rotas de geração, tornando pouco realista o enfoque de balanço de massa. O nitrogênio, além de presente no combustível, também está no ar que participa da queima, em proporções que dependem de condições de pressão e temperatura, não podendo ser definidas com facilidade através de simples balanços de massa.

Fatores de emissão derivaram dos testes de fontes e tornaram-se uma forma simples, barata e rápida de avaliar e agrupar as emissões por fontes em compilações, que passaram a ter um uso contínuo e disseminado. Em muitos casos, a forma com que foram determinadas as estimativas foi perdida ou esquecida. Assim, um grande desafio para se estimarem as emissões está na forma de utilizar as informações desenvolvidas ao longo de muitos anos, adequando-as a situações atuais. Em alguns casos, métodos de estimativa criados há muito tempo ainda são aplicados de forma razoavelmente confiável. Alguns exemplos são as de COVs em operações de pintura e limpeza por solventes, ou emissões de SO_2 a partir da queima de combustíveis. Outros métodos de estimativas de emissões tornaram-se caducos ao longo do tempo, na medida em que a tecnologia melhorou e o conhecimento e a compreensão do que está se tentando estimar ficaram mais claros.

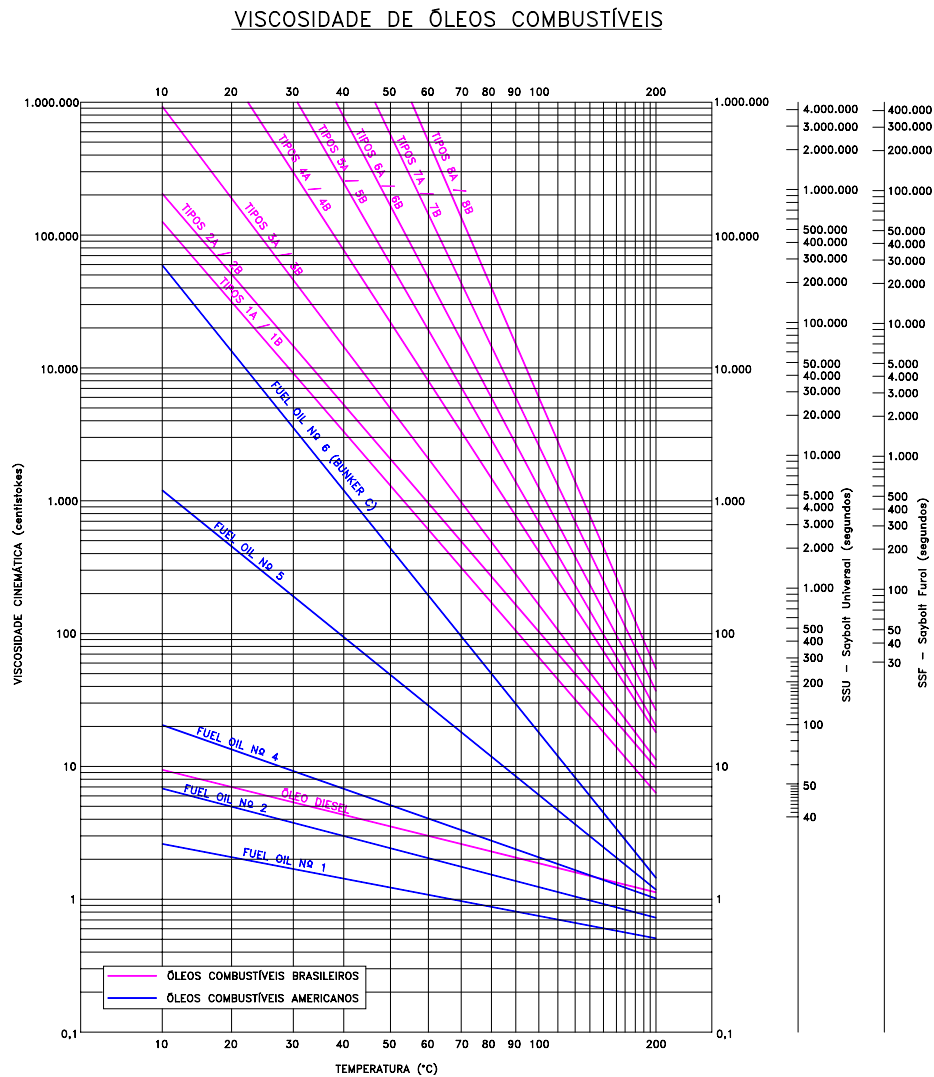
Levando em consideração tais incertezas, fatores de emissão nunca devem ser utilizados como um indicador de conformidade de uma fonte com os padrões legais de poluição do ar, nem como uma medida das emissões reais, em detrimento de testes de emissão.

A base *FIRE* da EPA apresenta fatores de emissão para 189 poluentes, relativos ao processo industrial ou a alguma função interna da indústria que gere emissões, com ou sem dispositivos de controle particulares aplicáveis, identificados por um código de classificação de fontes (*SCC*²⁰), baseados na *AP-42* (EPA, 1995). Dentro da própria *AP-42* é necessário um bom conhecimento das características físicas do processo que está sendo comparado (como, por exemplo, se a secagem é direta ou indireta). Às vezes é possível contactar diretamente o profissional técnico que está desenvolvendo o fator de emissão e perguntar-lhe detalhes (MYERS, 1995).

É importante frisar que, apesar do uso mundialmente difundido dos fatores de emissão da *AP-42*, há significativas diferenças entre processos e insumos de país para país, ou mesmo de região para região. A Figura 2.13 (gentilmente fornecida pelo Agrupamento de Combustão do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) confirma a assertiva, comparando a viscosidade entre os óleos brasileiros e norte-americanos, mais leves e menos poluentes. É fundamental, desta forma, que futuras estimativas de emissão levem em conta essa variável, baseando-se em premissas sólidas baseadas em levantamentos de campo realizados em processos nacionais, além de eventuais cálculos estequiométricos com teores de poluentes encontrados em nossos combustíveis.

²⁰ *Source Code Classification*

Figuras 2.13. Viscosidade dos óleos combustíveis e diesel, brasileiros e norte-americanos (Fonte: IPT, 2003).



A Convenção Européia sobre a Poluição Aérea Transfronteiriça de Longo Alcance, junto com o programa *CORINAIR*, da Agência Ambiental da Comunidade Européia, produziram um documento abrangente para calcular e informar as emissões de poluentes aéreos convencionais (EMEP, 2002). A criação do *CORINAIR* foi determinada pelo Conselho de Ministros da Europa em 1985, para auxiliar o desenvolvimento de inventários nacionais consistentes, comparáveis e transparentes para poluentes aéreos convencionais, como os SO_x , NO_x e COVs. Já o inventário de 1990 cobriu 29 países e estendeu a lista para NH_3 , CO, CO_2 e N_2O , além de separar CH_4 dos demais COVs. Em 1991, as categorias do programa foram adotadas como

base para os relatórios para a Convenção sobre a Poluição do Ar Transfronteiriça de Longo Alcance²¹ (IPCC, 1995).

Recursos similares aos do *CORINAIR* são disponíveis através da *EPA*, incluindo manuais eletrônicos atualizadas sobre fatores de emissão e uma variedade de programas de computador que permitem realizar estimativas coerentes e transparentes de emissão para uma ampla gama de fontes específicas (EPA a, b, 2002). Outra agência ambiental que fornece manuais de fatores de emissão, no caso baseados em tecnologias, é a australiana (ENVIRONMENT AUSTRALIA, 2002a,b,c,d).

Fatores de emissão são constantemente revistos. BURRIS Jr. e MARRERO (1995), por exemplo, apresentam valores de diversos poluentes para incineradores de resíduos municipais. ANDREW (1995) discute aplicações de inventários a fluxos específicos para 31 refinarias de petróleo norte-americanas, com mais de 1000 amostras de fluxos e cerca de 6000 valores analíticos medidos, que receberam uma nota de acordo com o modelo *FIRE* (AP-42), da *EPA*. DOSHI (1995) analisa a indústria de tintas e corantes quanto às emissões potenciais e reais de fontes tipicamente encontradas no setor, discutindo métodos de inventário de emissões, técnicas de controle final e as diferentes operações industriais, contínuas ou por batelada. Recomenda iniciar qualquer trabalho de levantamento de emissões por uma quantificação geral e rápida, para só depois começar a fazer testes em escala real.

FREEMAN e SMITH (1995) estudaram intensidades regionais de emissão pela geração de termoeletricidade (por carvão, óleo e gás natural), em nível de estado (nos EUA), para 8 poluentes (inclusive NO_x , SO_x , e MP_{10}). Determinaram fatores de emissão a partir de projetos e rotinas de operação detalhados, os quais concluíram ser próximos aos da AP-42 para NO_x e SO_x , porém menores para MP_{10} . BARNARD, SLOMON e DEAN (1995),

²¹ Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP) Convention

contribuindo para a definição de padrões nacionais de qualidade para materiais particulados finos (MP_{2,5} e MP₁₀), alertaram para particularidades, como a redução na eficiência de sistemas de controle de poluição pelo seu desgaste com o tempo.

Em 1991, o Departamento de Meio Ambiente do Reino Unido conduziu um estudo integrado sobre o consumo de combustíveis e a emissão de poluentes no ar da região de Londres, cobrindo diversos aspectos do uso de energia. O estudo foi ponto de partida para um levantamento de todas as fontes de emissão para a área. Além de Londres, um programa para dez cidades criou uma rede de informação para fontes pontuais, lineares e de área. Os fatores de emissão utilizados na preparação de inventários de emissões urbanas no país são derivados de três fontes diferentes: (a) estudos de monitoramento do próprio país, quando disponíveis e apropriadamente aplicáveis; (b) o manual *UNECE/EMEP Atmospheric Emissions Inventory Guidebook* e; (c) a *AP-42/FIRE* da EPA, através da base de dados *FIRE* (HUTCHINGSON, 1995).

Nos EUA, a *Ozone Transport Commission* comandou um esforço de cooperação entre organismos estaduais e EPA federal para executar o inventário nacional de linhas de base (*baseline*) de NO_x para um programa de *offsets*. Dentre as fontes estudadas estão os combustíveis fósseis usados em grandes caldeiras e termelétricas acima de 15 MW. O inventário deveria ser consistente de região para região, cobrindo todos os processos acima de determinada potência e consumo (inclusive circunstâncias excepcionais, partida e desligamento) e um sistema de controle de qualidade. A hierarquia de fatores de emissão foi : (a) dados de monitoramento contínuo; (b) dados mais antigos de monitoramento contínuo ou pouco menos representativos; (c) testes de chaminés atuais; (d) testes de chaminés antigos ou menos representativos; (e) fatores de emissão da AP-42; (f) fatores de emissão estaduais e; (g) fatores de emissão da própria indústria (SLIWINSKI *et al.*, 1995).

Um estudo específico de inventário de emissão dos principais processos em uma grande siderúrgica integrada em Michigan-EUA, conduzido por PIERETT (1995a) com testes de fontes, fornece fatores de emissão visando cobrir lacunas de informação. O mesmo autor descreve as etapas do desenvolvimento de um sistema de armazenagem de informações para emissões, que permite cálculos *top-down* através da estimativa de emissões ou *bottom-up*, através das operações principais (PIERETT, 1995b).

2.4.2.2. Levantamento de fontes: alocação espacial

Para compilar o inventário de emissões é necessário determinar os tipos e quantidades de unidades de interesse na área de estudo. Muitas vezes, tais números requerem considerável espaço de tempo e grande volume de recursos para serem obtidos. Alternativamente, podem ser realizadas determinações indiretas a partir de, por exemplo, dados de impostos ou de produção.

Em 1985, a Comunidade Européia (CE) estabeleceu um programa para a reunião de informações sobre o estado do meio ambiente e dos recursos naturais na região. O programa *CORINE (Co-ORDination d'INformation Environmentale)* incluiu o projeto *CORINAIR*, que juntava e organizava informações sobre emissões para a atmosfera relevantes para a deposição ácida. Dentro deste, foi concebido um conjunto de descrições sobre fontes e atividades, intitulado *SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution)* e que foi utilizado no primeiro inventário, completado em 1990 (HUTCHINGSON, 1995). As categorias de fontes do *CORINAIR* foram aproveitadas pelo *IPCC* para a metodologia de cálculo de emissões de gases causadores do aumento do efeito estufa, tendo sido criados sistemas de harmonização de informações (IPCC, 1995).

A maior parte dos inventários de emissão da Europa referem-se a unidades administrativas (países, estados, distrito ou municípios). No entanto, os

padrões de emissão nessas unidades não são uniformes. Estudos de desagregação conduzidos por ORTHOFER e LOIBL (1995) para NO_x e COVs definiram mapas de densidade com diferentes tamanhos de cobertura geográfica, em sistema de informações geográficas. O método de desagregação europeu possui 42 mil polígonos para uma área total de 85 mil quilômetros quadrados, com a definição das fronteiras administrativas, da rede de rodovias, dos assentamentos e das áreas não habitadas. Os parâmetros de desagregação são o tráfego de veículos, as principais fontes pontuais, o consumo de combustíveis, os processos industriais e a evaporação de solventes. Os próximos passos do modelo são uma desagregação temporal que inclua o padrões diários, semanais e anuais e a conexão com cenários baseados em políticas e suas projeções.

O registro de emissões da Holanda é baseado em dois tipos de dados: no registro individual dos 500 maiores emissores industriais e, secundariamente, nas estimativas de emissões de todas as demais fontes, como o tráfego, agricultura e residências. Os dados dos grandes emissores são atualizados anualmente, inclusive em termos de consumo de combustíveis e fatores de emissão. Instalações industriais acima de 20 kWth têm de atualizar as medições pelo menos a cada três anos. A coleta de dados e inclusão no sistema não é fácil e toma muito tempo, sendo aplicável o manual de fatores de emissão quando as informações não são disponíveis (HESLIGA, 2002).

Uma grande dificuldade em inventários são fontes difusas. HESLIGA (2002) critica a extrapolação de fatores de emissão das maiores instalações a sítios industriais menores. Segundo DRASGUPTA e TRAPANI (1995), pequenos negócios têm dificuldades nos EUA para fornecer suas informações à agência ambiental, devido à limitada conscientização dos requisitos normativos existentes, à falta de experiência técnica para interpretar os regulamentos aplicáveis, aos limites de tempo para conduzir sua própria pesquisa e aos poucos recursos financeiros para manter um pessoal dedicado ou para usar serviços profissionais de terceiros. Os autores descrevem procedimentos de

assistência técnica em inventários de emissão para mais de 7.000 pequenos negócios similares no Estado de Iowa, através de questionários específicos de coleta e um algoritmo específico para programa de computador. Os negócios foram classificados por tipo (por exemplo, lavanderias, mecânicas ou fundições) e o enfoque foi para o uso de solventes e para o consumo de combustíveis (gás natural, óleo combustível, diesel e GLP).

PAPALSKI *et al.* (1995) relatam a experiência do estado de New Jersey (EUA) com os relatórios de emissões. Em 1990, emitiram-se 25 t/ano NO_x , 100 t/ano SO_2 mais 10 t/ano de MP_{10} . Por exigência legal, empreendimentos devem preencher um formulário e enviar à autoridade do estado, informando os insumos, as condições operacionais do equipamento e suas emissões potenciais sob condições de máxima capacidade da operação da fonte. Algumas empresas que informam emissões potenciais abaixo do limite recebem novamente o formulário para preenchimento. Algumas fontes em especial apresentam dificuldades para o cálculo de emissões, como é o caso dos tanques que depositam COVs.

Enquanto os recentes anos testemunharam significativo progresso nas metodologias de inventário de muitos dos poluentes convencionais, o novo desafio emergiu na busca do reconhecimento dos danos à saúde causados por materiais particulados finos. Embora as técnicas para a estimativa de partículas totais em suspensão (PTS) tenham sido adotadas por muitos anos, estudos de impacto sobre a saúde humana sugerem uma ampla gama de outras propriedades como potenciais causadoras de danos, dentre elas as frações de tamanho, a composição química e o número de partículas. Estudos visam identificar categorias relevantes de fontes de emissões e desenvolver metodologias para diferenciar inventários de particulados em função de critérios de saúde (AMANN, 2001).

LÜKEWILLE *et al.* (2001) propuseram uma metodologia para cálculo de emissões de material particulado primário e suas medidas de abatimento na

Europa. Propuseram um inventário preliminar com fatores *default* de emissão de PTS. Em seguida, calcularam as emissões de particulados finos para duas frações (MP₁₀ e MP_{2,5}), utilizando perfis de tamanho de literatura. A eficiência de remoção para MP₁₀ em processos industriais foi considerada como 95% para a Europa Ocidental. O enfoque de cenários para 2010 foi do tipo *top-down*, considerando o aumento de eficiências no controle industrial, inalteradas as emissões de fontes domésticas e reduzidas as emissões específicas de veículos a diesel.

MYERS (1995) discute métodos de referência para testes, fatores de emissão norte-americanos e métodos de teste para material particulado. O material particulado no ar ambiente consiste de uma ampla variedade de compostos orgânicos e inorgânicos de todos os tamanhos aerodinâmicos. Podem ser sólidos, semi-sólidos ou líquidos na temperatura ambiente. Nem todo o material sólido em condições ambientes o é na condição em que sai da chaminé. Para se determinarem as emissões totais de particulados é necessário combinarem-se todas as porções de material granulometricamente pesado. Diferentes métodos de teste podem gerar erros na combinação de dados. Quando não há informações disponíveis, normalmente retorna-se para a AP-42 para determinar as emissões de MP e MP₁₀ das fontes.

DUNLOP *et al.* (1995) descrevem a correlação entre o inventário de emissões (baseado na AP-42) e o modelo de qualidade atmosférica na bacia aérea do Lower Fraser Valley, Canadá, em uma grade de 5 quilômetros, para uma periodicidade de 1 hora. Foram escolhidas as 40 indústrias principais com relação aos NO_x e as 5 maiores emissoras de SO₂ em Vancouver, mais 8 plantas fora da cidade. Os padrões horários variaram significativamente de dia para dia.

Desta forma, fontes não cadastradas ou não inventariadas podem gerar significativas dificuldades na aderência de inventários de emissão a modelos de qualidade ambiental. Esse foi o caso descrito por EMIGH e LOOMIS

(1995), que mencionam uma tentativa de inventário de material particulado para a Califórnia, utilizando o modelo *SARMAP* (ASA, 2002), a partir da comparação de duas bases já existentes com inventários de NO_x , COVs , SO_x e MP.

A documentação da fonte de emissão, do equipamento de controle de poluição, de seu projeto e parâmetros de operação, é muito importante para a caracterização dos fatores de emissão e de seus parâmetros. Análises estatísticas podem ser úteis na caracterização de incertezas ou variações nos dados de emissão, principalmente quando as informações são muito amplas e os dados bem distribuídos entre as várias categorias de poluentes e de fontes. MARINSHAW e SHRAGER (1995), ao proporem tais métodos, não descartam a importância do julgamento de engenharia nas decisões finais de aplicação dos fatores de emissão.

2.4.2.3. Alocação temporal

No Texas, inventários horários de emissão de NO_x por caldeiras e turbinas a gás de termelétricas foram comparados com os dados de qualidade locais de O_3 . Os resultados destacaram o papel significativo que inventários de emissões, realizados de hora em hora para grandes fontes, possuem na identificação e na modelagem ambiental levando em conta flutuações da produção (KUSH, 1995).

PENDLETON e DURRENBERGER (1995) analisaram episódios horários de poluição por O_3 no Texas, onde não somente foi levado em conta o inventário disponível de emissões, mas também foi requerido pela EPA estadual a 231 empresas, que informassem todas as suas condições de operação, inclusive as que não fossem de rotina. As emissões dessas companhias representavam 90% do total dentro do domínio do modelo *COAST*. Houve uma grande participação de queimadores (*flares*) das indústrias químicas. O registro de eventos não rotineiros demonstrou significativas diferenças em relação ao

inventário anual. Verificaram-se também diferenças com relação à temperatura ao longo do dia. Segundo os autores, a vantagem do inventário horário sobre o inventário convencional é a especificação das emissões, o que não seria possível utilizando-se valores *default* de fatores de emissão.

CHINCHIN e MAIN (1995) apresentaram um estudo de algoritmos temporais, espaciais e de temperatura o para uso em modelagens de emissões para a região da Califórnia cobrindo, em especial, COVs, NO_x e MP₁₀.

2.4.3. Recursos computacionais

O inventário final de emissões deve ser preparado em um computador, mas sem perder a flexibilidade e a rastreabilidade necessárias para alterações significativas em sua estrutura, como, por exemplo, mudanças em combustíveis ou em tecnologias de produção e controle final de emissões. É recomendável uma revisão periódica em tais sistemas, preferencialmente anual.

Como havia limitações de capacidades de *software* e *hardware* no início da década de 1990, o uso de modelagens complexas de qualidade do ar e grandes bases de dados para inventários de emissão eram restritos. Posteriormente, a tecnologia possibilitou que o enfoque tradicional de desenvolvimento de modelos e estruturas mudasse para uma abordagem mais aberta e acessível à comunidade. Estruturas inter-operáveis e orientadas ao objeto facilitam a troca de dados e modelos científicos, sem ser necessário reconstruir todo o sistema (BENJEY, 1995).

Bons testes estatísticos permitem uma rápida varredura das informações de inventários em busca de erros, como exemplificado por STRASSER, SADEGHI e OLIVER (1995) no sistema *RAPIDS*²², desenvolvido pela

²² *Regional Air Pollutant Inventory Development System*

empresa *Oracle* e centralizado no Texas, com dados de emissões para 8 Estados da região dos Grandes Lagos dos EUA. O modelo calcula, armazena e gerencia informações utilizando fatores de emissão diferenciados por região a partir da base de dados *FIRE* da *EPA*. O sistema também utiliza balanços de massa e, quando disponíveis, cálculos específicos comparados com os realizados com fatores de emissão. Além disso, o programa possui também um controle de qualidade e um gerador de relatórios, além de um conversor de dados para envio para *EPA* federal. As vantagens do programa são, segundo BRUCKMAN e GRISINGER, (1995), um melhor controle dos dados quanto à sua consistência e certeza de cálculos, a capacidade de armazenamento e gerenciamento da informação, as estimativas nas escalas de tempo e espaço, a utilização automática de diferentes unidades de medidas, os múltiplos métodos de cálculo de emissões, a exclusão de dados ou unidades inconsistentes. Sendo apresentado numa tabela simples, o sistema acomoda fatores genéricos e específicos, permitindo fácil manuseio para casos especiais. O *RAPIDS* também permite que os dados sejam fornecidos sob grande variedade de formas.

SHRIMP e CAMPBELL (1995) discutindo a aplicação de sistemas de informações geográficas em análises de poluição do ar, apontam a especificidade quanto aos locais de cada processo como pré-requisito de um bom inventário de emissões. Agências privadas e governamentais trabalham constantemente no sentido de ampliar e divulgar periodicamente as melhores coberturas para análise.

Existe atualmente uma grande quantidade de dados de emissão, disponíveis para uma ampla gama de poluentes e cobrindo diferentes escalas espaciais. Para propósitos científicos, uma das mais completas compilações de dados de emissões globais é mantida pela *GEIA* (2002) ²³, criada em 1990 para desenvolver e distribuir inventários globais de emissão de gases por fontes naturais e antropogênicas

²³ *Global Emission Inventory Activity*

Vários grupos científicos tomaram a responsabilidade de desenvolver os inventários, com dados em resoluções mensais, sazonais e anuais. A maior parte dos dados são fornecidos para o nível da superfície, mas há também resolução vertical para alguns poluentes. Para facilitar o uso, quase todas as bases de dados são mantidas em um formato uniforme. O gerenciamento da comunicação é coordenado por um centro localizado no Colorado, EUA. Os dados disponíveis incluem emissões de NO₂ (inclusive decorrentes de relâmpagos e atividades naturais ao nível do solo), SO₂ (inclusive por atividades vulcânicas), NH₃, fumaça preta²⁴, CO, CFCs, CH₄, N₂O, emissões de cloro reativo e COVs. Trabalhos em execução visam incluir substâncias como Pb, Hg, organoclorados, partículas primárias e radionuclídeos. Trabalhos especiais incluem aeronaves, queima de biomassa e transporte marítimo internacional (AMANN, 2001).

O modelo de emissões *CAREAIR*, de altas resoluções temporal e espacial, foi testado na Alemanha e na Nigéria e leva em consideração a chamada *metadata*, isto é, a informação quanto à qualidade, a origem e o possuidor dos dados. No caso do continente europeu, a divisão espacial típica dá-se por células de 60 km por 60 km. Já em regiões onde a poluição é mais crítica, como o Estado de Baden-Württemberg, células de 1 km por 1 km são utilizadas. Para o período de uma semana, até 500 milhões de valores individuais de emissões são fornecidos. (LAING, WICKERT e FRIEDRICH, 1998).

Como forma de controle de qualidade, a avaliação de desempenho de um inventário pode ser feita estudando-se a linha de base, como mostra o estudo para precursores de ozônio no lago Michigan, por KOERBER e JANSSEN (1995). O modelo utilizado foi o *EMS-95*, com grande flexibilidade para a modificação de parâmetros de emissão em função do tempo e do espaço. Utiliza fontes pontuais, de áreas e de rede de transportes, mas não dispõe de

²⁴ Ou *black carbon*

informações sobre projeções do uso de solo (biogênicas). Considera quatro estratégias de políticas de controle da poluição pela agência local, cujos resultados simulados permitem os chamados testes de culpabilidade da ineficácia das medidas de controle.

KREWITT *et al.* (1999) utilizam uma estrutura *bottom-up* de modelagem para calcular os custos médios dos danos à saúde e ao ambiente decorrentes da geração de eletricidade por fontes fósseis na Europa. Os danos ambientais causados por termelétricas a combustíveis fósseis em 15 países aproximam-se de 70 bilhões de dólares em 1990. Os modelos *ExternE*, *EcoSense* e *CORINAIR* servem de base para o estudo, que leva em conta aspectos de mortalidade por MP₁₀, SO₂ e O₃, morbidade por MP₁₀ e O₃, danos materiais por SO₂ e acidificação e danos a culturas por SO₂, O₃, acidificação, N e S. Consideram também impactos de aquecimento global por emissões de CO₂. Os custos dos danos por tonelada de poluente emitido variam consideravelmente de lugar para lugar, como observado nos territórios da antiga Alemanha Oriental após o processo de reunificação. Custos privados de controle através da atual melhor tecnologia de redução de emissão justificam-se em relação aos custos dos danos. As diferenças nos danos por unidade de poluente emitido, ao longo do espaço e tempo, mostram a dificuldade em se definirem estratégias de internalização, ainda que sejam teoricamente ótimas em nível continental.

Segundo LAING, WICKERT e FRIEDRICH (1998), os modelos de emissão existentes na Europa - *EMEP*, *LOTOS*, *CORINAIR*, *GLOED*, *MINERGG* e o *Urban Airshed Preprocessor* - revelam limitações, principalmente na resolução temporal, na flexibilidade, na resolução espacial e na estrutura das categorias de fontes. Modelos norte-americanos - como o *FREDS* e o *EMS-95* - não utilizam dados básicos de atividade para os cálculos de emissões pontuais e em áreas com alta resolução. Muito esforço é requerido para adaptar a complexidade dos métodos de cálculo aos respectivos requisitos de projeto, quando é necessário que dados de emissão sejam computados em

várias escalas espaciais diferentes.

As iniciativas de se criarem e utilizarem inventários de emissão não são prerrogativas das agências ambientais. No Estado de Delaware (EUA), por exemplo, foi desenvolvido um *software* para suprir as deficiências dos modelos da *EPA* federal para estudar as emissões de precursores de ozônio, inclusive NO_x , a partir do ano-base de 1990 (MAZEED, 1995).

LOVE (1995) enumera os requisitos a serem atendidos na decisão de se adquirir uma base de dados para o inventário de emissões: missão do projeto, necessidades do usuário, *software* e *hardware*, projeto do sistema e orçamento. O processo de estabelecimento de um inventário de emissões não é imediato.

WOMBLE, PORTER e ADUCCI (1995) fazem uma descrição pitoresca das etapas do gerenciamento de um inventário de emissões em West Virginia, destacando três épocas: a *idade da pedra* (anos 1980), a *do bronze* (1990 a 1993) e a *(talvez) era espacial* (1994 em diante).

Nos anos 1980, a chamada *idade da pedra*, coletavam-se informações sobre quatro poluentes somente. Cada categoria de equipamento tinha o seu formulário próprio e o nível de detalhes gerava enormes relatórios em papel, informações que nunca poderiam ser convertidas em meio eletrônico. Muitas das informações não estavam codificadas ou os códigos não eram inseridos, tornando parte da base de dados inútil fora da agência. Revisões de licença e inspeções eram extremamente limitadas. A revisão do inventário envolvia a verificação de todos os cálculos de emissão e a procura de alguma discrepância nos relatórios em geral resultava em diversas rodadas de revisão para cada indústria verificada. O engenheiro então tinha de adaptar a informação ao formato dos relatórios, decidindo que item ou grupo de itens adotar para um ponto ou fonte de emissão, determinando um código de classificação (*SCC*) que se aproximasse de suas necessidades, muitos

consideravelmente diferentes dos manuais de código de fontes. Após complementar a revisão, o engenheiro deveria escrever os dados dentro dos formulários com os códigos. Depois de centenas de páginas preenchidas, eram passadas pelo engenheiro para digitadores, que as colocariam em um editor de textos, depois enviariam uma cópia impressa para o engenheiro para a revisão final. Os engenheiros não eram habilitados para entrar com os dados diretamente e o acesso aos computadores de grande porte não era permitido. O relatório impresso não tinha um formato fácil de compreender e os engenheiros se perdiam em tantos papéis, ocasionalmente informando números nas colunas erradas. Esse tipo de erro não seria detetado até que uma cópia impressa da base de dados fosse comparada com o relatório original. Nunca se conseguiu muito benefício da base de dados como esperado. A maior parte do corpo de engenheiros relutava em trabalhar no meio de pilhas de dados antigos de inventário ou em pedir o relatório para a equipe de entrada de dados todas as vezes que tivessem que inspecionar ou avaliar uma fonte. Ao invés disso, confiavam em arquivos menores e mais facilmente acessados.

Entre 1990 e 1993, na *idade do bronze*, durante a passagem de dados para microcomputadores foram perdidas importantes informações específicas sobre emissões e eficiências de sistemas de controle. A agência foi obrigada a requerer informações diretamente dos empreendimentos submetidos ao controle ambiental, em um processo bastante traumático. A mudança de procedimentos, após 1993, também demandou esforços para a conversão de dados. Apesar disso, depois que a informação estava sob a forma eletrônica, foi oferecida à indústria a opção de submeter seus relatórios ou em papel ou em disquete de computador.

Após 1994, na *(talvez) era espacial*, iniciou-se a procura de programas de computador mais ágeis e eficientes. Para cada empreendimento fiscalizado foi distribuída uma cópia do programa e exigido que a informação fosse enviada por disquetes. Diversas sessões de treinamento foram realizadas para

familiarizar os representantes da indústria com o uso do *software*. Um manual foi elaborado e o programa de computador calibrado. Os autores recomendam para agências que queiram desenvolver ou comprar algum programa de computador para inventário de emissões que discutam antecipadamente os requisitos com as indústrias a serem fiscalizadas.

2.5. Conclusões do capítulo

Poluentes atmosféricos são um dos principais fatores antropogênicos que afetam a saúde humana. A formulação de políticas de controle e prevenção depende do conhecimento dos múltiplos processos de geração e da dinâmica de interação destes poluentes com o ambiente. Para tal, é de alta relevância a realização de inventários de emissões de NO_x, SO_x e MP de processos de combustão, com satisfatórias operacionalização, precisão, transparência e rastreabilidade dos dados. Em função do que se pretende com os dados, é preciso que haja mínimos níveis satisfatórios de desagregações temporal e espacial. Tais inventários devem ser factíveis com os recursos disponíveis.

Os relatos de literatura oferecem uma grande vantagem para quem inicia tal tarefa, a partir do gerenciamento de informação. Este é o caso do Estado de São Paulo, que carece de um elo que identifique a origem da poluição que afeta a qualidade do ar. Este importante passo inicial é a proposta do modelo HORUS.

CAPÍTULO 3. BASES DE DADOS DISPONÍVEIS E METODOLOGIA DO MODELO

Índice do Capítulo

3.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	III -4
3.1.1. Emissões totais de um dado poluente numa certa base geográfica e período.....	III-5
3.1.2. Adequação à realidade das bases de informação.....	III-7
3.1.2.1. Processos individuais e usos finais dos combustíveis.....	III-7
3.1.2.2. Cálculo das emissões pela abordagem preliminar <i>top-down</i> : universo do consumo de combustíveis.....	III-10
3.1.2.3. Cálculo das emissões pela abordagem <i>bottom-up</i> : inferências para a distribuição do consumo de combustíveis.....	III-12
3.1.2.4. Determinação da poluição total por emissões atmosféricas dos processos selecionados em uma dada localidade.....	III-18
3.2. OPERACIONALIZAÇÃO COMPUTACIONAL DOS CÁLCULOS.....	III-20
3.3. AS BASES DE DADOS UTILIZADAS.....	III-21
3.3.1. BEESP e o consumo de combustíveis.....	III-22
3.3.2. O BEU e as rotas dos combustíveis segundo o uso final.....	III-23
3.3.3. FIRE (AP-42) e emissões de poluentes atmosféricos segundo o processo.....	III-25
3.3.4. Fontes fixas de poluição: SIPOL.....	III-29
3.3.5. A Pesquisa Industrial do IBGE, o universo das empresas e sua classificação por porte de estabelecimento.....	III-31
3.4. CHAVES: CORRESPONDÊNCIAS ENTRE AS BASES DE DADOS.....	III-32
3.5. ADAPTAÇÕES NECESSÁRIAS AO MODELO E DIFICULDADES OPERACIONAIS.....	III-36
3.5.1. Classificação dos setores industriais e número de funcionários ..	III-37
3.5.2. Determinação dos processos típicos de um dado setor industrial	III-44
3.5.3. Número de funcionários nos setores e empreendimentos.....	III-46
3.5.4. Energia útil obtida pelo processo (uso final).....	III-47
3.5.5. Fatores de emissão.....	III-47
3.6. ABORDAGEM <i>TOP-DOWN</i> : PROCEDIMENTOS ADOTADOS.....	III-49
3.7. ABORDAGEM <i>BOTTOM-UP</i> : PROCEDIMENTOS.....	III-51
3.8. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	III-57

CAPÍTULO 3. BASES DE DADOS DISPONÍVEIS E METODOLOGIA DO MODELO

Como se pôde observar a partir da revisão de literatura, um inventário de emissões é uma ferramenta básica para o estabelecimento de políticas ambientais e energéticas, em especial no que se refere a processos de combustão. A revisão mostrou também que não se obtém um inventário ideal do dia para a noite, sendo necessários anos de maturação em cima de propostas iniciais. Tais propostas, por sua vez, devem ser adequadas a prazos e recursos (de informação, financeiros, humanos, computacionais e institucionais) disponíveis. Há diferentes métodos para se chegar a esse objetivo.

Em função da matéria-prima de informação existente, foi concebido o modelo HORUS. Como já foi relatado, a metodologia baseia-se na conciliação e no cruzamento de bancos de dados existentes: estatísticas oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), balanços energéticos, cadastro de empresas SIPOL (CETESB, 2001c) e fatores de emissão da *EPA*. Os últimos são utilizados no controle ambiental paulista, brasileiro e pela maioria das agências ambientais em outros países.

O modelo parte de uma interligação entre balanços energéticos e de energia útil, determinando as rotas dos combustíveis por setor industrial e respectivas eficiências energéticas.

De uma forma simplificada detalhada mais adiante, inicia-se por uma abordagem *top-down*, determinado-se o consumo setorial para o Estado de São Paulo como um todo. Este é multiplicado em uma primeira etapa por fatores de emissão de poluentes por unidade de combustível consumido, estimando-se valores de emissões totais.

Na etapa *bottom-up* seguinte, o consumo de combustível é adaptado e distribuído ao universo (amostra) de empreendimentos cadastrados em cada município, possibilitando uma idéia das emissões por município, código de endereçamento postal (CEP), bacia hidrográfica (UGRHI), área de competência de fiscalização, setor industrial, uso final, combustível e porte de empreendimento.

As etapas de desenvolvimento do modelo, desta forma, compreendem:

- ◆ a reunião das bases de dados existentes;
- ◆ a verificação de consistência dos dados: suficiência, abrangência, nível de desagregação;
- ◆ a busca de dados em comum e a definição das chaves que interliguem as bases de dados;
- ◆ a delimitação da abrangência do estudo: setores de consumo envolvidos, processos, combustíveis, poluentes emitidos, unidade geográfica;
- ◆ a verificação das emissões em um cenário pretérito conhecido (como o ano de 1998);
- ◆ verificação das limitações e de refinamentos no modelo.

Estabelecido o modelo, torna-se possível uma simulação de cenários de emissões específicas para cada local e para cada combustível, o que possibilita análises como a dos efeitos ambientais da substituição de energéticos. Podem-se também estabelecer previsões de emissões, em função dos diferentes cenários passíveis de alteração na matriz energética do Estado, que variam consideravelmente de acordo com mudanças na política econômica, energética e ambiental.

Convém recordar que o inventário de emissões por fontes, objetivo deste estudo, é um indicador que sinaliza a qualidade ambiental local. Contudo, tal qualidade é influenciada não apenas pelas emissões provindas da própria

região, mas também pela poluição “importada” de regiões vizinhas, dentro e fora de São Paulo.

Além disso, há fatores como a dispersão dos poluentes, incorporação no meio, efeitos sinérgicos ou antagônicos, todos objetos de outros estudos complementares ao do modelo HORUS.

Na literatura há diversas referências metodológicas de modelos semelhantes ou análogos ao HORUS, inclusive no que se refere às limitações e dificuldades encontradas, que serão expostas após a apresentação dos resultados, para uma melhor compreensão. Dentre outros pontos comuns, tem-se que o HORUS:

- mesmo sendo inédito e específico a São Paulo, respalda-se em fortes semelhanças com relação à formulação de outros modelos, em especial quanto ao número de empregados no empreendimento como parâmetro indexador e a aproximação *default* da tecnologia de combustão pelo uso final dado ao energético, mais fatores de emissão da EPA
- adotou soluções de baixo custo, como a utilização de *softwares* e *hardware* convencionais e o gerenciamento de informações existentes
- teve as análises *bottom-up* e cenários temporais afetados pela falta de dados
- é um método prático e com grande flexibilidade para refinamentos, que supre em um primeiro momento a falta de um inventário para emissões industriais em São Paulo.

3.1. Fundamentação teórica

O modelo HORUS foi obtido na prática, replicando e automatizando a operação que cada técnico da CETESB executa ao verificar a emissão de poluentes por um dado processo: verificado o tipo e consumo de combustível

em uma dada tecnologia, consulta a lista de fatores da *AP-42* e determina a emissão.

Entretanto, em um universo extenso como o do Estado de São Paulo, não se conhecem as rotas dos combustíveis nem seus usos finais descentralizados, sendo preciso estabelecer algumas inferências distributivas de tais rotas e aproximações de tecnologia de uso final.

As fórmulas tornam-se mais claras se cotejadas com os elementos gráficos apresentados.

3.1.1. Emissões totais de um dado poluente numa certa base geográfica e período

A emissão total de um poluente atmosférico p , a partir da queima de combustíveis em uma determinada região e período, é dada pela soma das emissões de cada empreendimento i , para cada processo φ ao qual é submetido o combustível, como formulado em (1):

$$E_p = \sum_{c=1}^j \sum_{i=1}^r \sum_{\varphi=1}^m e_p [i_s, \varphi, c]$$

eq. (1)

onde:

i_s = empreendimento (ex. “Indústria de Bebidas Ajax Ltda”, pertencente a um dado setor s , como “Alimentos e Bebidas”).

φ = processo ao qual é submetido o combustível, incluindo, em um refinamento, o sistema de controle de emissões (ex. “caldeira a vapor sem sistema final de controle”)

c = combustível (ex. “óleo diesel”)

e_p = emissão do poluente **p** de cada empreendimento **i** para cada processo de emissão e cada combustível

m = número de processos de emissão

r = número total de empreendimentos

j = número de tipos de combustíveis

E_p = emissão total do poluente **p** pela queima dos combustíveis

A parcela da somatória, emissão do poluente **p** pelo empreendimento **i**, utilizando-se do combustível **c** no processo φ , é apresentada em (2) como:

$$e_p [i_s, \varphi, c] = \alpha_p (\varphi, c) \cdot \kappa i_s (c, \varphi)$$

eq. (2)

onde:

$\alpha_p (\varphi, c)$ = fator de emissão do poluente **p** para o processo φ , utilizando o combustível **c**

$\kappa i_s (c, \varphi)$ = consumo do combustível **c** no processo φ , para o empreendimento **i** (que pertence a um setor **s**) em um dado período

$e_p [i_s, \varphi, c]$ = emissão do poluente **p** pelo empreendimento **i**, por combustível **c** no processo φ

Assim, em um determinado período, se tivermos a localização e descrição exata de cada processo, incluindo seu consumo de combustível e eficiência do sistema de controle final de emissões, poderemos, atribuindo-se fatores de emissão de poluentes, inventariar tais emissões em uma determinada região.

3.1.2. Adequação à realidade das bases de informação

Esta situação ideal não ocorre em nossa realidade. Não há um levantamento cadastral eletrônico, atualizado, uniforme e unificado, dos processos industriais. As informações disponíveis estão pulverizadas em um enorme volume de processos de licenciamento escritos em papel. A base de dados disponível somente contempla o empreendimento como um todo para fins de licenciamento - e não os seus processos internos. Assim, o óleo diesel que entra em uma determinada indústria, por exemplo, não tem a sua rota definida, podendo ir para um gerador ou para um caminhão. Não se sabe, também, de uma forma sistemática, quanto entrou, em um certo período, de cada combustível em um dado empreendimento.

É preciso, então, proceder a algumas simplificações. A primeira diz respeito ao processo, seguindo-se a estimativa do consumo de combustíveis em um dado setor como sendo proporcional ao número de funcionários ou a área total de cada empreendimento. A abordagem de conexão entre as bases existentes fica, desta forma, limitada por este elo mais fraco. Tal ligação será objeto de discussão num estágio mais avançado do trabalho.

3.1.2.1. Processos individuais e usos finais dos combustíveis

Outra reconhecida limitação do estágio atual do modelo deve-se à falta de cadastros específicos para os tipos e portes de processos de combustão em quaisquer das bases de dados disponíveis. Desta forma, procedeu-se a uma simplificação, adotando-se para o processo φ o uso final u dado ao combustível, onde os valores médios são fornecidos pelo Balanço de Energia Útil - BEU (BRASIL, 1995).

Tal base de dados classifica os usos finais da energia em 6 categorias: aquecimento direto (AD), calor de processo (CP), força motriz (FM),

iluminação (IL), geração de eletricidade (EL) ou outros (OU). Em uma primeira aproximação, a cada uso final, para cada tipo de indústria, foi destinado um único processo (por exemplo, adotou-se um único tipo de forno para aquecimento direto utilizando gás natural na indústria de alimentos). Nas equações anteriores, adotou-se, portanto, a aproximação dada em (3):

$$\varphi = \mathbf{u}$$

eq. (3)

onde

\mathbf{u} = uso final dado ao combustível (ex. “calor de processo”, ou “CP” no Balanço de Energia Útil, associado a “caldeiras de combustão externa” na base de dados de fatores de emissão).

A partir dos dados do BEU-1993, foi possível uma estimativa dos percentuais de energia utilizados, segundo o uso final, por setor industrial: os Coeficientes de Destinação. Estes coeficientes, explicados com maiores detalhes mais adiante, foram utilizados tanto na abordagem *top-down* quanto na *bottom-up*, determinando quanta energia migrou para um dado uso (como o número de toneladas equivalentes de petróleo - tep - de óleo combustível utilizado pelo setor têxtil em 1998 em calor de processo; ou as tep utilizadas pelo setor de ferro gusa e aço em aquecimento direto). No APÊNDICE 1 são apresentadas as conversões de unidades e observações sobre critérios de balanços energéticos.

Para a abordagem *top-down*, utilizou-se a formulação apresentada em (4):

$$\kappa_s(\mathbf{c}, \mathbf{u}) = \kappa_s(\mathbf{c}) \cdot \phi_s(\mathbf{c}, \mathbf{u})$$

eq. (4)

onde:

$\kappa_s(\mathbf{c}, \mathbf{u})$ = consumo em todos os empreendimentos do setor s do combustível \mathbf{c} pelo uso final \mathbf{u}

$\kappa_s(\mathbf{c})$ = consumo em todos os empreendimentos do setor s do combustível \mathbf{c}

$\phi_s(\mathbf{c}, \mathbf{u})$ = coeficiente de destinação no setor industrial s do combustível \mathbf{c} para o uso final \mathbf{u}

Analogamente, para a abordagem *bottom-up*, a formulação segue em (5):

$$\kappa_i(\mathbf{c}, \mathbf{u}) = \kappa_i(\mathbf{c}) \cdot \phi_s(\mathbf{c}, \mathbf{u})$$

eq. (5)

onde:

$\kappa_i(\mathbf{c}, \mathbf{u})$ = consumo no empreendimento i (pertencente ao setor s) do combustível \mathbf{c} pelo uso final \mathbf{u}

$\kappa_i(\mathbf{c})$ = consumo no empreendimento i (pertencente ao setor s) do combustível \mathbf{c}

$\phi(\mathbf{c}, \mathbf{s}, \mathbf{u})$ = coeficiente de destinação no setor industrial s do combustível \mathbf{c} para o uso final \mathbf{u}

3.1.2.2. Cálculo das emissões pela abordagem preliminar *top-down*: universo do consumo de combustíveis

Assumindo-se que as informações do Balanço Energético Estadual - BEESP - estejam corretas e representem, no período de um ano, o universo do consumo setorial por combustível para todo o Estado de São Paulo, pode-se afirmar que o consumo total do combustível **c** em cada setor **s** representa a somatória do consumo do combustível **c** para todos os empreendimentos do mesmo setor **s**, conforme formulado em (6):

$$\kappa_s(\mathbf{c}) = \sum_{i=1}^n \kappa_i(\mathbf{c})$$

eq. (6)

onde

n = número de empreendimentos em cada setor **s**

$\kappa_s(\mathbf{c})$ = consumo total anual do combustível **c** no setor **s**, dado pelo BEESP

$\kappa_i(\mathbf{c})$ = consumo total anual do combustível **c** no empreendimento **i**, pertencente ao setor **s** (onde **s** pode ser, por exemplo, “Alimentos e Bebidas” ou “Ferro-Gusa e Aço”).

Porém, admitindo-se que todos os empreendimentos em cada setor **s**, que consomem o combustível **c**, apresentam Coeficientes de Destinação (CDEST) análogos para cada uso final **u**, então obtemos (7):

$$\kappa_s(\mathbf{c}, \mathbf{u}) = \sum_{i=1}^n \kappa_{i_s}(\mathbf{c}) \cdot \phi_s(\mathbf{c}, \mathbf{u})$$

eq. (7)

onde cada elemento já foi definido anteriormente.

Assim, substituindo-se os termos em (1), pode-se reescrever a equação conforme em (8):

$$E_p = \sum_{c=1}^j \sum_{u=1}^m \sum_{s=1}^k \alpha_p(\mathbf{u}, \mathbf{c}) \cdot \kappa_s(\mathbf{c}, \mathbf{u})$$

eq. (8)

onde:

$\alpha_p(\mathbf{u}, \mathbf{c})$ = fator de emissão do poluente \mathbf{p} para o uso final \mathbf{u} dado ao combustível \mathbf{c}

\mathbf{m} = número de processos de emissão associados aos usos finais \mathbf{u} de energia

Convém lembrar que em (3) o uso final \mathbf{u} foi associado ao processo produtivo ϕ . Desta forma obtém-se uma aproximação preliminar para o cálculo das emissões anuais de um dado poluente \mathbf{p} no Estado de São Paulo. Valores para os fatores de emissão deste poluente \mathbf{p} , pelo consumo de um combustível \mathbf{c} em um único tipo de processo/uso final \mathbf{u} , com a notação $\alpha_p(\mathbf{u}, \mathbf{c})$, encontram-se na base de dados *FIRE* (EPA, 2001b), que será descrita mais adiante.

Na abordagem *top-down* que acaba de ser descrita, é possível estimar, através da adoção de usos finais e fatores de emissão globais aplicados a dados de balanço energético, a quantidade total de emissões de poluentes pelo uso dos combustíveis nas fronteiras do sistema (isto é, o Estado de São Paulo). É, portanto, um limite superior para a abordagem *bottom-up*, que será explicada a seguir²⁵.

3.1.2.3. Cálculo das emissões pela abordagem *bottom-up*: inferências para a distribuição do consumo de combustíveis

Caso todos os *r* empreendimentos estivessem cadastrados completa e corretamente, o fechamento do consumo deveria ser, teoricamente, completo (isto é, de 100%).

Contudo, nem todos os empreendimentos de um dado setor foram objeto de licença e/ou cadastro e nem todos os dados do cadastro estão absolutamente corretos. Um exemplo são os empreendimentos em funcionamento antes de 1976 que, mesmo que tenham o porte de uma siderúrgica, não constam da base de dados SIPOL. Assim, dispõe-se de uma amostragem deste universo, incompleta ainda que ampla, para a atribuição dos consumos de energia por empreendimento.

Assim, foi necessário buscar um conjunto uniforme de informações que permitisse inferir a distribuição do consumo energético total do setor (provindo do Balanço Energético oficial e publicado) para cada empreendimento. Havia duas alternativas que possibilitariam o desmembramento do consumo: número total de funcionários ou área total construída.

Dentre as duas possíveis escolhas, o número de funcionários pareceu ser o mais adequado. Ainda que duas indústrias de um mesmo setor razoavelmente homogêneo (que é o caso do siderúrgico, mas não o de alimentos, por exemplo) possuam sistemas distintos de produção, a própria competitividade do setor é um fator de equilíbrio para a relação entre produção, consumo de insumos e pessoal ocupado. Há uma possibilidade de rápidas adequações a diferentes conjunturas econômicas e tecnológicas. Isso não ocorre com as áreas construídas que são muitíssimo menos sujeitas a variações ao longo do tempo em função das condições de produção.

Cabe reconhecer as limitações desta abordagem, mas também vale lembrar que tais dificuldades são relatadas em diversas experiências de inventários *bottom-up* realizados em outros países. Mais adiante se discutirão os impactos possíveis desta escolha metodológica e outras alternativas possíveis caso fossem melhoradas as bases de informações e dados.

As fronteiras do sistema são os limites do Estado de São Paulo, bem como o consumo total dos combustíveis escolhidos nos dados setores, que possuem um certo quadro total de funcionários.

Há, assim, que se considerar o tamanho da amostra. Para um dado setor industrial s (têxtil, por exemplo), o consumo de combustíveis da amostragem foi considerado como sendo menor ou igual ao consumo total do mesmo setor, conforme apresentado no balanço energético paulista.

De maneira análoga, os dados estatísticos oficiais da Pesquisa Industrial de 1998 (IBGE, 2002) mencionam um determinado número de funcionários total, por setor industrial, no Estado de São Paulo. Este representará 100% do universo a considerar. Para efeitos deste estudo, admitiu-se que o cadastro das empresas totalizou um número de funcionários menor ou igual a este universo. Na prática, isso não ocorre: os dados cadastrados não se referem,

²⁵ Em outras palavras, a somatória das emissões *bottom-up* é, no máximo, igual ao valor daquelas *top-*

infelizmente, a um mesmo ano específico. Pode haver empresas que contrataram ou demitiram desde o cadastramento, informações que não foram atualizadas sistematicamente ao longo do tempo.

Contudo, deve-se ter sempre em foco a demonstração da metodologia. Futuramente, novas informações poderão ser cadastradas (consumo de eletricidade dos empreendimentos, por exemplo), permitindo uma maior precisão.

Ainda assim, é considerável a possibilidade de distorções, como a falta de informações sobre sistemas de auto-produção de termoeletricidade juntamente com a aquisição de hidreletricidade da rede. Saídas de produto também podem sofrer grandes variações de indústria para indústria, como é o caso dos alimentos. O número de funcionários, desta forma, é um razoável indexador para alocações de consumo em setores produtivos mais homogêneos. O importante é preservar uma regra de proporcionalidade aceitável para o modelo distributivo.

Assim, pela proporcionalidade com o número de funcionários foi determinado o consumo de combustíveis na amostragem. Em primeiro lugar, é preciso determinar o fechamento, ou seja, o percentual do universo que é coberto pela amostragem. Este fechamento é determinado por um fator **K**, determinado por (9):

$$\mathbf{K(s) = P'(s) / P(s).}$$

eq. (9)

onde

K (s) = fechamento (que deve ser igual ou inferior a 1)

P (s) = número de funcionários (pessoal ocupado) do universo do setor **s** (dado pelo IBGE)

P' (s) = número de funcionários (pessoal) da amostra do setor **s**, dado pelo SIPOL

Note-se que o número de funcionários da amostra do setor é obtido a partir dos dados de cadastro das empresas junto à CETESB, formulado em (10).

$$\mathbf{P}'(\mathbf{s}) = \sum_{i=1}^{\mathbf{n}} \mathbf{pi}_s$$

eq. (10)

onde

pi_s = número de funcionários do empreendimento **i** (dado pelo cadastro), pertencente ao setor **s**

n = número de empreendimentos de cada setor **s**

Note-se que o cadastro da CETESB se dá por "empreendimento". Uma empresa licenciada pela Agência, que sofreu uma ampliação também licenciada, compõe-se de dois empreendimentos distintos. Assim, num mesmo endereço pode haver vários empreendimentos. Contudo, salvo erros de cadastro, o SIPOL considera o número de funcionários de cada um dos empreendimentos.

Há casos em que, por deficiências no cadastro de empreendimentos do SIPOL (ou, mais eventualmente, nas estatísticas industriais do IBGE), o

fechamento **K** obteve valores acima da unidade. Nestes casos, uma de duas medidas foi tomada para cada setor:

- excluiu-se o setor do escopo do estudo (como foi o caso de “minerais não-ferrosos” e “outros setores industriais”, em que os dados de cadastro eram muitíssimo discrepantes e inconsistentes quanto à própria classificação); ou
- utilizou-se o parâmetro de área construída (caso específico do setor de “ferro-gusa e aço”, onde muitas indústrias constavam no cadastro como sem nenhum funcionário)²⁶

Tendo-se obtido os fechamentos, inferiu-se, dentro da metodologia proposta, que o consumo do combustível **c** na amostra do setor seria o produto do consumo total do setor, (do Balanço Energético), pelo respectivo **K (s)**, como apresentado em (11):

$$\kappa_s'(\mathbf{c}) = \mathbf{K}(\mathbf{s}) \cdot \kappa_s(\mathbf{c})$$

eq. (11)

onde:

$\kappa_s'(\mathbf{c})$ = consumo total anual do combustível **c** no setor **s** (da amostragem)

$\kappa_s(\mathbf{c})$ = consumo total anual do combustível **c** no setor **s** (do Balanço Energético)

Desta maneira, o consumo total setorial do combustível **c** foi distribuído para cada empreendimento do setor **s**. Tendo-se um valor para o consumo total

²⁶ Esse assunto será retomado nos comentários sobre a *Abrangência da amostra das indústrias no modelo bottom-up*

setorial na amostragem (como, por exemplo, o de todas as empresas do setor “têxtil” cadastradas), a repartição procedeu-se através de uma proporcionalidade direta em função do número de funcionários (ou, no caso específico do setor de “ferro-gusa e aço”, da área construída total) do empreendimento sobre o total do setor, como mostrado em (12):

$$\kappa_{is}(\mathbf{c}) = \frac{\mathbf{p}i_s}{[\mathbf{P}'(\mathbf{s})]} \cdot \kappa's(\mathbf{s}, \mathbf{c})$$

eq.(12)

cujos parâmetros já foram definidos anteriormente.

A emissão final do poluente \mathbf{p} pelo empreendimento \mathbf{i} , pertencente à amostra do setor \mathbf{s} , advinda da queima do combustível \mathbf{c} no uso final energético (admitido como processo) \mathbf{u} será adequadamente formulada como em (13), com todos os termos já definidos:

$$\mathbf{e}_p[\mathbf{i}_s, \mathbf{u}, \mathbf{c}] = \alpha_p(\mathbf{u}, \mathbf{c}) \cdot \kappa i_s(\mathbf{c}, \mathbf{u})$$

eq. (13)

Aplicando-se os respectivos coeficientes de destinação e fatores *default* de emissão a todos os registros de um determinado setor \mathbf{s} , as emissões totais *bottom-up* para os setores e para o conjunto do Estado de São Paulo serão calculadas como em (14) e (15):

$$\mathbf{E}_p(\mathbf{s}) = \sum_{\mathbf{c}=1}^{\mathbf{j}} \sum_{\mathbf{i}=1}^{\mathbf{n}} \sum_{\mathbf{u}=1}^{\mathbf{m}} \mathbf{e}_p(\mathbf{i}_s, \mathbf{u}, \mathbf{c})$$

eq. (14)

onde:

$E_p(s)$ = emissão total *bottom-up* do poluente p para o setor s

e

$$E_p = \sum_{s=1}^k e_p(s)$$

eq. (15)

onde:

$E_p(s)$ = emissão total anual *bottom-up* do poluente p no Estado de São Paulo

3.1.2.4. Determinação da poluição total por emissões atmosféricas dos processos selecionados em uma dada localidade

Dada a emissão de cada poluente p por cada empreendimento e , sendo a localização das indústrias possível através do seu código postal (CEP), nome do município ou bacia hidrográfica (UGRHI), a emissão *bottom-up*, total ou por setor, para cada unidade geográfica, poderá ser estabelecida como em (16) e (17):

$$E_{p,l}(s) = \sum_{c=1}^j \sum_{i=1}^n \sum_{u=1}^m e_{p,l}(i,u,c)$$

eq. (16)

onde:

$ep,l(i, u, c)$ = emissão do poluente p pelo empreendimento i (do setor s) na localidade l , utilizando-se do combustível c no uso final (processo) u

$Ep,l(s)$ = emissão total *bottom-up* do poluente p para o setor s na localidade l

$$E_{p,l} = \sum_{s=1}^k E_{p,l}(s)$$

eq. (17)

onde:

$E_{p,l}$ = emissão total do poluente p na localidade l

$ep,l(i,u,c)$ = emissão do poluente p na localidade l pelo empreendimento i , utilizando-se do combustível c para o uso final u

Definido o método e a área de abrangência, outras condições de contorno foram adotadas para os testes práticos do HORUS. Para os poluentes p , foram escolhidos NO_x , SO_x , CO_2 , ou MP_{10} . Para o uso final (processo) u , adotaram-se os parâmetros mais importantes: AD (aquecimento direto), CP (calor de processo) e FM (força motriz). Os combustíveis c foram GASNAT (gás natural), DIESEL (óleo diesel) e OLCOMB (óleos combustíveis de diferentes graus).

3.2. Operacionalização computacional dos cálculos

A escolha de softwares para modelos deve considerar uma série de fatores, como: a segurança no gerenciamento dos dados; a facilidade de aquisição e operação; a necessidade de pagamento de direitos pelo uso; a rastreabilidade dos cálculos e a possibilidade de controle de qualidade.

Para a operacionalização do modelo HORUS adotaram-se os *softwares* do programa *MS-Office98*®. O gerenciador de bancos de dados *Access*, de grande capacidade informática, viabilizou, principalmente, a junção de bases heterogêneas. As planilhas eletrônicas *Excel* suportam cerca de 65.000 linhas cada, permitindo a conversão de unidades, a inserção de novos campos de dados, a aplicação de filtros e a obtenção de subtotais parciais. Possibilitam ainda a elaboração de cenários de consumo e substituição de combustíveis, alterações em coeficientes de eficiência energética e em fatores de emissão de poluentes, além da confecção de gráficos e outras formas de síntese de resultados.

No APÊNDICE 2 são descritos detalhes de operacionalização do modelo HORUS.

Assim como em toda base de dados, recomenda-se que a atualização seja feita por um grupo restrito de pessoas. Apesar de bastante transparente e com fácil verificação de inconsistências, o modelo HORUS, por ser distributivo, é muito sensível a erros de digitação²⁷.

O modelo não se restringe aos dados distribuídos: permite refinamentos empreendimento a empreendimento, como os consumos pontuais de combustíveis, sua alocação por usos finais e fatores de emissão específicos de

²⁷ Mais adiante, será citado o exemplo mais evidente dessa sensibilidade: o registro de 193.000 funcionários em uma indústria no município de Angatuba.

poluentes que contemplem os processos reais, inclusive com os sistemas de controle final de poluição.

Em termos de concepção, o modelo tampouco se limita à emissão de poluentes atmosféricos pela queima de combustíveis. A base de dados de fatores de emissão possui mais de 20 mil registros²⁸, que podem estimar, por exemplo, a emissão de dioxinas por unidade de papel produzido. Os fatores de emissão também contemplam fontes móveis que, se forem localizadas geograficamente e caracterizadas em termos de consumo, permitem uma fotografia das emissões de poluentes em um determinado local.

Para se obter uma maior precisão, fatores de emissão e coeficientes de destinação podem ser aplicados individualmente, registro a registro. Um mesmo registro também pode ser expandido em vários, processo a processo. Entretanto, o volume de dados cresce geometricamente com cada novo nível de expansão. Para se ter uma idéia, as 10 planilhas resultantes dos cálculos descentralizados, apenas com os valores *default*, apresentam estes dados em 39 colunas e mais de 153 mil linhas.

A flexibilidade e a transparência são as maiores vantagens do modelo HORUS. Explorar todas as suas possíveis dimensões extrapolaria o escopo deste trabalho, mas permanecem as sugestões para aprofundamentos posteriores de pesquisas.

3.3. As bases de dados utilizadas

Tomando-se inicialmente o ano de 1998, as bases de dados a serem utilizadas são: (a) os fatores de emissão de poluentes atmosféricos por processo da agência ambiental dos EUA (EPA 2001 a, b); (b) banco de dados das indústrias do Sistema de Informações de Controle de Poluição - SIPOL

²⁸ Uma recomendação advinda da prática de manuseio da base é a exportação para o Excel e a posterior utilização da ferramenta "Auto-Filtro" para a identificação de grupos semelhantes de registros.

(CETESB, 2001c); (c) o Balanço Energético do Estado de São Paulo – BEESP (SÃO PAULO, 2002c); (d) o Balanço de Energia Útil Brasileiro – BEU/1993 (BRASIL, 1995), não atualizado desde então; (e) a Pesquisa Industrial do IBGE – 1998 (IBGE, 2001). Com exceção do SIPOL, todas as demais bases estão disponíveis na Internet.

As bases são a seguir descritas.

3.3.1. BEESP e o consumo de combustíveis

As fontes de consumo setorial de combustíveis foram os Balanços Energéticos do Estado de São Paulo, anos-base de 1992, 1998 e 2000, publicados pela Secretaria de Estado da Energia de São Paulo (1999).

Levantaram-se os consumo de gás natural (GASNAT), óleo diesel (ODIESEL) e óleo combustível (OCOMB) em toneladas equivalentes de petróleo (tep²⁹), dos seguintes setores:

- a) as indústrias de alimentos e bebidas (A&B); cerâmica (CER); cimento (CIM); ferro gusa e aço (FGA); química e petroquímica (QUI) e têxtil (TEX) e;
- b) as indústrias de ferro ligas (FLI); mineração (MIN); minerais não-ferrosos (MNF); os chamados outros setores industriais (OSI); os setores comercial (COM); público e institucional (PUB); residencial (RES); energético (ENE); de transportes rodoviários (TRO), hidroviários (THI) e ferroviários (TFE).

A separação das categorias acima em dois itens tem um propósito: os setores relacionados em (a) são mais homogêneos e dispõem de parâmetros de conexão com as demais bases de dados (dentro da proposta do HORUS) e

²⁹ APÊNDICE 1

foram aproveitados para a realização os inventários *top-down* (geral) e *bottom-up*. Já os setores de (b) não possibilitaram a abordagem *bottom-up*, por uma ou mais das dificuldades operacionais relatadas.

3.3.2. O BEU e as rotas dos combustíveis segundo o uso final

A conexão entre o consumo de um energético em um determinado setor industrial (como “gás natural na indústria têxtil”) e o processo industrial que emite um dado poluente (como óxidos de nitrogênio emitidos por motores de combustão interna) requer o conhecimento da rota (destinação) do energético dentro da indústria. Adicionalmente, a substituição entre diferentes combustíveis deve dar-se em função da energia útil final obtida e não pelo simples poder calorífico de cada energético.

Assim, é preciso que se conheça a energia útil e as rotas de uso final, ou seja, a distribuição da energia por setor industrial e por tipo de aproveitamento. A única fonte encontrada foi o Balanço de Energia Útil (BEU 1993), que o MME elaborou em 1995 e, infelizmente, não atualizou desde então. Este relatório estabelecia, para os anos de 1983 e 1993, as rotas que a energia tomava dentro dos processos: para onde ia e quanto era aproveitado. Essa obra até hoje é referência para a elaboração de Balanços Energéticos Nacionais e para o inventário *bottom-up* nacional das emissões de gases de efeito estufa pelo uso de energia, editado pelo MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2002).

Regra geral, os setores e energéticos do BEU mantém correspondência com os do BEESP, não tendo ocorrido maiores dificuldades de conciliação entre as bases, dentro do escopo dos trabalhos do HORUS. As unidades de energia são padronizadas em toneladas equivalentes de petróleo. Os energéticos apresentados são, com as respectivas siglas adotadas neste estudo: álcool

etílico e hidratado, alcatrão³⁰, carvão vapor, carvão vegetal, carvão metalúrgico, coque de carvão mineral, eletricidade, gás canalizado³¹, gás de coqueria³², gás natural (GASNAT), gasolina automotiva, gás de refinaria, gás liquefeito de petróleo, lenha, lixívia³³, nafta³⁴, óleo diesel (DIESEL), outras fontes primárias, outras fontes secundárias do petróleo, óleo combustível (OCOMB), produtos da cana - bagaço³⁵, produtos da cana - caldo³⁶, produtos da cana - melação³⁷ e querosene.

Assim, os três energéticos adotados são aqueles que apresentam siglas. Contudo, o modelo HORUS é suficientemente robusto para que outros exercícios sejam realizados utilizando-se outros combustíveis e insumos.

Os usos finais de energia do BEU são a força motriz (FM, por exemplo motores), o calor de processo (CP, ex. caldeiras para a geração de vapor), o aquecimento direto (AD, ex. fornos), a iluminação (IL, ex. lâmpadas incandescentes) e os chamados outros usos (OU). No HORUS, os três primeiros foram considerados.

Para cada setor industrial e combustível, o BEU fornece:

- o consumo energético;
- os coeficientes de destinação (CDEST), ou seja, a parcela que foi para o uso final associado
- o coeficiente de eficiência energética (CEE), ou a fração da energia que é aproveitada para os usos finais e;
- a energia final aproveitada no processo produtivo, multiplicação de CEE por CDEST e pelo consumo por setor;

³⁰ Existente no BEU 1993. No BEESP 1998, consta como "outras fontes secundárias do petróleo"

³¹ Notação do BEESP 1998. No BEU 1993, consta somente como "gás"

³² Idem

³³ Existente somente no BEESP 1998. Adotado o mesmo valor de "caldo de cana" no BEU 1993

³⁴ Existente no BEU 1993. No BEESP 1998, consta como "outras fontes secundárias do petróleo"

³⁵ BEU 1993: produtos da cana

³⁶ Idem

³⁷ Idem

O cruzamento das informações do BEU 1993 possibilita a conversão de combustíveis baseada nos coeficientes de eficiência energética ou, em outras palavras, a quantidade de um dado energético (ex. gás natural) necessária para substituir um outro (ex. óleo diesel), obtendo-se a mesma energia útil. O APÊNDICE 1 apresenta uma tabela de coeficientes energético e de destinação, com cálculos de consumo setor a setor (os mesmos já citados), por tipo de uso final.

3.3.3. *FIRE (AP-42) e emissões de poluentes atmosféricos segundo o processo*

Foram utilizados os fatores de emissão para poluentes atmosféricos constantes da versão 623 da base *FIRE*³⁸, obtida na Internet (EPA, 2001). A versão impressa da base de dados é mais conhecida, denominada *AP-42* (EPA, 1995)³⁹.

A abrangência geográfica é indefinida. Os fatores de emissão da *EPA* são amplamente utilizados por agências ambientais do mundo inteiro, inclusive pela CETESB. Esta utiliza-se dos fatores de emissão de forma pontual e manual, consultando a publicação da *AP-42* para cada análise específica de processos industriais.

Sempre pode argumentar-se que uma base de dados de tecnologia concebida em um país mais desenvolvido possa não refletir a realidade das indústrias localizadas em países em desenvolvimento ou emergentes, onde ainda operam equipamentos mais antigos, já bastante modificados por processos de manutenção locais e, muitas vezes, operando fora de seus regimes de projeto. Nessas situações, seria de se esperar que os fatores de emissão reais sejam elevados. Contudo, como visto na revisão de literatura, a *AP-42* (e, portanto, o *FIRE*) é uma base bastante reconhecida e amplamente utilizada em todo o

³⁸ *Factor Information REtrieval Data System*

³⁹ A EPA também dispõe a base na Internet ou a fornece, gratuitamente e mediante pedido, no *CD-ROM* denominado *Air Chief* (EPA, 2001a).

mundo. Na variedade de processos descritos podem-se fazer algumas aproximações. Além disso, em comparação com outras simplificações e fontes de erro presentes no HORUS (assim como em outros modelos, como será visto mais adiante), podemos admitir tais imprecisões.

São diversos os setores abrangidos pela base *FIRE*: processos industriais, comerciais, residenciais, institucionais, agrícolas, gerenciamento de resíduos e transportes. A base abrange desde um cortador de grama até indústrias petroquímicas. As informações datam de até outubro de 2000. A base possui atualizações periódicas (inclusões dos dados chamados *added* e exclusão dos *revoked*)⁴⁰. Dentre as informações disponíveis na base, tem-se:

- fontes de poluição (codificadas pelo *SCC* - *Source Classification Code*), descritas em 4 campos por fonte (como, por exemplo, em *SCC* 10100101: “caldeiras de combustão externa” para a “geração de eletricidade” utilizando “carvão antracito” sob a forma “pulverizada”);
- poluente e/ou substância tóxica definido por critérios legais, codificado pelo número do *CAS* - *Chemical Abstract Service* ;
- sistemas de controle (abatimento) de poluição, primário e secundário, código e descrição como, para o processo *SCC* 50200503, o poluente “monóxido de carbono” (ou *CAS* 630-08-0), em um “secador spray” (controle 202), mais um filtro-manga (controle 127);
- fator de emissão: valor e unidade, esta subdividida em numerador e denominador. No numerador estão as unidades associadas com o poluente emitido (como em "LB" em "libras de NO_x por tonelada de carvão queimado"). No denominador, estão as unidades associadas com o material processado (como em "TONS" em "libras de NO_x por tonelada de carvão queimado");

- material processado (como em "COAL" em em "libras de NO_x por tonelada de carvão queimado");
- ação desenvolvida sobre o material (como em "BURNED" em "libras de NO_x por tonelada de carvão queimado");
- tipo de fator: discreto, fórmula, “inferior a”, “faixa” ou “derivado de”;
- notas explicativas diversas, sobre o fator, localização do teste, métodos de amostragem, parâmetros de processo;
- fórmula do fator de emissão, quando for o caso;
- referência completa, datas de geração e revogação do fator, qualidade da informação, de “A” (melhor) a “E” (pior) ou “U” (*unknown*, desconhecida).

A estrutura da base de dados *FIRE* consta do APÊNDICE 2. A versão 623 utilizada conta com o registro de 10.839 processos (*SCC*) e 21.695 poluentes (*CAS*, combinados com sistemas de controle). Dos 10.389 processos pré-selecionados, 1.391 foram triados como os mais significativos. Mantiveram-se os termos originais em inglês, uma vez que a base de dados é continuamente atualizada.

Os dados utilizados neste trabalho são:

- de todos os processos, foram selecionados os que envolviam a queima (*ACTION* = “BURNED”) de combustíveis;
- destes processos, foram descartadas as fontes móveis (transporte terrestre, aéreo, hidroviário, ferroviário, máquinas agrícolas, equipamentos da construção civil etc.);
- foram também descartados os setores residencial, comercial e institucional⁴¹;

⁴⁰ Fatores de emissão contidos na publicação *AP-42 Supplement F*. A lista de processos (*SCC list*) na base *FIREv6.23* é válida desde 30 de setembro de 2000.

⁴¹ Este descarte justifica-se pelo fato de tais setores se utilizarem, nos Estados Unidos, de calefação. Outro motivo é a falta de informações acuradas sobre o consumo de tais setores em São Paulo, área de estudo deste trabalho.

- dos combustíveis, foram escolhidos o gás natural, óleo combustível e óleo diesel, devido à sua importância na matriz energética industrial de São Paulo⁴²;
- dos poluentes atmosféricos emitidos, foram selecionados os mais representativos:
 - o CO₂, objeto de intensas negociações políticas globais com muito prováveis reflexos futuros em esfera local⁴³;
 - o SO₂ (representados por fatores de emissão para SO_x) poluente de emissão limitada pela legislação paulista e com grande potencial de abatimento quando da substituição dos óleos por gás natural;
 - os MP₁₀, idem;
 - os NO_x (em geral representados sob a forma de NO₂), poluentes ainda sem padrão de emissão, mas com uma forte influência nos níveis de qualidade do ar.

Para este estudo, não foram consideradas as informações referentes a:

- queima de outros combustíveis além dos 3 tipos escolhidos, inclusive a incineração de biomassa e de resíduos;
- utilização dos combustíveis como insumos industriais sob outras formas que não a queima;
- emissões fugitivas;
- situações de partida e parada de operação;
- dados revogados;

⁴² Somente estes três insumos geram, ao se cruzarem com os dados das indústrias, uma enorme quantidade de dados. Como o objetivo do trabalho é a verificação da viabilidade do modelo, a restrição foi aplicada para possibilitar o manuseio de uma grande quantidade de dados em um computador doméstico comum

⁴³ Apesar do CO₂ não ser formalmente chamado de poluente, consta desta forma na base de dados da *EPA*.

- fatores de emissão não-discretos (fórmulas) exceto quando os dados discretos impossibilitem absolutamente a determinação do lançamento de poluentes atmosféricos.

3.3.4. Fontes fixas de poluição: SIPOL

O inventário *bottom-up* requer um cadastro que geo-referencie as indústrias e lhes estabeleça um parâmetro distributivo. Tais informações para as indústrias do Estado de São Paulo foram coletadas da base de dados *SIPOL* (Sistema de Informações sobre Poluição), obtida junto à CETESB em março de 2001.

Os setores abrangidos pelo SIPOL são as fontes fixas de poluição, por empreendimentos. Cumpre ressaltar que pode haver mais de um empreendimento para uma mesma empresa, em um mesmo logradouro (como, por exemplo, uma expansão de uma indústria). A base de dados abrange, além de indústrias, empreendimentos diversos sujeitos ao licenciamento ambiental, como estações de tratamento de esgotos, aterros sanitários, unidades de reciclagem, estocagem, transporte e processamento de resíduos, hotéis, loteamentos e condomínios, minerações.

Empreendimentos sem exigência legal da licença ambiental, com funcionamento anterior a 1976, não constam da base de dados. A base SIPOL conta com o registro de 157.304 empreendimentos, até janeiro de 2000, sendo 47.244 licenciados, desde 1976. Destes, existem 48.919 informações sobre número de funcionários e/ou áreas construída e de equipamento novo. Neste trabalho foram utilizados os seguintes dados:

- número de cadastro (para individualizar o empreendimento);
- nome e número do município e CEP (localização geográfica);

- código do IBGE (CAE 1985) e descrição da atividade (para a setorização do empreendimento conforme os balanços energéticos e estatísticas nacionais de pessoal ocupado). A razão social foi utilizada somente para a aferição final do setor industrial, mas será omitida da listagem apresentada, a fim de preservar as empresas;
- número de funcionários, administrativos e de produção, cuja soma foi chamada de “número total de funcionários”;
- áreas construída e de equipamento novo, cuja soma foi chamada de “área total”.

Algumas informações constantes da base de dados não foram utilizadas no presente trabalho:

- razão social, exceto para a aferição de setor industrial;
- Agência da CETESB competente para a fiscalização
- situação da licença ambiental, informações mais sensíveis e alheias à proposta deste estudo;
- nome e classe do corpo receptor dos efluentes líquidos, bacia hidrográfica e UGRHI;
- áreas ao ar livre e de lavra;
- algumas informações sobre o consumo de combustíveis (4223 registros com 45 tipos de combustíveis)

A base SIPOL possui poucas entradas com dados sobre o tipo de combustível consumido, dentre estas algumas com quantidades. Contudo, além de poucos dados, estes não são consistentes, em especial quanto a unidades.

A estrutura da base SIPOL consta do APÊNDICE 2. .

3.3.5. A Pesquisa Industrial do IBGE, o universo das empresas e sua classificação por porte de estabelecimento

Por maior que seja o esforço para o levantamento das informações para o cadastro da indústria paulista, a base de dados SIPOL não abrange todo o universo. Este, entretanto, deve ser de alguma forma determinado, uma vez que o consumo de combustíveis (pelo BEESP) é considerado em sua totalidade.

Assim, deve-se buscar uma fonte de informações que contenha um conector entre os dados do SIPOL e os do Balanço Energético de São Paulo. Como este abrange todo o universo, buscaram-se dados junto aos censos industriais nacionais, no caso, a Pesquisa Industrial de 1998 (IBGE, 2001).

O principal gargalo do modelo HORUS está no parâmetro de distribuição dos combustíveis por empreendimento, da abordagem *top-down* para a *bottom-up*. Para realizar esta conexão, utilizou-se, como apresentado na metodologia, o número de funcionários de cada empreendimento em relação ao universo total e trabalhadores ocupados no setor. Este foi o único ponto em comum encontrado nos dados do IBGE (universo da Pesquisa Industrial) e da CETESB (amostragem do SIPOL). Tendo-se a população total e parcial, é possível estimar a abrangência do estudo. Uma considerável limitação é o fato da base de dados SIPOL não ser continuamente atualizada em termos de número de funcionários, gerando distorções importantes, especialmente por sazonalidades e pela substituição da mão-de-obra por maquinário.

Uma óbvia sugestão é, portanto, a manutenção de cadastros mais atualizados, se possível discriminando a mão de obra alocada em cada processo. Também evidente é a recomendação de se cadastrarem outros parâmetros que possam ser interrelacionados através de indicadores, como a produção por operário e o consumo de insumos, especialmente combustíveis, por unidade produtiva. Porém, isto requer uma ampla capacitação dos agentes fiscais da CETESB no

sentido de coletar e interpretar novas informações agregadas. Requer ainda controles de qualidade eficientes sobre os registros que entram no sistema, não bastando a mera substituição de formulários em papel por meios eletrônicos.

Há algumas formas de se superarem limitações. Uma é a classificação estatística das empresas em portes pequeno, médio e grande, por meio de curvas do tipo ABC. Isso deve ser feito setor a setor, pois, dentro de cada um destes, os processos industriais podem variar conforme o porte do estabelecimento. Duas indústrias com um mesmo número de funcionários podem ser consideradas grandes ou pequenas, conforme o perfil de seu setor. Por exemplo, uma galvanoplastia com 100 funcionários é grande, enquanto uma siderurgia com o mesmo pessoal é de pequena a média.

A Pesquisa Industrial de 1998 apresenta uma estratificação das empresas por setor (categoria, ex. "extração de carvão mineral"), em níveis nacional⁴⁴ (IBGE, 2002) e estadual⁴⁵ (IBGE, 2001). A estratificação por portes de empreendimentos foi realizada em função das faixas de pessoal ocupado total e encontra-se no APÊNDICE 3.

3.4. Chaves: correspondências entre as bases de dados

As bases existentes são interligadas por uma série de conectores (chaves), cuja determinação é um dos principais objetivos deste trabalho. As chaves mais importantes, dadas as características dos dados, são: (a) o setor de atividade e (b) o número de funcionários do empreendimento.

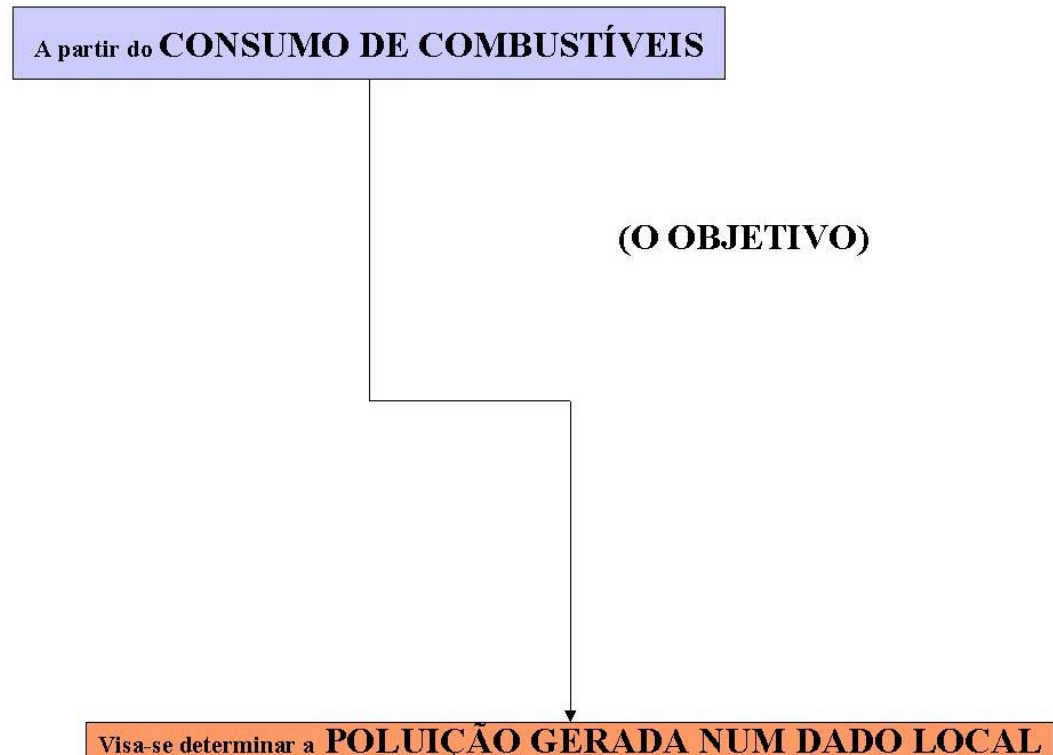
Graficamente, todo o processo de concepção do modelo HORUS se dá a partir de seu objetivo maior (Figura 3.1.): a determinação do quanto se emite de poluentes atmosféricos numa determinada localidade. Se, num estágio ideal de desenvolvimento do modelo, o inventário cobrir de forma eficiente um número

⁴⁴ Publicada (vide ref.)

⁴⁵ Gentilmente fornecida mediante pedido (vide ref.)

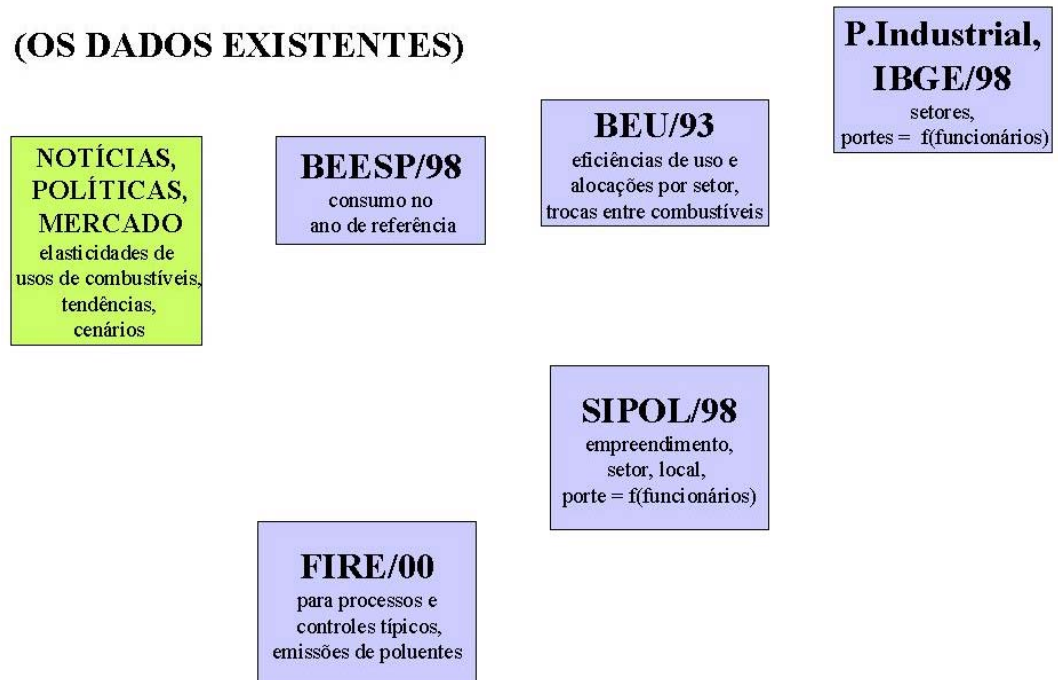
suficiente de fontes, esses valores poderão ser agregados a outros modelos de dispersão de poluentes e de qualidade do meio.

Figura 3.1. Objetivo do modelo



Como um inventário físico, em escala real, requer um enorme volume de recursos, torna-se necessário identificar algum estágio intermediário de desenvolvimento, que gerencie as informações existentes em diferentes bases de dados. No caso energético, podem ser adotados balanços, censos industriais e compilações técnicas. Outras informações, como dados de planejamento e mercado ou restrições físicas, também podem ser consideradas (Figura 3.2).

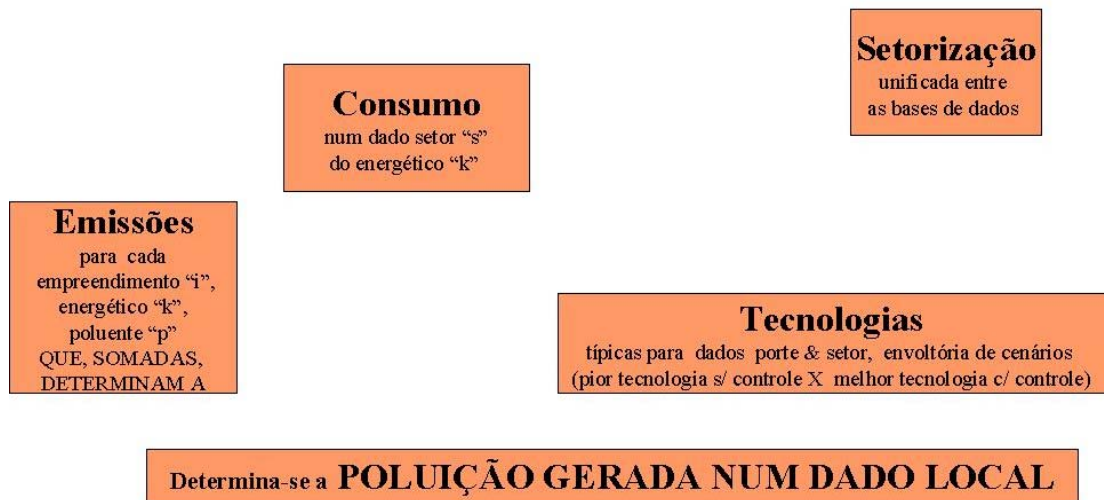
Figura 3.2. Bases de dados e outras fontes de informação



Identificadas as bases, procede-se à definição das chaves necessárias às suas conexões, operando como dicionários (Figura 3.3). Tais chaves se definem através das relações de correspondência entre as bases de dados que, conforme o caso, permitem o aproveitamento de uma maior ou menor parte das informações (da mesma forma que há palavras em diferentes idiomas que perdem seu sentido em tentativas de tradução). Uma das premissas do modelo HORUS é a de que as chaves devem evitar interferir nas bases originais, permitindo uma atualização constante das informações. À medida em que a conexão se torna difícil por incompatibilidade entre os dados de origem, as chaves precisam se expandir, incorporando uma série de informações internas que praticamente as tornam novas bases de dados.

Figura 3.3. Chaves, conectores entre as bases a serem determinados

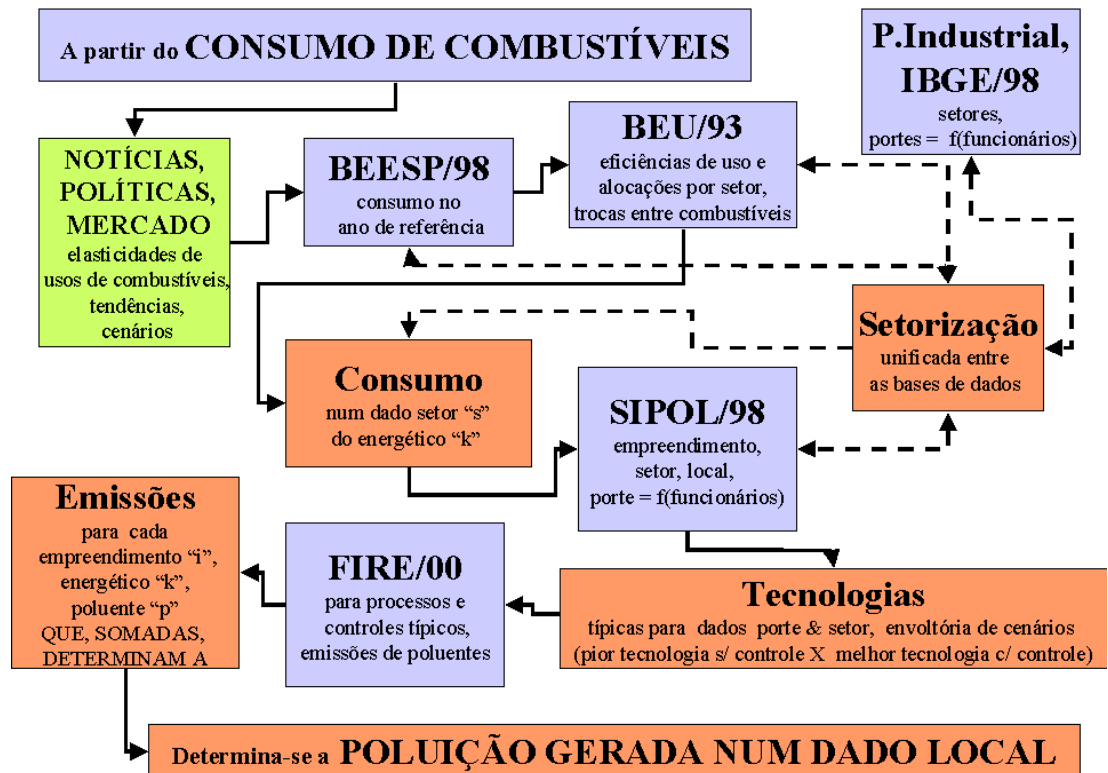
(AS CHAVES NECESSÁRIAS)



Se a conciliação entre as bases não for possível nem pela sofisticação dos conectores, é preciso adotar algumas simplificações, quer eliminando determinados dados das bases originais, quer admitindo que as condições são distantes das ideais, recomendando-se ações posteriores de refinamento.

Quando as chaves atingem um grau aceitável de conexão para as bases, chega-se, finalmente, à configuração final do modelo HORUS: a interação completa dos vários módulos (Figura 3.4).

Figura 3.4. Configuração final do modelo HORUS



3.5. Adaptações necessárias ao modelo e dificuldades operacionais

O princípio básico do modelo é estabelecer conexões que consolidem em um único bloco as bases de dados. Estas, em suas formas originais, não permitem, infelizmente, um relacionamento imediato entre seus campos. Foram necessárias ações como:

- renomear campos inteiros (como "SCCw/A" para "SCC" na base *FIRE*);
- converter unidades norte-americanas (sistema inglês) para métricas decimais (SI);
- inserção de categorias (como "macro-setor industrial" na base SIPOL, a partir do campo de setor "IBGE") e;

- conciliar campos de bases diferentes (como os setores “Alimentos e Bebidas” no IBGE para “Outros setores industriais” no BEESP).

Além disso, a estrutura das bases foi, muitas vezes, alterada ao longo do tempo, dificultando a aplicação do modelo em análises comparativas. A seguir, detalham-se algumas dessas barreiras operacionais, bem como algumas das estratégias adotadas para superá-las.

O conhecimento dessas dificuldades é fundamental para operar e aprimorar o modelo HORUS.

3.5.1. Classificação dos setores industriais e número de funcionários

Depois de identificar e validar um parâmetro indexador para a abordagem *bottom-up*, a maior dificuldade encontrada nos trabalhos foi a determinação de uma classificação comum para os setores industriais entre os balanços energéticos, o censo nacional e a base SIPOL.

O IBGE modificou seu cadastro de atividades econômicas no início da década de 1990, do antigo CAE (Cadastro de Atividades Econômicas) para o CNAE (Cadastro Nacional de Atividades Econômicas)⁴⁶. Contudo, a CETESB utiliza, em seu cadastro do SIPOL, a classificação CAE do IBGE para a setorização das indústrias, vigente em 1985. A conversão do CAE para o CNAE não é direta.

Já o BEESP 1998 e o BEU 1993 utilizam-se de uma outra classificação, mais macroscópica. Essa agregação é outra dificuldade encontrada para o modelo HORUS, levando a uma opção por juntar os setores do IBGE mais próximos aos que seriam as suas correspondentes classificações industriais.

⁴⁶ Este possui, ainda, um detalhamento maior na base CNAE-FISCAL (FIBGE, 1992).

A Tabela 3.1 sintetiza o esforço realizado (um trabalho “braçal”) de conciliação da macro-setorização entre o balanço energético e a pesquisa industrial, que não seguem originariamente uma mesma classificação. Tal problema é bastante comum em relatos de bibliografia, que recomendam a adoção de uma nomenclatura comum, da *ISIC* (UNITED NATIONS, 2002).

Além da compatibilização entre BEESP, BEU e a Pesquisa Industrial do IBGE, precisou ser feita a conciliação setorial entre a Pesquisa do IBGE e o SIPOL. Devido às incompatibilidades entre os diferentes cadastros, a setorização foi alocada manualmente para cada empreendimento do Estado de São Paulo.

O SIPOL mantém a classificação CAE do IBGE, válida em 1985. Já o BEESP e o Balanço Energético Nacional (BEN) adotam códigos da Secretaria da Receita Federal⁴⁷, que também diferem da atual classificação IBGE-CNAE, adotada na Pesquisa Industrial 1998.

Apesar da maior dificuldade, sugere-se à CETESB atualizar, de forma cuidadosa e não-automática o critério de classificação dos empreendimentos, uma vez que foram detectados vários erros no cadastro do SIPOL⁴⁸.

A eventual (porém recorrente) não-inclusão no SIPOL do número de funcionários em um determinado registro (situação que ocorre quando, por exemplo, o técnico achou irrelevante a informação), penalizou sobremaneira o modelo, especialmente em indústrias de grande porte, como as de cimento ou siderúrgica. Recomenda-se sanar tal deficiência ou orientando o profissional, ou estabelecendo um outro parâmetro de registro que possibilite a alocação do consumo de combustíveis para o cálculo das emissões.

A operação de saneamento manual dos mais de 153.000 registros do SIPOL consumiu bastante tempo e prejudicou uma das premissas básicas propostas para

⁴⁷ Portarias SRF 907 de 28/02/1989 e 962 de 29/12/1987

⁴⁸ Um caso muito comumente observado na prática foram as empresas que produzem concreto asfáltico que, ora eram classificadas como se estivessem no setor de “indústrias de cimento”, ora no de “minerais não ferrosos”, ora como “outros setores industriais”. Outro exemplo patente foi a mescla entre indústrias do setor de papel e celulose com as do setor gráfico.

a metodologia do HORUS: a de não modificar as bases originais. Entretanto, a automatização completa prejudicaria por demais os resultados, inviabilizando todo o projeto.

Convém lembrar que, caso a CETESB incorpore as modificações manualmente inseridas ou, preferivelmente, reveja (pelo menos) a setorização e o número de funcionários dos empreendimentos do SIPOL, permanecerá válida a premissa de automatização do modelo.

Tabela 3.1. Correspondências de setorização da indústria pelo BEESP e IBGE

MACRO SETOR	item BEESP (Indústria)	item IBGE	subcategorias IBGE
A&B	Alimentos e Bebidas	Fabricação de produtos alimentícios e bebidas	Abate e preparação de produtos de carne e de pescado Processamento, preservação e produção de conservas de frutas, legumes e outros vegetais Produção de óleos e gorduras vegetais e animais Laticínios Moagem, fabricação de produtos amiláceos e de rações balanceadas para animais Fabricação e refino de açúcar Torrefação e moagem de café Fabricação de outros produtos alimentícios Fabricação de bebidas
CER	Cerâmica	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	Fabricação de produtos cerâmicos
CIM	Cimento	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	Fabricação de cimento
COM	Comércio e Serviços	diversos, fora do escopo do trabalho	idem
ENE	Setor Energético	Indústrias extrativas	Extração de carvão mineral Extração de petróleo e serviços correlatos Serviços relacionados com a extração de petróleo e gás-exceto a prospecção realizada por terceiros
		Fabricação de coque, refino de petróleo, elaboração de combustíveis nucleares e produção de álcool	Coquerias Refino de petróleo Elaboração de combustíveis nucleares Produção de álcool
FGA	Ferro Gusa e Aço (incl. Ferro Ligas)	Metalurgia básica	Siderúrgicas integradas
MIN	Mineração e Pelotiz.	Indústrias extrativas	Extração de minério de ferro Extração de minerais metálicos não-ferrosos Extração de pedra, areia e argila Extração de outros minerais não-metálicos
MNF	Não Ferr./Out. Metal.	Metalurgia básica	Metalurgia de metais não-ferrosos Fabricação de produtos siderúrgicos - exclusive em siderúrgicas integradas Fabricação de tubos - exclusive em siderúrgicas integradas Fundição
		Fabricação de produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	Fabricação de estruturas metálicas e obras de caldearia pesada Fabricação de tanques, caldeiras e reservatórios metálicos Forjaria, estamparia, metalurgia do pó e serviços de tratamento de metais Fabricação de artigos de cutelaria, de serralheria e ferramentas manuais Fabricação de produtos diversos de metal

Tabela 3.1. Correspondências (...) BEESP e IBGE (cont.)

MACRO SET OR	item BEESP (Indústria)	item IBGE	subcategorias IBGE
QUI	Química	Fabricação de produtos químicos	Fabricação de produtos químicos inorgânicos Fabricação de produtos químicos orgânicos Fabricação de resinas e elastômeros Fabricação de fibras, fios, cabos e filamentos contínuos artificiais e sintéticos Fabricação de produtos farmacêuticos Fabricação de defensivos agrícolas Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza e artigos de perfumaria Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins Fabricação de produtos e preparados químicos diversosx
P&C	Papel e Celulose	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	Fabricação de papel, papelão liso, cartolina e cartão Fabricação de embalagens de papel ou papelão Fabricação de artefatos diversos de papel, papelão, cartolina e cartão
PUB	Público	diversos, fora do escopo do trabalho	idem
TEX	Têxtil	Fabricação de produtos têxteis	Beneficiamento de fibras têxteis naturais Fiação Tecelagem - inclusive fiação e tecelagem Fabricação de artefatos têxteis, incluindo tecelagem Serviços de acabamento em fios, tecidos e artigos têxteis Fabricação de artefatos têxteis a partir de tecidos - exclusive vestuário - e de outros artigos têxteis Fabricação de tecidos e artigos de malha

Tabela 3.1. Correspondências (...) BEESP e IBGE (cont.)

MACRO SETOR	item BEESP (Indústria)	item IBGE	subcategorias IBGE
OSI	Outros/ Consumo Não Identificado	Fabricação de produtos do fumo	
		Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados	Curtimento e outras preparações de couro Fabricação de artigos para viagem e de artefatos diversos de couro Fabricação de calçados
		Fabricação de produtos de madeira	Desdobramento de madeira Fabricação de produtos de madeira, cortiça e material trançado - exclusive móveis
		Edição, impressão e reprodução de gravações	Edição; edição e impressão Impressão e serviços conexos para terceiros Reprodução de materiais gravados
		Fabricação de artigos de borracha e plástico	Fabricação de artigos de borracha Fabricação de produtos de plástico
		Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	Fabricação de vidro e de produtos do vidro Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e estuque Aparelhamento de pedras e fabricação de cal e de outros produtos de minerais não-metálicos
		Fabricação de máquinas e equipamentos	Fabricação de motores, bombas, compressores e equipamentos de transmissão Fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos para a agricultura, avicultura e obtenção de produtos animais Fabricação de máquinas-ferramenta Fabricação de máquinas e equipamentos para as indústrias de extração mineral e construção Fabricação de outras máquinas e equipamentos de uso específico Fabricação de armas, munições e equipamentos militares Fabricação de eletrodomésticos
		Fabricação de máquinas para escritório e equipamentos de informática	Fabricação de máquinas para escritório Fabricação de máquinas e equipamentos de sistemas eletrônicos para processamento de dados

Tabela 3.1. Correspondências (...) BEESP e IBGE (cont.)

MACRO SETOR	item BEESP (Indústria)	item IBGE	subcategorias IBGE
OSI	Outros/Consumo Não Identificado	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos Fabricação de equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados Fabricação de pilhas, baterias e acumuladores elétricos Fabricação de lâmpadas e equipamentos de iluminação Fabricação de material elétrico para veículos-exclusive baterias Fabricação de outros equipamentos e aparelhos elétricos
		Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações	Fabricação de material eletrônico básico Fabricação de aparelhos e equipamentos de telefonia e rádio-telefonia e de transmissores de televisão e rádio Fabricação de aparelhos receptores de rádio e televisão e de reprodução, gravação ou amplificação de som e vídeo
		Fabricação de equipamentos de instrumentação médico-hospitalares, instrumentos de precisão e ópticos, equipamentos para automação industrial, cronômetros e relógios	Fabricação de aparelhos e instrumentos para usos médico -hospitalares, odontológicos e de laboratórios e aparelhos ortopédicos Fabricação de aparelhos e instrumentos de medida teste e controle - exclusive equipamentos para controle de processos industriais Fabricação de máquinas, aparelhos e equipamentos de sistemas eletrônicos dedicados a automação industrial e controle do processo produtivo Fabricação de aparelhos, instrumentos e materiais ópticos, fotográficos e cinematográficos Fabricação de cronômetros e relógios
		Fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias	Fabricação de automóveis, camionetas e utilitários Fabricação de caminhões e ônibus Fabricação de cabines, carrocerias e reboques Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores Recondicionamento ou recuperação de motores para veículos automotores
		Fabricação de outros equipamentos de transporte	Construção e reparação de embarcações Construção, montagem e reparação de veículos ferroviários Construção, montagem e reparação de aeronaves Fabricação de outros equipamentos de transporte
		Fabricação de móveis e indústrias diversas	Fabricação de artigos do mobiliário Fabricação de produtos diversos
		Reciclagem	Reciclagem de sucatas metálicas Reciclagem de sucatas não-metálicas

3.5.2. Determinação dos processos típicos de um dado setor industrial

No início, esta etapa pareceu ser muito difícil. Há, por exemplo, um grande número de processos e tecnologias para aquecimento direto, calor de processo e força motriz, os principais usos finais dos energéticos. Além disso, deve-se lembrar a questão já comentada anteriormente sobre as diferenças entre tecnologias-padrão de publicações estrangeiras e tecnologias locais em diferentes condições operacionais.

Contudo, uma análise criteriosa da base de dados *FIRE* mostrou que um pequeno número de registros abrangia uma grande parcela dos processos (como “queima de óleo combustível em caldeiras”), demonstrando uma grande adequação à classificação do BEU por usos finais. Há, naturalmente, variações, mas estas podem ser inseridas em uma envoltória que considere a pior situação, isto é, a máxima emissão não controlada.

Dentro de um mesmo setor há grandes variações em termos de tipologia industrial. É de se esperar que empresas de maior porte e aquelas mais modernas utilizem sistemas de controle de emissões mais sofisticados e eficientes. Uma grande indústria pode dispor, por exemplo, de tecnologias de produção e equipamentos de controle final de emissões que propiciem menor taxa de emissões por unidade de produção ou por funcionário. Por outro lado, enquanto uma indústria com uma centena de funcionários pode ser considerada “grande” (por exemplo, no setor de alimentos), outra com o mesmo pessoal pode ser “pequena” (como no setor de papel e celulose). A partir do porte do empreendimento (pequeno, médio ou grande, conforme cada setor), pode-se, igualmente, aferir o modelo, determinando-se uma maior probabilidade de se encontrarem sistemas de controle de poluição, alterando-se, assim, o fator de emissão inicialmente atribuído.

A partir da distribuição por faixas de pessoal da indústria paulista (IBGE, 1999), estabeleceu-se, para cada setor contemplado na abordagem *bottom-up*, que o primeiro tercil estatístico representaria as indústrias de “pequeno” porte. O segundo tercil representa as de “médio” porte e o terceiro, as de “grande” porte. O APÊNDICE 3 apresenta as informações detalhadas do resumo da Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Portes dos empreendimentos em função do pessoal

SETOR	PORTE (por no. funcionários)		
	pequeno	médio	grande
A&B	0-29	30-99	>99
CER	0-29	30-99	>99
CIM	0-99	100-499	>499
FGA	0-99	100-499	>499
FLI	0-29	30-99	>99
MIN	dados não fornecidos		
MNF	0-9	10-99	>99
OSI	0-29	30-99	>99
P&C	0-98	99	>99
QUI	0-49	50-99	>99
TEX	0-29	30-99	>99

Neste caso, o modelo HORUS pode adotar uma abordagem estocástica que abriria um campo totalmente novo para seu refinamento, contudo fora do escopo deste trabalho.

Foram mantidos, desta forma, os valores *default*, originais e globais. Entretanto, considerou-se uma zona de probabilidade para as emissões de poluentes, através da adoção de fatores de emissão máximo (cenário denominado “Alto”) e mínimo (cenário “Baixo”), que determinam uma envoltória de maiores chances de se encontrarem as emissões industriais. Isso será detalhado mais adiante.

Pode-se, em futuras pesquisas com o HORUS a partir da estratificação por portes de empreendimento, definir em que parcelas dessas regiões de probabilidades de emissões se encontram os empreendimentos típicos para cada setor (por exemplo, uma indústria “pequena” do ramo químico).

O porte do empreendimento em função do número de funcionários também poderá facilitar a identificação das indústrias mais significativas para investigações em campo. Estas poderão, por sua vez, apontar quais são os equipamentos mais característicos que, com emissões de fato monitoradas, determinarão quais serão os fatores de emissão mais próximos da realidade do porte e setor.

3.5.3. Número de funcionários nos setores e empreendimentos

Uma outra grande dificuldade foi conciliar o cadastro do SIPOL com o universo do IBGE, em relação ao número de funcionários, parâmetro de distribuição dos combustíveis na abordagem *bottom-up*.

O ano de referência adotado para se realizar a conexão em função do número de funcionários e área construída foi 1998, última atualização disponível do SIPOL. Buscou-se, assim, a Pesquisa Industrial do IBGE do mesmo ano para se obter o universo de trabalhadores nos diversos setores industriais. Infelizmente, o cadastro do SIPOL não é atualizado anualmente. Assim, registros de números de funcionários podem referir-se a anos anteriores a 1998, independentemente de novas contratações ou demissões. Em alguns setores, o total de funcionários da amostra ultrapassou o universo determinado pelas estatísticas oficiais do IBGE, apontando para um problema presente em ambas as bases de dados (embora com um peso muito maior no SIPOL, que não foi concebido com o objetivo primário de manter um cadastro fiel do quadro de funcionários das empresas).

3.5.4. Energia útil obtida pelo processo (uso final)

Como foi explicado na fundamentação teórica, para definir a rota dos combustíveis, ao invés de processos foram adotados os usos finais do BEU (no caso, AD, CP, FM) e seus respectivos coeficientes de destinação (CDEST).

Além destes coeficientes, o BEU fornece, para cada par de variáveis combustível-uso final, um coeficiente de eficiência energética (CEE). Conhecer a energia útil do processo é útil para análises mais detalhadas de cenários de substituições de combustíveis, nos quais se mantém fixa a produção.

No HORUS, isso foi feito somente a título de exercício para as análises agregadas *top-down* nos dois cenários de substituição. Nas *bottom-up*, foram apenas calculadas as energias úteis de cada empreendimento, sem, contudo, adotar cenários de substituição individualizados entre combustíveis, um detalhamento possível pelos recursos do HORUS, porém exagerado para a atual etapa de seu desenvolvimento.

A energia útil foi obtida multiplicando-se os CEE pelos respectivos consumos de combustível do setor (no caso de uma abordagem *top-down*) ou de cada empreendimento (para a *bottom-up*).

3.5.5. Fatores de emissão

O estudo adotou valores *default* para os fatores de emissão da base *FIRE* para NO_x, SO_x e MP₁₀ decorrentes da queima de gás natural (GASNAT), óleo diesel (ODIESEL) e todos os tipos de óleo combustível (OCOMB)⁴⁹. Os valores foram convertidos para uma unidade comum: toneladas de poluente por tonelada

⁴⁹ As fórmulas provêm das informações base *FIRE* que, em determinados casos, não aplica um único fator numérico de emissão. Esse é o caso do enxofre, que pode ser obtido por cálculos estequiométricos. Os SO_x foram tomados em termos de SO₂, adotando-se a fórmula da base *FIRE* para emissões finais provenientes do óleo combustível: EF SO₂ (lb/ton) = 158,6 a 161,6 X %S. Foi considerado o teor de 6%S. Já para MP, as emissões decorrentes da queima do óleo combustível foram assimiladas às do óleo #5: EF MPprim (lb/ton) = 1,2 * (8,3 a 8,34) lb/1000Gal. Os NO_x, por sua vez, dependem muito das condições de queima, em especial da temperatura e relação combustível-ar. Os óleos norte-americanos que constam dos fatores de emissão da EPA são mais leves e menos poluentes que os brasileiros, que contêm maiores teores de enxofre e nitrogênio.

equivalente de petróleo (t/tep). Como não há fator para o dióxido de carbono emitido pela queima de óleo combustível na base *FIRE*, utilizou-se a metodologia de cálculo de emissões de gases de efeito estufa do *IPCC* para todos os energéticos (*IPCC*, 1995)⁵⁰.

Foram escolhidos para os cenários “Alto” e Baixo”, em termos de potencial poluidor, os respectivos valores máximo e mínimo encontrados para os fatores de emissão. Tais estimativas consideram diferentes tecnologias e condições operacionais. A base descreve se as emissões são submetidas a equipamentos de controle final de emissões. Em caso afirmativo, cita o tipo de equipamento (como redutores catalíticos, lavadores de gases, filtros ou precipitadores eletrostáticos para partículas). Os desempenhos dos equipamentos são considerados dentro de uma média e os efeitos de sistemas finais de controle de poluentes (como filtros, lavadores e precipitadores) correspondem à diferença entre fatores de emissão na envoltória dos cenários escolhidos ("Alto" e "Baixo"). Trata-se, portanto, de uma envoltória de emissões prováveis de poluentes, com os seguintes desdobramentos possíveis:

- na abordagem *top-down* o uso é direto, mas pode ser estimado um valor percentual de abatimento de cargas emitidas pela utilização de equipamentos de controle final de emissões⁵¹;
- na *bottom-up*, podem haver refinamentos em nível de empreendimento e até de equipamento, determinando-se percentuais pontuais de abatimento de emissões brutas, aproximando da realidade os resultados do modelo.

Como a base SIPOL não discrimina os sistemas de controle final de poluição em cada empreendimento, assumiu-se que estes estejam dentro da envoltória

⁵⁰ Os fatores de emissão de GASNAT, DIESEL e OCOMB fornecidos pelo *IPCC* são, respectivamente 15,3 , 20,2 e 21,1 tC/TJ. Para convertê-los para kgCO₂/tep, multiplicou-se por 44/12 (tCO₂/tC) * 45,217 (TJ/tep) * 1000 (kg/T)

⁵¹ Por exemplo, pode-se admitir que 50% das cargas das indústrias sejam submetidos a equipamentos de controle final, com a eficiência média de 80%, resultando em um abatimento de 40% e em um fator final de emissão de (100%-40%) = 60%

estabelecida pelos limites de fatores de emissão da base da EPA. A Tabela 3.3 apresenta os fatores *default* de emissão utilizados⁵².

Tabela 3.3. Fatores de emissão adotados, convertidos para tonelada por tonelada equivalente de petróleo (t/tep).⁵³

ENER-GÉTICO	Fator CO ₂	Fator NO _x Alto	Fator NO _x Baixo	Fator SO _x Alto	Fator SO _x Baixo	Fator MP ₁₀ Alto	Fator MP ₁₀ Baixo
GASNAT	2.536.673	44,0367	0,4962	0,0093	0,0093	0,2171	0,0465
ODIESEL	3.349.072	68,4669	1,1336	4,0340	0,1628	4,3185	4,3185
OCOMB	3.498.288	68,4669	1,1336	4,0340	0,1628	4,8176	0,1134

Convém lembrar mais uma vez que tais fatores são *default*, escolhidos da base *FIRE* pela ausência de medições de campo e utilizados para rodar o modelo HORUS. Como será discutido mais adiante, não se pretende que estes fatores respondam aos questionamentos (de há muito tempo e bastante pertinentes) sobre qual é a poluição realmente emitida pelas indústrias em São Paulo.

3.6. Abordagem *top-down*: procedimentos adotados

A abordagem simplificada *top-down* foi considerada para o Estado de São Paulo como um todo. Como já explicado, as rotas dos combustíveis foram obtidas cruzando-se as informações de consumo setoriais do BEESP com os coeficientes de destinação (CDEST) do BEU. A multiplicação dos fatores gerou o consumo específico.

A multiplicação do consumo específico setorial (uso final, combustível e setor) pelos respectivos fatores *default* de emissão adotados para cada poluente e condição (CO₂, NO_x Alto, NO_x Baixo, SO_x Alto, SO_x Baixo, MP₁₀ Alto e MP₁₀ Baixo) gerou os dados *top-down* de emissões.

⁵² Outros fatores de emissão constam do CD-ROM anexo, com a base *FIRE* completa.

⁵³ Conversão no APÊNDICE 1.

Um subproduto secundário foi a energia útil de cada processo, obtida pela multiplicação do consumo específico setorial (uso final, combustível e e setor) pelo coeficiente de eficiência energética (CEE) do BEU.

Como não há restrições de fechamento (isto é, o consumo se refere a todo o universo), puderam-se adotar, para a abordagem *top-down*, **todos usos e todos os setores**, industriais ou não, que consumiram gás natural e óleos diesel e combustível.

Portanto, o escopo da *topdown* abrangeu:

- os usos finais AD, CP e FM (que foram contemplados pela *bottom-up*, como será visto mais adiante), mais IL, EN e OU
- os setores A&B; CER; CIM; FGA; QUI e TEX (abrangidos pela *bottom-up*), além de FLI; MIN; MNF; OSI; COM; PUB; RES; ENE; TRO, THI e TFE (que foram excluídos desta última abordagem).

Entretanto, como os fatores de emissão de poluentes variam conforme o uso final, o cálculo das emissões totais poluentes no Estado pela via *top down* adota simplificações. Primeiramente, os fatores de emissão foram comuns a todos os usos finais. Depois, não foram consideradas inovações tecnológicas, pois o BEU não foi atualizado após 1993. Sistemas de controle final de emissões⁵⁴, de configurações e eficiências bastante variadas (e não inventariados no SIPOL), também não foram incluídos. Ainda assim, os valores de emissões obtidos situam-se entre os limites "Alto" e "Baixo" da envoltória de prováveis emissões.

Adotaram-se, para os cálculos *top-down* das emissões, três cenários temporais:

- a) o ano-base de 2000, o mais atual do BEESP quando as simulações do HORUS foram executadas;

⁵⁴ também chamados de “fim de tubo” ou *end-of-pipe*

- b) 1998, referência das bases do IBGE e SIPOL;
- c) 1992, ano de coleta de informações para o BEU

Os resultados das simulações serão apresentados no Capítulo 4, no item referente aos *Resultados do inventário top-down*, que, por sua vez, faz referência às planilhas Excel correspondentes e disponibilizadas na versão eletrônica deste trabalho (CD-ROM).

3.7. Abordagem *bottom-up*: procedimentos

Projeções de cenários de emissões de poluentes locais em abordagem *top-down* possuem incertezas muito maiores do que aquelas feitas em modelos *bottom-up*. Muitas vezes, um setor não admite a substituição do energético nos níveis projetados, pela simples impossibilidade física de setor, por carências na infraestrutura de suprimento ou por outros usos absorverem o total da oferta (por exemplo, não havendo infraestrutura para o gás natural, diversos setores ou cidades inteiras dependerão da geração através de pequenos motores diesel).

Na abordagem *bottom-up*, as emissões são calculadas de uma forma desagregada e posteriormente somadas. São mais dispendiosas em termos de tempo e recursos, mas permitem diversos tipos de refinamentos (em especial a geográfica e por tecnologia de processos e sistemas de controle de emissões), levando a uma precisão bem maior do que a *top-down*. Nas praticamente infinitas possibilidades das atualizações pontuais de dados está a força do modelo *bottom-up*. Este pode, inclusive, ser acoplado a outros modelos como, por exemplo, os que avaliam impactos específicos sobre o meio. Este é o fim último do inventário, a situação ideal que se pretende atingir em termos de licenciamento, controle ambiental e de planejamento energético integrado.

No caso do HORUS, adotaram-se para os cálculo *bottom-up* das emissões os mesmos três cenários temporais da *top-down*, mais dois de substituição de combustíveis:

- d) cenário GNOD, admitindo a substituição de 10% do óleo diesel do ano 2000 pelo gás natural, com redução equivalente mantida em termos de energia útil final (trata-se de uma aproximação, uma vez que a troca se dá para o setor como um todo, independentemente do uso final);
- e) cenário GNOC, ano-base 2000 com substituição de 10% do óleo combustível pelo gás natural. Para efeitos de alocação de fatores de emissão, foi considerado o óleo combustível no. 2 ou, na falta deste dado, o combustível genérico (simplesmente “óleo combustível” ou *fuel oil*).

O consumo de combustíveis foi dado como uniforme em todas as indústrias de cada setor, independentemente do estágio tecnológico e da composição de energéticos efetivamente utilizada. Exemplificando, podem existir, no setor de alimentos, duas indústrias com o mesmo número de funcionários e com tecnologias de produção completamente distintas, utilizando combustíveis diferentes.

Foram excluídos manualmente alguns registros muito discrepantes do SIPOL, que comprometeriam por demais o modelo: um no setor de papel e celulose (P&C) e dois no setor químico (QUI). O exemplo mais patente foi um erro de registros, sanado manualmente, para uma indústria no município de Angatuba onde se inseriram 193.000 funcionários ao invés de 193. Isto desbalanceou completamente a alocação de combustíveis para o setor, levando a números finais de emissões de ordem de grandeza comparáveis aos de São Paulo Capital.

Dados os problemas de registro do SIPOL, tornaram-se necessárias algumas adaptações que limitaram o alcance do modelo em relação a determinados setores. Tais adequações, contudo, poderão ser sanadas quando se tiverem valores mais coerentes entre a amostra do SIPOL e o universo do IBGE, bastando para tal recalcular os fatores de proporcionalidade “K” para cada setor, conforme

a eq. (9). A Tabela 3.4 sintetiza a situação encontrada setor a setor e no APÊNDICE 2 há um dicionário das siglas apresentadas nas planilhas.

Os valores de K representam uma estimativa do tamanho da amostra do cadastro (SIPOL) em relação ao universo (Pesquisa Industrial do IBGE). Naturalmente, a amostra K não pode ser maior do que o universo (100%). Os setores onde a amostra apresentou-se muito maior que o universo foram desconsiderados. Este foi o caso de ferro-ligas (FLI), mineração e pelotização (MIN), minerais não-ferrosos e outros da metalurgia (MNF) e outros setores industriais (OSI). Este último, além do fato da amostra ser superior ao universo, não chega propriamente a ser um setor, pois contempla uma variedade enorme de indústrias.

Tabela 3.4. Valores dos coeficientes de proporcionalidade K, abrangências calculadas e adotadas das amostras em relação ao universo de cada setor industrial. Foram desclassificados os setores onde a proporção verificada discrepou muito, adotando-se o valor zero para o coeficiente K. Os valores obtidos de K foram multiplicados pelos respectivos consumos setoriais de combustíveis (do BEESP), conforme a eq. (9).

SETOR	PESSOAL EM 1998		K	
	Pesq. Ind. IBGE	SIPOL	calculado	adotado
A&B	234457	110183	47%	47%
CER	44723	15894	36%	36%
CIM	1805	1090	60%	60%
FGA	10275	5891	57%	57%
FLI	22458	5128	438%	0%
MIN	176	5305	3104%	0%
MNF	17274	170365	986%	0%
OSI	378763	771059	204%	0%
P&C	64273	36823	57%	57%
QUI	145171	83171	57%	57%
TEX	53004	61055	115%	100%
TOTAL	972379	1265964		

O setor de ferro-gusa e aço (FGA) apresentou uma peculiaridade: por deficiência de registros, havia no cadastro do SIPOL (reconhecidamente) grandes empresas siderúrgicas com um (registrado) número muito pequeno de funcionários – ou mesmo nulo. Assim, apesar do total de funcionários haver permitido a determinação de um valor para K, este valor foi assumido somente para efeitos globais com relação ao setor, isto é, para multiplicar-se ao consumo total de combustíveis do BEESP⁵⁵. Tendo-se esta estimativa, ainda que grosseira, do consumo total de energia, este foi distribuído entre os empreendimentos tomando-se por critério a relação entre áreas construídas. A proporção foi obtida dividindo-se a área construída do registro individual pela soma das áreas disponíveis nos registros do SIPOL para todos os empreendimentos do setor de ferro-gusa e aço. Esta situação excepcional ocorreu em um setor razoavelmente uniforme em termos de produção, se comparado a outros como o de alimentos e bebidas. Ainda assim, prejudicou-se sensivelmente a aplicação do método do modelo, uma vez que a alocação do consumo global foi feita não por área, mas por número de funcionários, parâmetro este que é um universo conhecido (dado pelo IBGE).

As ultrapassagens do valor 100% para K; nos casos de MIN, MNF, FLI, TEX e OSI, podem ser atribuídas a diversos fatores cumulativos, tais como:

- as diferentes metodologias de classificação da indústria e do recenseamento do número de funcionários entre as bases SIPOL e IBGE;
- a não-atualização do número de funcionários de cada empresa nos cadastros do SIPOL (um fato bastante provável, que deixa de considerar que as empresas reduziram a intensidade de mão-de-obra em seus processos produtivos);
- a erros de digitação ou de informação fornecidas pelas empresas no que se refere a seus quadros (tanto pelos técnicos da CETESB que

⁵⁵ Para o setor, adotou-se K=57%, conforme apresentado no item 5.5.3.1. *Abrangência da amostra das indústrias no modelo bottom-up*

inseriram o registro no SIPOL, quanto pelos rescenseadores do IBGE, que compuseram a Pesquisa Industrial).

Outros setores originariamente encontrados no BEESP foram excluídos, como o setor comercial (COM), por ser muito heterogêneo e pela amostragem do SIPOL não ser representativa. O mesmo ocorreu com o setor público e institucional (PUB), que abrange desde bibliotecas até serviços de tratamento de esgotos.

O setor energético (ENE) também foi excluído, ainda que este tenha uma grande relevância em termos de emissões, merecendo uma abordagem independente de alocações proporcionais, baseadas em consumos de combustíveis e processos detalhados. As usinas termelétricas em fase de planejamento, se operacionalizadas, possuirão sem dúvida um grande peso nas emissões globais de NO_x em São Paulo. Entretanto, o licenciamento de tais usinas não é feito pela CETESB e estas não fazem parte do cadastro do SIPOL (e, portanto, do escopo do presente trabalho). As refinarias fazem parte do setor petroquímico, tendo sido consideradas junto ao setor químico (QUI).

Da mesma forma, são determinantes as emissões atmosféricas do setor de transportes. Também não se incluiu o setor residencial, muito fragmentado e com pouca relevância no consumo de combustíveis. Ainda merecem citação as emissões das queimadas de cana-de-açúcar. Estes setores podem ser submetidos a um tratamento diferenciado, por outros métodos, que se somariam aos resultados do HORUS para se conhecer o universo de emissões.

Como apresentado na revisão de literatura, nenhum critério abrangente é imune a falhas práticas ou questionamentos teóricos. Como já foi comentado várias vezes, a situação se aproxima do *bottom-up* ideal à medida em que se tem dados individualizados, detalhados, geo-referenciados e com controle de qualidade.

Quanto à alocação geográfica da abordagem *bottom-up*, esta acompanha a do SIPOL (isto é, por município, CEP, UGRHI, Agência competente da CETESB ou

logradouro). Não há ainda a localização por coordenadas geográficas. Para o caso prático apresentado nesta etapa do HORUS, as unidades geográficas adotadas foram os municípios e macro-regiões obtidas a partir de CEPs agregados, conforme a Figura 3.5. As macro-regiões foram denominadas Grande São Paulo (RMSP), Grande Campinas e adjacências (CAMP), Litoral e sul (LIT), Vale do Paraíba (VPAR) e regiões Nordeste (NE), Norte (N), Noroeste (NO) e Oeste (O) do Estado. A relação detalhada dos municípios está no APÊNDICE 2.

O critério não foi aleatório. As regiões assinaladas possuem conhecidas peculiaridades, com relativa uniformidade em termos sócio-econômicos. A Tabela 3.5 resume os resultados cadastrais do SIPOL em cada região.

Figura 3.5. Subdivisão do Estado de São Paulo em macro-regiões

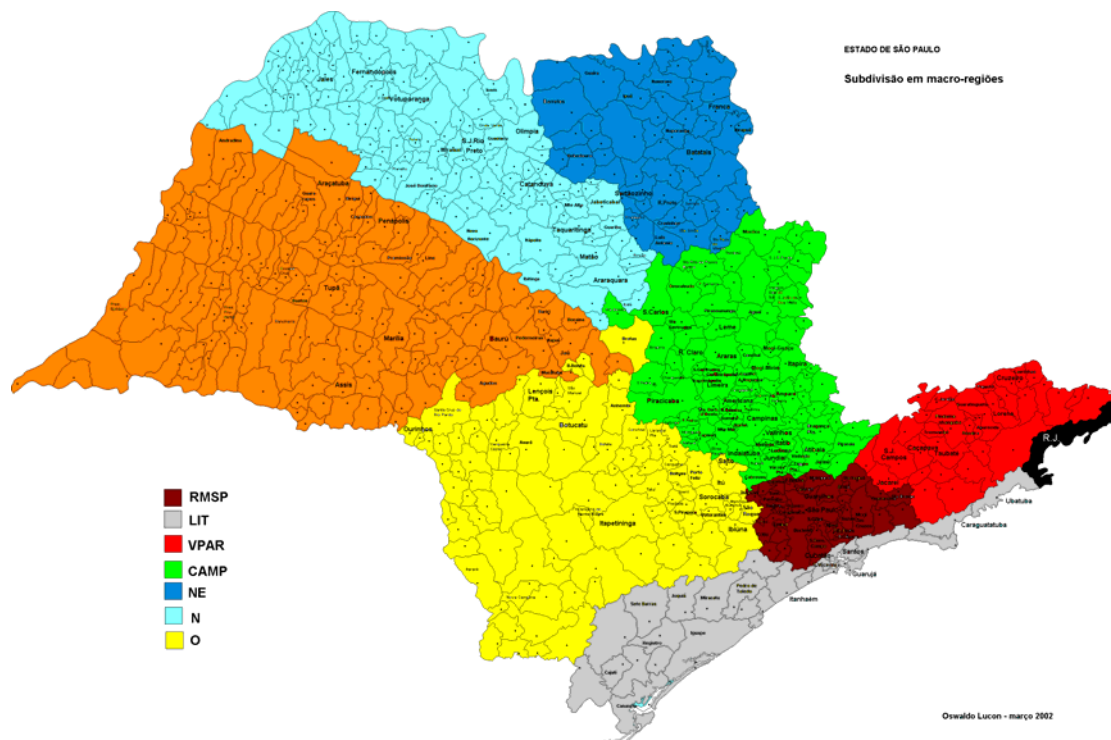


Tabela 3.5. Características do universo dos empreendimentos, por macro-região

CEP	REG	REGIÃO	AREA DOS EMPREENDI- MENTOS		FUNCIO- NÁRIOS	
			m2	% total	peçoal	% total
(não discriminado no SIPOL)	RMSP	REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	2,59E+08	16%	1,37E+06	41%
11001000 a 11990000	LIT	LITORAL E SUL	1,86E+07	1%	6,91E+04	2%
12010000 a 12850000	VPAR	VALE DO PARAÍBA	1,57E+08	10%	1,54E+05	5%
12900000 a 13495000	CAMP	GRANDE CAMPINAS E REGIÃO CENTRO-LESTE	3,01E+08	18%	9,58E+05	28%
13500000 a 13995000	NE	GRANDE RIBEIRÃO PRETO E REGIÃO NORDESTE	1,98E+07	1%	1,43E+05	4%
14001000 a 14790000	N	ALTA SOROCABANA E REGIÃO NORTE	7,07E+08	43%	2,20E+05	7%
14800000 a 15995000	NO	NOROESTE	1,13E+08	7%	1,96E+05	6%
16000000 a 17990000	O	OESTE CENTRAL	7,19E+07	4%	2,54E+05	8%
	SP	ESTADO DE SÃO PAULO Total	1,65E+09	100%	3,36E+06	100%

Por ser um volume muito grande de informações, os dados foram distribuídos por macro-regiões em 10 planilhas. A relação dos municípios e a descrição detalhada das operações a serem realizadas para a simulação dos dados nas planilhas (inclusão e exclusão de registros, atualização de cenário de consumo de combustível e alteração de fator de emissão) encontram-se no APÊNDICE 2.

Como o volume de informações contido no modelo HORUS é muito grande, estas foram consolidadas em uma mídia eletrônica (CD-ROM) anexa, com a relação de planilhas no APÊNDICE 5.

3.8. Conclusões do Capítulo

Neste capítulo foi apresentada uma extensiva descrição da metodologia adotada para a formulação teórica do modelo HORUS, bem como os elementos essenciais para sua implementação, as dificuldades encontradas e as estratégias adotadas para a viabilização do modelo. Desta forma, definiu-se o escopo de sua aplicação

prática no estágio atual e sugeriram-se ações para refinamentos e expansões futuras.

O estudo abordou o consumo energético estadual de forma geral (*top-down*) e a indústria paulista de maneira desagregada (*bottom-up*, indexada em função da distribuição proporcional do número de funcionários de cada empreendimento em relação ao universo), para o gás natural (GASNAT) e seus principais substitutos em fontes fixas que geram considerável poluição do ar: os óleos combustíveis (OCOMB) e diesel (DIESEL).

Os setores da *bottom-up* foram: alimentos e bebidas (A&B), cerâmicas (CER), cimento (CIM), ferro gusa e aço (FGA), papel e celulose (P&C), química (QUI) e têxtil (TEX).

As principais conexões entre as bases de dados foram estabelecidas em função dos coeficientes de destinação (CDEST). Para a abordagem *top-down*, todos os usos foram contemplados. Para a *bottom-up*, escolheram-se três usos finais principais: aquecimento direto (AD), calor de processo (CP) e força motriz (FM).

As rotas dos consumos de combustíveis foram multiplicadas por coeficientes de eficiência energética (CEE) e por fatores de emissão de poluentes, permitindo estimativas de valores de energia útil (EU), de emissões de dióxido de carbono (CO₂) e, em hipóteses de emissões altas e baixas, de óxidos de nitrogênio (NO_xAlto e NO_xBaixo), óxidos de enxofre (SO_x Alto e SO_x Baixo) e materiais particulados finos (MP₁₀Alto e MP₁₀Baixo), por empreendimento industrial, município e por macro-região.

No Capítulo 4, serão apresentados os principais resultados obtidos desta aplicação, demonstrando sua importância para políticas integradas nas áreas energética e ambiental.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS E APLICAÇÃO DO MODELO HORUS

Índice do Capítulo

4.1. INTRODUÇÃO DO CAPÍTULO	IV-2
4.2. RESULTADOS DA ABORDAGEM <i>TOP-DOWN</i> PARA TODOS OS SETORES	IV-3
4.2.1. <i>Consumo energético, energia útil e CO₂</i> top-down	IV-3
4.2.2. <i>NO_x</i> top-down	IV-6
4.2.3. <i>SO_x</i> top-down	IV-8
4.2.4. <i>MP₁₀</i> top-down	IV-9
4.2.5. <i>Síntese da abordagem</i> top-down	IV-11
4.3. EMISSÕES LOCALIZADAS GEOGRAFICAMENTE: ABORDAGEM <i>BOTTOMUP</i>	IV-13
4.3.1. <i>Consumo energético e energia útil por região: bottom-up</i>	IV-14
4.3.2. <i>Emissões de CO₂</i>	IV-18
4.3.3. <i>Emissões de NO_x</i>	IV-19
4.3.4. <i>Emissões de SO_x</i>	IV-24
4.3.5. <i>Emissões de Particulados Finos (MP₁₀)</i>	IV-28

CAPÍTULO 4. APLICAÇÃO DO MODELO HORUS E RESULTADOS

4.1. Introdução do Capítulo

Após a descrição detalhada dos fundamentos teóricos e dos elementos estruturais do modelo HORUS, o Capítulo 3 descreveu o escopo de suas aplicações práticas para teste do modelo, incluindo as simplificações adotadas e as dificuldades a serem superadas.

Como apresentado, definiram-se as rotas dos três combustíveis em função dos usos finais. Após a identificação dos fatores *default* de emissão, foram calculados os valores de energia útil obtida e as emissões *top-down* e *bottom-up* de CO₂, NO_x, SO_x e MP₁₀ para determinados anos (entre 1992 e 2000) e hipóteses de emissão (Alta ou Baixa) e/ou de substituição de insumos energéticos (diesel ou óleo combustível por gás natural).

A abordagem *bottom-up* foi possível através da definição da rota dos combustíveis pelo coeficiente de destinação por uso final e pela distribuição proporcional ao número de empregados de cada empreendimento, utilizando-se, quando foi possível, o coeficiente K.

Os resultados demonstraram que, respeitadas as condições de contorno, é possível estimar diferentes cenários de consumo de energia e emissão de poluentes. A proposta básica foi a de testar o modelo HORUS e fornecer estimativas de emissões de poluentes, sem maiores preocupações com um referenciamento em termos de políticas energéticas, fatores econômicos ou tendências de consumo e tecnologia.

Nos próximos tópicos serão apresentados os resultados de tais aplicações.

4.2. Resultados da abordagem *top-down* para todos os setores

O estudo parte do conhecimento do consumo total dos três combustíveis, entre 1992 e 2000 no Estado de São Paulo. Em um enfoque simplificado e geral, calculam-se a energia útil obtida e as emissões de poluentes que foram geradas nos processos de combustão.

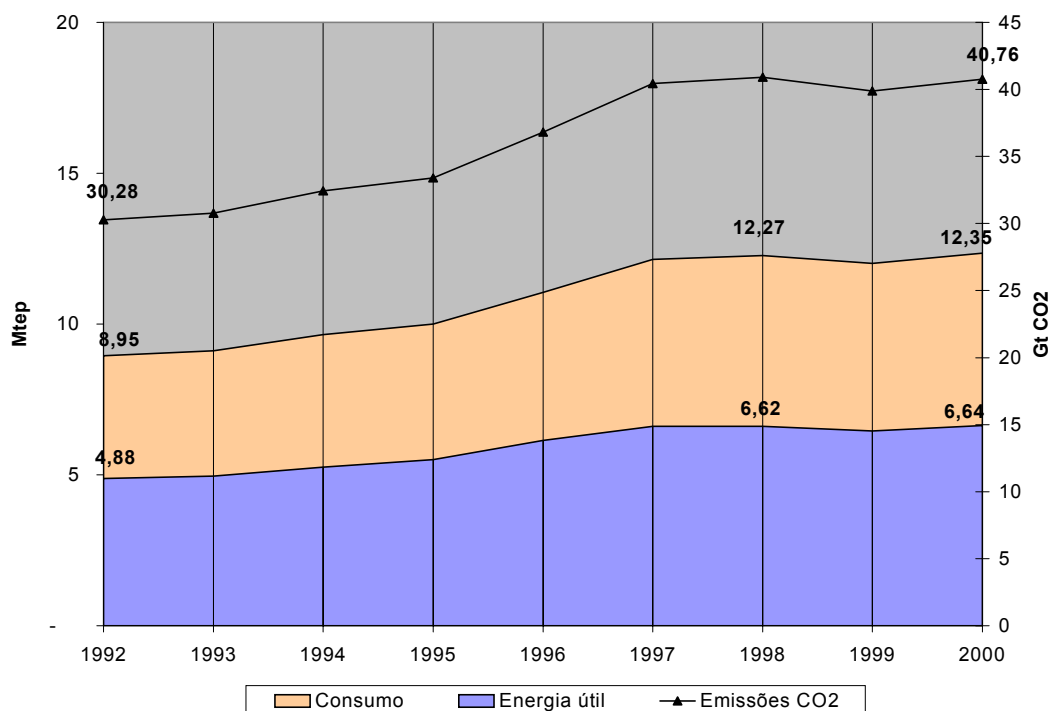
4.2.1. Consumo energético, energia útil e CO₂ top-down

A Figura 4.1. apresenta a evolução em termos de consumo e de energia útil no período para todos os setores paulistas, industriais ou não, que utilizaram os três combustíveis objeto do estudo. A figura apresenta também as emissões de dióxido de carbono.

Isso dá uma idéia da dimensão do universo, do qual será extraída a amostra das indústrias. Em menos de dez anos, o Estado testemunhou um aumento de cerca de 35% em seu consumo dos principais combustíveis fósseis. Sendo a metodologia de cálculo realizada de forma direta, pode-se dizer que a curva das emissões de carbono são realistas, tendo acompanhado em termos de crescimento o consumo energético.

Por outro lado, a figura não parece ser confiável no que se refere à energia útil. Os cálculos que geraram tal curva desconsideraram todo e qualquer avanço na tecnologia de uso final. Diversos exemplos servem para demonstrar que o BEU precisa ser atualizado. Podem-se citar o crescente desempenho dos veículos e o salto qualitativo da indústria têxtil, que na década de 1990 recuperou-se da concorrência com produtos importados e retomou sua posição no mercado internacional.

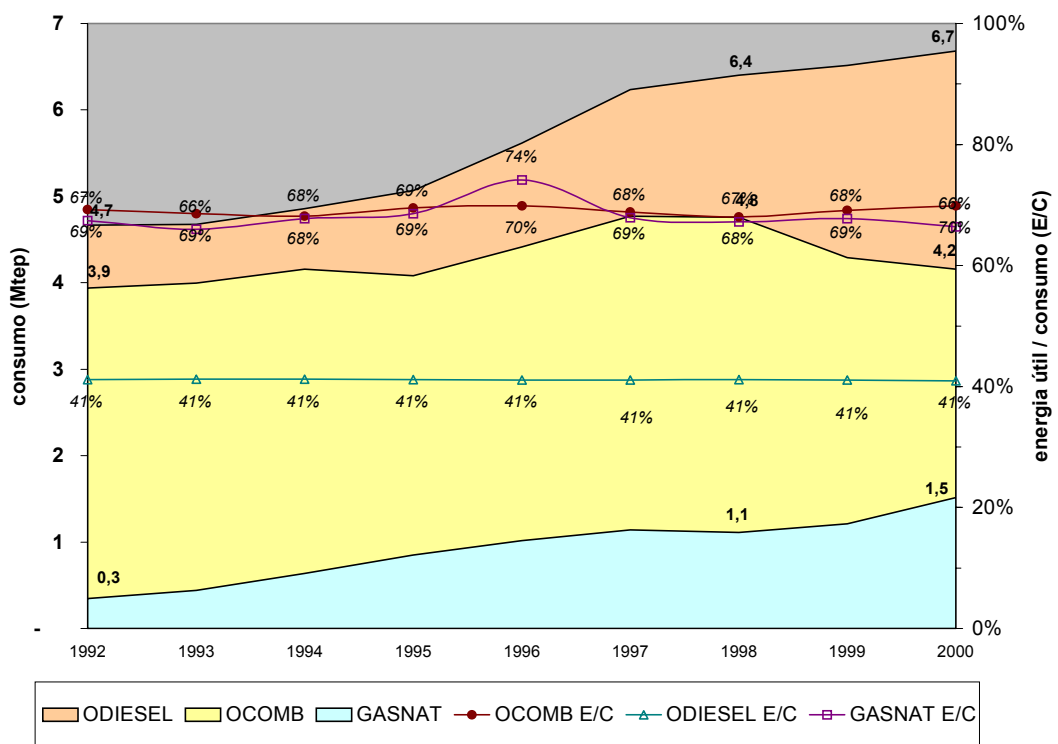
Figura 4.1. Consumo de combustíveis e energia útil (em milhões de tep) e emissões de dióxido de carbono (trilhões de toneladas de CO₂), topdown, no Estado de São Paulo.



Ainda na abordagem ampla, *top-down*, pode-se ver na Figura 4.2 uma desagregação da energia consumida por energético (para facilitar a visualização da evolução de cada um desses consumos, as áreas apóiam-se no eixo das abcissas e não foram acumuladas). Nota-se um aumento considerável do consumo de diesel, que ocorreu principalmente no setor de transportes, com o crescimento econômico da década. O óleo combustível, de uso mais industrial, praticamente não cresceu. Isso poderia, em um primeiro momento, se atribuir à maior parcela de produtos importados, que não teriam feito com que as atividades industriais fossem tão vigorosas quanto as do setor de transportes. Entretanto, o mesmo gráfico mostra um forte crescimento no consumo de gás natural, de quase cinco vezes em oito anos. Descontada as parcelas residencial e comercial, houve um forte incremento no consumo industrial desse energético que, pode-se dizer, deslocou o óleo combustível.

A figura 4.2 também mostra as proporções, ano a ano, da energia útil pela energia total consumida. Como o BEU não foi atualizado, estas proporções são praticamente constantes ao longo do tempo. As variações são devidas aos deslocamentos de um combustível por outro. Ainda não sendo o objetivo específico deste trabalho a análise de curvas de eficiência, sobressai o aumento da eficiência de 5% para o gás natural em 1996, o que ocorreu pelo crescimento do uso do energético em setores industriais onde o coeficiente de eficiência energética atribuído pelo BEU era maior.

Figura 4.2. Consumo e energia útil, por energético (em milhões de tep, top-down)



A eficiência energética média total foi de 54%, para todos os setores em todos os anos. Neste gráfico, pode-se constatar uma alta eficiência energética média do óleo combustível (69%) e do gás natural (68%) em relação ao óleo diesel (41%). Tal fato pode ser atribuído ao elevado consumo destes combustíveis em setores e

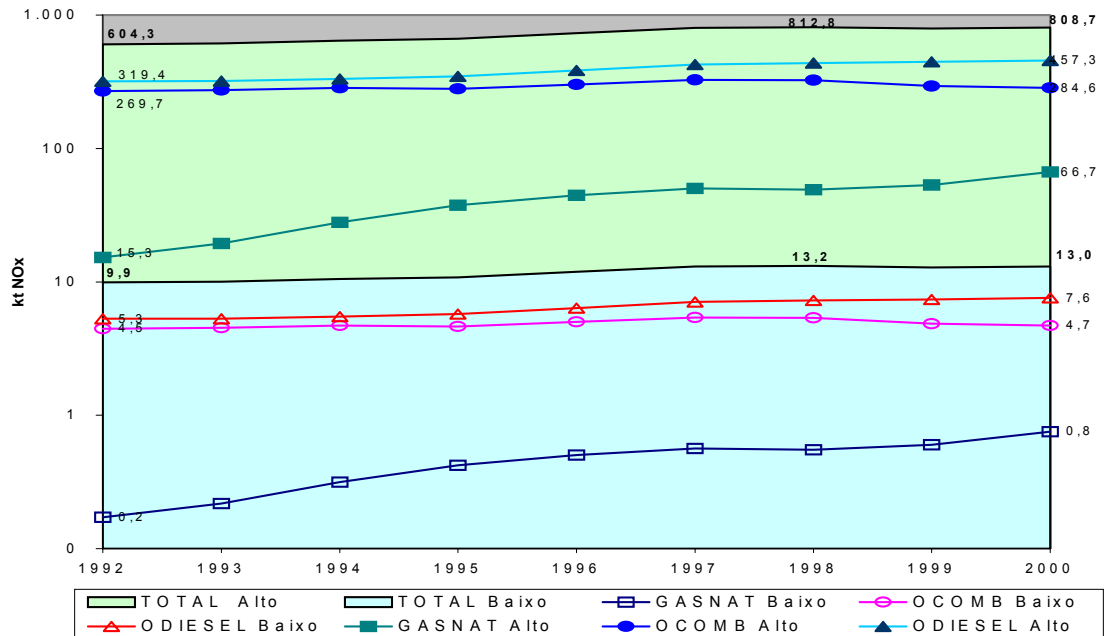
usos com alta eficiência energética (atribuída pelo BEU). Exemplos são o calor de processo e o aquecimento direto no setor energético (da ordem de 90%) e o calor de processo nos setores de ferro gusa e aço, mineração, minerais não-ferrosos e outros da metalurgia, papel e celulose, química e têxtil.

Apesar dos valores próximos de eficiência energética do óleo combustível e do gás natural, a queima com o último é mais uniforme, um fator muito importante especialmente para as indústrias de vidro e cerâmica.

4.2.2. NO_x top-down

Em seguida, estimaram-se as emissões de poluentes locais. A Figura 4.3 mostra as estimativas de emissão de óxidos de nitrogênio totais e por combustível, considerando-se uma envoltória entre os cenários Alto e Baixo. No primeiro, as emissões decorrem de queimas com altas emissões e sem dispositivos de controle final. No segundo, adotaram-se os melhores valores obtidos pelos fatores de emissão atualmente disponíveis. Dada a diferença entre os padrões, o cenário Baixo é muitíssimo menor que o Alto.

Figura 4.3. Emissões de óxidos de nitrogênio, top-down, totais e por combustíveis, nos cenários Alto e Baixo



O cenário Alto estabelece as emissões de NO_x para o Estado da ordem de 800 mil toneladas em 2000. Por sua vez, o cenário Baixo, limite inferior da envoltória, é cerca de 13 mil de toneladas/ano de NO_x , mais de 60 vezes menor. Muito provavelmente os valores reais devam se situar mais próximos do limite superior da envoltória, uma vez que os NO_x são poluentes de difícil controle (que os particulados e os SO_x) e os combustíveis nacionais contêm mais nitrogênio que os norte-americanos.

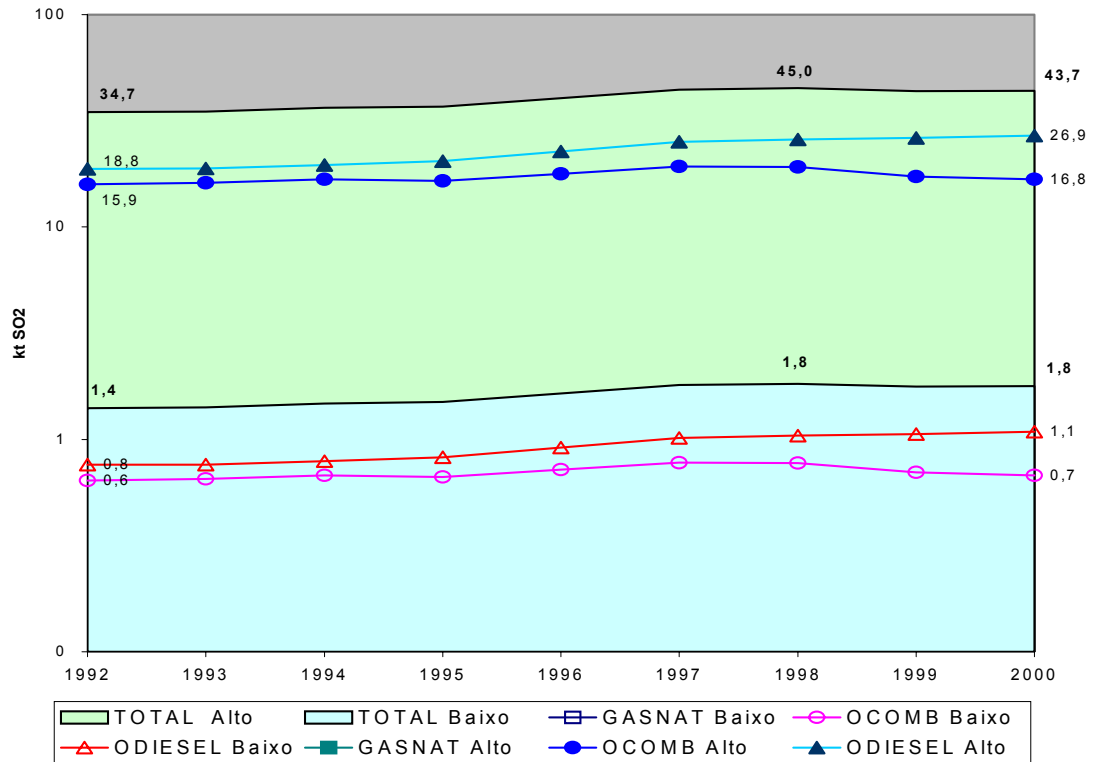
O consumo de óleo diesel pelo transporte rodoviário (TRO, abordado no inventário *top-down* mas não no *bottom-up*) é o principal contribuinte em termos de NO_x , com emissões entre 300 e 400 mil tNO_x/ano no cenário Alto (ou 50-70 mil tNO_x/ano no cenário Baixo). O setor TRO emite dez vezes mais NO_x do que cada um os que se seguem na lista (ENE, QUI, THI e A&B).

4.2.3. SO_x top-down

Quanto à parcela de responsabilidade pelas emissões de óxidos de enxofre, ocorre uma situação semelhante às dos NO_x : o consumo de diesel pelo setor TRO contribui com quase 24 mil do universo de cerca de 44 mil tSO_x /ano em 2000, no cenário Alto (o cenário Baixo apresenta, de forma proporcional, valores 20 vezes menores). Os outros maiores emissores, em ordem decrescente, são relativos ao óleo combustível: ENE, THI, A&B, QUI e P&C.

A Figura 4.4 mostra o resultado dos cálculos *top-down* para SO_x , total e por combustível. O crescimento histórico apontado pelas curvas é relativamente pequeno, se comparado ao dos NO_x . O enxofre já chegou a ser no passado um poluente de maior preocupação no controle ambiental das grandes cidades do Estado de São Paulo, mas hoje isto foi superado por constantes reduções nos teores de enxofre nos combustíveis e um maior controle da CETESB sobre grandes emissores. Para o estágio atual do modelo HORUS, por simplificação, não foram consideradas tais premissas. Apesar deste refinamento parecer mais fácil de se obter, não basta um mero levantamento histórico dos teores de enxofre nos combustíveis paulistas. Mesmo que isso seja feito para o diesel e que se considere nulo (por aproximação) os teores no gás natural, há vários tipos de óleo combustível, com diferentes teores de enxofre.

Figura 4.4. Emissões de óxidos de enxofre, top-down, totais e por combustíveis, nos cenários Alto e Baixo

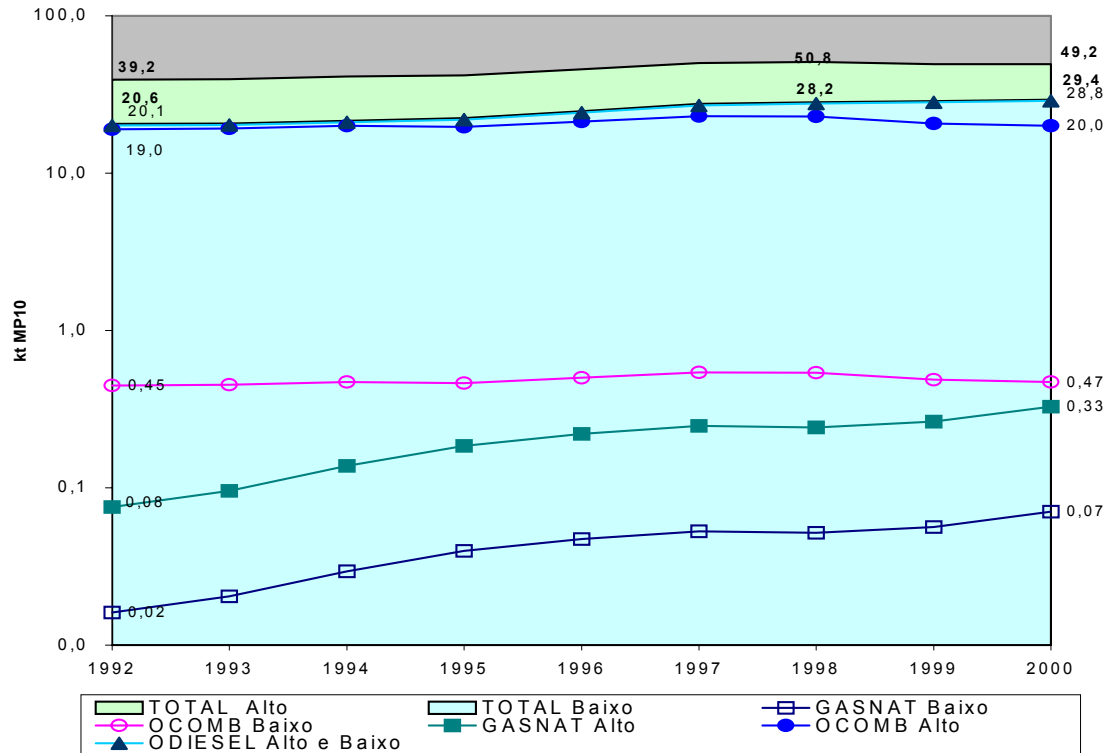


No caso deste poluente, é mais provável que a situação real se aproxime do limite inferior da envoltória, dada a redução nos teores de enxofre nos combustíveis e a presença de equipamentos de controle final nas indústrias, em especial as de grande porte.

4.2.4. MP_{10} top-down

Já para a emissão de material particulado fino, MP_{10} , não há tanta diferença na envoltória considerada entre os cenários Alto e Baixo, pelos fatores de emissão máximo e mínimo encontrados. A figura 4.5. ilustra a situação como um todo e desagregada por fonte energética .

Figura 4.5. Emissões de materiais particulados finos (MP_{10}), top-down, totais e por combustíveis, nos cenários Alto e Baixo



O principal motivo para a envoltória de baixa amplitude está no peso e no único fator de emissão para o óleo diesel no setor de transportes rodoviários (TRO), que responde por cerca de 26 mil das 49 mil toneladas anuais do poluente no cenário Alto (ou 29 mil t/ano no cenário Baixo). Em seguida, com emissões anuais de 10 a 400 vezes menores, vêm o setor THI, utilizando OCOMB. Os próximos da lista são mais preocupantes pelo ponto de vista de impacto ambiental, por concentrarem geograficamente as emissões de particulados: A&B, QUI, P&C, ENE, FGA e OSI.

A revisão de literatura mostra que inventários de emissões de material particulado são um grande desafio em termos de metodologia, dada a diversidade de fontes emissoras (obras de terra, construção civil, atividade vulcânica, desmatamentos) e as diferentes composições das partículas (algumas bastante tóxicas, caso do amianto) e suas granulometrias. Os riscos à saúde são maiores

nos casos de exposição ocupacional (*indoor*), cujos exemplos típicos são a cocção de alimentos de forma rudimentar utilizando lenha e o trabalho em minas de carvão e serrarias.

4.2.5. Síntese da abordagem top-down

Pode-se verificar que o consumo total de combustíveis (um dos dados mais confiáveis e atualizado ano a ano) aumentou consideravelmente a partir de 1995. Mantida a mesma tecnologia, é de se esperar que as emissões tenham também aumentado bastante no curto prazo desde então. Contudo, no médio prazo, o aumento da competitividade que testemunhou a indústria paulista na última década deve ter reduzido sensivelmente as expectativas de emissões de poluentes, que foram calculadas no estágio atual do modelo HORUS de forma constante e diretamente proporcional ao consumo. A Tabela 4.1. sintetiza os resultados *top-down* globais, que podem ser vistos com detalhes no **CD-ROM anexo** a este trabalho⁵⁶.

Foram bastante altos o peso e a relevância dos transportes rodoviários nas emissões de todos os poluentes relacionados. Vale lembrar que este estudo não considerou a gasolina, outro importante vetor de poluição local (e de emissão de gases causadores do aumento do efeito estufa). Não se computaram também no estágio atual do HORUS, embora sejam de altíssima relevância as emissões das queimadas de cana-de-açúcar⁵⁷.

⁵⁶ A síntese está na planilha "SP todos setores síntese"; os cálculos de cada cenário estão na planilha "Mestres cenários"

⁵⁷ Para ilustrar, uma estimativa das emissões das queimadas de cana é da ordem de 436 mil t MP₁₀/ano, ou 10 vezes a do consumo dos 3 combustíveis na abordagem *top-down*. Esse número foi obtido multiplicando-se um fator de emissão (da base *FIRE*) de 2,2 kg MP/tonelada de cana (com 30% de bagaço) pela produção anual paulista de 208 milhões de toneladas de cana (AGÊNCIA INTERIOR, 2003). As emissões de SO_x são negligenciáveis, mas as de NO_x são altas, da ordem de 331 mil toneladas/ano (também com um fator da EPA, de 0,16 kg/t cana com as mesmas proporções de bagaço e com a mesma cifra de produção física), ou 42% do gerado por GASNAT, ODIESEL e OCOMB pelos cálculos *top-down* do HORUS.

Tabela 4.1. Síntese dos cálculos top-down

A-NO	ENERGÉTICO	Consumo energético (ktep)	Energia útil (ktep)	CO ₂ (Mt)	NO _x Alto (t)	NO _x Baixo (t)	SO _x Alto (t)	SO _x Baixo (t)	MP ₁₀ Alto (t)	MP ₁₀ Baixo (t)
1992	GASNAT Total	347	234	880	15300	172	3	3	75	16
1992	OCOMB Total	3940	2730	13800	270000	4470	15900	641	19000	447
1992	ODIESEL Total	4660	1920	15600	319000	5290	18800	759	20100	20100
	1992 Total	8950	4880	30300	604000	9920	34700	1400	39200	20600
1993	GASNAT Total	440	290	1120	19400	218	4	4	96	21
1993	OCOMB Total	4000	2740	14000	274000	4530	16100	650	19200	453
1993	ODIESEL Total	4680	1930	15700	320000	5300	18900	762	20200	20200
	1993 Total	9110	4960	30800	613000	10100	35000	1420	39500	20700
1994	GASNAT Total	635	430	1610	28000	315	6	6	138	30
1994	OCOMB Total	4160	2830	14500	285000	4710	16800	677	20000	471
1994	ODIESEL Total	4860	2000	16300	333000	5510	19600	791	21000	21000
	1994 Total	9650	5270	32400	645000	10500	36400	1470	41100	21500
1995	GASNAT Total	852	584	2160	37500	423	8	8	185	40
1995	OCOMB Total	4080	2840	14300	279000	4630	16500	664	19700	463
1995	ODIESEL Total	5060	2080	17000	347000	5740	20400	824	21900	21900
	1995 Total	10000	5500	33400	664000	10800	36900	1500	41700	22400
1996	GASNAT Total	1020	753	2570	44700	504	9	9	220	47
1996	OCOMB Total	4420	3090	15400	302000	5000	17800	719	21300	500
1996	ODIESEL Total	5620	2310	18800	385000	6370	22700	914	24300	24300
	1996 Total	11000	6140	36800	732000	11900	40500	1640	45700	24800
1997	GASNAT Total	1140	773	2890	50200	565	11	11	247	53
1997	OCOMB Total	4770	3280	16700	327000	5410	19200	776	23000	541
1997	ODIESEL Total	6230	2560	20900	427000	7070	25200	1010	26900	26900
	1997 Total	12100	6620	40500	804000	13000	44400	1800	50100	27500
1998	GASNAT Total	1110	749	2830	49100	553	10	10	242	52
1998	OCOMB Total	4760	3240	16600	326000	5390	19200	774	22900	539
1998	ODIESEL Total	6400	2630	21400	438000	7250	25800	1040	27600	27600
	1998 Total	12300	6620	40900	813000	13200	45000	1830	50800	28200
1999	GASNAT Total	1210	821	3070	53300	601	11	11	263	56
1999	OCOMB Total	4290	2960	15000	294000	4860	17300	698	20700	486
1999	ODIESEL Total	6510	2680	21800	446000	7380	26300	1060	28100	28100
	1999 Total	12000	6460	39900	793000	12800	43600	1770	49100	28700
2000	GASNAT Total	1520	1010	3840	66700	752	14	14	329	71
2000	OCOMB Total	4160	2900	14500	285000	4710	16800	677	20000	471
2000	ODIESEL Total	6680	2730	22400	457000	7570	26900	1090	28800	28800
	2000 Total	12400	6640	40800	809000	13000	43700	1780	49200	29400
	Total Global	97500	53100	326000	6480000	105000	360000	14600	407000	224000

4.3. Emissões localizadas geograficamente: abordagem *bottom-up*

O levantamento *top-down* das emissões é rápido e abrange todo o universo do combustível consumido no dado período.

Contudo, são estimativas grosseiras, que devem ser amparadas por inventários descentralizados, *bottom-up*. A ligação entre os dois inventários depende, contudo, do fechamento, isto é, qual o percentual do universo *top-down* que representa o *bottom-up*.

Conforme explanado na metodologia, selecionaram-se para a abordagem *bottom-up* alguns setores industriais (A&B, CER, CIM, COM, FGA, P&C, QUI e TEX) para dados anos (1992, 1998 e 2000). Em termos de consumo total de energia, essa amostragem pode ser comparada com o universo *top-down*, conforme se apresenta na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Comparação entre a amostra dos setores que serão objeto da análise bottom-up com o universo de consumo total da abordagem top-down para os anos selecionados.

Resultado e abrangência	Ano		
	1992	1998	2000
Consumo (ktep)	4851	3374	3379
% do <i>top-down</i>	54%	27%	27%

A abrangência dos setores selecionados pode ser considerada satisfatória, uma vez que o universo contempla os transportes, parcela de maior peso em consumo e emissões. O crescimento deste setor na década explica também a perda de participação dos setores industriais selecionados na matriz energética paulista.

Como explicado na metodologia, os dados foram submetidos a uma agregação nas seguintes áreas: RMSP, CAMP, LIT, VPAR, NE, N, NO e O.

4.3.1. Consumo energético e energia útil por região: bottom-up

O modelo HORUS calculou, da forma distributiva apresentada na metodologia, o consumo de cada empreendimento para os anos 1992 e 2000. Tais valores foram somados por região, gerando os gráficos constantes nas Figuras 4.6 e 4.7 a seguir.

Figura 4.6. Distribuição regional do consumo energético nos setores industriais selecionados em 1992

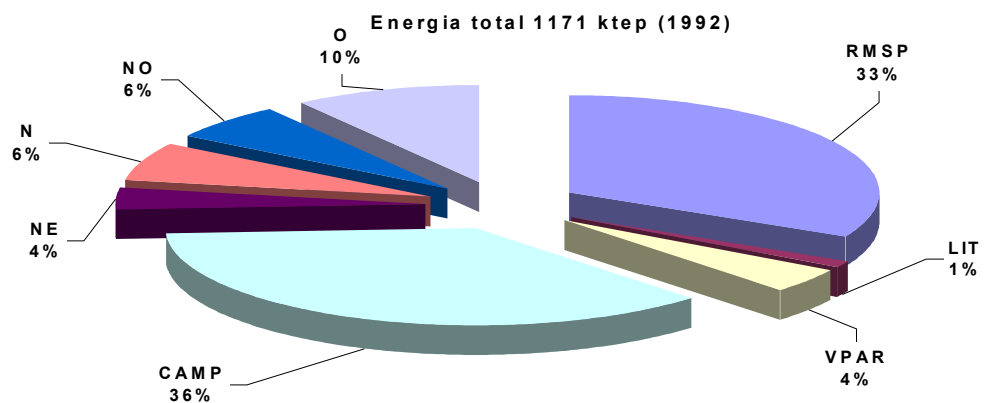
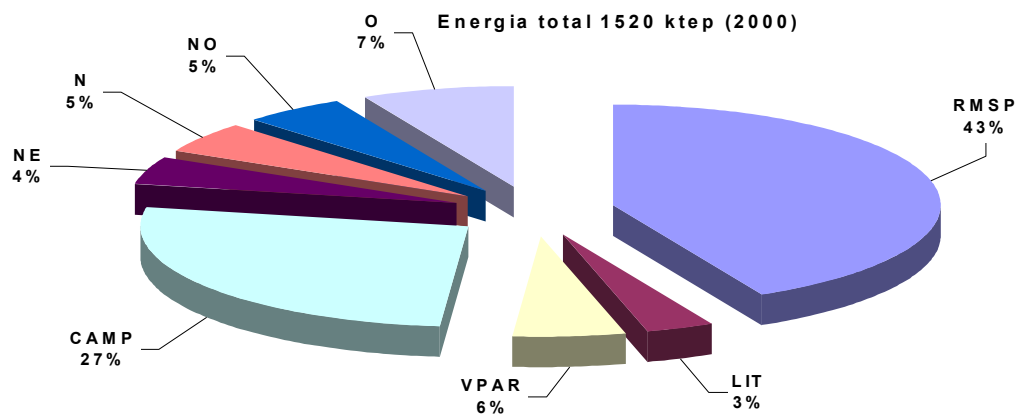


Figura 4.7. Distribuição regional do consumo energético nos setores industriais selecionados em 2000



Pode-se verificar que as indústrias situadas nas Grandes São Paulo e Campinas respondem por 70% do consumo energético estimado. De 1992 para 2000, pelos resultados do HORUS, o consumo energético da região de Campinas se manteve praticamente constante (cerca de 415 ktep), enquanto o da RMSP disparou de 390 ktep para 650 ktep.

Aparentemente, esses dados estão distantes da realidade. O efeito da migração das empresas da capital para o interior não pôde ser percebido. Não é possível obter uma análise temporal mais precisa, já que o cadastro do SIPOL não tem seus registros atualizados ano a ano. A análise temporal em escala *bottom-up* é muito prejudicada pela falta de informações.

Vários fatores não entraram no modelo, sendo difícil tecer comentários sem se arriscar. Por um lado, muitas das novas indústrias instaladas no interior são menos energo-intensivas. Por outro, os níveis de poluição por óxidos de nitrogênio e ozônio são preocupantes nas duas maiores regiões metropolitanas do Estado. A indústria não pode ser individualmente responsabilizada pelo efeito, já que houve um grande aumento na atividade do setor de transportes rodoviários. Para aumentar as dúvidas, os NO_x não são os únicos precursores de O_3 : mais transporte significa mais hidrocarbonetos evaporando em postos de gasolina, por exemplo.

De qualquer forma, uma tendência esperada é o crescimento do uso de gás natural no Estado, especialmente ao longo do eixo das rodovias e do gasoduto Bolívia-Brasil. Mas esse efeito só será percebido pelo modelo HORUS quando forem atualizados os parâmetros que definem as rotas de utilização dos combustíveis na indústria, ou quando forem agregados setores de consumo específico de gás, como o termelétrico (ENE), o residencial (RES), o comercial (COM) e o automotivo (TRO).

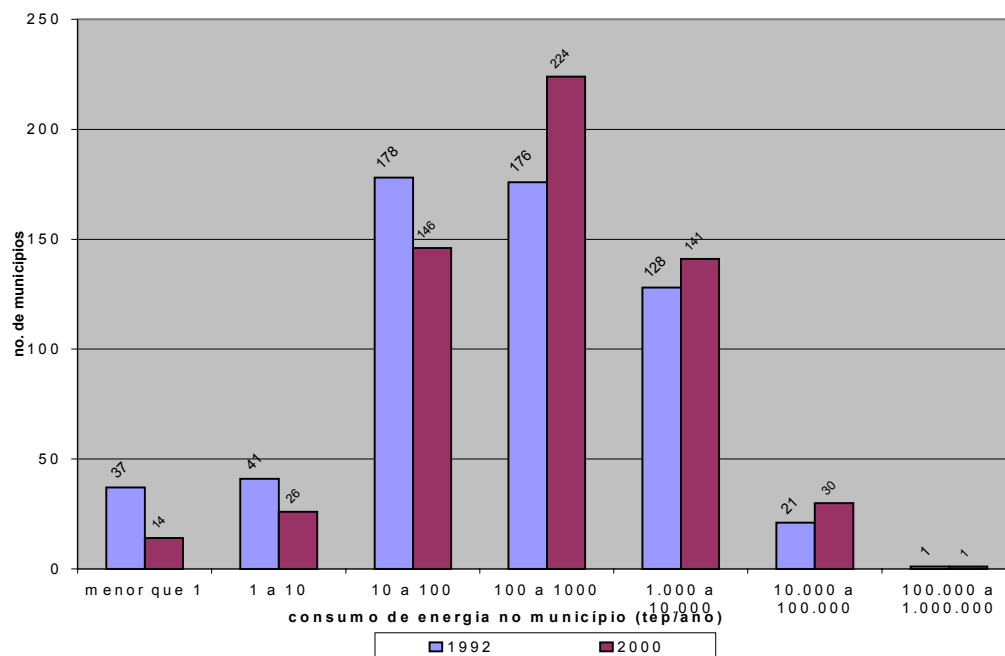
Na configuração atual, o modelo HORUS só pode verificar a modificação da distribuição dos energéticos através da alteração na matriz energética setorial, ou seja, pela redistribuição do consumo entre os setores industriais. Lembrando sempre que a evolução do consumo e de energia útil obtida por região entre 1992 e 2000 deve ser vista com ressalvas, a Tabela 4.3 discrimina os tais valores.

Tabela 4.3. Energia consumida e aproveitada, por região.

RE- GIÃO	ENERGIA TOTAL					ENERGIA ÚTIL					ENERGIA ÚTIL/TOTAL		
	1992 (ktep)	% tot	2000 (ktep)	% tot	% 1992- 2000	1992 (ktep)	% tot	2000 (ktep)	% tot	% 1992- 2000	1992	2000	var%
RMSP	382	33%	647	43%	70%	292	35%	488	45%	67%	76,6%	75,4%	-1,2%
LIT	11	1%	47	3%	349%	7	1%	34	3%	418%	62,8%	72,4%	9,7%
VPAR	52	4%	86	6%	66%	38	5%	59	5%	57%	72,2%	68,3%	-3,9%
CAMP	425	36%	406	27%	-5%	308	37%	288	26%	-7%	72,4%	70,8%	-1,6%
NE	41	4%	65	4%	59%	24	3%	44	4%	86%	57,2%	67,0%	9,8%
N	76	6%	76	5%	0%	45	5%	44	4%	-1%	58,9%	58,5%	-0,5%
NO	72	6%	78	5%	9%	45	5%	50	5%	13%	61,8%	64,3%	2,6%
O	113	10%	114	7%	0%	73	9%	79	7%	8%	64,9%	69,5%	4,7%
SP	1170	100%	1520	100%		831	100%	1090	100%		70,9%	71,5%	0,6%

Para se ter uma idéia de portes municipais de consumo, este foi agregado por frequências, em função do número de municípios, na Figura 4.8. A maior parte dos municípios da amostra consome de 100 a 1000 tep/ano. Com as bases SIPOL e BEU mais atualizadas, esses perfis de consumo poderão ser uma ferramenta de grande utilidade para fins de planejamento energético.

Figura 4.8. Distribuição do consumo total de energia (em ktep/ano), bottom-up, segundo frequências de municípios



Outra possibilidade das análises *bottom-up* do HORUS são indicadores de intensidade energética ou de emissões para cada perfil setorial da indústria (Tabela 4.4). Tais indicadores poderão auxiliar na aferição de parâmetros de produtividade ou na verificação cruzada de dados de monitoramento de emissões (realizadas por inspetores ou autodeclaradas pelas indústrias e demais empreendimentos).

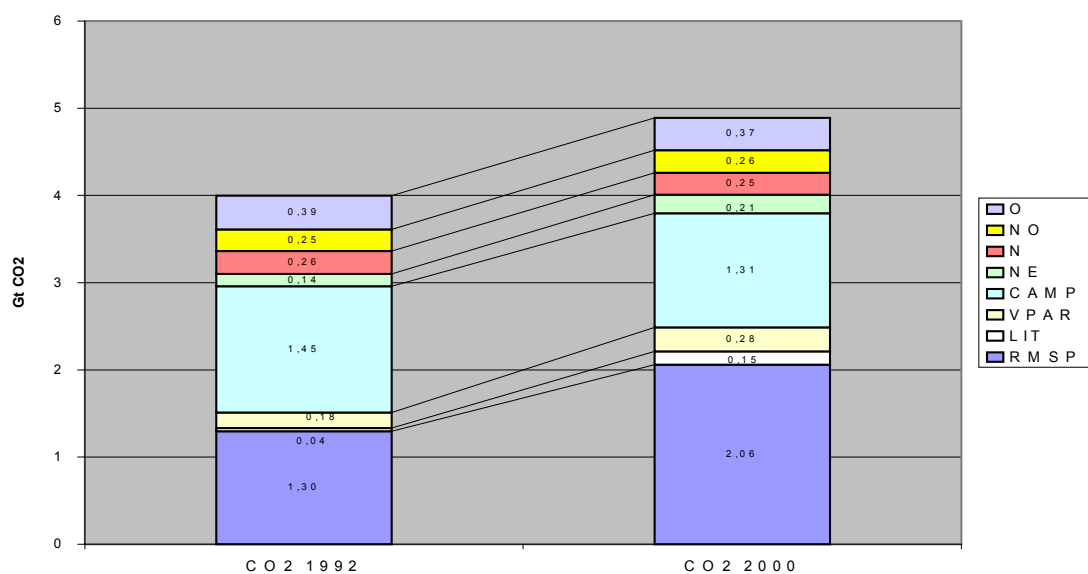
Tabela 4.4. Cruzamento de dados de energia total com indexadores da distribuição (funcionários e área)

REG	Energia total por área (tep/1000m2)			Energia total por funcionário (tep/func)		
	1992	2000	var%	1992	2000	var%
RMSP	1,47	2,50	70%	0,28	0,47	70%
LIT	0,57	2,54	349%	0,15	0,68	349%
VPAR	0,33	0,55	66%	0,34	0,56	66%
CAMP	1,41	1,35	-5%	0,44	0,42	-5%
NE	2,07	3,28	59%	0,29	0,45	59%
N	0,11	0,11	0%	0,35	0,35	0%
NO	0,64	0,70	9%	0,37	0,40	9%
O	1,57	1,58	0%	0,44	0,45	0%
SP	0,71	0,92	30%	0,35	0,45	30%

4.3.2. Emissões de CO₂

Mantidas as condições de contorno da metodologia, as emissões de dióxido de carbono aumentaram em quase 20% entre 1992 e 2000, como mostra a Figura 4.9. Em geral, notam-se diferenças proporcionais, o que não ocorreria caso houvesse atualização da base SIPOL (por ex., indústrias que abriram e fecharam, alteração no número de funcionários) e do BEU 1993 (modificações nos coeficientes de destinação por uso final de combustíveis).

Figura 4.9. Evolução das emissões de CO₂, bottom-up 1992 e 2000, por macro-região



A síntese das emissões regionais está na Tabela 4.5. Nota-se uma redução no índice relativo entre emissões e energia total para todas as regiões, o que reflete uma mudança de usos e setores para aqueles com maior coeficientes de eficiência energética (como, por exemplo, a troca pelo gás natural). Se tivesse ocorrido uma diminuição na produção física em São Paulo, tal redução poderia ser atribuída ao puro e simples menor uso de insumos⁵⁸.

⁵⁸ Tal qual o caso da ex-União Soviética, cujo forte declínio na atividade econômica reduziu também as emissões de CO₂. Esta redução gerou uma polêmica sobre a alocação dos créditos de carbono ao chamado *hot air*.

Tabela 4.5. Emissões bottom-up de CO₂

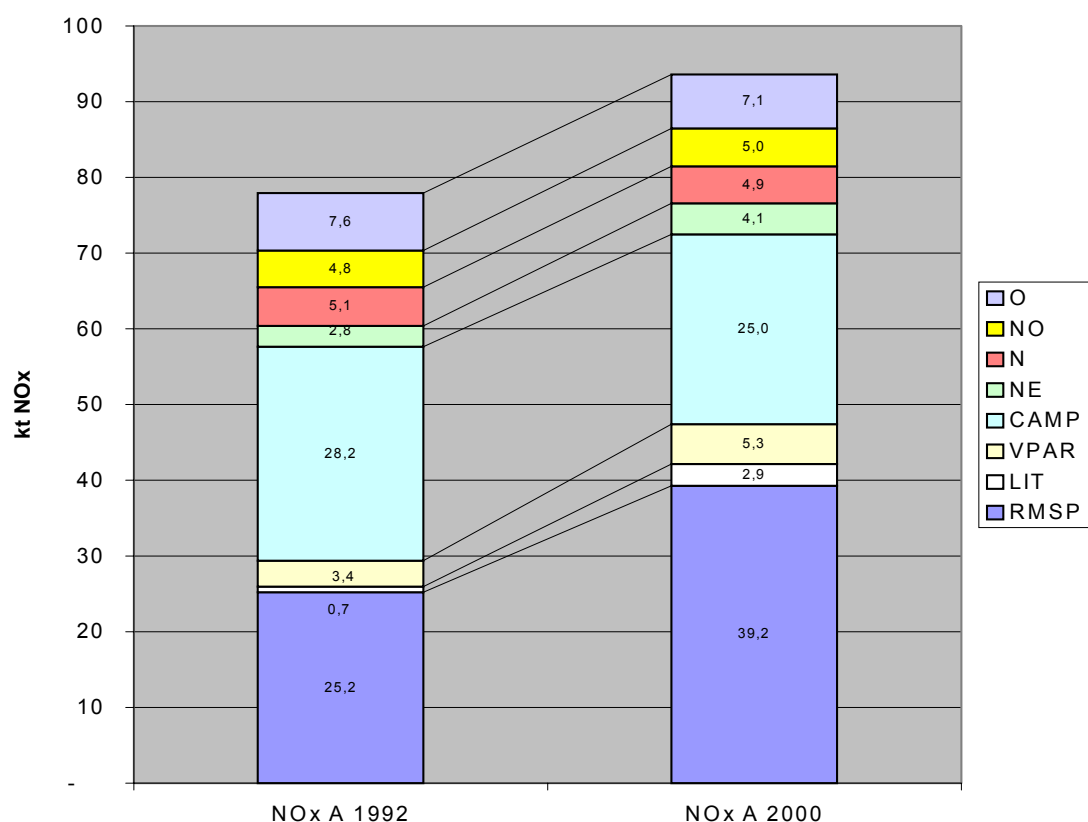
REG	CO ₂ Mt (1992)	% total	CO ₂ Mt (2000)	% total	%1992-2000	CO ₂ /Energia total (kt/tep)		var%
						1992	2000	
RMSP	1300	32%	2060	42%	59%	3,40	3,18	-6%
LIT	36	1%	150	3%	312%	3,46	3,18	-8%
VPAR	177	4%	278	6%	57%	3,41	3,22	-5%
CAMP	1450	36%	1310	27%	-10%	3,41	3,22	-6%
NE	141	4%	214	4%	51%	3,45	3,28	-5%
N	261	7%	251	5%	-4%	3,44	3,31	-4%
NO	248	6%	258	5%	4%	3,44	3,29	-4%
O	387	10%	371	8%	-4%	3,43	3,27	-5%
SP	4000	100%	4890	100%		3,41	3,22	-6%

A Tabela 4.5 deixa claro a óbvia conclusão de que, para São Paulo mitigar suas emissões de CO₂ na indústria, terá de atuar na Capital e em Campinas. Sendo globais os impactos do dióxido de carbono, os inventários *bottom-up* oferecem auxílio na identificação de potenciais regiões (e setores) para a mitigação de tais emissões por aumento de eficiência e substituição por combustíveis mais limpos (com reflexos positivos também nas emissões de poluentes locais).

4.3.3. Emissões de NO_x

O maior interesse na abordagem *bottom-up* reside, certamente, no levantamento das emissões de poluentes locais. As emissões dos óxidos de nitrogênio, conforme os resultados do modelo HORUS, estão detalhadas na mídia eletrônica anexa e sintetizados nas Figura 4.10 a 4.14.

A figura 4.10 mostra a distribuição das emissões de NO_x (cenário Alto) por regiões nos anos de 1992 e 2000. Note-se o peso da atividade industrial das regiões da Capital e de Campinas no total do Estado.

Figura 4.10. Evolução regional das emissões de NO_x, bottom-up 1992 e 2000

A Tabela 4.6 mostra que o aumento mais significativo detectado pelo modelo foi na região Litoral-Sul do Estado. Isso deve, mais uma vez, ser visto com cuidado: tratam-se de uma indústria de papel e celulose, mais uma de fertilizantes na região de Cubatão. O dado é, assim, um apontador de onde devem ser feitas as primeiras aferições e calibrações do modelo. Também deve-se ter em consideração que o consumo total da região (registrado pelo modelo HORUS, em decorrência também da falta de cadastro de empreendimentos mais antigos, como a fábrica da COSIPA) não é alto e um aumento do consumo específico para uma grande indústria (lembrando que não há tantas fábricas de papel e celulose ou de fertilizantes no Estado quanto há as de alimentos, por exemplo) tem um reflexo muito acentuado no indicador temporal.

Tabela 4.6. Emissões regionais de NO_x, bottom-up 1992 e 2000

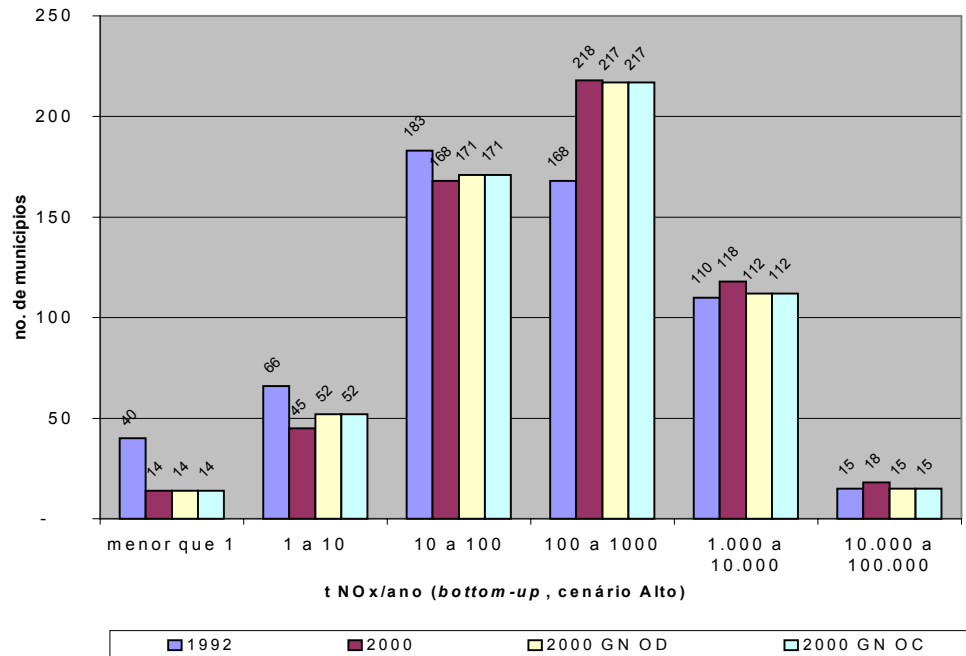
RE-GIÃO	NO _x ALTO					NO _x BAIXO				
	t (1992)	% total	t (2000)	% total	%1992-2000	t (1992)	% total	t (2000)	% total	% 1992-2000
RMS	25200	32%	39200	42%	56%	409	32%	601	41%	47%
LIT	712	1%	2860	3%	302%	12	1%	44	3%	274%
VPAR	3450	4%	5330	6%	55%	56	4%	83	6%	48%
CAMP	28200	36%	25000	27%	-11%	459	36%	388	27%	-16%
NE	2770	4%	4120	4%	49%	45	4%	65	4%	43%
N	5100	7%	4870	5%	-4%	84	7%	78	5%	-7%
NO	4840	6%	4980	5%	3%	79	6%	79	5%	-1%
O	7560	10%	7140	8%	-6%	124	10%	112	8%	-9%
SP	77900	100%	93600	100%		1270	100%	1450	100%	

De uma forma geral, todas as análises intertemporais no atual estágio do modelo HORUS são prejudicadas pela falta de atualização dos principais cadastros de desmembramento: o SIPOL e o BEU. Por outro lado, um interessante teste do modelo é a representação gráfica do geo-referenciamento, como será visto nas próximas figuras.

Em termos de perfil de geração de NO_x por município, a Figura 4.11 denota uma maior frequência na faixa entre 100 a 1000 toneladas por ano. Para este poluente em especial, que é transportado a longas distâncias, pode parecer que a estratificação não signifique muito. Contudo, deve-se atentar para a cauda da direita da curva: as 15 cidades onde os altos níveis de emissão somam-se às das fontes móveis (veículos) e à proveniente dos sistemas de geração termelétrica, de pequenos grupos moto-geradores até grandes usinas com potência instalada da ordem de mil megawatts, com amplas perspectivas de crescimento.

Os cenários de substituição de insumos GNOC e GNOD praticamente não alteraram o perfil de distribuição, o que pode se atribuir aos fatores de emissão muito próximos para NO_xAlto entre os energéticos, aliados à pequena substituição percebida somente em função de alterações de dados do BEESP no período.

Figura 4.11. Distribuição das emissões de NO_x segundo frequências de municípios



Os mapas das figuras 4.12 e 4.13 indicam, para os anos 1992 e 2000, as emissões acima de 100 toneladas anuais de NO_x . As diferenças entre as figuras são um tanto quanto sutis, mas mostram um aumento das emissões nos eixos da RMSP, grande Campinas e Vale do Paraíba. Há uma forte correspondência entre os níveis de emissão obtidos pelo HORUS (e graficamente assinalados nas próximas figuras) e as informações conhecidas sobre a qualidade ambiental das principais cidades representadas.

Devido às incertezas da correspondência dos fatores de emissão da EPA à realidade dos processos industriais paulistas, os valores dos níveis de emissão nos diversos municípios não é conhecido, mas somente uma relação de proporção e de localização das áreas mais críticas. Levantamentos em campo poderão apurar esses fatores (pelo menos para se diferenciarem os fatores de um setor industrial e seus processos típicos de outros setores e processos). Sabe-se, entretanto, que os NO_x não são poluentes fáceis de se controlar de outras formas que não a melhoria da queima.

Figura 4.12. Emissões de NO_x por município, cenário Alto, 1992.

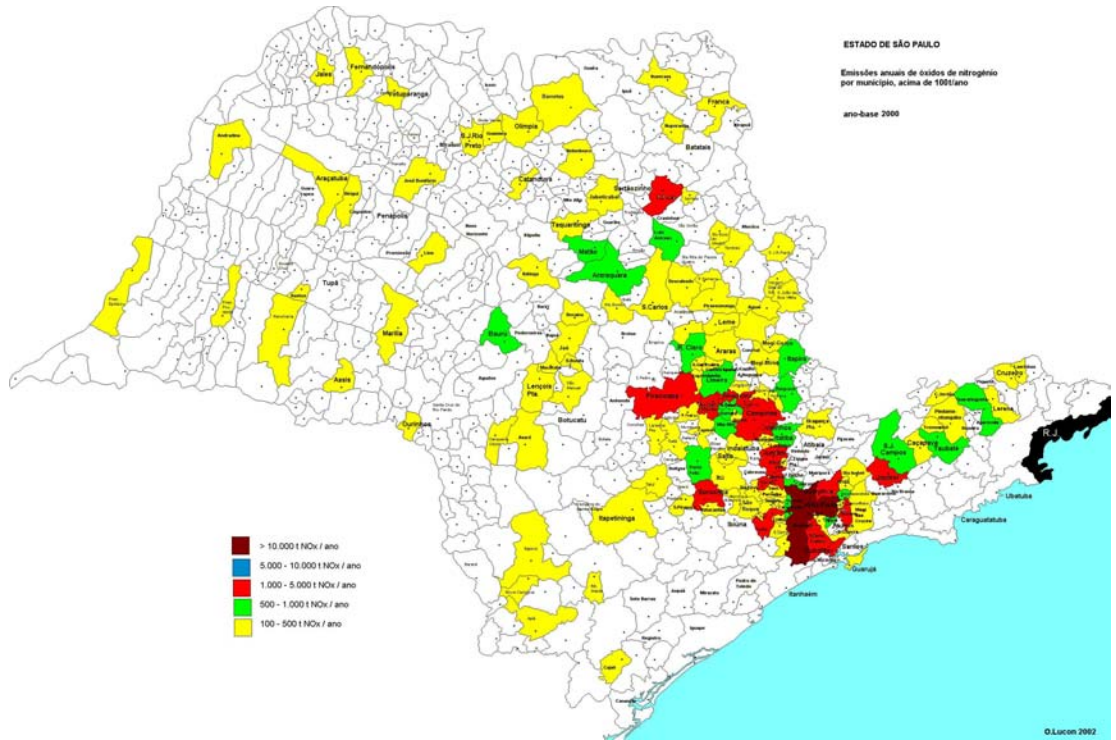
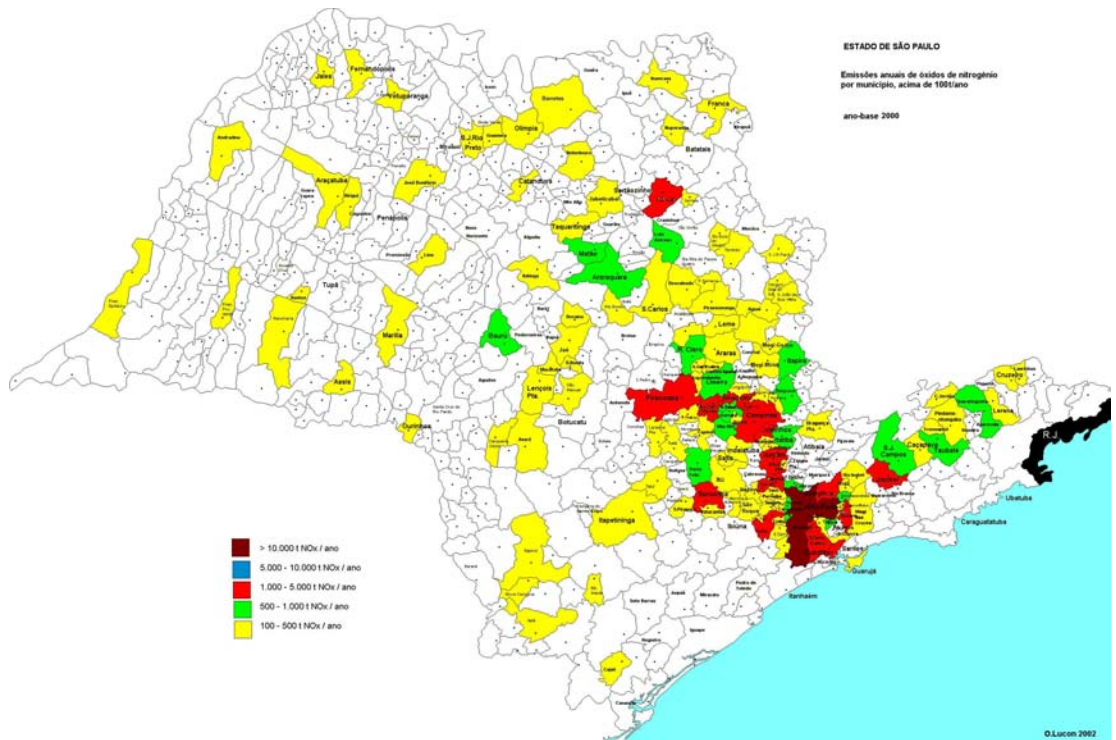
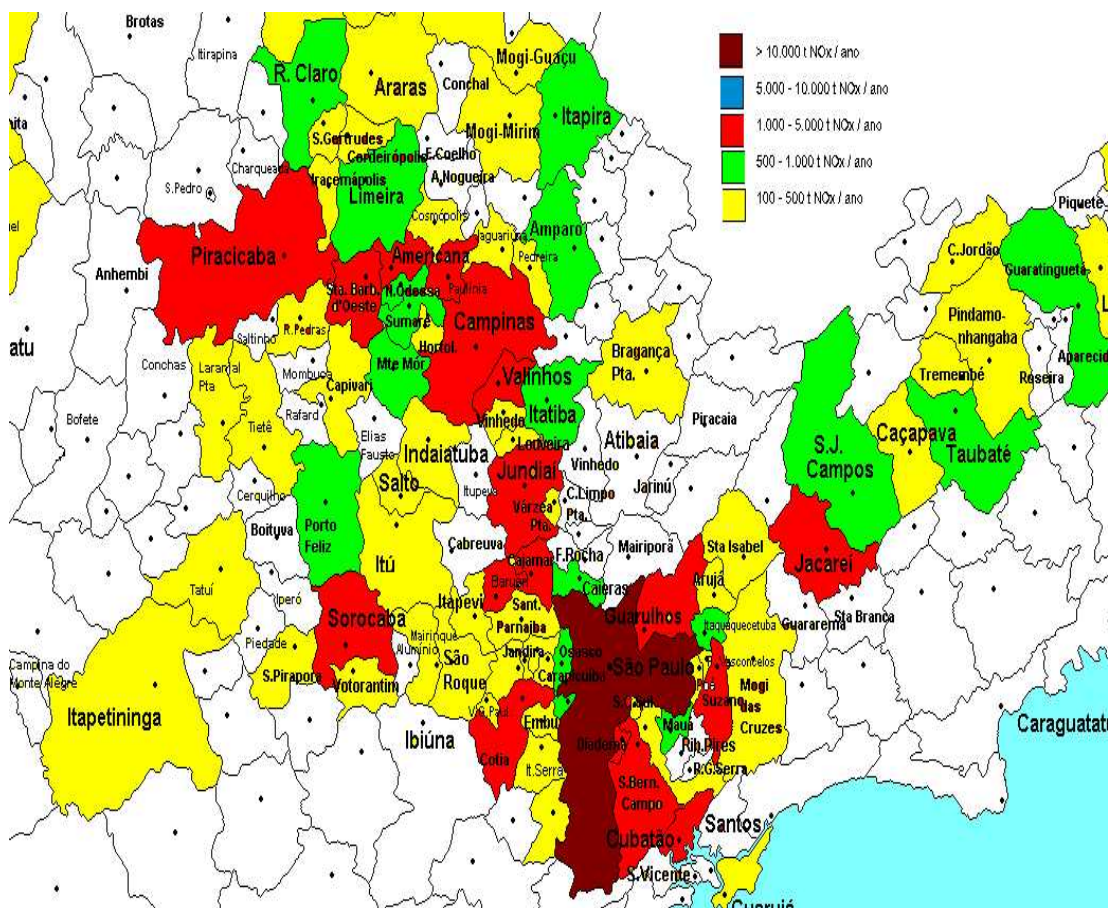


Figura 4.13. Emissões de NO_x por município, cenário Alto, 2000.



Convém lembrar que, adicionadas a estas emissões, há as da frota de veículos, concentrada especialmente nas grandes regiões metropolitanas. A Figura 4.14 mostra os resultados do HORUS para tais regiões, com uma grande aderência aos indicadores de qualidade do ar publicados pela CETESB.

Figura 4.14. Emissões de NO_x por município, cenário Alto, 2000.



4.3.4. Emissões de SO_x

Os óxidos de enxofre já foram um problema pior vinte anos atrás. Melhorias nos combustíveis reduziram significativamente os teores de enxofre e, conseqüentemente, as emissões de SO_x . Os combustíveis são mais limpos e os processos emissores, identificáveis. Felizmente, o Brasil consome pouco carvão, uma fonte com alto teor de enxofre.

Mesmo assim, os óleos diesel e combustíveis contêm enxofre. A intensificação do consumo no setor de transporte e o alarme causado pelos motogeradores na época do racionamento não permitem que se negligencie este poluente. Além disso, os óleos são energéticos ainda comparativamente baratos e mais facilmente transportáveis e estocáveis do que o gás, vantagens que lhes garantirá um longo tempo de demanda. Os impactos sobre o meio causados pelo enxofre também colaboram para que este não seja esquecido pelas ações de controle e políticas de preservação ambiental.

O modelo HORUS, por isso, também contemplou os óxidos de enxofre. Assim como na abordagem *top-down*, as modificações nos combustíveis, por simplificação, não foram consideradas na escolha dos fatores de emissão. Desta forma, o perfil temporal da Figura 4.15 considerou somente as rotas dos combustíveis, admitidos como de composição constante no decorrer do tempo.

Assim como ocorreu com os NO_x , pode-se ver na Tabela 4.7 um alto crescimento relativo do litoral. É interessante também notar uma queda sensível na região de Campinas. Lembrando que os dados de consumo energético *bottom-up* para a região não se alteraram, fica nítida a substituição dos óleos pelo gás. Situação parecida ocorreu nas regiões Norte e Oeste. Melhores bases cadastrais sobre sistemas de controle de poluentes (como lavadores de gases) devem acentuar ainda mais esse efeito, além de amortecer o aumento das emissões nas outras regiões.

Figura 4.15. Evolução das emissões de SO_x (cenário Alto) e subdivisão por região

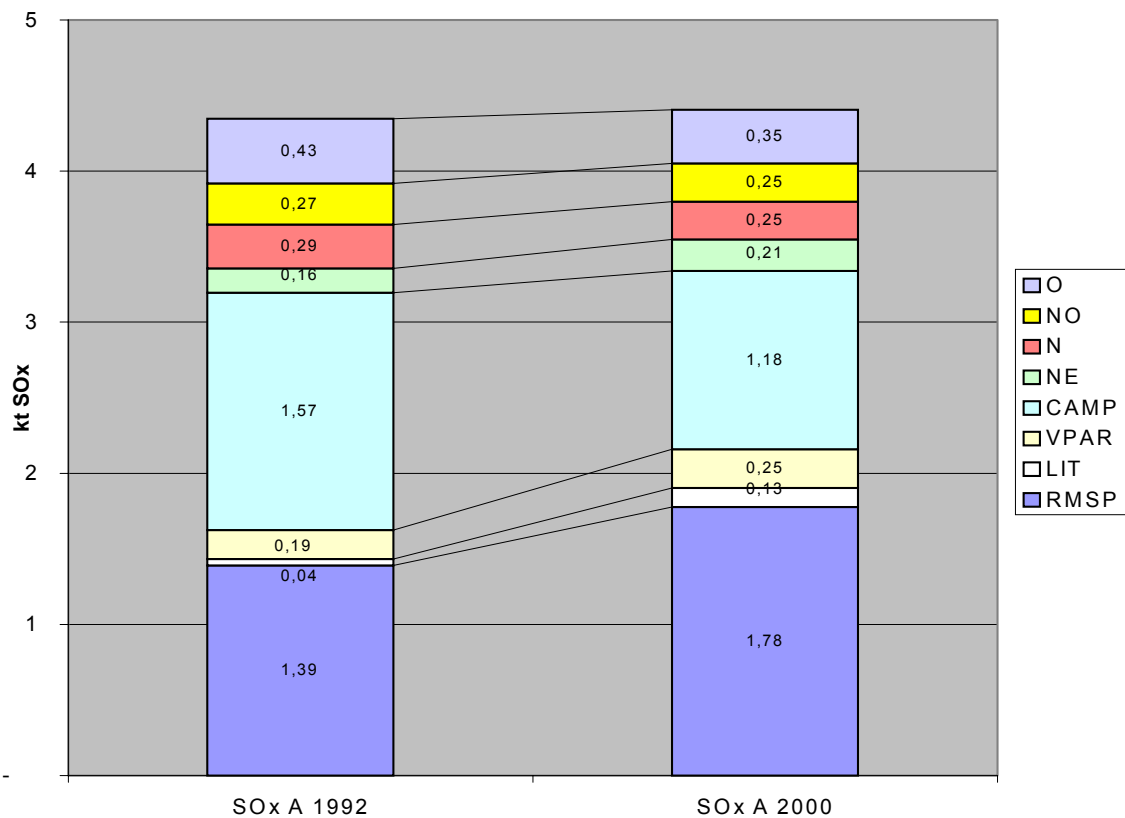


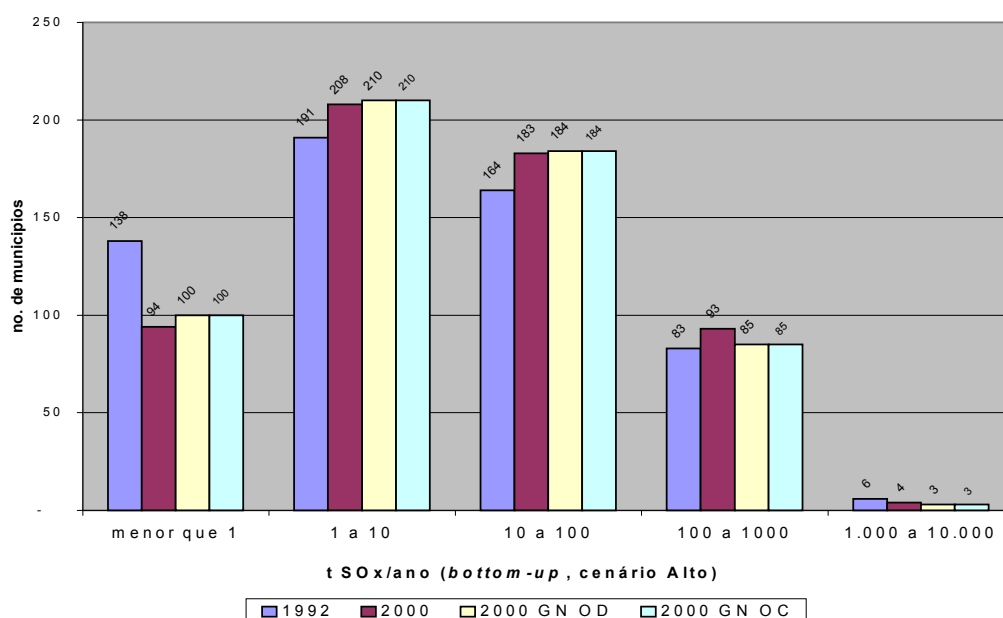
Tabela 4.7. Comparação entre as emissões bottom-up de SO_x em 1992 e 2000, nos cenários Alto e Baixo, por região

RE-GIÃO	SO _x ALTO					SO _x BAIXO				
	t (1992)	% total	t (2000)	% total	%1992-2000	t (1992)	% total	t (2000)	% total	%1992-2000
RMSP	1390	32%	1780	40%	28%	57	32%	74	40%	30%
LIT	41	1%	129	3%	215%	2	1%	5	3%	222%
VPAR	192	4%	255	6%	32%	8	4%	11	6%	34%
CAMP	1570	36%	1180	27%	-25%	64	36%	49	27%	-24%
NE	158	4%	208	5%	31%	6	4%	9	5%	33%
N	290	7%	252	6%	-13%	12	7%	10	6%	-12%
NO	275	6%	253	6%	-8%	11	6%	10	6%	-7%
O	427	10%	354	8%	-17%	17	10%	15	8%	-16%
SP	4350	100%	4400	100%		176	100%	182	100%	

Na Figura 4.16 têm-se as frequências em número de municípios das emissões de SO_x, sob o cenário Alto, para os anos de 1992, 2000 e as projeções de

substituição de óleo diesel e óleo combustível por gás natural. Mesmo com a forte diferença entre os fatores de emissão de SO_x do gás e dos óleos, o perfil mudou pouco. Isso significa que há muita emissão (pelas fontes do *bottom-up*) concentrada em poucas cidades. A faixa caudal direita é, também, muito ampla: de 1.000 a 10.000 t SO_x /ano. Também (e mais uma vez) convém lembrar a desatualização do SIPOL, com muitas indústrias situadas nas maiores cidades.

Figura 4.16. Distribuição das emissões de SO_x segundo frequências de municípios



Os mapas nas Figuras 4.17 e 4.18 mostram as emissões geo-referenciadas por município. O principal efeito é a mudança - para pior - de categoria da Capital paulista. Entretanto, isso não possui correspondência com os dados de qualidade do ar dos relatórios da CETESB, que apontam uma melhora em termos de óxidos de enxofre.

Não há por que contestar tais relatórios: certamente, um fator mais baixo de emissão de óxidos de enxofre por unidade de combustível deve ser adotado em 2000 em relação a 1992, em etapas posteriores de desenvolvimento do modelo.

Figura 4.17. Emissões de SO_x por município, cenário Alto, 1992.

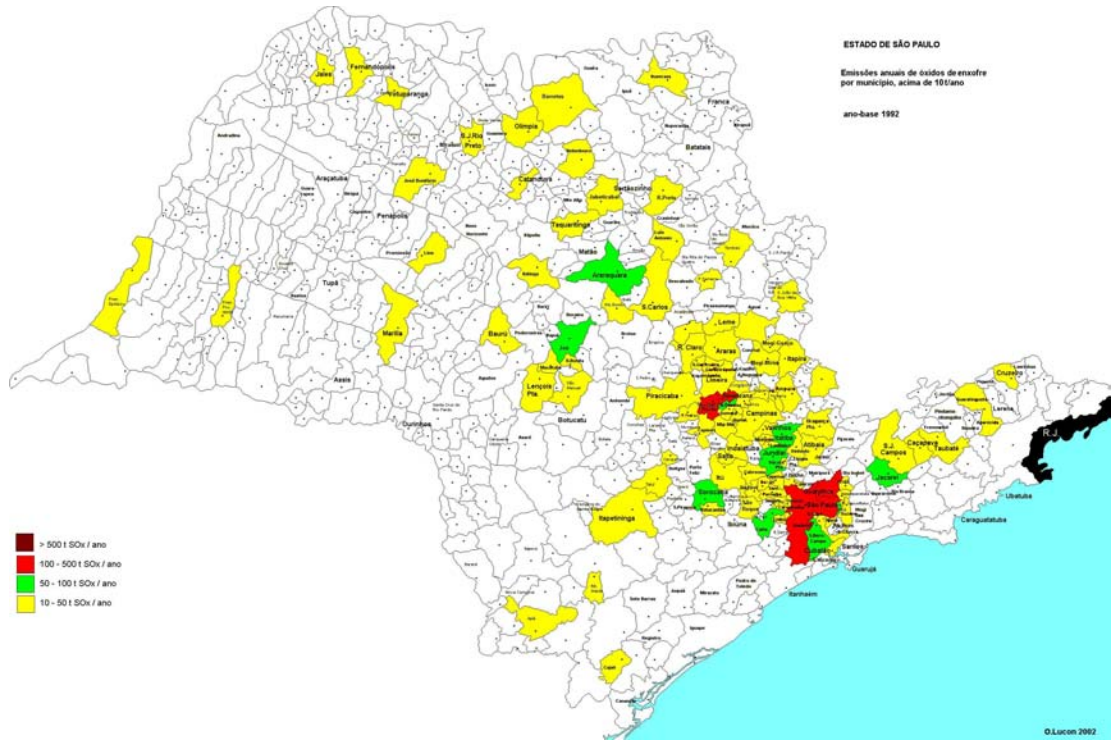
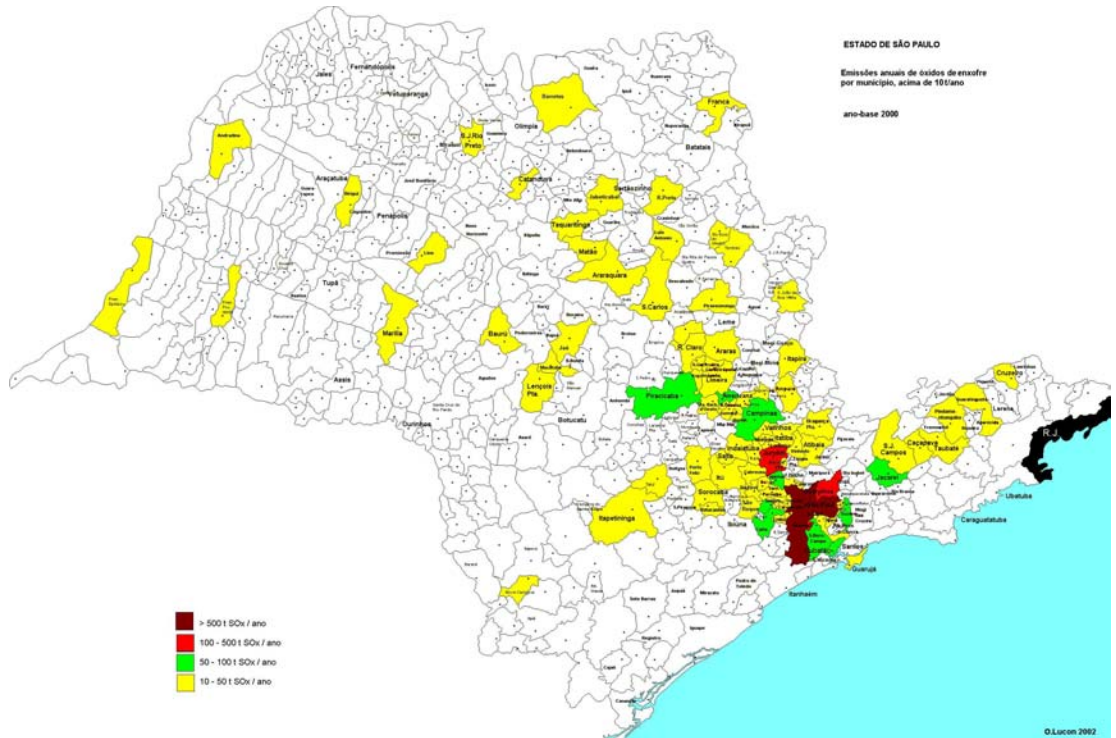


Figura 4.18. Emissões de SO_x por município, cenário Alto, 2000.



O óleo combustível possui teores variados de enxofre. O teor no gás natural é praticamente nulo, comparado com os demais combustíveis fósseis. O teor de enxofre do diesel é um dos principais fatores que determinam a qualidade do combustível, dependendo da origem do petróleo refinado. Quanto melhor sua qualidade (menor teor de enxofre), mais alto seu valor de mercado: a melhoria de qualidade se origina no refino do petróleo com a instalação de uma série de equipamentos para o hidrotreamento e remoção de enxofre. Depende também da qualidade do insumo petróleo. Os teores de enxofre do diesel metropolitano no país eram de 0,5% até 1997 e 0,3% entre 1998 e 2000 e de 0,2% desde 2001.

La ROVERE *et al.* (1999) observam que, "se for implantado o teor de enxofre de 0,05% (nível atual nos EUA e diversos países europeus) as emissões de enxofre se reduziriam 75% em relação aos níveis atuais. Caso o teor seja de 0,005% as emissões poderiam ser reduzidas em 98%. (...) O enxofre, além de contribuir para o aumento da incidência de doenças respiratórias, através de sua emissão atmosférica, prejudica a eficiência de sistemas de pós-tratamento das emissões, como catalisadores e filtros, influenciando as emissões de diversos outros poluentes. Desta forma, a redução do enxofre dos combustíveis ocasiona reduções de poluentes como HC, CO e NO_x tanto na gasolina como no diesel, sendo que neste último ocorre também uma redução da emissão de particulados."

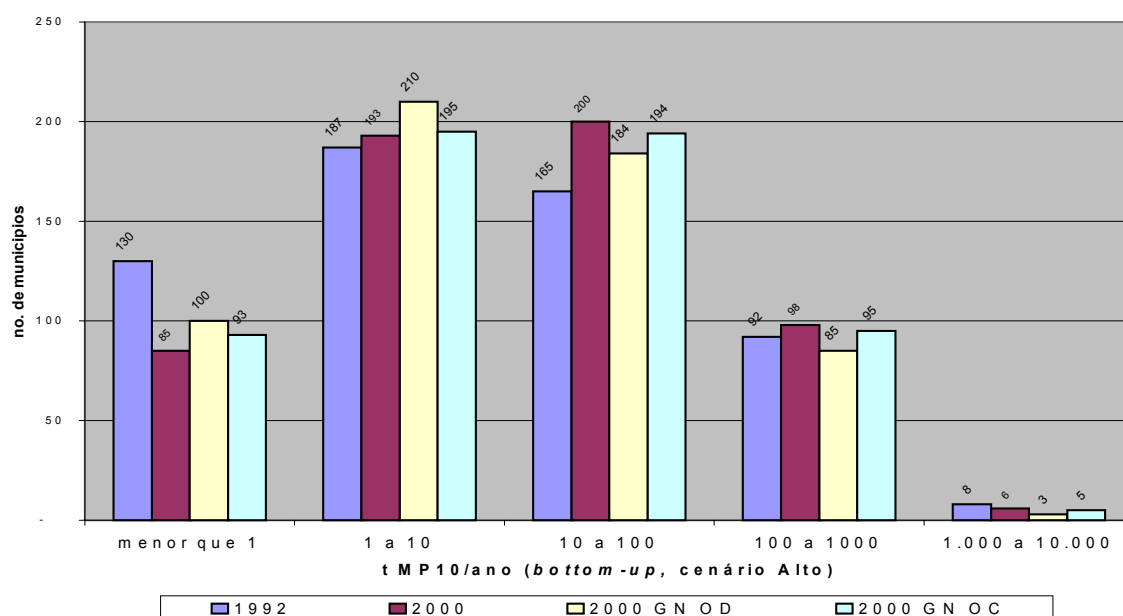
4.3.5. Emissões de Particulados Finos (MP₁₀)

Materiais particulados finos são um tipo de poluição de origens quase impossíveis de enumerar exaustivamente: movimentos de terra, obras civis, práticas agrícolas, ação dos ventos sobre a poeira e terra depositadas, cinzas de queimas, resíduos de operações de mineração, de comércio, como serrarias, emissão direta e indireta por veículos, ou mesmo da atividade geológica de outros continentes. Seus efeitos podem se potencializar devido à toxicidade de seus componentes (como é o caso do amianto liberado das pastilhas de freio de veículos) e efeitos sinérgicos. Para particulados, a componente decorrente da

queima de combustíveis é, assim, bem menor proporcionalmente ao total do que a emissão de NO_x e SO_x .

As figuras seguintes são a síntese dos resultados dos cálculos das emissões de materiais particulados inaláveis, que também podem ser encontrados no CD-ROM. A figura 4.19 aponta as frequências por número de municípios para MP_{10} , cenário Alto, para os mesmos anos e projeções dos outros poluentes.

Figura 4.19. Distribuição das emissões (cenário Alto) de MP_{10} segundo frequências de municípios



No caso dos particulados finos, a cauda da esquerda da curva aparece bem mais pronunciada, pela decisão de escala. A figura 4.20 mostra as emissões regionalizadas de MP_{10} em cenário Alto.

Na Tabela 4.8 se apresentam as agregações regionais das emissões de particulados, comparando-se na escala de tempo e nos fatores alto e baixo de emissões. Novamente, nota-se um forte crescimento em LIT e um decréscimo em CAMP. Interessante é notar que, em N e O, conforme o cenário adotado (Alto ou Baixo), a variação temporal é positiva ou negativa. Isso não deve ser um

exercício de curiosidade, mas um alerta para o estabelecimento e adoção de padrões realistas de emissão.

Figura 4.20. Evolução por região das emissões de MP₁₀

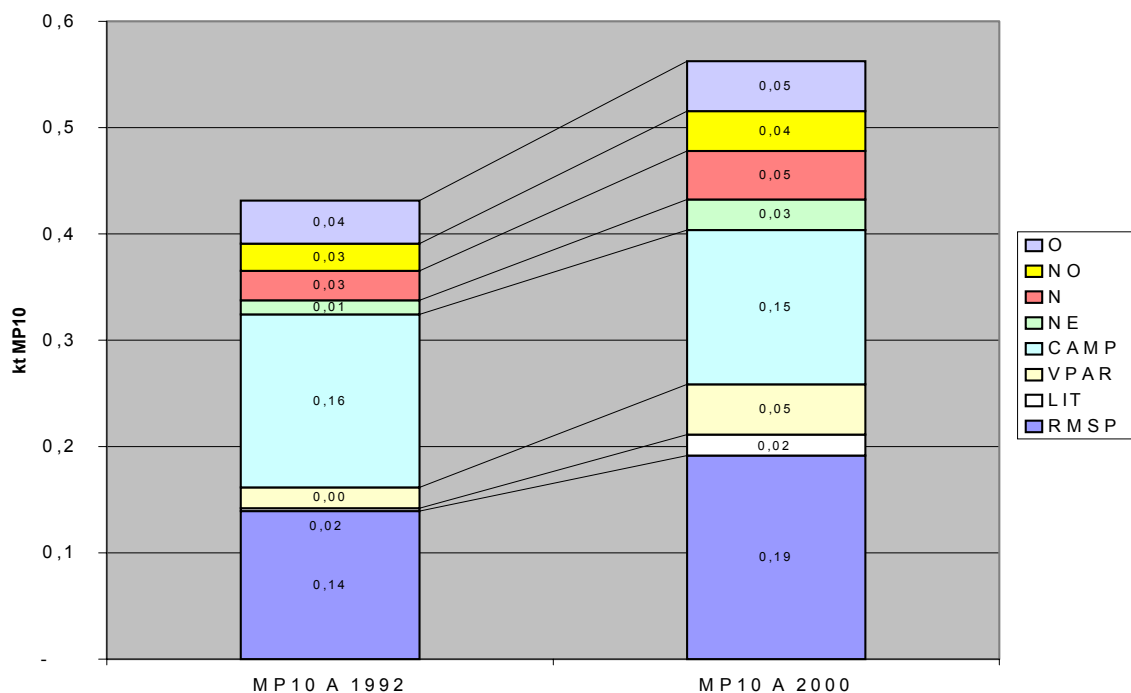


Tabela 4.8. Emissões regionais de particulados finos, bottom-up, 1992-2000.

REG	MP ₁₀ BAIXO					MP ₁₀ ALTO				
	t (1992)	% total	t (2000)	% total	%1992-2000	t (1992)	% total	t (2000)	% total	%1992-2000
RMSP	139	32%	192	34%	38%	1660	32%	2150	41%	30%
LIT	3	1%	20	3%	597%	49	1%	155	3%	218%
VPAR	19	5%	47	8%	144%	229	4%	304	6%	33%
CAMP	163	38%	145	26%	-11%	1870	36%	1420	27%	-24%
NE	13	3%	29	5%	116%	188	4%	248	5%	32%
N	28	6%	46	8%	65%	345	7%	299	6%	-13%
NO	26	6%	38	7%	47%	327	6%	302	6%	-8%
O	40	9%	47	8%	16%	508	10%	423	8%	-17%
SP	431	100%	563	100%		5170	100%	5300	100%	

As figuras 4.21 e 4.22 mostram o geo-referenciamento das MP₁₀ no Estado.

Figura 4.21. Emissões de MP_{10} por município, cenário Alto, 1992.

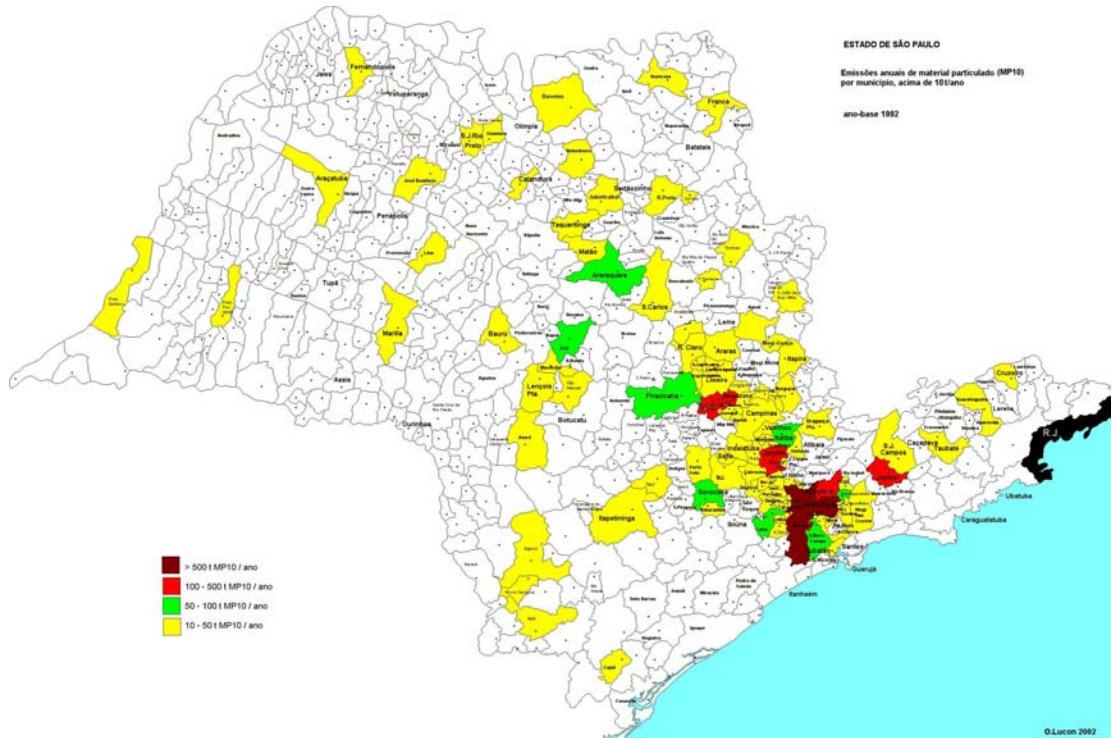
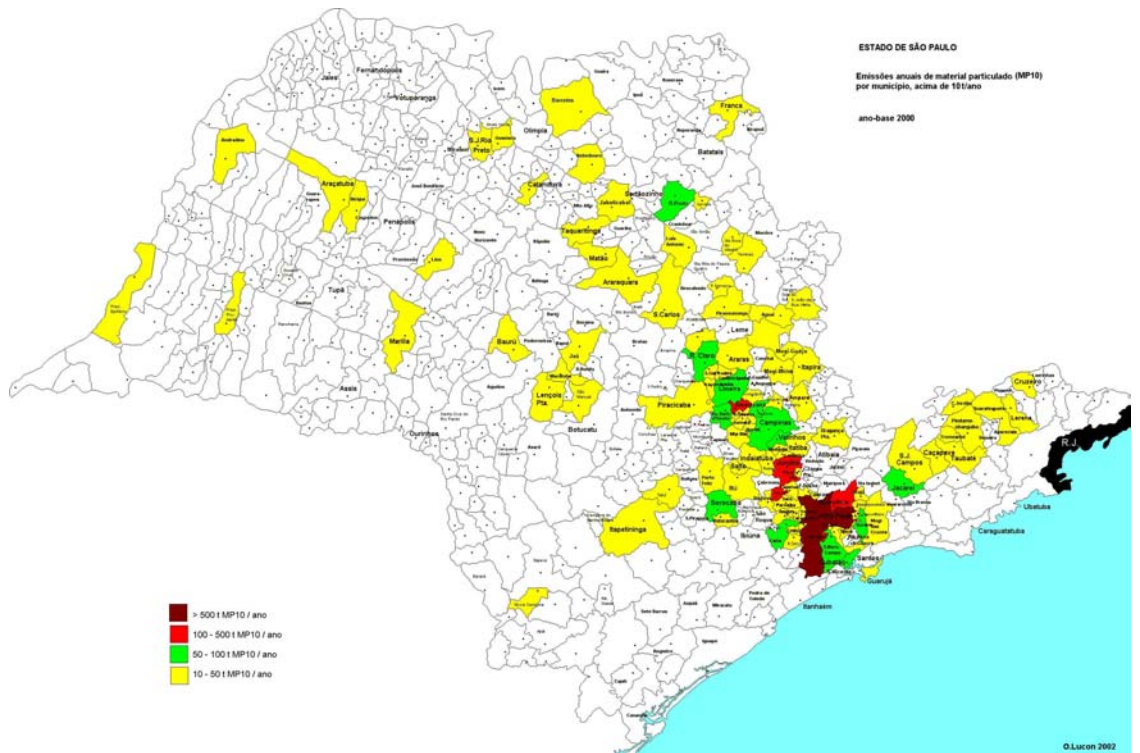
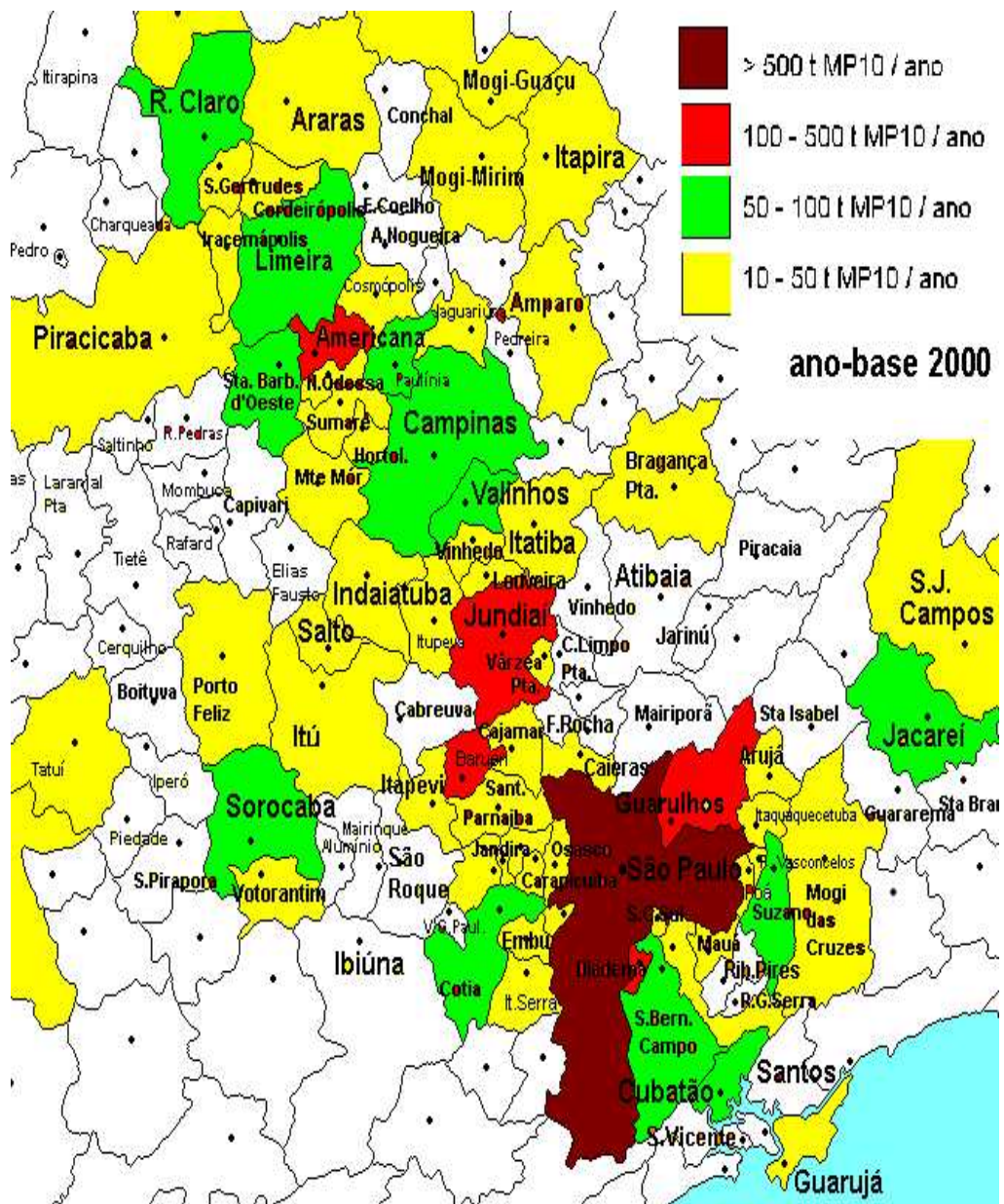


Figura 4.22. Emissões de MP_{10} por município, cenário Alto, 2000.



Além da poluição difusa pela queima da cana, regiões urbanizadas e conglomerados industrializados apresentam uma maior probabilidade de sofrerem problemas com particulados. Esse é o caso do eixo Sorocaba-Vale do Paraíba e Cubatão-Rio Claro, representado no detalhe da Figura 4.23.

Figura 4.23. Emissões de MP_{10} nos eixos da Capital, cenário Alto, 2000.



5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Índice do Capítulo

5.1. ADERÊNCIA DO MODELO HORUS <i>BOTTOM-UP</i>	V-1
5.2. COMPARAÇÕES METODOLÓGICAS ENTRE O MODELO HORUS E RELATOS DA BIBLIOGRAFIA	V-12
5.3. RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	V-21

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Estabelecidas as estimativas de emissões para o modelo HORUS, é preciso validá-lo, compará-lo com outros inventários de fontes fixas realizados na época e região. Para tal, será apresentada a seguir uma avaliação da aderência dos resultados descentralizados (*bottom-up*) obtidos às informações oficiais da CETESB disponíveis.

Em seguida, as principais dificuldades encontradas e os principais sucessos obtidos são comparados com os relatos da literatura e Internet.

Para finalizar, uma série de recomendações sugere as linhas de futuros trabalhos com o modelo.

5.1. Aderência do modelo HORUS *bottom-up*

Infelizmente, não há uma fonte de informação que permita avaliar com precisão a aderência da abordagem *bottom-up* do modelo HORUS.

A referência mais próxima é o Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2000 (CETESB, 2001b), que estabelece uma estimativa de emissões industriais para as regiões Metropolitana de São Paulo, de Cubatão, Sorocaba e Votorantim, São José dos Campos e Campinas. Tais números abrangem as emissões totais de NO_x, SO_x e MP (totais, não somente as MP₁₀ inaláveis), além de HCs (hidrocarbonetos menos metano) e CO (monóxido de carbono).

As estimativas foram feitas sobre uma linha de corte (curva ABC) de 90% do chamado total das emissões industriais, em diferentes datas. Os levantamentos

foram feitos através de amostragens em chaminés e/ou pela aplicação de fatores de emissão (AP-42 da EPA).

Na RMS e em Campinas não é discriminada a emissão por empresa. Segundo o relatório, a partir de um inventário de 22 empresas em Cubatão, uma siderúrgica emitiu 97% das emissões estimadas de MPtotal, 22% dos SO_x e 17% dos NO_x (ano-base 1997). Uma petroquímica emitiu 74% dos NO_x, 55% dos SO_x e somente 1% dos MPtotais (ano-base 2000)⁵⁹.

Estas emissões se referem a todo o processo industrial, ou seja, os gases em estado bruto que saem pelas chaminés das indústrias. Assim, uma siderúrgica emitirá grandes quantidades de SO_x a partir da queima de carvão, assim como uma fábrica de gesso emitirá uma grande quantidade de pó como material particulado. Os insumos, assim, não são somente o gás natural e os óleos diesel e combustível.

As emissões devidas exclusivamente à queima de combustíveis constam do Relatório somente para as cidades de Sorocaba-Votorantim e São José dos Campos. O tipo de combustível não é discriminado, podendo, portanto, ser diferente dos três considerados no modelo HORUS.

O relatório destaca 4 empreendimentos em São José dos Campos onde, em 2000, a refinaria de petróleo da Petrobrás emitiu, segundo o relatório, 97% das 5,06 t/ano NO_x, 92% das 9,44 t/ano de SO_x e 89% das 2,44 t/ano de MP totais. Esta refinaria não consta, por outro lado, do cadastro do SIPOL (e, conseqüentemente, do modelo HORUS), por ser um empreendimento anterior a 1976⁶⁰. Das 4 empresas, a única que está presente em ambas as fontes é a Monsanto do Brasil. Contudo, o Relatório apenas estima as emissões de MP totais, em 2,9 t/ano. O modelo HORUS estimou para a empresa emissões de MP₁₀ (parte dos MP totais) entre 0,34 e 3,73 t/ano. As empresas restantes no relatório são a General Motors

⁵⁹ Apesar das empresas não terem sido expressamente citadas no relatório, são fáceis de identificar na região.

⁶⁰ isso não impede que, numa posterior etapa de refinamentos manuais e nova rodada de cálculos *bottom-up*, este e outros empreendimentos extra-cadastro venham a ser incluídos, da mesma forma com que devem ser removidos os dados de empresas que encerraram suas atividades

do Brasil e a Crylor Indústria e Comércio de Fibras Têxteis Ltda. A primeira, anterior a 1976, que não consta do SIPOL. A segunda, por sua vez, não teve funcionários cadastrados nesta base (FUNC = 0) e a falta de indexador impediu a alocação *bottom-up* do consumo de combustíveis, levando os cálculos do HORUS a emissões nulas para a empresa.

Isso mostra um ponto falho em ambas as fontes de informações: o relatório, que não estimou as demais emissões de poluentes, e a base SIPOL, que não tem cadastrados empreendimentos mais antigos (muitos de grande porte) e informações secundárias que podem ser úteis para estudos (como foi, no caso, o número de funcionários).

Já em Sorocaba-Votorantim, apenas a indústria de cimento S.A. Indústrias Votorantim emitiu, segundo o Relatório 2000, 1,32 t/ano de NO_x (78% do total levantado de 1,69 kt/ano), 1374 t/ano de SO_x (45% do total de 3,07 kt/ano) e 1153 t/ano de MP totais (93% das 1,24 kt/ano). Em comparação, o modelo HORUS estima, para esta empresa, 1,31 t MP₁₀/ano, um valor muito baixo mesmo considerando que os finos são apenas parte dos particulados totais. O universo *top-down* paulista calculado para o ano de 2000 estima as emissões de NO_x dentro da envoltória de 94 a 5683 t/ano do poluente, o que aponta uma certa razoabilidade no fator de emissão que estabeleceu o limite superior (lembrando que essa razoabilidade é relativa, entre dois inventários que erram ao utilizarem fatores de emissão norte-americanos). Mais uma vez, os cálculos do HORUS foram prejudicados pelo reduzido número de funcionários cadastrados para a empresa: 33 no total, incompatíveis com uma grande fábrica de cimento. Também em consequência deste *input*, os valores calculados pelo modelo HORUS para SO_x e MP₁₀ foram drasticamente reduzidos para a empresa.

Pela *top-down*, o setor de cimento emitiu de 14 a 335 t/ano de SO_x e entre 39 e 396 t/ano de MP₁₀. Mesmo não sendo discriminados no Relatório 2000 os combustíveis utilizados pelas Indústrias Votorantim, pode-se dizer que os valores

de SO_x dessa publicação e da abordagem *top-down*, envoltória superior, são coerentes.

Já para os materiais particulados, a análise fica mais difícil, pois o Relatório estima MP totais e o HORUS calcula MP₁₀, particulados inaláveis.

Dos demais empreendimentos de Sorocaba-Votorantim, há 8 no Relatório 2000 que não constam do SIPOL (HORUS), com destaque para a Copenor – Cia Petroquímica do Nordeste, a segunda maior emissora listada da região. Duas pertenciam a setores industriais descartados na *bottom-up*. Outras 3 empresas não tinham o número de funcionários registrado no SIPOL, ficando o *bottom-up* do HORUS sem indexador. As demais empresas que possuem dados em comum no Relatório 2000 e no HORUS são relacionadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Comparação entre os dados do Relatório 2000 (CETESB, 2001b) com os resultados da abordagem bottom-up do modelo HORUS, cenário Alto, por empreendimento, na região de Sorocaba e Votorantim.

Empresa	NO _x (t/ano)		SO _x (t/ano)		MP (t/ano)	
	CETESB	HORUS	CETESB	HORUS	CETESB	HORUS
Aços Villares S.A.	70,5	15,3	136,8	0,9	12,3	1,1
Hartmann-Mapol (papel)	73,0	49,9	107,8	2,6	5,4	3,1
Fiação Alpina	10,8	1,3	31,6	0,1	1,0	0,1
Seiren Têxtil	8,5	1,8	22,7	0,1	11,1	0,1
U.D.V. (bebidas)	20,2	9,1	20,2	0,5	1,1	0,6
Linhanyl Linhas	2,9	53,7	6,3	2,3	0,6	2,9
SPL Pavimentadora (P. Feliz)	5,0	17,7	3,3	1,0	0,1	1,2
Sorocaba Refrescos	2,1	3,2	4,5	0,2	0,4	0,2

Note-se que uma das empresas situa-se em Porto Feliz e é apresentada como em Sorocaba no Relatório 2001. As diferenças entre os dados do Relatório 2001 e os do HORUS podem ser atribuídas a um grande número de fatores. Em primeiro lugar, apresentam poucas informações em comum, o que dificulta a calibração de ambos. A forma com que foram determinadas as emissões do Relatório 2001 não são explicitadas na publicação, mas é de se esperar uma muito maior certeza que

o estágio atual do HORUS. As deficiências específicas deste serão analisadas mais adiante.

O próprio Relatório 2001 (CETESB, 2002b) algumas ordens de grandeza de emissões bastante distintas dos da atualização da consolidação do inventário de fontes de 1990 (CETESB, 1998), chegando a 100 vezes. Modificaram-se as bases geográficas dentre os estudos (em 1998 por critério de Agências Regionais e em 2001 por cidade ou região metropolitana). Mesmo se analisarem verticalmente as relações entre as emissões, isto é, em um mesmo ano, os números não parecem guardar proporções, como se pode ver na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Comparação entre os inventários oficiais de emissões industriais da CETESB, de 1998 e 2001.

Cidade ou região	Emissões (1998)		Emissões (2001)	
	(t SO _x /a)	(t MP/a)	(t SO _x /a)	(t MP/a)
RMSP	36.401	40.963	17.100	31.600
Cubatão	21.088	7.282	30.000	54.690
Sorocaba e Votorantim	42.157	119.148	6.740	1.890
Região Metropol. Campinas	37.726	66.240	31.690	11.290

Não foram incluídos os dados de 2001 para São José dos Campos, pois, em 1990, os dados eram da Regional de Taubaté, que abrangia todo o Vale do Paraíba. A Região Metropolitana de Campinas e as cidades de Sorocaba e S. J. Campos possuem valores separados das emissões por consumo de combustíveis, que representam quase a totalidade das emissões em todos os casos.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados do modelo HORUS para o ano 2000, juntamente com os do Relatório 2001 da CETESB, por ano e região.⁶¹

⁶¹ preferiu-se utilizar o ano-base 2000 para as informações oficiais da CETESB, ao invés do relatório mais recente, de 2001

Tabela 5.3. Informações espaço-temporais comparativas entre os dados do Relatório 2000 e os cálculos bottom-up do modelo HORUS.

Poluente	Local	Ano	Fonte da informação	Emissão (kt/ano)	Obs
NO _x	Estado de São Paulo	1992	HORUS	330,70	cenário Alto (<i>top-down</i>)
		1992	HORUS	5,45	cenário Baixo (<i>top-down</i>)
		2000	HORUS	207,91	cenário Alto (<i>top-down</i>)
		2000	HORUS	3,22	cenário Baixo (<i>top-down</i>)
	RMSP	1990	CETESB	14,0	em 750 indústrias (mais de 90% emissões totais)
		1992	HORUS	25,2	cenário Alto
		1992	HORUS	0,4	cenário Baixo
		2000	HORUS	39,2	cenário Alto
		2000	HORUS	0,6	cenário Baixo
	Cubatão	2000	CETESB	18,07	emissões totais de 22 indústrias
		2000	HORUS	1,88	cenário Alto
		2000	HORUS	0,03	cenário Baixo
	Sorocaba e Votorantim	2000	CETESB	1,69	emissões pela queima de combustíveis em 22 indústrias
		2000	HORUS	1,32	cenário Alto
		2000	HORUS	0,02	cenário Baixo
	São José dos Campos	2000	CETESB	5,06	emissões pela queima de combustíveis em 4 indústrias
		2000	HORUS	0,52	cenário Alto
		2000	HORUS	0,08	cenário Baixo
	Campinas	2000	CETESB	1,6	emissões totais de 64 indústrias
		2000	HORUS	1,3	cenário Alto
		2000	HORUS	0,02	cenário Baixo

(cont.)

Tabela 5.3. Informações espaço-temporais comparativas entre os dados do Relatório 2000 e os cálculos bottom-up do modelo HORUS (cont.)

Poluente	Local	Ano	Fonte da informação	Emissão (kt/ano)	Obs
SO _x	Estado de São Paulo	1998	HORUS	10,89	cenário Alto (<i>top-down</i>)
		1998	HORUS	0,45	cenário Baixo (<i>top-down</i>)
		2000	HORUS	9,77	cenário Alto (<i>top-down</i>)
		2000	HORUS	0,40	cenário Baixo (<i>top-down</i>)
	RMSP	1996	CETESB	17,10	em 245 indústrias (mais de 90% emissões)
		1998	HORUS	1,94	cenário Alto
		1998	HORUS	0,08	cenário Baixo
		2000	HORUS	1,85	cenário Alto
		2000	HORUS	0,07	cenário Baixo
	Cubatão	2000	CETESB	18,07	emissões totais de 22 indústrias
		2000	HORUS	0,08	cenário Alto
		2000	HORUS	0,00	cenário Baixo
	Sorocaba e Votorantim	2000	CETESB	3,07	emissões pela queima de combustíveis em 22 indústrias
		2000	HORUS	0,06	cenário Alto
		2000	HORUS	0,00	cenário Baixo
	São José dos Campos	2000	CETESB	9,44	em 4 indústrias (somente uma emite 8,64 kt/ano)
		2000	HORUS	0,02	cenário Alto
		2000	HORUS	0,01	cenário Baixo
	Campinas	2000	CETESB	5,10	emissões totais de 64 indústrias
		2000	HORUS	0,06	cenário Alto
		2000	HORUS	0,00	cenário Baixo

(cont.)

Tabela 5.3. Informações espaço-temporais comparativas entre os dados do Relatório 2000 e os cálculos bottom-up do modelo HORUS (cont.)

Poluente	Local	Ano	Fonte da informação	Emissão (kt/ano)	Obs	
MP	Estado de São Paulo	1998	HORUS	13,05	MP ₁₀ , cenário Alto (<i>top-down</i>)	
		1998	HORUS	1,09	MP ₁₀ , cenário Baixo (<i>top-down</i>)	
		2000	HORUS	11,77	MP ₁₀ , cenário Alto (<i>top-down</i>)	
		2000	HORUS	1,10	MP ₁₀ , cenário Baixo (<i>top-down</i>)	
	RMSB	RMSB	1996	CETESB	31,6	MP totais em 308 indústrias (mais de 90% emissões)
			1998	HORUS	2,3	MP ₁₀ , Cenário Alto
			1998	HORUS	0,2	MP ₁₀ , Cenário Baixo
			2000	HORUS	2,1	MP ₁₀ , Cenário Alto
			2000	HORUS	0,2	MP ₁₀ , Cenário Baixo
	Cubatão	Cubatão	2000	CETESB	54,69	emissões totais de 22 indústrias
			2000	HORUS	0,01	MP ₁₀ , Cenário Alto
			2000	HORUS	0,00	MP ₁₀ , Cenário Baixo
	Sorocaba e Votorantim	Sorocaba e Votorantim	2000	CETESB	1,24	emissões pela queima de combustíveis em 22 indústrias
			2000	HORUS	0,08	MP ₁₀ , Cenário Alto
			2000	HORUS	0,00	MP ₁₀ , Cenário Baixo
	São José dos Campos	São José dos Campos	2000	CETESB	2,44	em 75 indústrias
			2000	HORUS	0,03	MP ₁₀ , Cenário Alto
			2000	HORUS	0,00	MP ₁₀ , Cenário Baixo
	Campinas	Campinas	2000	CETESB	3,80	em 75 indústrias
			2000	HORUS	0,07	MP ₁₀ , Cenário Alto
			2000	HORUS	0,00	MP ₁₀ , Cenário Baixo

Da análise, podem-se elaborar alguns comentários. Em primeiro lugar, o modelo HORUS, como muitos outros, é muito sensível a deficiências cadastrais, especialmente as do SIPOL. O modelo é mais preciso em setores pulverizados, como os de alimentos e bebidas e têxtil, onde se diluem erros cadastrais.

Grandes empreendimentos anteriores a 1976, não cadastrados no SIPOL, representam uma enorme lacuna a preencher. Além disso, faltaram dados indexadores de número de funcionários. Por essa razão, os mapas das emissões por município não mostram grandes manchas de poluição fora da Capital. Também por esse motivo, as emissões residuais são excessivamente distribuídas entre municípios de menor porte. Acredita-se, assim, que os mapas devam ter menos municípios na cor amarela e mais nas cores verde e vermelha do que o que foi representado. Por outro lado, esses grandes empreendimentos podem ter seus dados aferidos mais objetivamente, quer por visitas em campo, quer por um estudo mais detalhado de fatores de emissão além dos valores *default*.

A abordagem *top-down* indica que os fatores de emissão de NO_x, cenário Alto, geram números de ordem de grandeza compatíveis com os do Relatório 2000. As emissões de NO_x, cenário Baixo, parecem estar longe de nossa realidade. Os óxidos de nitrogênio são os poluentes que mais diretamente podem ser associados à queima, em fontes industriais, dos três combustíveis contemplados (GN, OD e OC).

Ainda que não constem outros na base *FIRE*, os valores *default* de fatores de emissão de SO_x e MP₁₀ podem ter sido subestimados, mesmo os do cenário Alto. Não há como definir ou aplicar fatores mais precisos sem um trabalho de campo. Outro fator a considerar é o de que vários outros processos que não a combustão podem emitir tais poluentes, especialmente o material particulado.

À medida em que se disponibilizaram as fontes de informações, verificaram-se as limitações que um primeiro modelo teria de enfrentar: falta de uma nomenclatura e setorização comuns, atualizações descontinuadas, agregação de informações e

dados, além de objetivos diversos que levaram à constituição de cada base, dentre outros. Foram necessárias admitirem-se, assim, algumas simplificações, como as de tipologia industrial. Residências, estabelecimentos comerciais e institucionais não foram contemplados, pela falta de informações abrangentes e consistentes nas bases estudadas, além de sua menor importância relativa em termos de consumo de combustíveis. Uma grande limitação foi o setor energético, forte consumidor de combustíveis, não tinha nas bases de dados condições que permitissem separar usinas hidrelétricas de refinarias de petróleo. As fontes móveis não foram consideradas em princípio, mas podem incorporar-se futuramente à modelagem, desde que haja uma base de dados que as localize no espaço.

Assim, o estudo abordou somente determinados setores da indústria paulista, em que os cadastros permitiam a modelagem. Outras restrições também foram tomadas, como a seleção de determinados poluentes e combustíveis. Do contrário, o elevado número de parâmetros (empreendimentos, combustíveis, portes de indústrias e fatores de emissão) permitiria, com facilidade, elevar as quantidades de resultados a casas acima das condições operacionais disponíveis.

O ano de referência adotado para se realizar a conexão em função do número de funcionários e área construída foi o de 1998, última atualização do SIPOL disponível. Buscou-se, assim, a Pesquisa Industrial do IBGE do mesmo ano para se obter o universo de trabalhadores nos diversos setores industriais.

Infelizmente, o cadastro do SIPOL não é atualizado anualmente. Assim, registros de números de funcionários podem referir-se a anos anteriores a 1998, independentemente de novas contratações ou demissões. Em alguns setores, o total de funcionários da amostra ultrapassou o universo determinado pelas estatísticas oficiais do IBGE.

Outra dificuldade está na setorização de cada empreendimento. Além da possibilidade de erros de digitação, o SIPOL mantém a classificação do IBGE de

1985, enquanto o BEESP, assim como o (como o Balanço Energético Nacional – BEN), adota códigos⁶² que diferem da atual classificação IBGE-CNAE, adotada na Pesquisa Industrial 1998.

Tornaram-se, assim, necessárias algumas adaptações, limitando o alcance do modelo em relação a determinados setores. Tais adequações, contudo, serão sanáveis quando se tiverem valores mais coerentes entre a amostra do SIPOL - pela melhoria do cadastro - e o universo do IBGE, bastando para tal recalcular os fatores de proporcionalidade “K”.

Às outras bases de dados, como já discutido anteriormente, também cabem observações. Em especial, citem-se a falta de atualização do BEU 1993, a incompatibilidade na setorização industrial da Pesquisa do IBGE com os Balanços Energéticos e com o SIPOL e a imprecisão na utilização para as condições brasileiras dos fatores de emissão da base *FIRE*.

5.2. Comparações metodológicas entre o modelo HORUS e relatos da bibliografia

Os principais pontos polêmicos são citados em *itálico*, seguidos da comparação da bibliografia. Para facilitar a compreensão, preferiu-se situar este tipo de abordagem após a apresentação e discussão dos resultados ao invés de junto com o Capítulo 2.

O modelo HORUS é uma ferramenta que não pretende responder a todos os questionamentos sobre a falta de um inventário consistente de emissões industriais em São Paulo. Da mesma forma, KIM (1995) descreve as etapas para se ter um inventário nacional de emissões de poluentes locais do ar, gases de efeito estufa e substâncias destruidoras do ozônio estratosférico na Coréia. Os principais problemas estão na falta de informação sobre fatores de emissão,

⁶² das portarias SRF 907 de 28/02/1989 e 962 de 29/12/1987

localização das fontes, definição de emissões pontuais, fontes difusas, controle de qualidade e gerenciamento da informação por computadores.

NAKICENOVIC, GRÜBLER e McDONALD (1998), ao discutir a metodologia de integração de inventários de emissão e seus efeitos (inclusive os modelos RAINS e MESSAGE III da IIASA), ressaltam a importância da reprodutibilidade dos cálculos para sua validade. Para isso, é necessária uma suficiente transparência das informações.

Nem mesmo nos EUA o problema está equacionado. SASNETT e MISENHEIMER (1995) descrevem as exigências da EPA para a informação de emissões estaduais. Desde o final da década de 1970, a agência federal exige dados com abrangência geográfica de condado (*county*) para SO₂, MP₁₀, Pb, CO, NO_x e COVs. Posteriormente foram incluídas outras emissões tóxicas. A cada 3 anos são pedidas as emissões por fontes individuais que responsáveis por mais do que 80% do total. Todos os valores devem ser informados através de código de classificação de fonte (SCC). Exigem-se atualizações sempre que ocorrerem mudanças nos processos ou nas operações. Ao coletar informações de diferentes autoridades regulatórias, a EPA federal encontra diversos problemas de conciliação. O objetivo é implementar o conceito de balcão único (*one-stop*) de consolidação das informações de emissão, licenciamento e outras atividades regulatórias. Os autores reconhecem que esse conceito não será implementado do dia para noite.

A classificação das fontes industriais (BEESP 1992-2000, BEU 1993, PIA-IBGE 1998, SIPOL e FIRE 2000) precisou ser conciliada no HORUS. Estudos de decomposição fornecem uma técnica útil para identificar a extensão pela qual as mudanças na demanda energética e nas consequentes emissões de poluentes podem ser atribuídas a metas de políticas governamentais energéticas e ambientais (incluindo taxaço, padrões regulatórios, incentivos financeiros e programas de informação), em oposição a efeitos colaterais de mudanças econômicas. ANG e SKEA, (1994) desagregam 29 setores industriais, até o

terceiro nível da classificação industrial padrão (*Standard Industrial Classification* - SIC) concluindo que, na medida em que a desagregação setorial aumenta, aumenta também o nível de incerteza, uma vez que não há informações claras sobre todo o espectro industrial neste nível de detalhe. Semelhante dificuldade ocorre na escala de tempo, uma vez que é muito difícil se avaliarem as mudanças estruturais de forma pulverizada e cronológica. SPOTT (1995), citando um estudo de emissões tóxicas para indústrias têxteis na Carolina do Norte, aponta diversos problemas ao analisar as bases de dados de inventários, dentre eles a mudança nos códigos e a indefinição exata do processo aplicado, principalmente quando se estende o escopo dos inventários para além de fatores mais simples, como a queima de combustíveis fósseis.

Por praticidade, recursos de hardware e custo, foram utilizados softwares comerciais convencionais: banco de dados MS-Access e planilhas eletrônicas MS-Excel. ATTENHOFER (1995) defende o uso de planilhas de dados *Excel* e a utilização da linguagem *Visual Basic* ao invés de bases de dados e programas de computador complicados para inventários. SOUTEN, SHEPARD e HEIKEN (1995) recomendam a plataforma MS-Access para sistemas de gerenciamento de bases de dados de inventários e modelos ambientais, pelo preço acessível, por ser conhecida do grande público e pelos recursos, em especial a conexão com as planilhas eletrônicas *Excel*.

O modelo HORUS associa os principais usos finais (do BEU 1993) e energéticos envolvidos (do BEESP, 1992 e 2000) para determinar as emissões setoriais, passadas e projetadas. Da mesma forma, MANZINI e MARTÍNEZ (1999) utilizam-se de inventários ao propor uma metodologia de avaliação de impactos de tecnologias de geração de energia. Seis parâmetros-chaves foram escolhidos: qualidade, quantidade, renovabilidade, possibilidade de manutenção, eficiência e sustentabilidade da tecnologia de uso final. Dentre os combustíveis analisados incluem-se as fontes renováveis, os óleos diesel e combustível e o gás natural. As tecnologias de uso final incluem as eletromagnéticas (iluminação e eletrocomunicações), mecânicas (motores móveis e fixos) e térmicas

(aquecedores de água, queimadores, fornos, caldeiras, refrigeradores e condicionadores de ar). NO_x , SO_x e particulados estão entre outros poluentes analisados. O sistema estabelece interações entre 85 pares de uso final e insumos energéticos. Aplica, em seguida, os 6 parâmetros, para 3 cenários: (a) *status quo* de tecnologia média utilizada; (b) *conservação*, para a melhor tecnologia disponível e; (c) *sustentável*, para a tecnologia de eficiência avançada. Em um estudo de caso para o México, pontua qualitativamente os impactos. Uma dificuldade encontrada foi a falta de dados disponíveis sobre os impactos de novas tecnologia sobre o ambiente.

Adotaram-se fatores de emissão gerais (a partir da base FIRE, AP-42); mesmo esses fatores representaram uma envoltória muito ampla de possibilidades de emissões específicas. BADLENTINE e DICKSON (1995) analisaram as emissões de SO_2 pela combustão em indústrias no oeste dos EUA, sudoeste do Canadá e noroeste do México, e discutiram a questão das incertezas nas estimativas de emissões, no caso da ordem de 50%. RINGLER e JONES (1995) descrevem um inventário de emissões de 18 poluentes atmosféricos tóxicos pela queima de combustíveis em caldeiras nos EUA. Consideraram 2 tipos de óleo, 3 de carvão, mais gás natural. Os autores concluem que os fatores de emissão da EPA/AP-42 não são representativos: apenas um terço deles estavam na mesma ordem de magnitude dos fatores desenvolvidos por outros métodos. O trabalho foi enviado à EPA para a atualização dos fatores de emissão.

O método de cálculo de emissões do HORUS toma o consumo específico por setor (top-down) ou por empreendimento (bottom-up), aplicando fatores de emissão. A metodologia *bottom-up* do HORUS é semelhante, quanto aos cálculos de emissão, à de BALDASANO, COSTA e BELLOD (1995), que utilizaram os fatores de emissão de NO_x , SO_2 e MP para 384 processos de combustão, inclusive industriais, do *CORINAIR*. O estudo foi feito para a região de Barcelona, Espanha, com resolução espacial de 1 quilômetro quadrado e opções para a escala de tempo variando de horária a anual. Também semelhante é o método bastante detalhado apresentado por VEAUX, KARL e RENTZ (1995),

utilizado para determinação de emissões de metais pesados por fontes estacionárias de combustão na Alemanha em 1992. As fontes foram classificadas por critérios de composição do combustível (carvão e óleo residual), tipo de caldeiras, forma de operação e equipamentos de controle de poluição. Já a metodologia *top-down* é encontrada em diversos estudos, em níveis de agregação até nacionais, caso do relatório sobre os perfis de emissões de NO_x, SO₂, CH₄ e CO₂ do setor energético brasileiro, realizado pelo WEC (2001).

Por não haver atualização constante no SIPOL, a escala temporal do modelo HORUS não incorpora alterações nos perfis topológico e tecnológico da indústria paulista, mas somente as variações nos balanços energéticos. Entretanto, montada a estrutura, tais alterações poderão ser incorporadas, na medida em que se gerem tais dados. BARNARD, SALOMON e WILSON, (1995a) discutiram a incorporação de informações de inventários estaduais de emissão no nacional da EPA, que abrange, dentre outros poluentes, SO₂, NO_x e MP₁₀. Naquele ano, a Internet já era utilizada para a transferência de informações. Os maiores problemas encontrados foram os dados difusos sobre precursores de ozônio troposférico, as coberturas geográfica e temporal e as mudanças no tamanho da base de dados. O inventário nacional de 1990 continha aproximadamente 160.000 registros, valor que crescia para meio milhão se fossem incorporadas as informações estaduais de fontes pontuais. Para fontes fixas, o inventário nacional registrou em 1990 um total de 2,05 milhões de toneladas (*short tons*) de NO_x⁶³. Para o desenvolvimento da estrutura da modelagem são necessárias a especificação dos poluentes e de seus mecanismos de formação, as fontes de emissão, a consistência das estimativas, a resolução e extensão da rede geográfica e as tecnologias de controle selecionadas. Por limitações de tempo e recursos, uma aproximação inicial pode ser utilizada baseando-se em outros modelos e bases existentes, até que enfoques mais eficientes possam ser no futuro desenvolvidos (BENJEY, 1995) Para futuros refinamentos, pode-se aplicar um modelo que relaciona produtividade com mudanças tecnológicas em indústrias energo-intensivas brasileiras, indianas e

⁶³ equivalentes a 1,86 Mt NO_x

coreanas, desenvolvido por SCHUMACHER, SATHAYE e ROY (2001) a partir de estatísticas nacionais.

Também por falta de informações oficiais detalhadas, VIGUIER (1999) relatou problemas em análises desagregadas. O autor analisou por balanços energéticos dos principais setores econômicos as emissões de SO₂, NO_x e CO₂ em 3 países da Europa Oriental (Hungria, Polônia e Rússia) e 3 países da OECD (França, Reino Unido e EUA) no período entre 1971 e 1994. A intensidade de emissões dos países de economia em transição foi muito maior do que a dos países desenvolvidos, principalmente devido a altas intensidades energéticas. As mudanças nas intensidades de emissão foram decompostas em quatro componentes: (a) fatores de emissão; (b) matriz de combustíveis; (c) estrutura econômica e; (d) intensidade energética. O método de balanço de energia também é chamado de *bottom-up* pelos autores. Emissões setoriais por combustível em cada país foram determinados pela multiplicação do consumo de combustível pelo fator de emissão. As emissões agregadas dos diferentes combustíveis consumidos fornecem o total de emissões do país em um dado ano. A necessidade de estimativas de emissões de poluentes atmosféricos em países da Europa do Leste se justifica por diversos motivos. O primeiro é a qualidade dos dados oficiais, falhos em 3 critérios principais: exaustividade, transparência e consistência. O nível de desintegração é geralmente insuficiente para permitir uma análise detalhada. As metodologias empregadas por órgãos oficiais socialistas para avaliar as emissões não são especificadas e a devida aplicação dos métodos pode ser também questionada. O interesse em melhorar tais informações reside no fato que tais países contribuem para a poluição transfronteiriça na Europa, cujos acordos e negociações internacionais se baseiam em informações de emissões de SO₂ e NO_x. A metodologia se baseou em dados de consumo de energia primária e valores básicos de emissão para cada combustível por país. Os setores foram desagregados em somente três categorias: indústria, transporte e outros. Em 1994, os fatores de emissão nos seis países variaram para a indústria entre 1,4 e 2,8 t CO₂ por tep; 3,6 a 12,0 kg NO_x por tep e 7,8 a 39,9 kg SO₂ por tep. As intensidades de emissões reduziram-se na França

após a introdução da política de energia nuclear. No Reino Unido verificou-se uma redução na intensidade de SO₂ da ordem de 70% no período de 1971-94, também pelo fator nuclear e pela substituição de combustíveis, em especial a de carvão por gás na indústria de energia. Nos EUA verificou-se uma redução de 24% para CO₂, 23% para NO_x e 34% para SO₂, principalmente pela redução na intensidade energética e substituição dos combustíveis. Assim, a mais significativa contribuição para a redução nas emissões dos países ocidentais no período foi a redução da intensidade energética, conduzida pelos aumentos nos preços da energia, pelo progresso tecnológico e pelas mudanças estruturais na indústria, provocadas ou aceleradas por dois choques do petróleo e por avanços regulatórios em economia de energia e controle de poluição.

Lacunas de informações podem se dar tanto por inexistência quanto por descontinuidade de projetos existentes de inventários. Apesar do significativo progresso feito na determinação de sistemas de comando e controle e incentivos de mercado, descontinuidades de informação ainda prejudicam análises estratégicas de políticas ambientais. Na maioria dos países e para muitas atividades, não existe uma base de informações dos perfis de poluição por atividades em particular, que permita avaliações confiáveis do impacto causado por atividades econômicas, subsidiando adequadamente tais políticas. *A finalidade do modelo HORUS segue o raciocínio de KASSINIS (1998), que propõe o uso de estimativas de poluição por atividades industriais para preencher parte das lacunas de informação existentes. O autor toma como base fontes publicadas de informação e permite aos analistas obter uma estimativa de ordem de magnitude da poluição gerada por uma atividade industrial. O modelo é setorial, associando a cada tipologia de indústria os poluentes, processos, sistemas de controle e níveis de operação. Como ilustração, estima as emissões de poluentes do ar de uma refinaria de petróleo em dois diferentes cenários de operação. Utilizando os fatores de emissão da AP-42, concluem pela necessidade de informações complementares, como a matriz de produção. Uma variável que não pode ser controlada através do modelo é a forma pela qual uma indústria específica opera seu processo e pratica sua manutenção. Por esta razão, uma*

mesma tecnologia pode ter diferentes desempenhos. Entretanto, tal deficiência não retira do modelo a possibilidade de estimar ordens de magnitude, informações úteis para um gerenciamento ambiental mais custo-efetivo. *As semelhanças metodológicas entre o modelo HORUS e o artigo de KASSINIS (1998) incluem as fórmulas adotadas por esse autor. Semelhanças nas fórmulas também são encontradas com o estudo de KLIMONT et al. (2001), que projetam as emissões de SO₂, NO_x e COVs para países da Ásia do leste até 2030, considerando características específicas locais para 10 categorias de fontes fixas e móveis: informações de atividade, fatores de emissão e tecnologias de abatimento.*

Apesar de incluídos na abordagem top-down do HORUS (válida para o Estado de São Paulo como um todo), muitos setores possuíam dados insuficientes para a bottom-up (geograficamente localizada) e foram desconsiderados. Um problema semelhante foi relatado por PAI, HEISLER e JOSHI (1998), ao desenvolver um modelo específico para emissões de mercúrio (Hg) para toda a extensão dos EUA. Os dados de entrada abrangeram, dentre outros processos, a queima de combustíveis (carvão, óleo e madeira). As informações partiram do inventário de emissões da EPA, ano-base 1990, disponível para COVs, NO_x, CO e SO₂. Dados de produção partiram de questionários de pesquisa enviados às indústrias e de informações sobre as usinas termelétricas reunidas de estatísticas oficiais. O desvio-padrão para os fatores de emissão chegavam a 81% de suas médias. Outra dificuldade foi a incerteza sobre o fator de capacidade de cada planta, estimado em 85%. Diversas fontes menores de poluição não foram computadas, por não constar do cadastro. Alguns setores maiores, como os incineradores de resíduos hospitalares, não possuíam quantidade satisfatória de dados para o inventário e também foram desconsiderados. Da mesma forma, não se incluíram as emissões do Canadá e emissões por fontes difusas, como oceanos, vegetação, incêndios e solos. Os autores ressaltam a grande variabilidade entre os combustíveis - notadamente o carvão - e concluem que a redução das incertezas dos fatores de emissão estimados para as principais fontes requer um melhor conhecimento dos

efeitos dos processos de combustão e dos mecanismos de controle final de emissões.

Assim como no HORUS, também por falta de outro parâmetro indexador, o cálculo das emissões industriais de COVs pelo modelo REKLIP levou em consideração o número de empregados como linha de corte. Descrito por PONCHE, SCHNEIDER e MIRABEL (2000), o projeto REKLIP de inventário abrangeu o vale do Rio Reno, cobrindo uma região densamente povoada e industrializada da França, Suíça e Alemanha. A área de 250 km por 80 km foi dividida em células de 1 km². A resolução temporal foi de 3 anos e a precisão horária. Os compostos considerados foram: SO₂, NO_x, CO, COVs (inclusive CH₄ por fontes antropogênicas) e, para fontes específicas, HCl (ácido clorídrico). As entradas do modelo compunham 8 tipos de combustível (2 de carvão, 2 de óleo, 2 de gás e 2 de resíduos). As fontes de emissão consideradas foram as superficiais (inclusive o florestas), lineares (rodovias não-urbanas e hidrovias) e pontuais (44 setores, sendo 20 industriais, especialmente químicas, de cerveja, farmacêuticas, de papel e usinas termelétricas). Uma grande dificuldade foi conciliar e gerenciar as diferentes contribuições dos cadastros dos países. Os autores recomendam que o inventário seja atualizado a cada cinco anos e que seja testado junto a outros modelos. *Semelhante abordagem foi adotada por ROE et al. (1995), que descrevem o estudo de caso da California Air Resources Board (CARB) ao desenvolver estimativas de emissões de COVs emitidos pelo uso de solventes, com particular interesse em maiores detalhes nos tipos de substâncias utilizadas e tipos de equipamentos envolvidos. Foram comparados inventários top-down (informações de produção, distribuição e padrões de uso final dos solventes) e bottom-up (uma mala direta e uma pesquisa por telefone, junto a fabricantes, distribuidores e usuários). As emissões foram determinadas para condados (counties), distritos e estado. Em ambos os enfoques havia uma alta margem de incertezas. Para o top-down, os dados primários brutos, pouco precisos, foram obtidos para apenas 5 solventes. A locação de dados se baseou numa estimativa antiga de atividade econômica, não diretamente relacionada à indústria de solventes que gerou a emissão, pois não era possível comparar através da*

classificação industrial padrão (SIC - Standard Industrial Classification). Também não havia informação sobre o método de utilização do solvente. O principal problema associado com a abordagem *bottom-up* é a cobertura de todas as categorias de fonte. Uma vez que a fonte primária de dados é uma pesquisa de usuários, a amostragem precisava ser representativa para todo o universo. Uma pesquisa muito abrangente, por outro lado, se tornaria muito cara e demorada. A pesquisa baseou-se em 140 telefonemas e um extenso controle de qualidade. Uma amostra de 1527 empresas também foi selecionada para entrevistas, das quais 49% se mostraram qualificadas para a pesquisa e apenas 7% se recusaram a participar. O modelo de emissão utilizou como variáveis a produção e o consumo líquido de solventes, ou seja, retirando-se a fração reciclada *e dividido-se pelo número de empregados no empreendimento.*

5.3. Recomendações finais

O objetivo deste estudo foi a construção de um modelo dinâmico que permitisse, em uma primeira aproximação e a partir de bases de dados existentes, avaliar e prever emissões localizadas de poluentes atmosféricos pela queima de combustíveis.

Este modelo, como se pôde ver no presente estudo, foi aplicado para estudos de caso pretéritos (cenários com referência nos anos de 1992, 1998 e 2000) e projeções futuras (substituição de óleos diesel e combustível por gás natural), obtendo resultados satisfatórios para as emissões dos principais poluentes atmosféricos liberadas pelos setores industriais onde foi possibilitado pela consistência dos dados.

Há diversos refinamentos possíveis. Em primeiro lugar, a envoltória delimitada pelos cenários Alto e Baixo representa uma zona de probabilidade, que deve ser aferida pela verificação em campo das emissões específicas de poluentes por cada tipo de processo. Percebe-se claramente que há uma séria dificuldade no que

diz respeito à escolha de fatores de emissão. Entre os cenários Alto e Baixo, os fatores de NO_x máximos são de 60 a 89 vezes mais elevados. Os fatores para SO_x emitido tanto pelo diesel quanto para o óleo combustível variaram numa ordem de 24 vezes. Para o óleo combustível, a relação entre fatores de emissão de MP₁₀ chega a 43 vezes. Essas grandes margens de imprecisão servem de alerta para os que interpretam os resultados do HORUS e de outros modelos. Servem também de alerta, principalmente , para os técnicos que, de maneira pontual, substituem um monitoramento na indústria pela adoção de um fator de emissão em suas atividades de licenciamento. Enquanto tais fatores não forem aferidos junto às condições reais, tais erros se propagarão.

Outra verificação experimental do uso do HORUS foram as auditorias nas bases de dados, as verificações de consistência nos resultados finais que remetem a pontos críticos dos cadastros (em especial o de fontes) que precisam ser verificados e corrigidos. Essas duas alterações são bastante significativas e não tiram o caráter automático do modelo, uma vez que são feitas diretamente nas bases SIPOL e *FIRE*.

Somente após essa primeira etapa de saneamento, com novas rodadas de cálculos no modelo, é recomendável se fazerem alterações mais estruturais, como as que se referem às rotas de combustíveis (coeficientes de alocação e de eficiência energética).

Assim como em toda base de dados, recomenda-se que a atualização seja feita por um grupo restrito de pessoas. Por ser distributivo, o modelo é muito sensível para erros de digitação. Por outro lado, sua transparência e rastreabilidade permitem rapidamente aferir esses erros.

Por distribuir proporcionalmente o consumo de combustíveis dentro de um mesmo setor industrial em função de parâmetros comuns como o número de funcionários ou a área construída, há limitações mais evidentes à metodologia.

Tal ferramenta poderá ser refinada, à medida em que os próprios dados disponíveis assim o permitam.

O modelo permite diversos tipos de desagregação: geográfica (de estadual até o nível de empreendimento dentro de uma mesma empresa, passando por macro-região, UGRHI, jurisdição de agência ambiental, município, CEP e logradouro), temporal (inventários passados e projeções futuras), setorial (por tipologia e porte de indústria), por uso final da energia, por tipo de combustível e por razão social. Ainda que tenha chegado a um estágio de um indicativo da ordem de grandeza e localização das emissões, pode-se dizer que a modelagem é válida, uma vez que funciona bem para determinados setores, é rápida, de baixo custo e passível de diversos tipos de refinamentos. Fornece uma primeira resposta a questionamentos ambientais decorrentes de diferentes cenários na política energética. As emissões estimadas pelo modelo podem ser também correlacionadas com os dados de qualidade do meio e informações meteorológicas, auxiliando nos processos locais e de permissão de novos empreendimentos potencialmente poluidores. Após aprimoramentos cadastrais, pode ajudar também a rastrear possíveis focos de emissão.

Também é possível, numa etapa futura, à CETESB proceder a um levantamento mais detalhado dos consumos de combustíveis para os grandes empreendimentos, que podem ser descontados do total antes das realocações *bottom-up* e até *top-down* pelo modelo HORUS.

O modelo também pode ser refinado quanto ao indexador. Sem dúvida, o número de funcionários não deve ser encarado como uma unidade comum definitiva. Caso surja uma mais confiável, como eventualmente a quantidade de insumos em um dado setor, os empreendimentos que a utilizem podem ser destacados do universo e submetidos a um tratamento análogo, ainda dentro do HORUS. Assim, poder-se-ia utilizar, por exemplo, carvão nas siderúrgicas, ou outros insumos previstos na base *FIRE* ou experimentalmente determinados.

Em termos de concepção, o modelo não se restringe somente à emissão de poluentes atmosféricos pela queima de combustíveis. A versão utilizada da base de dados de fatores de emissão possui 21.695 mil registros, que podem estimar, por exemplo, a emissão de dioxinas por unidade de papel produzido. Os fatores de emissão também contemplam fontes móveis que, se localizadas geograficamente e caracterizadas em termos de consumo, permitem uma fotografia bastante acurada das emissões de poluentes em um determinado local.

No Estado de São Paulo, cabe exclusivamente à CETESB a atribuição de conceder licenças ambientais a empreendimentos industriais. Atualmente, são 130 mil fontes industriais cadastradas e licenciadas. A função de licenciamento será em breve descentralizada para os municípios, que passarão a desempenhar essa função no caso de fontes de poluição de impacto local, observando-se a competência constitucional concorrente de cada uma dessas instâncias. Também estão em implantação as licenças periódicas: em 2007, todas as fontes industriais deverão ser chamadas para renovar o licenciamento ambiental estadual. Das 130 mil fontes industriais cadastradas e licenciadas no Estado, cerca de 100 mil estão em operação. A renovação do licenciamento será feita de maneira que o empreendedor assuma metas de desempenho ambiental, aperfeiçoamento tecnológico e dos processos de produção. A medida vai permitir também a atualização permanente do inventário de fontes, pois a empresa terá que preencher o memorial descritivo das suas fontes, com os respectivos dados de produção, cada vez que vier renovar a licença. O aperfeiçoamento dessa sistemática deverá levar à integração das diversas modalidades e instâncias de licenciamento ambiental no âmbito estadual, com o objetivo de, futuramente, criar a licença única.

Mesmo nesta situação ideal, o HORUS não perde sua utilidade, pois permite aferir a qualidade da informação prestada pelo empreendedor, através de cálculos cruzados. Sua flexibilidade permite, também, a inclusão de outros tipos de emissões não sujeitas aos requisitos de licenciamento.

Medições em campo consideradas válidas podem ser pontualmente incluídas nos registros *bottom-up* do modelo HORUS. Estas devem, entretanto, ser acompanhadas do consumo de combustíveis e do número de funcionários do empreendimento que, por sua vez, deverão ser descontados dos universos do BEESP e da Pesquisa Industrial do IBGE. Procedendo-se assim, o modelo HORUS poderá ser submetido a uma nova rodada de distribuição dos combustíveis – e decorrentes emissões – em função do universo remanescente, isto é, do número de funcionários restante na amostra.

Desta forma, o modelo HORUS complementa eficientemente e sem conflitos os inventários em escala real, fornecendo-lhe, ainda, parâmetros de validação.

O modelo HORUS é uma ferramenta de dupla mão:

- naquilo em que está falho, possui grande potencial de calibração em função de *inputs* pontuais verificados e;
- seus resultados são uma verificação, uma possibilidade de se auditarem estimativas de emissões realizadas por outros métodos.

Lembrada a analogia com a Pedra de Rosetta, o modelo HORUS representa uma primeira tradução, uma compatibilização entre diferentes fontes de informação há muito tempo existentes.

REFERÊNCIAS

1. ACKERMAN, F.; BIEWALD, B.; WHITE, D.; WOOLF, T.; MOOMAW, W. (1999) Grandfathering and coal plant emissions: the cost of cleaning up the Clean Air Act. **Energy Policy**. Cambridge: Elsevier, n.27 p. 929-940.
2. AGÊNCIA INTERIOR (2003). **Número um do Brasil**. [S.l.], 25 jan. 2003. Disponível em: <<http://www.aginterior.com.br/agricultura.php>>. Acesso em: 25 jan. 2003.
3. AGUIAR, M. L. (2002) **Poluição atmosférica e seu controle**. Seleção de informações da palestra. DEQ-UFSCar. São Carlos. Disponível em: <<http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/02/palestras/PA1.html>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
4. AMANN, M. (2001) Emission inventories, emission control options and control strategies: an overview of recent developments. **Water, Air and Soil Pollution**. Dordrecht: Kluwer, v.130 p. 43-50.
5. AMANN, M.; JOHANSSON, M.; LÜKEVILLE, A.; SCHOPP, W.; APSIMON, H.; WARREN, R.; GONZALES, T.; TARRASON, L.; TSYRO, S. (2001) An integrated assessment model for fine particle matter in Europe. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht: Kluwer, v.130 p. 223-228.
6. AMOS Jr., C. K.; REHM, R. M. (1995) A comparison of DoD guidance for conducting emission inventories. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. U.S. Environmental Protection Agency and the Air & Waste Management Association. Research Triangle Park, NC: EPA, **Proceedings**. p. 645-660.
7. ANDREW, B. Emission inventory applications of refinery stream speciation data. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA, 1995. **Proceedings**. p. 565-571.
8. ANG, B. W.; SKEA, J. F. (1994) Structural change, sector disaggregation and electricity consumption in the UK industry. **Energy and the Environment**. Brentwood: Multi-Science, n. 5 p. 1-16.
9. ASA - APPLIED SCIENCE ASSOCIATES INC. (2002). **Marine and freshwater environmental modelling**. Disponível em: <<http://www.appsci.com>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
10. ASSUNÇÃO, J. V. (2002) **Tecnologias e seleção de sistemas de controle da poluição do ar: material particulado, gases, vapores e odores**. Apostila do Curso "Tecnologias de Controle de Poluição" realizado na Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo:

- CETESB. p. 1-22.
11. ATTENHOFER, K. W. (1995) An emission inventory system for engineers - presenting a new spreadsheet philosophy. . *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 544-552
 12. BADLENTINE, H. W.; DICKSON, R. J. (1995) Development of uncertainty estimates for the Grand Canyon Valley Transport Commission emissions inventory. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA, 1995. **Proceedings.** p. 407-425
 13. Balço de energia útil 1993 - download. **Economia & Energia.** [S.l.], out. 1998, n. 10. Disponível em: <<http://ecen.com/eee10/beupp.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
 14. BALDASANO, J. M.; COSTA, M.; BELLOD, P. (1995) Temporal and spatial emissions of air pollutants in the Barcelona area using a source emission model. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 380-388
 15. BANCO MUNDIAL (1998) **Brasil: gestão dos problemas da poluição. A agenda ambiental marrom, volume 1: relatório de política.** Relatório n. 16635-BR. Diretoria Subregional Brasil. [S.l.; s. n.], p. 4-49.
 16. BARNARD, W. R. ; SLOMON, D. A.; DEAN, T.A. (1995) Incorporation of State inventory data into the National EPA Emission Trends Inventory. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 453-462
 17. BARNARD, W. R.; SOLOMON, D. A.; WILSON Jr.; J. H. (1995). Emission research needed to support a PM-2.5 NAAQS. . *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 669-680
 18. BENJEY, W. G. (1995) Functionality of an integrated emission preprocessing system for air quality modeling: the Models-3 Emission Processor. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 463-474
 19. BENKOVIC, S. R.; KRUGER, J. (2001) U. S. Sulphur dioxide emissions trading program: results and further applications. **Water, Air and Soil Pollution.** Dordrecht: Kluwer, n. 130, p. 241-246.
 20. BERGER, C; HAURIC, A.; LESSOD, E.; LOULOU, R. WAAUB, J. P. (1991) Exploring acid gas emission reductions in the Province of Québec via MARKAL. **Energy Studies Review.** Québec: McMaster Institute for Energy, v. 3, p. 124-141.

21. BRASIL. ANP - Agência Nacional do Petróleo (1999). **Portaria 08/1999**. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/documentos/Portarias/P08099.doc>>. Acesso em 21 jan 2003.
22. BRASIL. MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia (2002). **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Relatórios de referência. Emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis, abordagem *bottom-up***. Realizado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa - COPPE. Brasília: MCT, 2002. Disponível em <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/bottonup_p.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2003.
23. _____. Ministério do Meio Ambiente (1990). Resolução n. 003/1990 de 28 jun. 1990 do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Estabelece padrões de qualidade do ar e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 22 ago. 1990. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 17 dez. 2002.
24. _____. _____. (1997). Resolução n. 237/1997 de 22 dez. 1997 do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Define critérios de licenciamento ambiental, dentre outras diretrizes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 22 dez. 1997. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 17 dez. 2002.
25. _____. MME - Ministério de Minas e Energia (2002). **Ações que estão sendo desenvolvidas no âmbito do Ministério de Minas e Energia com o objetivo de induzir e viabilizar o aumento da oferta de energia elétrica, em especial termoelétricas, no curto prazo**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/sen/apoio/acoes.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2002.
26. _____. _____. (1995) **Balanco de Energia Útil – modelo de avaliação do potencial de economia de energia – Versão de novembro de 1995**. Secretaria de Energia / Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia – FDTE. [S.l.; s.n.], 1995.
27. _____. _____. (1996) **Balanco Energético Nacional - BEN 1996 , ano base 1995**. Brasília: Ministério das Minas e Energia.
28. BRENCHLEY, D. L.; TURLEY, C. D.; YARMAC, R. F. (1973) **Industrial source sampling**. Ann Arbor: Ann Arbor Science, p. 27-61.
29. BRUCKMAN, L.; GRISINGER, J. (1995) Using the Regional Air Pollutant Inventory Development System (RAPIDS) to calculate toxic emissions from selected area source categories for the HASTE Project. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 475-

492

30. BUONICORE, A. J.; DAVIS, W.T. (1992) **Air pollution engineering manual**. Air and Waste Management Association, ed. New York: Van Nostrand Reynold, p. 1-132; 246-256.
31. BURRIS JR., J. A.; MARRERO, T. R. (1995) Emission factors for municipal refuse combustors. . In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 625-633
32. CHANG, Y. F.; LIN, S. J. (1998) Structural decomposition of industrial CO₂ emissions in Taiwan: an input-output approach. **Energy Policy**. Cambridge: Elsevier, n. 26 p. 5-12.
33. CHINCHIN, L. R.; MAIN, H. H. (1995) Development of improved temporal spatial and temperature algorithms for use in emissions modelling: a work plan. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 850-859
34. CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2000). **Avaliação da qualidade do ar em Paulínia – SP – jul a nov/99 – Relatório preliminar**. Projeto 51.04.01.00. São Paulo: CETESB, p.1-5, 2000. Disponível para consulta na biblioteca da empresa.
35. _____ (1998) **Consolidação do inventário das fontes fixas: poluição do ar**. Projeto 11.01.01.E.00, Coordenação de Milton Norio Sogabe. São Paulo: CETESB. Disponível para consulta na biblioteca da empresa (8204C338i RCET013631).
36. _____ (2000) **Estudo do comportamento do ozônio na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: CETESB. Disponível para consulta na biblioteca da empresa.
37. _____ (2002) **Índices e padrões de qualidade do ar em São Paulo**. Disponível em:
<http://www.CETESB.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.htm>. Acesso em: 27 jul. 2002.
38. _____ (2001) **Projeto “Gás Natural” – Estudo dos efeitos ambientais da penetração do gás natural na matriz energética do Estado de São Paulo**. Divisão de Questões Globais. São Paulo: CETESB, 3 v. Disponível para consulta na biblioteca da empresa.
39. _____ (2001) **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2000**. São Paulo: CETESB, 2001. Disponível para consulta na biblioteca da empresa.
40. _____ (2002) **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2001**. São Paulo: CETESB. Disponível para consulta na biblioteca da empresa e em:

- <<http://www.CETESB.sp.gov.br/Ar/RelatorioAr2001.zip>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
41. _____ (2001) **Sistema de Informações sobre Poluição - SIPOL**. Banco de dados, acesso exclusivo por meio eletrônico. Disponibilizado pela Diretoria de Controle de Poluição. São Paulo: CETESB, mar. 2001.
 42. DICKSON, R. J.; MARKOVICH, L. J.; WOLF, M. E.; OLIVER, W. R.; CREELMAN, L. W.; ORTEGA, J. A. (1995) Development of a national inventory program for Mexico. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 687-701
 43. DINCER, I. (1999) Environmental impacts of energy. **Energy Policy**. Cambridge: Elsevier, n. 27 p. 845-854.
 44. DOSHI, K. (1995) Emission estimating techniques for sources from coating/pigment/frit industries and strategies for operating flexibility. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 616-624
 45. DRASGUPTA, S.; TRAPANI, M. F. (1995) Developing emission inventory for small businesses. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 527-535
 46. DUNLOP, R. J.; WILKIN, J. G.; JENNEJOHN, D.; CHENG, K. (1995) Detailed episodic air emissions inventory in the Vancouver and Lower Fraser Valley airshed. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 765-776
 47. EMIGH, R. A.; LOOMIS, C. F. (1995) Development of a draft PM-10 emissions inventory in the SARMAP region using the EMS-95 emissions estimates modelling system. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 14-20
 48. EMEP. **Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe**. Disponível em: <<http://www.emep.int>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
 49. Emissões atmosféricas industriais: amostragem e técnicas de controle em chaminés. **Revista Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, jan./fev. 2000 ed. 23, n. 22 p. 98-106.
 50. ENVE411 (2003). **Advanced Air Pollution Control Controlling Particulate Emissions with Electrostatic Precipitators**. Disponível em <<http://ceenve.calpoly.edu/cota/ENVE411-ESP.html>>. Acesso em 21 jan. 2003.
 51. ENVIRONMENT AUSTRALIA (2002). **National Pollutant Inventory - Emission Estimation Technique Manual for Combustion in Boilers**

- Version 1.1..** Disponível em:
<http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/fboilers.html> . Acesso em: 24 jul. 2002.
52. _____. **National Pollutant Inventory - Emission Estimation Technique Manual for Combustion Engines Version 2.2.** Disponível em:
<http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/eng.html> . Acesso em: 24 jul. 2002.
53. _____. **National Pollutant Inventory - Emission Estimation Technique Manual for Fossil Fuel Electric Power Generation**
<http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/ffossilfuel.html> . Acesso em: 24 jul. 2002.
54. _____. **National Pollutant Inventory - Industry Reporting. Guide to reporting form.** Disponível em:
<<http://www.npi.gov.au/handbooks/guidetoreporting.html>> . Acesso em: 24 jul. 2002.
55. EPA – THE UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2001). **Air Chief – Emission Factor and Inventory Group EMAD/OAQPS – Version 8.0.** *Software* fornecido mediante solicitação a Info CHIEF Help Desk, fone (1919)541-1000, ou por email a <info.chief@epa.gov>. Solicitado e recebido em abril 2001.
56. _____. (2002) **Clean Air Markets Program.** Disponível em:
<<http://www.epa.gov/airmarket/index.html>> Acesso em: 27 jul. 2002.
57. _____. (1995) **Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources.** United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC: EPA, v.1. Também disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/AP-42/index.html>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
58. _____. (2001) **Fire 6.23 for Windows 98/98/NT.** Disponível em:
<<http://www.epa.gov/ttn/chief/software/fire/index.html>> . Acesso em: 08 out. 2001.
59. _____. (2002) **National emissions inventory data.** Disponível em:
<<http://www.epa.gov/ttn/chief/net/index.html>>. Acesso em: 16 dez. 2002.
60. _____. (1991) **Sourcebook: NO_x control technology data.** Office of Research and Development. Report EPA/600/2-91/029. Research Triangle Park, NC: EPA, 1991.
61. EPRI - ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (1984). **Fine particle measurement handbook.** CS-3388 Project 781-4 Final Report. Palo Alto: EPRI, p. 8-10.
62. ESKELAND, G. S.; JIMENEZ, E.; LIU, L. (1998) Prices that clear the air: energy and pollution in Chile and Indonesia. **The Energy Journal.** Cleveland: International Association for Energy Economics, v. 19 p.

- 83-106.
63. EUROPA - THE EUROPEAN UNION ON-LINE (2001). **EC Convention on Emissions Ceilings Directive 2001/81/EC. November 2001** . Disponível em:
<<http://europa.eu.int/comm/environment/docum/99125sm.htm>>.
Acesso em: 27 jul. 2002.
64. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2001). **EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 3rd edition. Technical report No 30**. Disponível em:
<http://reports.eea.eu.int/technical_report_2001_3/en>. Acesso em: 27 jul. 2002.
65. FAIRLEY, D. (1999) Overshoot bias and the National Ozone Standard. **Journal of the Air & Waste Management Association**. Pittsburgh: Air & Waste Managt. Assoc., v. 49, p. 370-385.
66. FELDSTEIN, M. (1971) Combustion emission from stationary sources. In: **Combustion generated air pollution**. Editado por Ernest S. Starkman. New York: Plenum Press, p 291-318.
67. FIBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1992). **Pesquisa Industrial 1992**. Brasília: FIBGE, 1992, p. 129.
68. _____ (1998). **Pesquisa Industrial 1998**. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. Departamento de Indústrias. Brasília: FIBGE, 1998
69. FICHTNER, W.; GRAEHL, S.; REUTZ, O. (2001) Baseline settings using optimising energy models. **Energy and the Environment**. Brentwood: Multi-Science, n. 586 v. 12 p. 463-473.
70. FREEMAN, S. L.; SMITH, D. E. (1995) Regional emission intensities from the generation of electricity. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 634-641
71. FUNDAÇÃO SEADE (2002). **As oportunidades geradas com o gás em São Paulo**. Disponível em:
<http://www.seade.gov.br/negocios/snpor_02.html>. Acesso em: 10 out. 2002.
72. GÁLVEZ, C. F.; BARRERA, G.; LANDA, H.; CASTELLANOS, L. A.; HOLGUÍN, G. (1995) Compiling an emissions inventory for Mexico City: point and area source emissions. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA, 1995. **Proceedings**. p. 702-713
73. GEIA (2002). **Global Emissions Inventory Activity**. Disponível em:
<<http://www.geiacenter.org>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
74. GOLDEMBERG, J. (1998) **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, p. 109.

75. GOLDEMBERG, J.; JOHANSSON, T. B.; REDDY, A. K. N.; WILLIAMS, R. H. (1983) **Energy for a sustainable world**. Delhi: Wiley Eastern.
76. GOMES, I. C. (1996) **Uma análise do mercado e do preço competitivo de gás natural em São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo.
77. **Governo quer reduzir custos do transporte de gás natural**. O Estado de São Paulo, Quarta-feira, 28 de agosto de 2002. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/agestado/noticias/2002/ago/28/236.htm>>. Acesso em: 10 out. 2002.
78. HESLIGA, D. (2002) **Emissions from small combustion sources in the Netherlands**. UN-ECE TFEIP Combustion and Industrial Expert Panel Workshop on Emissions From Small and Medium Combustion Plants - Ispra, Itália. Disponível em: <http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/TFEI/C&I_Secretariat/JRC_Meeting-April2002.PDF>. Acesso em: 27 jul. 2002.
79. HICKS, W. K.; KUYLENSTIERNA, J. C.; MATHUR, V.; MAZZUCHELLI, S.; BURIJON, V.; SHRESTHAS, S.; IYNGARARASAN, M.; SIMUKANGA, S.; VANTIENHOVEN, A. M. (2001) Development of the regional policy process for air pollution in South Asia, Southern Africa and Latin America. **Water, Air and Soil Pollution**. Dordrecht: Kluwer, n.130, p. 211-216.
80. HUFFMAN, G. P.; HUGGINS, F. E.; SHAH, N.; HUGGINS, R.; LINAK, W. P.; MILLER, C. A.; PUGMIRE, R. J.; MEUZELAAR, H. L. C.; SEEHRA, M. S.; MANIVANNAN, A. (2000) Characterization of fine particulate matter produced by combustion of residual fuel oil. **Journal of the Air & Waste Management Association**. Pittsburgh: Air & Waste Managt. Assoc., v.50 p. 1106-1114.
81. HUTCHINGSON, D. (1995) Urban emission inventories in the United Kingdom. . In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 714-733
82. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2001). **Cadastro Central de Empresas 1999 - Abrangência Estado de São Paulo**. Comunicação pessoal pelo Sr. Raul Telles (IBGE/DPE;GCC), email <Raultelles@ibge.gov.br>, em 21/12/2001
83. _____ (1998) **Pesquisa Industrial Anual 1998 - Cadastro de Empresas - Brasil e Unidades da Federação - Tabela 3.2 - Unidades locais, pessoal ocupado em 31.12 e salários e outras remunerações, segundo Unidades da Federação e grupo da classificação de atividades - Brasil - 1998**. Disponível em: <http://www2.ibge.gov.br/pub/Economia_Cadastro_de_Empresas/1998/Tabela7_98.zip>. Acesso em: 25 jul. 2002.

84. IIASA - INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS (2002) **RAINS - Europe Homepage**. Disponível em: <<http://www.iiasa.ac.at/~rains>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
85. IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions**. International Energy agency (IEA); Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD); IPCC WGI Technical Support Unit. Bracknell: IPCC, 1995, 3v.
86. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (2003). **Viscosidade dos óleos combustíveis nacionais e norte-americanos**. Agrupamento de Combustão, informação prestada pelo Eng. Renato Verghanini e equipe.
87. KASSINIS, G. I. (1998) A model for estimating pollution emissions for individual economic activities. **Environmental Impact Assessment Review**. New York: Elsevier, n. 18 p. 417-438.
88. KIM, Y. J. (1995) Preparation of emission inventories and establishment of the National Emission Inventory System of Air Pollutants (NEISAP) in Korea: plan and progress *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*. Research Triangle Park, NC: EPA, 1995. **Proceedings**. p. 683-686
89. KLIMONT, Z.; COFALA, J.; SCHÖPP, W.; AMANN, M.; STREETS, D. G.; ICHIKAWA, Y.; FUJITA, S. (2001) Projections of SO₂, NO_x and VOC emissions in East Asia up to 2000. **Water, Air and Soil Pollution**. Kluwer, n.130 p. 193-198.
90. KOERBER, M.; JANSSEN, M. (1995) Developing future year regional emissions inventories for ozone precursors. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 21-28.
91. KREWITT, W.; HECK, T. TRUKENMÜLLER, A.; FRIEDRICH, R. (1999) Environmental damage costs from fossil fuel electricity generation in Germany and Europe. **Energy Policy**. Cambridge: Elsevier, n. 27 p. 173-183.
92. KUSH, J. A. (1995) Development of hourly NO_x emissions inventories for utility sources to support urban airshed modeling. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 777-785
93. LAING, R. K.; WICKERT, B.; FRIEDRICH, R. (1998) CAREAIR: a computer aided modeling toolbox to generate and analyze emission data in high temporal and spatial resolution. **Journal of the Air & Waste Management Association**. Pittsburgh: Air & Waste Managt. Assoc., v. 48 p. 1175-1182.
94. La ROVERE, E. L.; MENDES, F.E., SZWARCFITER, L.; MATTOS, L. B.R.M.; SZWARC, A. (1999) **Avaliação do PROCONVE -**

- Programa de Controle da poluição do ar por Veículos automotores.** (Brasil) Ministério do Meio Ambiente, Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente - COPPE/UFRJ. Projeto “Gestão da Qualidade do Ar nas Grandes Metrópoles Brasileiras”, convênio MMA/Fundação COPPETEC 1999-CV-000054. Disponível em <<http://www.lima.coppe.ufrj.br/ev/avaliacao%20proconve.PDF>>. Acesso em: 18 nov. 2002.
95. LEMOS, M. (1995) **The politics of pollution control in Cubatão: state actors and social movements in the environmental policy making process.** Tese (PhD) - Massachussets Institute of Technology. Cambridge, p. 277
96. LIASKAS, K. ; MAVROTAS, G. ; MANDARAKA, M.; DIAKOULAKI, D. (2000) Decomposition of industrial CO₂ emissions: the case of European Union. **Energy Economics.** Cambridge: Elsevier, n. 22 p. 383-394.
97. LOVE, R. A. (1995) Kicking the tires: a consumer’s guide to obtaining a useful emission inventory database. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 553-561
98. LÜKEWILLE, A.; BERTOK, I.; AMANN, M.; COFALA, J.; GYARFAS, F.; JOHANSSON, M.; KLIMONT, Z.; PACYNA, E.; PACYNA, J. (2001) A module to calculate primary particulate matter emissions and abatement measure in Europe. **Water, Air and Soil Pollution.** Dordrecht: Kluwer, n. 130 p. 229-234.
99. MANZINI, F.; MARTÍNEZ, M. (1999) Choosing an energy future: the environmental impact of end-use technologies. **Energy Policy.** Cambridge: Elsevier, n. 27 p. 401-444.
100. MARINSHAW, R. J.; SHRAGER, B. (1995) Use of statistical analyses to develop emission factors for hot mix asphalt facilities. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 375
101. MAZEED, M. A. (1995) Delaware’s emissions projections of ozone precursors. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 432-434
102. McLAREN, R.; BOHME, S.; HEDLEY, M.; JIANG., W.; DORKALAM, A.; SINGLETON, D. L. (1995) Emissions inventory processing for UAM-V and CALGRID modelling in the Lower Fraser Valley. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference.* Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings.** p. 749-764
103. MURRAY, C. J.; NELSON, C. R. (2000) State-space modeling of the relationship between air quality and mortality. **Journal of the Air & Waste Management Association.** Pittsburgh: Air & Waste Managt.

- Assoc., v. 50, p.1075-1080.
104. MYERS, R. E. (1995) Methodologies to estimate emissions. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA . **Proceedings**. p. 609-615
105. NAKADA, M.; PEARCE, D. (1999) Acid rain in East Asia: an analysis of side-payments. **Energy and the Environment**. Brentwood: Multi-Science, v.10, n. 6, p. 705-720.
106. NAKICENOVIC, N.; GRÜBLER, A.; McDONALD, A. (1998) **Global energy perspectives**. International Institute for Applied Systems Analysis. Cambridge: Cambridge Univ. Press, p. 23-61; 124-129; 255-256.
107. NIZICH, S. V.; KUYKENDAL, W.; BORMBERG, S. (1995) Preparation of a national emission data base for trends and other analyses. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 838-849
108. NIZICH, S.; BOLLAN, A.; CHAPPELL, L. (1995) Economic, demographic and regulatory influences on historical emissions trends. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA . **Proceedings**. p. 827-837
109. ORTHOFER, L.; LOIBL, W. (1995) GIS aided spatial disaggregation of emission inventories. . In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA, 1995. **Proceedings**. p. 502-513
110. OSTRO, B.; CHESTNUT, L.; VICHIT-VADAKAN, N.; LAIXUTHAI, A. (1999) The impact of particulate matter on daily mortality in Bangkok, Thailand. **Journal of the Air & Waste Management Association**. Pittsburgh: Air & Waste Managt. Assoc., v. 49 p. 100-107.
111. PAI, P.; HEISLER, S.; JOSHI, A. (1998) An emission inventory for regional atmospheric modelling of mercury. **Water, Air and Soil Pollution**. Dordrecht: Kluwer, n. 101 p. 289-308.
112. PAPALSKI, R.; SALMI, C.; GRABLE, P.; NORTON, B.; KRIEGSMAN, V. (1995) New Jersey's experience with four years of emission statements. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA . **Proceedings**. p. 395-405
113. PENDLETON, K; DURRENBERGER, C. (1995) Collection and review of hourly ozone episode data for the Coastal Oxidant Assessment for Southeast Texas (COAST) Program. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 3-13

114. PIERETT, S. L. (1995) An evaluation of published emission factors for the steelmaking industry. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA . **Proceedings**. p. 357-367
115. _____. _____. Development of a Title V recordkeeping system for an integrated steel mill. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 536-543
116. PONCHE, J.-L.; SCHNEIDER, C.; MIRABEL, P. H. (2000). Methodology and results of the REKLIP atmospheric emission inventory of the upper Rhine Valley transborder region. **Water, Air and Soil Pollution**. Dordrecht: Kluwer, n. 124, p. 61-93.
117. RINGLER, E. S.; JONES, J. W. (1995) Preliminary inventory of hazardous air pollutant emissions from electric utility boilers in the United States. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA . **Proceedings**. p. 594-605
118. ROE, S. M.; COSTELLO, P.J.; LaWEEDA, J.; DiSOGRA, C.; GRANT, R. (1995) Improved VOC emission estimates for solvent cleaning and degreasing in California. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 41-52.
119. SÃO PAULO (1976). **Decreto n. 8468/1976**. Aprova o Regulamento da Lei Estadual n° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/76_8468.doc>. Acesso em: 16 dez. 2002.
120. _____. _____. **Lei n. 997/1976**. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/estadual/leis/997_76.htm>. Acesso em: 16 dez. 2002.
121. _____. Secretaria de Energia (2001). **Balço Energético do Estado de São Paulo - 2001 Ano Base/2000** Disponível em <<ftp://ftp.sp.gov.br/ftpenergia/besp01.exe>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
122. _____. _____. _____. **CSPE- Comissão de Serviços Públicos de Energia** Disponível em <<http://www.cspe.sp.gov.br/>>. Acesso em: 30 dez. 2001.
123. _____. Secretaria de Meio Ambiente. _____. **Legislação: licenciamento ambiental**. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/legis_licenc.htm>. Acesso em: 27 jul. 2002.
124. SASNETT, S.; MISENHEIMER, D. (1995) Regulatory requirements for emission reporting to EPA. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research

- Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 65-70
125. SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S. (2001) Future electric power technology choices of Brazil: a possible conflict between local pollution and global climate change. **Energy Policy**. Cambridge: Elsevier, n. 29 p. 355-370.
126. SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; LOGAN, J.; CHANDLER, W.; SOUZA, J. C. (2001) **Developing countries and global climate change: electric power options in Brazil**. Arlington: Pew Center on Global Climate Change.
127. SCHIPPER, L.; MURTISHAW, S.; KHRUSHCH, M.; TING, M. KARBUZ, S., UNANDER, F. (2001) Carbon emissions from manufacturing energy use in 13 IEA countries: long term trends through 1995. **Energy Policy**. Cambridge: Elsevier, n. 29 p. 667-688.
128. SCHUMACHER, K.; SATHAYE, J.; ROY, J. (2001) Productivity trends and technology change in energy intensive industries in Brazil, India and South Korea. In: 24th IAEE International Conference: An Energy Odyssey? **Proceedings**. Houston: International Association for Energy Economics, 25-27 abr.
129. SCIENTECMATRIX (2002). **Summary of flue gas cleaning technologies**.. Disponível em:
<http://www.scientecmatrix.com/seghers/tecma/scientecmatrix.nsf/_/236F6702801DCE93C1256B5D00394D18>. Acesso em: 18 nov. 2002.
130. SEGHERS (2003). **Products SEGHERS**. Disponível em
<<http://www.seghersgroup.com>>. Acesso em 22 jan 2003
131. SHRIMP, D. R.; CAMPBELL, S. G. (1995) Using a Geographical Information System to evaluate PM10 area source emissions. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA, 1995. **Proceedings**. p. 493-501
132. SLIWINSKI, R.; LAICH, E. J.; STELLA, G. M.; MOBLEY, D.; HUNTLEY, R.; GILBERT, B. (1995) Development of the Ozone Transport Commission NO_x baseline inventory. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA . **Proceedings**. p. 53-64
133. SORRELL, S. (1999) The failure of Sulphur trading in the UK. **Energy and the Environment**. Brentwood: Multi-Science, v.10 n. 6, p. 639-670.
134. SOUTEN, D. ; SHEPARD, S.; HEIKEN, J. (1995) Case study: environmental database management systems evaluation and implementation. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**.. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 520-526

135. SPROTT, R. W. (1995) Toxic air emission from the North carolina textile industry. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA . **Proceedings**. p. 572-581
136. STERN, A. C.; BOUBEL, R. W.; TURNER, D. B.; FOX, D. L. (1984) **Fundamentals of air pollution**. 2nd Ed. Orlando: Academic Press, p. 35-45; 96-99.
137. STRASSER, S. J.; SADEGHI, V. M.; OLIVER, W. R. (1995) Development of a quality control (QC) checker for the Regional Air Pollutant Inventory Development System (RAPIDS). In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 441-450
138. TELLES, L. H. (1997) **Impactos da conversão de indústrias ao gás natural na Região Metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Instituto de Eletrotécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo
139. THE BRITISH MUSEUM (2002) **The Rosetta Stone**. Disponível em <<http://www.thebritishmuseum.ac.uk/egyptian/ea/gall/rosetta.html>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
140. THE ENVIRONMENT AGENCY OF ENGLAND AND WALES (2002). **What's in Your Backyard ?**. Disponível em: <<http://216.31.193.171/asp/introduction.asp>>. Acesso em: 25 jul. 2002.
141. TICKLE, A. K. (1999) Ecological modernisation in UK science-policy communities: the case of acid rain and critical loads. **Energy and the Environment**. Brentwood: Multi-Science, v.10, n. 6, p. 617-637.
142. TIDMORE, R. (1995) Use of advanced technology for developing roof drawings. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA . **Proceedings**. p. 514-519
143. TITHERIDGE, H.; BOYLE, G.; FLEMING, P. (1996) Development and validation of a computer model for assessing energy demand and supply patterns in the urban environment. **Energy and the Environment**. Brentwood: Multi-Science, v.7, n. 1, p. 29-40.
144. TOLMASQUIM, M. T.; COHEN, C.; SZKLO, A. S. (2001) CO₂ emissions in the British industrial sector according to the integrated energy planning model (IEPM). **Energy Policy**. Cambridge: Elsevier, n. 29 p. 641-651.
145. UK DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS (2002) **UK National Air Quality Information Archive**. Disponível em: <<http://www.airquality.co.uk/>>. Acesso em: 25 jul. 2002.

146. UNDESA - UNITED NATIONS. DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS (2002). **Detailed structure and explanatory notes for ISIC Rev.3**. Statistics Division. Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/cr/registry>>. Acesso em: 24 jul. 2002.
147. UNDP - UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME, UNDESA - UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, WEC - WORLD ENERGY COUNCIL (2000). **World energy assessment: energy and the challenge of sustainability**.. Editado por José Goldemberg *et al.* New York: UNDP. p. 74-86; 99-104; 361.
148. UNECE - UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (1979). **1979 Gotemburg Convention on Long-range Transboundary Air Pollution**. Disponível em: <http://www.unece.org/env/lrtap/lrtap_h1.htm>. Acesso em: 27 jul. 2002.
149. _____. **1979 Geneva Convention on Long-range Transboundary Air Pollution Working Group on Effects**. Disponível em: <<http://www.unece.org/env/wge/welcome.html>> Acesso em: 27 jul. 2002.
150. UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (2000). **Review of the Implementation of Commitments and of other Provisions of the Convention - UNFCCC guidelines on reporting and review. Report FCCC/CP/1999/7, 16/Feb/2000**, CONFERENCE OF THE PARTIES Fifth session Bonn, 25 October - 5 November 1999 Agenda items 4 (a) and 4 (h). Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/cop5/07.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2002.
151. _____. (1997). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reporting Instructions**. Bracknell: IPCC, 1997.
152. USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. IAG - Instituto de Astronomia e Geofísica (2002). **Formação e transporte de ozônio no sudeste paulista em 12/08/1999**. Figuras enviadas por correspondência eletrônica pela Profa. Dra. Maria de Fátima Andrade, e-mail: <mftandra@model.iag.usp.br>.
153. _____. **Trajetórias de chegada de MP na cidade de São Paulo no dia 15/06/1999**. Profa. Dra. Maria de Fátima Andrade.
154. VEAUX, C.; KARL, U.; RENTZ, O. (1995) Determination of heavy metal emissions from stationary combustion sources.. *In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference*.. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 582-593
155. VIGUIER, L. (1999) Emissions of SO₂, NO_x and CO₂ in transition

- economies: emission inventory and Divisia Index analysis. **The Energy Journal**. Cleveland: International Agency for Energy Economics, n.2, v. 20, p. 59-87.
156. VLAEMINCK, E. (1995) Inventories as business development tools: a case study. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 642-645
157. WARREN, R.; APSIMON, H. (2000) Application of limiting marginal abatement costs in optimised strategies to reduce acidification and eutrophication in Europe: illustrations using the abatement strategies assessment model (ASAM). **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**. London: Imperial College Press, v. 2, n. 1, p. 119-166. Disponível em: <<http://www.worldscinet.com/jeapm/02/0201/S1464333200000084.html>>.
158. WEC - WORLD ENERGY COUNCIL (2002). **National energy data profile - Brazil 2001**. Disponível em: <<http://www.worldenergy.org/wec-geis/global/downloads/edc/brazilenergydata2001.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2002.
159. WILLIAMS, D. J.; CARRAS, J. M.; HACKER, J. M.; CLARK, N. J.; WEIR, P.; JOHNSON, G. M.; AZZI, M.; RAYNER, K. N.; BERKO, H. N. (1995) Field (in) validation of an emission inventory for Perth, Western Australia. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 734-746
160. WOMBLE, W. L.; PORTER, D. J.; ADUCCI, C. M. (1995) Emission inventory data management West Virginia style. In: **The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) - specialty conference**. Research Triangle Park, NC: EPA. **Proceedings**. p. 860-864
161. ZIPPER, C. E.; GILROY, L. (1998) Sulphur dioxide emissions and market effects under the Clean Air Act Acid Rain program. **Journal of the Air & Waste Management Association**. Pittsburgh: Air & Waste Managt. Assoc., v. 48 p. 829-837.

APÊNDICES

- 1. CONVERSÃO DE UNIDADES E OUTRAS EQUIVALÊNCIAS**
- 2. OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO E DICIONÁRIO DE SIGLAS UTILIZADAS NAS PLANILHAS**
- 3. DETERMINAÇÃO DO PORTE DO EMPREENDIMENTO EM FUNÇÃO DO PESSOAL OCUPADO NO ESTADO DE SÃO PAULO, 1998 (IBGE)**
- 4. RELAÇÃO DAS PLANILHAS E BASES DE DADOS NO CD-ROM**

APÊNDICE 1 - CONVERSÃO DE UNIDADES E OUTRAS EQUIVALÊNCIAS ENERGÉTICAS

O BEESP até 2001 manteve o fator de conversão de 1 tep para 10.900 Mcal, o critério do Balanço Energético Nacional de 1994. Considera para cada tep: 867 l de petróleo, 926 m³ de gás natural, 413 kg de carvão vapor médio, 713 kg de carvão metalúrgico médio, 629,63 kg de carvão vegetal, 290 KWh hidráulicos, 306 kg de lenha, 851 l de óleo diesel, 946 l de óleo combustível, 953,7 kg de cana de açúcar média, 209 kg de bagaço de cana com 50% de umidade, 520 l de álcool anidro, 498 l de álcool hidratado e 767,38 l de gasolina automotiva média. Os dados do BEN são diferentes: já em 1996, estabelecia a conversão de 1 tep para 10.800 Mcal (BRASIL, 1996). Pelo BEESP 2001, temos a Tabela 7.1:

Tabela 7.1. Conversão de unidades energéticas (BEESP e BEN)

Energético	Massas Específicas kg/m ³	Poder Calorífico Inferior (BEESP) kcal/kg	Poder Calorífico Superior (BEN) kcal/kg	Unidade Original	Fator Multiplicador	
					para 10 ⁹ kcal	para 10 ³ tEP
Óleo Diesel	851	10181	10750	10 ³ m ³	8,663	,851
Óleo Combustível (médio)	999	9547	10900	10 ³ m ³	9,537	,935
Eletricidade	-	860 (1)	3132 (4)	GWh	,86	,29
Gás Natural	-	8554 (2)	9400 (2)	10 ⁶ m ³	8,111	,926

Notas: (1) kcal/kWh representam a Energia Final; (2) kcal/m³, refere-se ao poder calorífico utilizado para referência de preço do gás

Outras equivalências obtidas do BEN 1996 e da ANP (BRASIL, 1999) são apresentadas na Tabela 7.2.

Tabela 7.2. Outras equivalências

1 m ³ = 6,28981 barris	1 barril = 0,158987 m ³
1 Joule = 0,239 cal	1 BTU = 1.055.056 J = 0.2519958 kcal
1 Lb = 0.4535924 kg	1 Gal = 0.003785412 m ³
1 ton = 1.016.047 kg	1 ft ³ = 0.02831685 m ³
teor de S no óleo combustível: 1,0%	teor de S no diesel: 0,3%

A tabela 7.3 seguir calcula o consumo por setor, combustível e uso final, cruzando os dados do BEESP/1998 com o BEU/11993.

Tabela 7.3. Conversão de combustíveis - cálculo cruzado de coeficientes de eficiência energética (baseados no BEU/1993)

SE-TOR	USO	ENER-GETICO	CEE (BEU)	CDEST (BEU)	Consumo* (ktep 1998)
A&B	AD	GASNAT	0,50	0,003	0,1
CER	AD	GASNAT	0,50	1,000	24,5
FGA	AD	GASNAT	0,75	1,000	140,3
P&C	AD	GASNAT	0,50	0,000	0,0
QUI	AD	GASNAT	0,60	1,000	166,8
TEX	AD	GASNAT	0,50	0,063	1,3
A&B	CP	GASNAT	0,97	0,053	4,1
CER	CP	GASNAT	0,70	0,000	0,0
FGA	CP	GASNAT	0,80	0,000	0,0
P&C	CP	GASNAT	0,90	1,000	44,1
QUI	CP	GASNAT	0,90	0,000	0,0
TEX	CP	GASNAT	0,90	0,937	33,7
A&B	FM	GASNAT	0,93	0,881	64,7
CER	FM	GASNAT	0,27	0,000	0,0
FGA	FM	GASNAT	0,27	0,000	0,0
P&C	FM	GASNAT	0,27	0,000	0,0
QUI	FM	GASNAT	0,27	0,000	0,0
TEX	FM	GASNAT	0,27	0,000	0,0
A&B	AD	DIESEL	0,35	0,500	11,4
CER	AD	DIESEL	0,50	0,717	1,1
CIM	AD	DIESEL	0,43	0,001	0,0
FGA	AD	DIESEL	0,75	0,439	4,6
P&C	AD	DIESEL	0,50	0,039	0,2
QUI	AD	DIESEL	0,60	0,102	2,8
TEX	AD	DIESEL	0,50	0,196	0,5
A&B	CP	DIESEL	0,60	0,500	19,5
CER	CP	DIESEL	0,70	0,283	0,6
CIM	CP	DIESEL	0,80	0,001	0,0
FGA	CP	DIESEL	0,80	0,002	0,0
P&C	CP	DIESEL	0,90	0,007	0,1
QUI	CP	DIESEL	0,90	0,130	5,4

SE-TOR	USO	ENER-GETICO	CEE (BEU)	CDEST (BEU)	Consumo* (ktep 1998)
TEX	CP	DIESEL	0,90	0,204	0,9
A&B	FM	DIESEL		0,000	0,0
CER	FM	DIESEL	0,42	0,883	1,1
CIM	FM	DIESEL	0,42	0,998	3,4
FGA	FM	DIESEL	0,42	0,559	3,3
P&C	FM	DIESEL	0,42	0,954	3,2
QUI	FM	DIESEL	0,42	0,768	14,8
TEX	FM	DIESEL	0,42	0,600	1,3
A&B	AD	OCOMB	0,45	1,000	239,9
CER	AD	OCOMB	0,50	1,000	55,5
CIM	AD	OCOMB	0,43	0,970	131,0
FGA	AD	OCOMB	0,75	0,851	135,9
MNF	AD	OCOMB	0,50	0,378	20,4
P&C	AD	OCOMB	0,50	0,063	15,2
QUI	AD	OCOMB	0,60	0,061	22,7
TEX	AD	OCOMB	0,50	0,063	3,5
A&B	CP	OCOMB	0,60	0,000	0,0
CER	CP	OCOMB	0,70	0,000	0,0
CIM	CP	OCOMB	0,80	0,030	7,5
FGA	CP	OCOMB	0,80	0,149	25,4
MNF	CP	OCOMB	0,80	0,622	53,7
P&C	CP	OCOMB	0,90	0,937	406,5
QUI	CP	OCOMB	0,90	0,939	523,1
TEX	CP	OCOMB	0,90	0,937	94,4
A&B	FM	OCOMB		0,000	0,0
CER	FM	OCOMB		0,000	0,0
CIM	FM	OCOMB		0,000	0,0
FGA	FM	OCOMB		0,000	0,0
MNF	FM	OCOMB		0,000	0,0
P&C	FM	OCOMB		0,000	0,0
QUI	FM	OCOMB		0,000	0,0
TEX	FM	OCOMB		0,000	0,0

* Consumo por setor e uso final: multiplicação do consumo setorial (BEESP) pelo coeficiente de destinação (BEU):

APÊNDICE 2 - OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO

O gerenciador de bancos de dados *Access*, de grande capacidade para tratamento de informações, permitiu, principalmente, a junção de bases heterogêneas (que serão indicadas mais adiante: BEESP com o BEU e com o SIPOL e, posteriormente, estes com o *FIRE*), a partir de uma chave primária comum (macro-setor industrial).

As planilhas eletrônicas *Excel* suportam cerca de 65.000 linhas cada, o que permitiu a conversão de unidades, a inserção de novos campos e dados (como o “macro-setor”) e a aplicação de filtros e subtotais sobre o resultado final (como a soma de toda a emissão por NO_x em um determinado CEP). O programa *Access* oferece os mesmos recursos, mas o manuseio das planilhas em *Excel* mostrou-se muito mais fácil e rápido, pelo menos para o nível de detalhes que o presente estudo objetivou alcançar.

Apesar do enorme volume de informações a tratar, que sugeriria a utilização de um programa de banco de dados, a interligação é feita preferencialmente por meio de planilhas eletrônicas⁶⁴, que possibilitam a elaboração de cenários de consumo e substituição de combustíveis, de alterações em eficiência energética e em fatores de emissão de poluentes. Possibilitam ainda a elaboração de gráficos e outras formas de síntese de dados.

Em alguns momentos, entretanto, torna-se imprescindível utilizar bancos de dados⁶⁵, especialmente quando se efetuam arranjos matemáticos entre dados de duas ou mais planilhas, bases de dados em formato de banco ou entre planilhas e bancos. Quando foi o caso, as planilhas foram exportadas para o formato de bancos de dados. Em seguida, os bancos de dados formavam arranjos através da ferramenta “Consulta”. Tais arranjos foram, posteriormente, reexportados para uma ou mais planilhas⁶⁶. Como nas operações de exportação de planilhas para

⁶⁴ No caso, Microsoft® Excel 97, com 65536 linhas por 256 colunas

⁶⁵ Foi utilizado o Microsoft® Access 97, de grande capacidade de armazenamento de dados

⁶⁶ No caso, precisou-se de 10 planilhas para suportar as 149856 linhas de registros exportadas. Apesar de na teoria poderem ser utilizadas somente 3 planilhas, a opção foi necessária por limitações na velocidade de processamento e memória RAM do

banco de dados perdiam-se as fórmulas dos campos, permanecendo somente os valores, estas foram reincorporadas de forma manual após o retorno dos dados de Access para Excel da seguinte maneira: (1) exportaram-se os dados para as várias planilhas; (2) dentro de cada planilha, os dados foram classificados em função do campo que deveria ser transformado de valor para fórmula (como, por exemplo, “emissões de CO₂” de 10⁶ t/ano); (3) através do mecanismo de busca e troca (“Editar Substituir”) substituíram-se os valores pelas fórmulas originais (como por exemplo, “=+\$J2*L2”), que foram copiadas para todas as células onde tal condição se aplicasse⁶⁷. Desta forma, recuperou-se o caráter dinâmico das tabelas, permitindo a elaboração de diferentes cenários.

Apesar de toda a interligação “neural” das tabelas, a atualização não é instantânea. Por conta da limitação da memória RAM do computador, não foi possível abrir as 11 planilhas (mestre e 10 acessórias) simultaneamente. Assim, permaneceram abertas até 4 planilhas por vez⁶⁸ recalculando e atualizando os valores através de operações de Abrir-Fechar-Salvar as alterações⁶⁹.

Os resultados obtidos para cada cenário projetado⁷⁰ foram posteriormente exportados para uma pasta própria. O registro foi somente dos valores, e não das fórmulas, uma vez que tais condições são conclusões e não devem ser alteradas por modificações posteriores em outras planilhas, interligadas por fórmulas. Assim, a sistemática adotada foi: (1) na planilha Mestre da pasta mestre, entraram-se com os dados do cenário de consumo do combustível (por exemplo, “dados reais de 1992”, ou “10% de acréscimo em gás natural em relação a 1998”), que distribui pelas rotas; (2) abrir-fechar-salvar as planilhas dos empreendimentos (indústrias), cuja atualização é subtotalizada por municípios; (3) a subtotalização reflete na planilha “Municípios” da pasta mestre; (4) os

hardware disponível (que no decorrer dos trabalhos passou de um Pentium 133MHz com 16MB de memória para um Pentium III 800MHz com 128MB)

⁶⁷ Marcando-se a primeira célula em uma coluna, apertando-se “Shift Down” tantas vezes quanto necessário e “Editar Preencher Para Baixo”, ou “Ctrl Down”. Uma forma mais otimizada é através de subtotais (“Dados Subtotais”), que separa os registros por uma célula em branco, permitindo o uso de um único comando “Shift End Down” ao invés de vários “Shift Down”.

⁶⁸ Em algumas vezes, somente duas, que chegavam a mais de 20.000 linhas cada

⁶⁹ Em um Pentium III 800MHz, a operação em duas planilhas chegou a levar 5 minutos para se realizar. Em um Pentium II 400 MHz, 15 minutos. Em um Celeron 600MHz, chegou a 4 horas.

⁷⁰ Para os anos de 1992, 1998, 2000, 2000 com substituição gás natural - óleo diesel e 2000 com substituição gás natural - óleo combustível

valores desta planilha são copiados para uma pasta específica de cenários (“Resultados”), através da ferramenta “Copiar-ColarEspecial-Valores”; (5) a pasta “Resultados” congrega, assim, as diversas planilhas de cenários de consumo e emissão por município, possibilitando a obtenção de conclusões reagregadas.

O modelo permite refinamentos empreendimento a empreendimento. Podem ser atribuídos consumos reais de combustíveis e sua alocação por usos finais, tornando obsoleta a primeira aproximação, feita por número de funcionários ou área construída. Incorporando inovações tecnológicas, podem também ser atribuídos, em substituição aos valores *default* utilizados, fatores de emissão de poluentes que contemplem os processos reais, inclusive com os sistemas de controle final de poluição. Novos empreendimentos podem ser incluídos de forma simples, bastando inserir uma nova linha na devida planilha, com as informações preenchidas. A eliminação de um registro obsoleto se dá da maneira inversa. Em seguida, basta abrir as demais planilhas para atualizar os cálculos.

Para a **inclusão de um registro**, deve-se proceder da seguinte forma:

- entrar na planilha Excel correspondente ao município;
- inserir 3 linhas, uma para cada energético (**GASNAT, ODIESEL, OCOMB.**);
- copiar o formato de uma outra linha qualquer da planilha nas linhas inseridas; e
- editar os dados da linha inserida, atentando para as fórmulas.

A **exclusão de registros** é feita pela simples eliminação da linha. A **atualização de cenários de consumo** requer:

- entrar na pasta **SIPOLFireMESTRE.xls**, planilha **MESTRE**;
- modificar os valores do consumo anual do energético por setor e uso, coluna **H**;

- se se preferir estabelecer uma projeção, podem-se utilizar os multiplicadores da coluna **G**, percentuais aplicáveis sobre o consumo registrado em um dado ano (por exemplo, 115% sobre o consumo de gás natural verificado no ano de 2000);
- com a planilha ainda aberta, abrir *todas* as 10 planilhas de todos os municípios (do contrário, esta não se atualizará);
- atualizar os cálculos de cada uma das planilhas (digitando F9) e fechá-las;
- o resultado atualizado será automaticamente transportado para a pasta **MUNICÍPIOS** da planilha **SIPOLFireMESTRE.xls**, última que deve ser fechada;
- para preservar os dados deste cenário, sem que estes sejam superpostos por uma futura rodada de cálculos, copiar toda a pasta **MUNICÍPIOS** da planilha **SIPOLFireMESTRE.xls** para outra pasta; para manter os valores inalterados, assinalar toda a planilha **MUNICÍPIOS** utilizar a ferramenta do Excel “Copiar”, entrar na outra planilha desejada e utilizar o comando “Colar Especial Valores”, ação que preservará os números, independentemente das células ativas com fórmulas da planilha original.

A **alteração de fatores de emissão** pode ser feita tanto:

- pontualmente, em cada linha de cada empreendimento nas planilhas dos municípios (ação recomendável para refinamento do modelo com base no conhecimento detalhado de cada processo em cada local), quanto
- de forma global, na planilha **FATEMISSÃO** da pasta **emissões.xls**; se desejável, pode-se pautar em um dos fatores de emissão selecionados na planilha **FIREv623 seleção EXPORT** da mesma pasta

Caso necessário buscar fatores de emissão diretamente junto à base *FIRE*, a melhor alternativa operacional encontrada foi:

- primeiramente, através de uma consulta na base de dados em *MS-Access*, selecionar os processos em que havia a queima de combustíveis, reduzindo-se a abrangência da pesquisa (ACTION=BURNED)
- destes, também por consulta em *MS-Access*, buscar somente os principais combustíveis (gás natural, óleos diesel e combustível) e os poluentes desejados (CO, CO₂, NO_x, SO_x, MPtotal)
- exportar a consulta para uma planilha *MS-Excel*, onde foi possível converter as unidades norte-americanas para as métricas decimais e energéticas nacionais
- através da ferramenta “Filtros”⁷¹, ocultar os fatores que não interessam e determinar os principais fatores de emissão a serem adotados
- ainda na planilha *Excel*, incluir uma coluna com os diversos setores onde o determinado processo poderia ser encontrado (como, por exemplo, caldeiras nos setores químico, de papel e celulose e têxtil; ou fornos nos setores de cerâmica e alimentos)
- transferir a planilha *Excel* para o banco de dados *Access*⁷², que permite conciliar diferentes bases por registros comuns, isto é, unir as bases através das chaves que foram identificadas e conciliadas (em linguagem de bancos de dados, “estabelecer a estrutura de relacionamentos”)
- no mesmo banco de dados, inserir os dados do SIPOL com o consumo de cada combustível em cada uso final⁷³

⁷¹ As planilhas *Excel* possuem a opção "Dados", "Filtrar", "Auto-filtro"

⁷² O *Access* importa diretamente planilhas de *Excel*

⁷³ Basta abrir a base SIPOL em *Access* e copiar suas tabelas diretamente para a área de trabalho do HORUS

- ainda no *Access*, criar uma consulta onde constem os poluentes selecionados para cada indústria⁷⁴

Devido ao elevado volume de informações, as informações *bottom-up* foram distribuídas em 10 planilhas de dados, que abrangem todos os municípios do Estado, conforme a relação da Tabela 7.4. As planilhas utilizam as siglas constantes na Tabela 7.5.

Tabela 7.4. Relação de planilhas bottom-up, por área de abrangência e municípios

PLANILHA e REGIÃO DE COBERTURA	MUNICÍPIOS
SIPOLFireCEP1a_capital.xls	São Paulo Capital
SIPOLFireCEP1b_RMSP.xls (demais cidades da Região Metropolitana de São Paulo)	Arujá, Barueri, Biritiba Mirim, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guararema, Guarulhos, Itapeverica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Santa Isabel, Santana do Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Lourenço da Serra, Suzano, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista
SIPOLFireCEP2a_litoral.xls (litoral e região Sul)	Bertioga, Cajati, Cananéia, Caraguatatuba, Cubatão, Eldorado, Guarujá, Iguape, Itanhaém, Itariri, Jacupiranga, Jiquiá, Miracatu, Mongaguá, Pariquera-Açu, Pedro de Toledo, Peruibe, Praia Grande, Registro, Santos, São Sebastião, São Vicente, Sete Barras e Ubatuba
SIPOLFireCEP2b_valedoparaiba.xls (Vale do Paraíba)	Aparecida, Areias, Bananal, Caçapava, Cachoeira Paulista, Campos do Jordão, Canas, Cruzeiro, Cunha, Guaratinguetá, Igaratá, Jacareí, Jambeiro, Lavrinhas, Lorena, Monteiro Lobato, Natividade da Serra, Paraibuna, Pindamonhangaba, Piquete, Potim, Queluz, Redenção da Serra, Roseira, Santa Branca, Santo Antonio do Pinhal, São Bento do Sapucaí, São José do Barreiro, São José dos Campos, São Luís do Paraitinga, Silveiras, Taubaté e Tremembé
SIPOLFireCEP2c_campinas.xls (Grande Campinas e sua área de influência em direção a Piracicaba)	Americana, Artur Nogueira, Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Cabreúva, Campinas, Campo Limpo Paulista, Capivari, Cordeirópolis, Cosmópolis, Elias Fausto, Engenheiro Coelho, Hortolândia, Indaiatuba, Iracemápolis, Itatiba, Itú, Itupeva, Jarinu, Joanópolis, Jundiá, Limeira, Louveira, Mombuca, Monte Mor, Morungaba, Nazaré Paulista, Nova Odessa, Paulínia, Pinhalzinho, Piracaia, Piracicaba, Rafard, Rio das Pedras, Saltinho, Salto, Santa Bárbara D'Oeste, Sumaré, Tuiuti, Valinhos, Vargem, Várzea Paulista e Vinhedo
SIPOLFireCEP2d_centronordeste.xls (região centro-nordeste do Estado, área de influência de Campinas)	Aguai, Águas da Prata, Águas de Lindóia, Amparo, Analândia, Araras, Caconde, Casa Branca, Charqueada, Conchal, Corumbataí, Descalvado, Divinolândia, Dourado, Espírito Santo do Pinhal, Estiva Gerbi, Holambra, Ipeúna, Itapira, Itirapina, Itobi, Jaguariúna, Leme, Lindóia, Mocóca, Mogi Guaçu, Mogi-Mirim, Monte Alegre do Sul, Pedreira, Pirassununga, Porto Ferreira, Ribeirão Bonito, Rio Claro, Santa Cruz da Conceição, Santa Cruz das Palmeiras, Santa Gertrudes, Santa Rita do Passa Quatro, Santo Antonio de Posse, Santo Antonio do Jardim, São Carlos, São João da Boa Vista, São José do Rio Pardo, São Pedro, São Sebastião da Gramma, Serra Negra, Socorro, Tambaú, Tapiratiba e Vargem Grande do Sul

⁷⁴ O procedimento de criação de consulta está disponível nos manuais e tutoriais do *Access*

Tabela 7.4. Relação de planilhas bottom-up ... (cont.)

PLANILHA e REGIÃO DE COBERTURA	MUNICÍPIOS
SIPOLFireCEP3a_centronordeste.xls (área de influência de Ribeirão Preto, centro-nordeste do Estado)	Altinópolis, Aramina, Barretos, Batatais, Bebedouro, Brodosqui, Buritizal, Cajuru, Colina, Cravinhos, Cristais Paulista, Dumont, Franca, Guaira, Guará, Guataparã, Igarapava, Ipuã, Itirapuã, Ituverava, Jaborandi, Jardinópolis, Luiz Antonio, Miguelópolis, Monte Azul Paulista, Morro Agudo, Nuporanga, Orlandia, Patrocínio Paulista, Pedregulho, Pitangueiras, Pontal, Restinga, Ribeirão Corrente, Ribeirão Preto, Rifaina, Sales Oliveira, Santa Cruz da Esperança, Santa Rosa de Viterbo, Santo Antonio da Alegria, São Joaquim da Barra, São Simão, Serra Azul, Serrana, Sertãozinho, Severina, Taiacú, Taiúva, Taquaral, Terra Roxa e Viradouro
SIPOLFireCEP3b_centronorte.xls (centro-norte do Estado, área de influência de São José do Rio Preto)	Adolfo, Álvares Florence, Américo Brasiliense, Américo de Campos, Araraquara, Ariranha, Aspásia, Auriflama, Bady Bassit, Bálsamo, Barrinha, Boa Esperança do Sul, Borborema, Buritama, Cajobi, Cardoso, Catanduva, Catiguá, Cedral, Cosmorama, Dirce Reis, Dobrada, Dolcinópolis, Elisiário, Estrela D'oeste, Fernando Prestes, Fernandópolis, Gastão Vidigal, General Salgado, Guapiaçu, Guaraci, Guariba, Ibaté, Ibirá, Ibatinga, Icém, Ilha Solteira, Indiaporã, Ipiguá, Irapuã, Itajobi, Itápolis, Itapura, Jaboticabal, Jaci, Jales, José Bonifácio, Lourdes, Macaubal, Magda, Marapoama, Marinópolis, Matão, Mendonça, Meridiano, Mira Estrela, Mirassol, Mirassolândia, Monte Alto, Monte Aprazível, Motuca, Neves Paulista, Nhandeara, Nipoã, Nova Aliança, Nova Canaã Paulista, Nova Europa, Nova Granada, Nova Luzitânia, Novo Horizonte, Olímpia, Onda Verde, Orindiúva, Ouroeste, Palestina, Palmeira D'oeste, Paraíso, Paranapuã, Parisi, Paulo de Faria, Pereira Barreto, Pindorama, Pirangi, Planalto, Poloni, Pontalinda, Pontes Gestal, Potirendaba, Pradópolis, Rincão, Riolândia, Rubinéia, Sales, Santa Adélia, Santa Albertina, Santa Clara D'oeste, Santa Fé do Sul, Santa Lúcia, Santa Rita D'Oeste, Santa Saete, Santana da Ponte Pensa, São Francisco, São João das Duas Pontes, São José do Rio Preto, Sebastianópolis do Sul, Sud Menucci, Suzanópolis, Tabapuã, Tabatinga, Tanabi, Taquaritinga, Trabiju, Três Fronteiras, Turmalina, Ubarana, Uchoa, União Paulista, Urânia, Urupês, Valentim Gentil, Vista Alegre do Alto, Votuporanga e Zacarias
SIPOLFireCEP3c_noroeste.xls (noroeste, área de influência de Marília, Bauru e Araçatuba)	Adamantina, Agudos, Alto Alegre, Álvaro de Carvalho, Alvinlândia, Andradina, Araçatuba, Arco Iris, Arealva, Avaí, Avandandava, Balbinos, Barbosa, Bariri, Barra Bonita, Bastos, Bauru, Bento de Abreu, Bilac, Birigui, Bocaina, Boracéia, Braúna, Brejo Alegre, Brotas, Cabrália Paulista, Cafelândia, Castilho, Clementina, Coroados, Dois Córregos, Dracena, Duarte, Florida Paulista, Gabriel Monteiro, Gália, Garça, Getulina, Glicério, Guaicará, Guaimbé, Guaraçá, Guarantã, Guararapes, Herculândia, Iacanga, Iacri, Igarapu do Tietê, Inúbia Paulista, Irapuru, Itaju, Itapuí, Jaú, Junqueirópolis, Lavínia, Lins, Lucélia, Lucianópolis, Luisiânia, Lupércio, Macatuba, Mariópolis, Marília, Mineiros do Tietê, Mirandópolis, Monte Castelo, Muritinga do Sul, Nova Independência, Ocaçu, Oriente, Osvaldo Cruz, Ouro Verde, Pacaembú, Panorama, Parapuã, Paulicéia, Pederneiras, Penápolis, Piracatu, Pirajuí, Piratininga, Pompéia, Pongá, Promissão, Queiróz, Quintana, Reginópolis, Rinópolis, Sabino, Sagres, Salmourão, Santa Maria da Serra, Santa Mercedes, Santo Antonio do Aracanguá, Santópolis do Aguapeí, São João do Pau D'Alho, Torrinha, Tupã, Tupi Paulista, Ubirajara, Uru, Valparaíso e Vera Cruz

Tabela 7.4. Relação de planilhas bottom-up ... (cont.)

PLANILHA e REGIÃO DE COBERTURA	MUNICÍPIOS
SIPOLFireCEP3d_sudoeste.xls (sudoeste e extremo oeste, área de influência de Sorocaba e Presidente Prudente)	Águas de Santa Bárbara, Alambari, Alumínio, Álvares Machado, Angatuba, Anhembí, Anhumas, Apiaí, Araçariguama, Araçoiaba da Serra, Areiópolis, Assis, Avaré, Barra do Turvo, Bernardino de Campos, Bofete, Boituva, Bom Sucesso de Itararé, Borá, Borebi, Botucatu, Buri, Caiabu, Caiuã, Campina do Monte Alegre, Cândido Mota, Canitar, Capão Bonito, Capela do Alto, Cerqueira César, Cerquilha, Cesário Lange, Chavantes, Conchas, Coronel Macedo, Cruzália, Echaporã, Emilianópolis, Estrela do Norte, Euclides da Cunha Paulista, Fartura, Florínea, Guareí, Iaras, Ibiúna, Iepê, Indiana, Ipaussu, Iperó, Itaberá, Itaí, Itapetininga, Itapeva, Itaporanga, Itararé, Itatinga, Jumirim, Laranjal Paulista, Lençóis Paulista, Lutécia, Mairinque, Manduri, Maracá, Martinópolis, Mirante do Paranapanema, Narandiba, Nova Campina, Oscar Bressane, Ourinhos, Palmital, Paraguaçu Paulista, Paranapanema, Pardinho, Pedrinhas Paulista, Pereiras, Piedade, Pilar do Sul, Piraju, Pirapozinho, Porangaba, Porto Feliz, Pratânia, Presidente Bernardes, Presidente Epitácio, Presidente Prudente, Presidente Venceslau, Quadra, Quatá, Rancheira, Regente Feijó, Ribeirão do Sul, Ribeirão Grande, Riversul, Rosana, Salto de Pirapora, Salto Grande, Sandovalina, Santa Cruz do Rio Pardo, Santo Anastácio, Santo Expedito, São Manuel, São Miguel Arcanjo, São Pedro do Turvo, São Roque, Sarapuí, Sorocaba, Taciba, Tapiraí, Taquarituba, Taquarivai, Tarabaí, Tarumã, Tatuí, Teodoro Sampaio, Tietê, Timburi e Votorantim

Tabela 7.5. Dicionário de siglas utilizadas nas planilhas

SIGLA	SIGNIFICADO
N	número sequencial do empreendimento
Nº MUNICÍPIO	número do município
MUNICÍPIO	nome do município
RAZÃO SOCIAL	razão social da empresa
CADASTRO	cadastro da empresa no SIPOL
CEP	código de endereçamento postal
ATIVIDADE	descrição da atividade da empresa
PORTE	porte da empresa (P,M,G ou N- nulo), em função do pessoal ocupado
GERAL_EXPORT_EXPORT_SETOR	setor de atividade da empresa na planilha GERAL_EXPORT
BASE 1_SETOR	setor de atividade da empresa na planilha BASE 1
ÁREA TOTAL	área (m ²) de produção e equipamentos do empreendimento
QFUNC TOTAL	número total de funcionários (produção + administração), pelo SIPOL
K1 FUNCTOTAL	1 ou func.empreendimento/total do setor
K2 AREATOTAL	1 ou área empr./total setor
K3 SIPOL/IBGE	amostragem SIPOL/total IBGE
K4 PRODU TORIA	$K4=K1*K2*K3$
USO	uso final do energético (AD, CP ou FM)
ENERG	energético (GASNAT ou O.DIESEL ou OL.COMB.)
Ktep98	consumo (Ktep em 1998) do combustível no setor
CEE	coeficiente de eficiência energética (combustível x uso final)
CEE_GN	CEE em relação ao gás natural, para o uso final
CDEST	coeficiente de destinação para o combustível, por uso final

Tabela 7.5. Dicionário de siglas utilizadas nas planilhas (cont.)

SIGLA	SIGNIFICADO
CONSUMO ktep98xcdest	consumo de combustível atribuído ao empreendimento = ktep98xcdest
Fator CO ₂	fator de emissão de CO ₂ (t /tep)
Fator NO _x A	fator de emissão de NO _x (t /tep) alto (pior caso)
Fator NO _x B	fator de emissão de NO _x (t /tep) baixo (melhor caso)
Fator SO _x A	fator de emissão de SO _x (t /tep) alto (pior caso)
Fator SO _x B	fator de emissão de SO _x (t /tep) baixo (melhor caso)
Fator MP primárioA	fator de emissão de material particulado (t /tep) alto (pior caso), sem controle final
Fator MP primárioB	fator de emissão de material particulado (t /tep) baixo (melhor caso), sem controle final
CONStep	consumo (tep) no empreendimento no ano
CO ₂ (t)	emissão de CO ₂ (t)
NO _x A(t)	emissão de NO _x (t) alto (pior caso)
NO _x B(t)	emissão de NO _x (t) baixo (melhor caso)
SO _x A(t)	emissão de SO _x (t) alto (pior caso)
SO _x B(t)	emissão de SO _x (t) baixo (melhor caso)
MPAprimuncontrolled(t)	emissão de material particulado (t) alto (pior caso), sem controle final
MPBprimuncontrolled(t)	emissão de material particulado (t) baixo (melhor caso), sem controle final

A estrutura da base de dados de fatores de emissão *FIRE* está na Tabela 7.6 e a do SIPOL, na Tabela 7.7.

Tabela 7.6. Estrutura da base FIRE

TABELA BASE DE DADOS	CAMPO	TIPO	TAMANHO	DESCRIÇÃO	ALTERAÇÃO NO ORIGINAL
SCC	SCC w/A	Texto	11	Código-fonte de classificação (Source Classification Code)	Renomeada a coluna "SCC" para "SCC w/A"
SCC	SCC1_DESC	Texto	54	Descrição primária associada ao SCC	" ?
SCC	SCC3_DESC	Texto	54	Descrição secundária associada ao SCC	
SCC	SCC6_DESC	Texto	70	Descrição terciária associada ao SCC	
SCC	SCC8_DESC	Texto	70	Descrição quaternária associada ao SCC	
SCC	SORTSCC	Texto	4	Variável interna, para classificação dos SCC	
SCC	AFSUNITS	Texto	40	Unidade padrão AFS (AIRS Facility Subsystem)	
SCC	MEASURE	Texto	35	Unidade de poluição associada, denominador. Unidades associadas com o material processado, como em toneladas (tons) ("TONS") em libras (lb) ("Lb") de NO _x por TONS de "carvão queimado" ("coal burned")	
SCC	MATERIAL	Texto	40	Material processado	
SCC	ACTION	Texto	20	Ação realizada sobre o material	

Tabela 7.7. Estrutura da base SIPOL

TABELA BASE DE DADOS	CAMPO	TIPO	TAMA- NHO	DESCRIÇÃO	INCLU SÃO? S/N
	N	Número	6	Indexação sequencial, em função do campo CADASTRO	S
EMPRESA	AGÊNCIA	Texto	60	Nome da Agência da CETESB	N
EMPRESA	Nº AGÊNCIA	Número	Inteiro longo	Número da AGÊNCIA	S
EMPRESA	MUNICÍPIO	Texto	30	Nome do município	S
EMPRESA	Nº MUNICÍPIO	Número	Inteiro	Número correspondente ao MUNICÍPIO	S
EMPRESA	CADASTRO	Número	Inteiro longo	Número de cadastro do empreendimento no SIPOL	N
EMPRESA	RAZÃO SOCIAL	Texto	70	Razão social da empresa	N
EMPRESA	LOGRADOURO	Texto	45	Logradouro do empreendimento	N
EMPRESA	NÚMERO	Texto	5	Número	N
EMPRESA	COMPLEMENTO	Texto	17	Complemento	N
EMPRESA	BAIRRO	Texto	17	Bairro	N
EMPRESA	CEP	Número	Inteiro longo	CEP	S
EMPRESA	BACIA	Texto	30	Bacia hidrográfica onde está o empreendimento	N
EMPRESA	Nº BACIA	Número	Byte	Nº da bacia	S
EMPRESA	UGRHI	Texto	30	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI)	N
EMPRESA	Nº UGRHI	Número	Byte	Nº UGRHI	S
EMPRESA	IBGE	Número	Inteiro longo	Código do setor de empreendimento, segundo o sistema CAE 1985, do IBGE	S
EMPRESA	ATIVIDADE	Texto	70	Atividade principal da empresa no local do empreendimento	N
dbo_LICNCINSTLFU NCM	DATIVD	Texto	70	Descrição da atividade, pelo técnico da CETESB	N
dbo_LICNCINSTLFU NCM	CIBGE	Número	Inteiro longo	Código do setor de empreendimento, CAE 1985- IBGE	N
dbo_LICNCINSTLFU NCM	DCORPORECPT	Texto	20	Nome do corpo d'água receptor dos efluentes do empreendimento	N
dbo_LICNCINSTLFU NCM	ICLASSCORPORE CPT	Número	Byte	Classificação legal do corpo d'água receptor dos efluentes do empreendimento	N
dbo_LICNCINSTLFU NCM	QAREATERRN	Texto	255	Área de terreno do empreendimento (m2)	N
dbo_LICNCINSTLFU NCM	QAREACONST	Texto	255	Área de construção do empreendimento (m2)	N
dbo_LICNCINSTLFU NCM	QAREAARLIVRE	Texto	255	Área ao ar livre do empreendimento (m2)	N
dbo_LICNCINSTLFU NCM	QAREALAVRA	Texto	255	Área de lavra do empreendimento (m2)	N
dbo_LICNCINSTLF UNCM	QFUNCNADMNS	Número	Inteiro longo	No. funcionários administrativos do estabelecimento	S
dbo_LICNCINSTLF UNCM	QFUNCNPRODC	Número	Inteiro longo	No. funcionários ligados diretamente à produção	S
dbo_COMBS	NMUNCP	Número	Inteiro	Número do município	N
dbo_COMBS	NSEQNC	Número	Inteiro longo	Número de sequência	N
dbo_COMBS	AINFRM	Data/Hora		Data da informação	N
dbo_COMBS	NCOMBS	Número	Byte	Número do combustível	N
dbo_COMBS	NCOMBSIDENT	Número	Byte	Número do combustível	N
dbo_COMBS	QCOMBS	Número	Duplo	Vazão do combustível	N
dbo_COMBS	CUNIDMEDDA	Número	Inteiro longo	Código da unidade de medida	N
dbo_COMBS	PTEORENXFR	Número	Duplo	Teor de enxofre	N
dbo_DICNRCOMBS	NCOMBS	Número	Byte	Número do combustível	N
dbo_DICNRCOMBS	DCOMBS	Texto	30	Descrição do combustível	N
dbo_DICNRCOMBS	DCOMBSRESMD	Texto	15	Resumo de DCOMBS	N
dbo_DICNRCOMBS	CESTDOFISCO	Texto	2	Estado físico do combustível	N

APÊNDICE 3 - PORTES DOS EMPREENDIMENTOS

Tabela 7.8. Determinação do porte do empreendimento em função do pessoal ocupado no estado de São Paulo, 1998 (IBGE, 1999)

SETOR	FAIXA DE PESSOAL OCUPADO	NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS	PESSOAL OCUPADO TOTAL	% NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS	% PESSOAL OCUPADO TOTAL	% ACUMULADO No. DE ESTABELECIMENTOS	% ACUMULADO PESSOAL OCUPADO TOTAL	PORTE P/M/G (por tercís, pessoal)
A&B	a) 0 A 4	8987	14587	62%	6%	62%	6%	pequeno
A&B	b) 5 A 9	2302	15271	16%	6%	78%	12%	pequeno
A&B	c) 10 A 29	1941	31006	13%	13%	92%	25%	pequeno
A&B	d) 30 A 49	350	13374	2%	5%	94%	30%	médio
A&B	e) 50 A 99	301	21277	2%	9%	96%	39%	médio
A&B	f) 100 A 499	411	81610	3%	33%	99%	73%	grande
A&B	g) 500 E +	119	67124	1%	27%	100%	100%	grande
A&B Total		14411	244249	100%	100%			
CER	a) 0 A 4	1804	2715	58%	6%	58%	6%	pequeno
CER	b) 5 A 9	430	2911	14%	6%	71%	12%	pequeno
CER	c) 10 A 29	562	9725	18%	22%	89%	34%	pequeno
CER	d) 30 A 49	172	6497	5%	14%	95%	48%	médio
CER	e) 50 A 99	91	6362	3%	14%	98%	62%	médio
CER	f) 100 A 499	73	14290	2%	32%	100%	94%	grande
CER	g) 500 E +	4	2645	0%	6%	100%	100%	grande
CER Total		3136	45145	100%	100%			
CIM	a) 0 A 4	56	38	51%	1%	51%	1%	pequeno
CIM	b) 5 A 9	16	115	15%	2%	65%	3%	pequeno
CIM	c) 10 A 29	17	287	15%	6%	81%	9%	pequeno
CIM	d) 30 A 49	6	238	5%	5%	86%	13%	pequeno
CIM	e) 50 A 99	5	365	5%	7%	91%	21%	pequeno
CIM	f) 100 A 499	6	1374	5%	27%	96%	48%	médio
CIM	g) 500 E +	4	2645	4%	52%	100%	100%	grande
CIM Total		110	5062	100%	100%			
FGA	a) 0 A 4	323	495	47%	2%	47%	2%	pequeno
FGA	b) 5 A 9	108	721	16%	3%	63%	4%	pequeno
FGA	c) 10 A 29	140	2420	20%	9%	84%	13%	pequeno
FGA	d) 30 A 49	32	780	5%	3%	88%	16%	pequeno
FGA	e) 50 A 99	37	1344	5%	5%	94%	21%	pequeno
FGA	f) 100 A 499	35	7410	5%	27%	99%	48%	médio
FGA	g) 500 E +	8	14308	1%	52%	100%	100%	grande
FGA Total		683	27478	100%	100%			
FLI	a) 0 A 4	1143	2181	55%	7%	55%	7%	pequeno
FLI	b) 5 A 9	339	2247	16%	7%	71%	14%	pequeno
FLI	c) 10 A 29	402	6666	19%	21%	90%	36%	pequeno
FLI	d) 30 A 49	103	3958	5%	13%	95%	48%	médio
FLI	e) 50 A 99	52	3592	2%	12%	98%	60%	médio
FLI	f) 100 A 499	38	5127	2%	16%	100%	76%	grande
FLI	g) 500 E +	5	7383	0%	24%	100%	100%	grande
FLI Total		2082	31154	100%	100%			

Tabela 7.8. Determinação do porte do empreendimento... (cont.)

SETOR	FAIXA DE PESSOAL OCUPADO	NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS	PESSOAL OCUPADO TOTAL	% NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS	% PESSOAL OCUPADO TOTAL	% ACUMULADO No. DE ESTABELECIMENTOS	% ACUMULADO PESSOAL OCUPADO TOTAL	PORTE P/M/G (por tercís, pessoal)
MNF	a) 0 A 4	2971	5289	58%	11%	58%	11%	pequeno
MNF	b) 5 A 9	1048	6971	21%	14%	79%	25%	pequeno
MNF	c) 10 A 29	691	10582	14%	22%	93%	47%	médio
MNF	d) 30 A 49	116	4362	2%	9%	95%	56%	médio
MNF	e) 50 A 99	78	5441	2%	11%	96%	67%	médio
MNF	f) 100 A 499	65	8291	1%	17%	98%	84%	grande
MNF	g) 500 E +	4	2910	0%	6%	98%	90%	grande
MNF Total		5083	48908	100%	100%			
OSI	a) 0 A 4	59674	108569	65%	9%	65%	9%	pequeno
OSI	b) 5 A 9	12992	85759	14%	7%	79%	16%	pequeno
OSI	c) 10 A 29	12529	201890	14%	17%	92%	32%	pequeno
OSI	d) 30 A 49	2726	111048	3%	9%	95%	42%	médio
OSI	e) 50 A 99	2141	148733	2%	12%	98%	54%	médio
OSI	f) 100 A 499	1651	298014	2%	24%	99%	78%	grande
OSI	g) 500 E +	571	265551	1%	22%	100%	100%	grande
OSI Total		92284	1219564	100%	100%			
P&C	a) 0 A 4	1055	1704	50%	3%	50%	3%	pequeno
P&C	b) 5 A 9	288	1918	14%	3%	63%	6%	pequeno
P&C	c) 10 A 29	412	6693	19%	10%	83%	16%	pequeno
P&C	d) 30 A 49	123	4747	6%	7%	88%	23%	pequeno
P&C	e) 50 A 99	110	7645	5%	12%	94%	35%	pequeno
P&C	f) 100 A 499	123	28482	6%	44%	99%	80%	grande
P&C	g) 500 E +	15	13081	1%	20%	100%	100%	grande
P&C Total		2126	64270	100%	100%			
QUI	a) 0 A 4	2893	4673	54%	4%	54%	4%	pequeno
QUI	b) 5 A 9	794	5267	15%	4%	69%	8%	pequeno
QUI	c) 10 A 29	831	13728	15%	11%	84%	18%	pequeno
QUI	d) 30 A 49	252	8143	5%	6%	89%	25%	pequeno
QUI	e) 50 A 99	283	19850	5%	15%	94%	40%	médio
QUI	f) 100 A 499	284	45260	5%	35%	99%	75%	grande
QUI	g) 500 E +	43	31863	1%	25%	100%	100%	grande
QUI Total		5380	128784	100%	100%			
TEX	a) 0 A 4	3422	5892	61%	6%	61%	6%	pequeno
TEX	b) 5 A 9	750	5043	13%	5%	75%	10%	pequeno
TEX	c) 10 A 29	816	13598	15%	13%	90%	23%	pequeno
TEX	d) 30 A 49	206	7601	4%	7%	93%	31%	pequeno
TEX	e) 50 A 99	152	10640	3%	10%	96%	41%	médio
TEX	f) 100 A 499	189	36368	3%	35%	99%	76%	grande
TEX	g) 500 E +	31	25528	1%	24%	100%	100%	grande
TEX Total		5566	104670	100%	100%			

APÊNDICE 4. RELAÇÃO DAS PLANILHAS E BASES DE DADOS DA MÍDIA ELETRÔNICA (CD-ROM) ANEXA.

São os que constam da Tabela 7.9.

Tabela 7.9. Relação das planilhas e bases de dados na mídia eletrônica

TÓPICO	ARQUIVOS
1. FATORES DE EMISSÃO SELECIONADOS DA BASE <i>FIRE</i>	Planilhas [emissões.xls; emissões] e [emissões.xls; <i>FIRE</i> seleção EXPORT]
2. RESULTADOS DA ABORDAGEM <i>TOP-DOWN</i> PARA TODOS OS SETORES	Planilhas [SPtodos.xls; setores síntese] e [SPtodos setores.xls; SP (síntese)]
3. RESULTADOS DA ABORDAGEM <i>TOP-DOWN</i> PARA OS SETORES INDUSTRIAIS SELECIONADOS NOS ANOS DE 1992, 1998 E 2000	Planilhas [Resultados.xls; top-down 1992]; [Resultados.xls; top-down 1998] e [Resultados.xls; top-down 2000]
4. EXTRATOS DA ABORDAGEM <i>TOP-DOWN</i> (SETORES SELECIONADOS, 2000): PARCELAS DO GÁS NATURAL, ÓLEO DIESEL E ÓLEO COMBUSTÍVEL	Planilhas [Resultados.xls td 2000gn], [Resultados.xls td 2000od] e [Resultados.xls td2000oc]
5. PROJEÇÕES A PARTIR DA ABORDAGEM <i>TOP-DOWN</i> (SETORES SELECIONADOS, 2000): SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO DIESEL E ÓLEO COMBUSTÍVEL POR GÁS NATURAL	Planilhas [Resultados.xls td 2000 GNOD] e [Resultados.xls td 2000 GNOC]
6. RESULTADOS POR REGIÃO E MUNICÍPIO DA ABORDAGEM <i>BOTTOM-UP</i> PARA OS SETORES INDUSTRIAIS SELECIONADOS: ANO DE 1992, 1998 E 2000	Planilhas [Resultados.xls; bottom-up 1992]; [Resultados.xls; bottom-up 1998] e [Resultados.xls; bottom-up 2000]
7. PROJEÇÕES A PARTIR DA ABORDAGEM <i>BOTTOM-UP</i> (SETORES SELECIONADOS, 2000): SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO DIESEL E ÓLEO COMBUSTÍVEL POR GÁS NATURAL	Planilhas [Resultados.xls bup 2000 GN OD] e [Resultados.xls bup 2000 GN OC]
8. RESUMO DOS DADOS CALCULADOS A PARTIR DA BASE SIPOL: REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	Planilhas [SIPOL CEP1a capital.xls] e [SIPOL CEP1b RMSP.xls]
9. RESUMO DOS DADOS CALCULADOS A PARTIR DA BASE SIPOL: LITORAL E VALE DO PARAÍBA	Planilhas [SIPOL CEP2a litoral.xls] e [SIPOL CEP2b valedoparaiba.xls]
10. RESUMO DOS DADOS CALCULADOS A PARTIR DA BASE SIPOL: CAMPINAS E CENTRO-NORDESTE DO ESTADO	Planilhas [SIPOL CEP2c campinas.xls], [SIPOL CEP2d centronordeste.xls] e [SIPOL CEP3a centronordeste.xls]
11. RESUMO DOS DADOS CALCULADOS A PARTIR DA BASE SIPOL: NORTE, OESTE E SUDOESTE DO ESTADO	Planilhas [SIPOL CEP3b centronorte.xls], [SIPOL CEP3c noroeste.xls] e [SIPOL CEP3d sudoeste.xls]
12. BALANÇO DE ENERGIA ÚTIL 1993	Pasta BEU93
13. PESQUISA INDUSTRIAL IBGE 1998	Pasta IBGE PIA 1998
14. FATORES DE EMISSÃO DA EPA	Pasta EPA FIRE
15. BASE DE DADOS SIPOL (EDITADA)	Pasta SIPOL, planilha SIPOL.xls
16. BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO 2001	Pasta BEESP, Planilha BESP01.xls
17. CONVERSOR DE UNIDADES	Arquivo CONVERT.EXE