

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**

Eliza Frattini Montali

Emissões Atmosféricas Industriais: Uma Proposta de Indicadores de Pressão

Campinas - SP
2010

Eliza Frattini Montali

Emissões Atmosféricas Industriais: Uma Proposta de Indicadores de Pressão

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Estadual de Campinas,
como requisito para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia Química

Orientador: Edson Tomaz

Campinas - SP
Fevereiro de 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

M761e Montali, Eliza Frattini
Emissões atmosféricas industriais: uma proposta de indicadores de pressão / Eliza Frattini Montali. -- Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Edson Tomaz.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Indicadores ambientais. 2. Emissão atmosférica. 3. Poluição. 4. Sustentabilidade. I. Tomaz, Edson. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Industrial air emissions: a proposal for pressure indicators

Palavras-chave em Inglês: Environmental indicator, Air emission, Pollution, Sustainability

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos

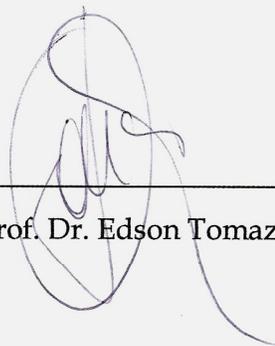
Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora: Emília Wanda Rutkowski, Gládis Camarini

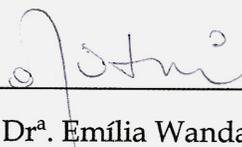
Data da defesa: 23/02/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Química

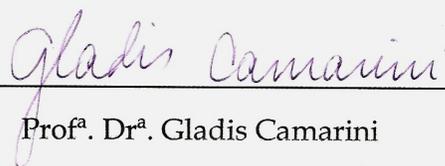
Dissertação de Mestrado defendida por Eliza Frattini Montali e aprovada em 23 de Fevereiro de 2010 pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Prof. Dr. Edson Tomaz

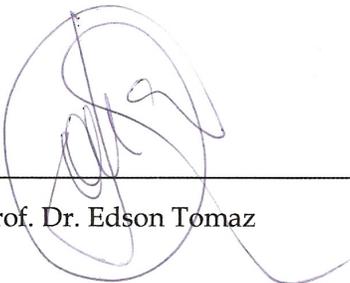


Profª. Drª. Emília Wanda Rutkowski



Profª. Drª. Gladis Camarini

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Engenharia Química apresentada por Eliza Frattini Montali e aprovada pela comissão julgadora em 23 de Fevereiro de 2010.



Prof. Dr. Edson Tomaz

*Dedico este trabalho aos meus pais Eliana e Marcelo,
Pelo amor, apoio, amizade e encorajamento incondicionais.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, autor da vida.

À Ana Maria Frattini Fileti, incentivadora.

Ao Edson Tomaz, que me proporcionou essa oportunidade.

Aos amigos do LPDTA, o companheirismo. Em especial, Ana Cláudia Tresmondi, Ana Cláudia Veda, Eliana Marqui, Paula Baroni, Carlos Ferreira e Valmir.

Aos amigos da Igreja Batista do Cambuí, suporte em oração.

Aos avós, tios, primos, cunhados e sogros, grande torcida.

Aos irmãos Elza e Raphael, apoio desde que nasci e por toda a vida.

Aos sobrinhos, Alice, Lucas, Camila e Felipe, motivação para mim.

Aos meus pais Eliana e Marcelo, àqueles escolhidos por Deus para cuidar de mim, que ótima escolha! Amo vocês.

Ao Milton, que enquanto eu realizei este trabalho não foi apenas o meu melhor amigo, foi meu namorado, depois meu noivo e hoje meu marido. Amor da minha vida.

RESUMO

MONTALI, E. F. **Emissões Atmosféricas Industriais: Uma Proposta de Indicadores de Pressão.** [Industrial air emissions: proposal of pressure e indicators]. Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2010. 117p. Dissertação (Mestrado)

Dentro da gestão ambiental, os indicadores são ferramentas essenciais para a avaliação do desempenho ambiental. Por ser um tema amplo, o indicador ambiental normalmente é subdividido em três tipos: indicadores operacionais, indicadores de condição ambiental, e indicadores gerenciais. O presente trabalho enfoca as emissões atmosféricas da indústria química brasileira, propõe indicadores operacionais para este tipo de poluição e seus efeitos. O objetivo é propor indicadores que condizem com a realidade do país e possam ser aplicados em processos produtivos. Foram desenvolvidos Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA) que quantificam o consumo de recursos naturais energéticos e os poluentes primários ou secundários emitidos, expressos em massa de poluentes em relação ao nível de atividade da fonte, e Indicadores de Impacto Ambiental (IIA), expresso em massa de poluentes por ano. Os indicadores de emissão atmosférica utilizam dados quantitativos de emissões e de produção e foram elaborados para poluentes primários: monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre. Além dos poluentes primários são contemplados indicadores para os efeitos da poluição como acidificação, potencial de formação de ozônio troposférico, potencial de destruição de ozônio estratosférico e o efeito estufa.

Palavras-chave: indicadores ambientais; emissões atmosféricas; desempenho ambiental; impacto ambiental.

ABSTRACT

MONTALI, E.F. **Industrial Air Emissions: A Proposal for Pressure Indicators.**
[Proposta de indicadores de emissões atmosféricas para a indústria química brasileira].
School of Chemical Engineering, University of Campinas, UNICAMP, 2010. 117p.
Masters Thesis

Within the environmental management, the indicators are essential tools for assessment of environmental performance. Because it is a broad topic, the environmental indicator is usually divided into three types: operational indicators, indicators of environmental condition, and management indicators. This paper focuses on atmospheric emissions of the chemical industry in Brazil, proposes operational indicators for this type of pollution and its effects. The goal is to propose indicators that are consistent with the reality of the country and can be applied in production processes. Environmental Performance Indicators (EPI) have been developed that measure the consumption of natural resources and energy and the primary or secondary pollutants emitted, expressed in mass of pollutants in relation to the activity level of the source, and Indicators of Environmental Impact Assessment (IIA), expressed in mass of pollutants per year. Indicators of air emission use quantitative data of emissions and production and are designed for primary pollutants: carbon monoxide, volatile organic compounds, nitrogen oxides and sulfur oxides. In addition to the primary pollutants are covered indicators for the effects of pollution such as acidification, ozone formation potential, potential of depleting stratospheric ozone, and greenhouse effect.

Keywords: environmental indicators, air emissions, environmental performance, environmental impact.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
NOMENCLATURA	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 GESTÃO AMBIENTAL	5
2.2 INDICADORES AMBIENTAIS	7
2.2.1 Indicadores	8
2.2.2 Indicadores de desenvolvimento sustentável e de sustentabilidade	9
2.2.3 Indicadores Ambientais	11
2.2.4 Indicadores de desempenho ambiental.....	12
2.2.5 Indicadores nacionais, regionais ou locais.....	12
2.2.6 Indicadores com abordagem <i>Top-Down</i> e <i>Bottom-up</i>	13
2.3 DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS E PARA RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE	14
2.3.1 Guia para Avaliação de Desempenho Ambiental através de Indicadores da ISO 14031	14
2.3.1.1 Indicadores de desempenho ambiental (IDA)	15
2.3.1.2 Indicadores de condições ambientais (ICA)	16
2.3.1.3 Uso da Avaliação de Desempenho Ambiental.....	16
2.3.1.4 Método do Processo de Avaliação de Desempenho do Sistema de Gestão Ambiental	17
2.3.2 Diretrizes para o Desenvolvimento, Mensuração e Uso de Indicadores da OECD 19	
2.3.3 OECD e ISO 14031	22

2.3.4	Diretrizes para elaboração de relatórios de sustentabilidade através de indicadores: Global Reporting Initiative – GRI	22
2.3.5	Exemplos de indicador ambiental.....	24
2.3.5.1	Global Reporting Initiative – GRI.....	24
2.3.5.2	Greenhouse Gas Protocol – Protocolo GEE	25
2.4	POLÍTICAS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA QUÍMICA.....	26
2.5	ATMOSFERA	28
2.6	POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	30
2.6.1	Óxidos de enxofre (SO _x)	32
2.6.2	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	34
2.6.3	Monóxido de carbono (CO).....	36
2.6.4	Ozônio	37
2.6.5	Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	38
2.6.6	Gases de Efeito Estufa (GEE)	38
2.6.7	Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (SDO).....	42
2.6.8	Material Particulado (MP).....	43
2.7	EFEITOS DA POLUIÇÃO	44
2.7.1	Acidificação	44
2.7.2	Potencial da Formação de Ozônio Troposférico	45
2.7.2.1	Escalas de Reatividade.....	47
2.7.3	Destruição da Camada de ozônio	48
2.7.3.1	Brasil e o Protocolo de Montreal	49
2.7.4	Efeito Estufa.....	50
2.7.4.1	Fontes de emissões de GEE	53
2.7.4.2	Protocolo de Quioto	56
2.7.4.3	O Brasil e suas ações com relação às mudanças do clima	58
2.7.4.4	Emissões do setor elétrico brasileiro.....	59
2.8	QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES	64
2.8.1	Métodos de estimativas de emissões	65

2.8.1.1	Fatores de emissões	66
2.8.1.2	Balanço de massa	68
2.8.1.3	Amostragem de chaminé.....	69
2.8.1.4	Modelos de emissão	70
3	PROPOSTA DE INDICADORES PARA A INDÚSTRIA QUÍMICA	77
3.1	INDICADORES DE EMISSÃO ATMOSFÉRICA.....	78
3.1.1	Indicador de Potencial Acidificação	79
3.1.2	Indicadores de Emissão de Monóxido de Carbono.....	79
3.1.3	Indicador de Potencial Formação de Ozônio Troposférico por COV	80
3.1.4	Indicadores de Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis	81
3.1.5	Indicadores de Emissão de NO _x	82
3.1.6	Indicadores de Potencial de Destruição de Ozônio Estratosférico.....	82
3.1.7	Indicador de Emissão de Gases de Efeito de Estufa.....	83
3.1.7.1	Considerações para a proposição de indicadores de GEE.....	83
3.1.7.2	Indicadores de GEE para a indústria química.....	86
4	EXEMPLO DE APLICAÇÃO: indicadores de emissões atmosféricas em uma refinaria de petróleo	91
4.1	Indicador de Efeito Estufa para uma refinaria	94
4.2	Indicadores de Potencial Acidificação, de emissão de CO, de Potencial Formação do O ₃ Troposférico, de emissão COV e de emissão de NO _x de uma refinaria	97
5	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

NOMENCLATURA

ABIQUIM - Associação Brasileira das Indústrias Químicas

ADA - Avaliação de Desempenho Ambiental

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental

GEE - Gases de Efeito Estufa

GRI - Global Reporting Initiative

IAP - Instituto Ambiental do Paraná

ICA - Indicador de Condições Ambientais

ICCA - International Council of Chemical Associations

IDA - Indicador de Desempenho Ambiental

IDG - Indicador de Desempenho de Gestão

IDO - Indicador de Desempenho Operacional

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IIA - Indicador de Impacto ambiental

ISO - International Organization for Standardization

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MIR - Maximum Incremental Reactivity

MP - Material Particulado

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

PDO - Potencial de Destruição do Ozônio Estratosférico

SDO - Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio

SGA - Sistema de Gestão Ambiental

SIN - Sistema Interligado Nacional

UNEP - United Nations Environment Programme

UNITAR - United Nations Institute For Training and Research

UV - ultravioleta

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development

WRI - World Resources Institute

1 INTRODUÇÃO

Embora a preocupação ambiental e as discussões sobre sustentabilidade das atividades antrópicas sejam crescentes, ainda são poucas as ferramentas disponíveis para que se tenha a dimensão dos impactos e alterações potenciais dessas atividades sobre o meio onde estão inseridas e sobre os recursos naturais.

No Brasil, não há apenas a escassez de ferramentas para a dimensão dos impactos, mas são poucos os registros de dados ambientais, tais como dados de emissão atmosférica, de lançamento de efluentes, geração de resíduos, consumo de recursos naturais, entre outros. Tais dados são necessários para que as análises de impacto ambiental sejam confiáveis.

Os dados de qualidade do meio, como dados de monitoramento registrados por órgãos públicos são raros na maioria dos estados e dados ambientais de atividades poluidoras são ocultados ou até mesmo não são medidos.

Tem-se encontrado a necessidade de mudança nesta realidade dentro do aspecto ambiental, em diversas áreas, indicadores são utilizados amplamente para transmitir informações de forma objetiva no âmbito econômico, social, ambiental entre outros.

O objetivo deste trabalho é propor indicadores ambientais, especificamente os indicadores de desempenho operacional que possam ser aplicados à indústria química brasileira.

Para tanto ressalta-se que os indicadores ambientais que podem ter associadas a eles outras classificações adicionais como os indicadores de sustentabilidade, de desenvolvimento sustentável ou de desempenho ambiental; podem ter diferentes abrangências: organizacionais, locais, nacionais e globais; e diferentes abordagens como a *top-down* e a *bottom-up*. Para direcionamento do tema são encontrados na literatura alguns documentos com diretrizes para a elaboração de indicadores, os principais são o

da OECD (2003) e o da norma ISO 14031 (1999), mais direcionado ao desempenho ambiental organizacional.

A elaboração de indicadores de desempenho operacional visa enfocar a indústria química brasileira que tem os indicadores ambientais em sua fase inicial. A Associação Brasileira das Indústrias Químicas (ABIQUM) possui indicadores que são utilizados como parte do cumprimento do programa pertencente ao *International Council of Chemical Associations (ICCA)*, o *Responsible Care*.

O programa *Responsible Care* consiste em uma iniciativa voluntária global onde as indústrias, junto às suas associações nacionais, desenvolvem um trabalho para melhorar o desempenho na saúde, segurança e meio ambiente e comunicar aos seus parceiros a relação dos seus produtos e processos com estes aspectos.

O desenvolvimento de indicadores de emissões atmosféricas para a indústria química tem por objetivo auxiliar a avaliação de desempenho ambiental contemplando particularidades nacionais, indicadores que permitam o estabelecimento de metas para melhoria contínua na indústria química nacional.

Esta dissertação está organizada em sete capítulos que são descritos resumidamente a seguir.

Capítulo 1 - Introdução

O capítulo 1 introduz o tema estudado, apresenta um panorama da dissertação e a importância deste trabalho para que os dados ambientais sejam cada vez mais registrados e tenham a possibilidade de ser disponibilizados.

Capítulo 2 - Revisão de Literatura.

A revisão de literatura apresenta os temas centrais da proposta elaborada no presente trabalho.

Traz algumas noções sobre a gestão ambiental e políticas da indústria química;

Apresenta algumas considerações de outros autores sobre o tema central, os indicadores, abordando os diversos conceitos a eles relacionados. Também algumas das principais diretrizes existentes para sua elaboração, que são estruturas desenvolvidas e já aplicadas em outras áreas;

Dentro deste capítulo são apresentados temas da poluição atmosférica como características da atmosfera, os poluentes do ar e seus efeitos;

São apresentados também os métodos para a quantificação e estimativa de emissões atmosféricas.

Capítulo 3 – Proposta de indicadores para a indústria química brasileira

O capítulo 3 descreve as definições elaboradas para os indicadores propostos. Os indicadores são apresentados com uma breve revisão bibliográfica sobre seu tema específico, seja o indicador de um determinado poluente ou do efeito da poluição. Os indicadores consistem em equações elaboradas com este embasamento teórico apresentadas também neste capítulo.

Capítulo 4 – Exemplo de Aplicação

No capítulo quatro é apresentado um exemplo de aplicação da proposta de indicadores, utilizando os dados de uma refinaria de petróleo, especificamente, os dados de suas emissões e os dados de produtividade.

Capítulo 5 – Conclusão e Considerações Finais

Neste capítulo são feitas algumas considerações sobre a importância do tema estudado e da aplicação de indicadores de desempenho operacional

O capítulo 6 traz as sugestões para trabalhos futuros e por fim o capítulo 7 apresenta a relação das referências bibliográficas utilizadas

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GESTÃO AMBIENTAL

Em meio às preocupações ambientais e à necessidade de conservação faz-se essencial na administração de uma organização que um grupo de gestão ambiental atue com excelência.

A gestão ambiental de indústrias está inserida em um sistema que utiliza ferramentas auxiliares desenvolvidas por órgãos competentes, o cumprimento de metas obtido através da utilização destas ferramentas possibilita à organização a atribuição de certificações. Tais certificações trazem a elas reconhecimento dos consumidores, investidores e de outros que, por este atributo, podem reconhecer esforços que resultam em responsabilidade sócio-ambiental, ou seja, responsabilidade com o meio onde se insere.

A gestão ambiental busca incorporar ao processo produtivo, às estratégias e políticas, preocupações com a qualidade do meio ambiente e com o uso sustentável dos recursos naturais.

De acordo com Tinoco e Kraemer (2006) a gestão ambiental é o sistema que inclui atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental em uma estrutura organizacional.

As normas técnicas da série ISO 14.000 estabelecem um padrão para os sistemas de gestão ambiental. A série aborda cinco temas da gestão ambiental de uma organização e os termos e definições relacionados a esta área de atuação:

- Sistema de Gestão Ambiental (SGA), através das normas ISO 14.001 e ISO 14.004;

- Auditorias Ambientais, através das normas ISO 14.010, ISO 14.011, ISO 14.012 e ISO 14.015;
- Rotulagem Ambiental, através das normas ISO 14.020, ISO 14.021, ISO 14.025;
- Avaliação de Desempenho Ambiental, através das normas ISO 14.031 e ISO 14.032;
- Análise de Ciclo de Vida de Produto, através das normas ISO 14.040, ISO 14.041, ISO 14.042, ISO 14.043; e
- Termos e Definições.

As empresas têm sido cobradas a empregar em sua gestão um sistema de gestão ambiental (SGA), pois com a melhoria na conscientização ambiental da sociedade há um reflexo na elaboração de leis e normas reguladoras das questões ambientais. Através de um SGA as empresas podem adquirir atributos desejáveis para a venda de serviços e produtos e para uma imagem positiva junto à sociedade (NICOLELLA, MARQUES e SKORUPA, 2004).

A norma NBR ISO 14001 especifica os requisitos para que um sistema de gestão ambiental capacite uma organização a desenvolver e implementar políticas e objetivos, que levem em consideração requisitos legais e informações sobre aspectos ambientais significativos, para que a empresa possa atingir um desempenho ambiental correto por meio do controle dos impactos de suas atividades, produtos e serviços.

No Brasil são aplicados pelas empresas dois sistemas de gestão ambiental, a NBR ISO 14001, mais difundido pelo país, e o Programa de Atuação Responsável da Associação Brasileira de Indústrias Químicas.

Como ferramenta do SGA são utilizados indicadores que têm sido desenvolvidos em empresas de diferentes setores, pois apresentam uma grande importância no domínio de informações e comunicação interna e externa à organização e como consequência desejada há a possibilidade de melhora nos seus desempenhos.

2.2 INDICADORES AMBIENTAIS

Os indicadores ambientais são parte de um contexto de busca de qualidade de vida. Alguns marcos mostram o início desta busca, onde iniciaram as discussões do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade.

O Clube de Roma foi constituído em 1968 com foco na discussão da problemática mundial: o ritmo acelerado da industrialização e do crescimento demográfico, a desnutrição generalizada, o esgotamento dos recursos naturais não renováveis e a deterioração ambiental e começou a promover uma ampla discussão internacional dos dilemas sobre o futuro da humanidade. (MEADOWS *et al*, 1972)

Um dos estudos obtidos por meio do Clube de Roma foi o relatório intitulado “Limites do Crescimento”, elaborado por Donella Meadows e também conhecido como Relatório Meadows. Em Meadows *et al* (1972) as discussões interdisciplinares de pesquisadores romperam com a idéia da ausência de limites de exploração dos recursos da natureza, foram um passo para a busca do desenvolvimento sustentável.

No mesmo ano da publicação do Relatório Meadows ocorreu a Conferência de Estocolmo, uma conferência organizada pela Organização das Nações Unidas sobre o homem e o meio ambiente. Nela foram reunidos 113 países e foi considerada a primeira reunião ambiental global.

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente, conhecida como comissão Brundtland, publicou o relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”, que definiu desenvolvimento sustentável pela primeira vez. A definição afirma que “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987).

Em 1992, decorridos 20 anos da conferência pioneira da ONU (realizada em Estocolmo), ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e desenvolvimento - CNUMAD no Rio de Janeiro, onde foi elaborada a Agenda 21.

Bellen (2007) descreveu o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável como um processo de reavaliação crítica entre a sociedade civil e seu meio natural. O autor busca descrever a sustentabilidade a partir do desenvolvimento sustentável e ressalta que existem múltiplos níveis de sustentabilidade¹ que podem ser constatados através da inter-relação de subsistemas, entretanto é possível observar a sustentabilidade a partir de subsistemas, como por exemplo, numa comunidade local, um empreendimento industrial, uma eco-região ou uma nação e deve-se reconhecer que existem interdependências e fatores que não podem ser controlados dentro das fronteiras desses sistemas menores.

2.2.1 Indicadores

Um dos principais desafios na busca do desenvolvimento sustentável é a disponibilidade de ferramentas para mensuração e organização de dados. Tais ferramentas possibilitariam a constatação da sustentabilidade do desenvolvimento ao longo do tempo.

Uma das alternativas para este desafio é a elaboração de indicadores que auxiliem organizações a exercerem atividades sustentáveis para a melhoria de seu desempenho.

Entretanto algumas definições são encontradas na literatura podem ser consideradas para o entendimento dos conceitos de indicadores. Holling (1978) define um indicador como “a medida do comportamento de um sistema em termos de significância e atributos expressivos e perceptíveis”, e Mc Queen e Noak (1988) como “a

¹ A palavra sustentabilidade tem origem no latim “sustentare” e traz consigo os significados de sustentar, sustentar, suportar, conservar, manter e resistir.

medida que resume informações relevantes de um fenômeno particular ou uma aproximação tolerável para tais medidas”.

Para a OECD (1993) o indicador deve ser considerado como um “parâmetro ou valor derivado de parâmetros que aponta ou provê informações descritivas do fenômeno, ambiente ou área com extensão significativa além da associação direta com o valor do parâmetro (propriedade que é medida ou observada)”.

Outra definição a ser considerada é que um indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade, tendo como característica principal a de poder sintetizar diversas informações, retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados (MITCHELL, 2007)

Walz (2000) definiu indicador como uma variável que descreve o sistema, onde a variação é uma representação operacional de um atributo (qualidade, característica, propriedade) de um sistema e representa sua imagem ou define um atributo em termos de medida específica ou observações de procedimentos.

Assim como Walz, Gallopín (1997) definiu um bom indicador como uma variável, que agrega ou mesmo simplifica as informações relevantes, torna fenômenos de interesse perceptíveis e quantifica, avalia e comunica estas informações.

Martínez (2004) afirma que um indicador não se resume em estatísticas que demonstram um determinado conjunto de dados; é uma variável que esclarece significados que não são imediatamente aparentes e são decodificados por usuários em função de um valor assumido em um determinado momento.

2.2.2 Indicadores de desenvolvimento sustentável e de sustentabilidade

Os indicadores de desenvolvimento sustentável são amplos e necessitam de interligações entre os sistemas, muitas vezes não consideram a dimensão do tempo. Esse tipo de indicador é muito comum para parâmetros de um país com finalidade governamental. Traz consigo diversos aspectos sociais, ambientais, econômicos e de saúde.

Devido à sua complexidade e dificuldade em interligar sistemas, tem-se como alternativa os indicadores de sustentabilidade que tratam cada um dos aspectos com maior detalhamento.

O conceito de indicadores de sustentabilidade pode restringir-se aos indicadores de sustentabilidade ambiental que são apresentados como uma ferramenta de gerenciamento das informações ambientais, e segundo Martínez (2004) indicadores de sustentabilidade constituem um sistema de sinais que permite a avaliação de um progresso, no que diz respeito à gestão ambiental ou ao desenvolvimento sustentável.

Gallopín (1997) descreve os requisitos universais para o indicador de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade, a saber:

- Os valores dos indicadores devem ser mensuráveis ou observáveis;
- Deve haver disponibilidade dos dados;
- A metodologia para a coleta e processamento dos dados bem como para a construção dos indicadores deve ser limpa, transparente e padronizada;
- Os meios para construir e monitorar os indicadores devem estar disponíveis, incluindo capacidade financeira, humana e técnica;
- Os indicadores ou grupo de indicadores devem ser financeiramente viáveis;
- Deve haver aceitação política dos indicadores no nível adequado; indicadores não-legitimados pelos tomadores de decisão são incapazes de influenciar decisões.

De uma maneira mais simplificada, Martinez (2004) diz que o indicador deve ser capaz de refletir de forma qualitativa ou quantitativa informações importantes para a formação de opinião ou para tomada de decisão sobre as condições de um sistema atual, do passado ou futuro.

Deve-se considerar que os indicadores de sustentabilidade são construídos com base em uma concepção teórica e, portanto, apresentam condicionantes ideológicos, ou seja, são elaborados a partir de uma forma específica de pensar a sustentabilidade do desenvolvimento. (MARTÍNEZ, 2004 e BESSERMAN, 2005)

2.2.3 Indicadores Ambientais

Além de indicadores de sustentabilidade ambiental, alguns autores usam o termo ‘indicadores ambientais’, e se diferem dos anteriores quanto à sua finalidade. Nos indicadores ambientais o objetivo principal é mostrar a qualidade do meio.

A USEPA (2003), no Relatório do Meio Ambiente, definiu indicadores ambientais como um valor numérico derivado de medidas atuais da pressão, estado ou condição ambiental, exposição da saúde humana ou condição ecológica acima das especificações da propriedade geográfica, cuja tendência se descreve ao longo do tempo, ou requer atenção para delinear tendências nas condições ambientais.

O Banco de Desenvolvimento Asiático, de acordo com sua visão do tema, definiu os indicadores ambientais como algo que representa uma maneira eficiente de medida dos aspectos ambientais em um país: potencialmente, indicadores podem sinalizar a saúde do meio ambiente e podem ajudar na formulação de ações que em longo prazo servirão às necessidades do meio ambiente e da comunidade.

A UNEP (2004) definiu indicadores ambientais como “uma maneira de melhorar a disposição de informação para os tomadores de decisão”. No mesmo sentido a definição da OECD (2004) apresenta como “uma ferramenta essencial para traçar o progresso ambiental, apoiando a avaliação política e informando o público”.

De acordo com as definições encontradas, os indicadores ambientais têm como foco principal à saúde ambiental e a qualidade do meio, diferente do indicador de sustentabilidade ambiental que tem seu foco em unir informações técnicas às políticas públicas, auxiliando a tomada de decisão dos gestores ambientais de atividades antrópicas.

2.2.4 Indicadores de desempenho ambiental

Os indicadores de desempenho reúnem indicadores de diferentes períodos, o mais comum são períodos anuais. Com a análise dos parâmetros indicados ao longo do tempo, tem-se o desempenho.

Bartolomeo (1995) definiu indicador de desempenho ambiental como a informação quantitativa ou qualitativa que permite a avaliação, do ponto de vista ambiental, da efetividade de organização e eficiência na utilização de recursos. Segundo Ross (1996) indicadores de desempenho ambiental são “um número, absoluto ou relativo, que facilita o gerenciamento, a comunicação e reafirma o desempenho da organização”.

De acordo com as definições pode-se concluir que estes indicadores são uma boa ferramenta para a melhoria de desempenho de organizações.

A norma ISO 14031 definiu indicadores de desempenho ambiental como a expressão específica que provê informações sobre o desempenho ambiental das organizações. Esta norma é um guia para a elaboração de indicadores de desempenho ambiental, um dos documentos de referência nesta área.

2.2.5 Indicadores nacionais, regionais ou locais

Além da expressividade dos indicadores ao longo do tempo, estes podem ser classificados de acordo com a sua abrangência, assim eles podem ter, entre outras classificações, as de indicadores nacionais, regionais ou locais.

Para os indicadores nacionais, a ONU elaborou uma lista, através de sua comissão para o desenvolvimento sustentável, que apresenta diversos indicadores de desenvolvimento. Cabe a cada país escolher o indicador que represente sua realidade.

Os indicadores com abrangência regional fornecem informações mais completas das condições ambientais de uma região delimitada por um continente, estado, conjunto

de municípios. No caso hídrico, a região pode ser delimitada por uma bacia hidrográfica.

Os indicadores locais são semelhantes aos regionais, entretanto é possível alcançar um detalhamento mais elevado com este tipo de indicador, com a caracterização das fontes poluidoras.

2.2.6 Indicadores com abordagem *Top-Down* e *Bottom-up*

As abordagens de indicadores são feitas de duas maneiras predominantes, a abordagem *top-down* ou a *bottom-up*, e a conceituação dessas abordagens apresenta significativa importância para a seleção de indicadores de uma maneira geral.

Os indicadores elaborados com a abordagem *top-down* possuem os sistemas e o grupo de indicadores definidos por pesquisadores e especialistas para que os tomadores de decisão o utilizem. Nesta abordagem, os tomadores de decisão podem adaptar os indicadores às condições locais, mas não podem modificá-lo nem modificar o sistema. Segundo Bellen (2007), a abordagem possui vantagens como uma aproximação cientificamente mais homogênea, válida em termos de indicadores e índices e a desvantagem de ser um sistema que não tem nenhum contato direto com as prioridades das comunidades e não considerar as possíveis limitações de recursos naturais.

A abordagem *bottom-up* conta com a participação da comunidade, tomadores de decisão para determinar os grupos de indicadores e o que será mensurado, posteriormente recebe o exame de especialistas para ser finalizado. Bellen (2007) aponta nesta abordagem a vantagem da comunidade adotar o projeto e se estabelecem prioridades e escassez no sistema e como desvantagem o autor ressalta que esta abordagem pode levar à omissão de fatores essenciais à sustentabilidade.

2.3 DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS E PARA RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE

Como embasamento à proposição de indicadores, as estruturas e diretrizes para elaboração de indicadores ambientais da norma ISO 14031 e da OECD são conteúdos indispensáveis.

Complementar o tema é a estrutura para a elaboração de relatórios de sustentabilidade publicada pela *Global Reporting Initiative* – GRI com a utilização de indicadores ambientais pré-estabelecidos.

2.3.1 Guia para Avaliação de Desempenho Ambiental através de Indicadores da ISO 14031

Em 1997, O Ministério do Meio Ambiente, de Bonn e a Agência Ambiental Federal, de Berlin publicaram o documento Guia de Indicadores Ambientais Corporativos. A publicação trouxe uma orientação para as empresas utilizar indicadores na organização de extensos dados da área ambiental. O documento foi elaborado a fim de ter uma estrutura internacional e foi incorporada na elaboração da norma ISO 14031 de 1999.

A ISO 14031 é um guia para a elaboração e definição de alguns tipos de indicadores que avaliam o desempenho ambiental de organizações.

Os objetivos dos indicadores elaborados a partir destas diretrizes são: auxiliar a gestão ambiental interna das empresas; realizar avaliações de desempenho ambiental; e gerar informações reais de parâmetros medidos com critérios estabelecidos pela organização.

A ISO 14031 fornece orientações para a avaliação de desempenho ambiental (ADA) realizada por um sistema de gestão ambiental. A ADA pode ser realizada independente do tipo, tamanho, localização ou complexidade da organização.

Faz parte da realização da ADA a elaboração de indicadores, determinando quais os critérios de desempenho ambiental adotados pela organização. O objetivo é que

através desses indicadores, as organizações possam comparar seus critérios de desempenho ambiental de momentos passados e atuais.

A norma apresenta dois tipos de indicadores ambientais. Os indicadores de desempenho ambiental (IDA) e os indicadores de condições ambientais (ICA), sendo que os IDA são divididos em indicadores de desempenho de gestão (IDG) e indicadores de desempenho operacional (IDO). Alguns aspectos culturais e econômicos também podem ser considerados, apesar da norma não ser específica para indicadores de sustentabilidade.

2.3.1.1 Indicadores de desempenho ambiental (IDA)

Os IDA são classificados em dois tipos, indicadores de desempenho gerencial (IDG) e indicadores de desempenho operacional (IDO).

Esses indicadores têm o objetivo de fornecer informações sobre os temas relacionados à capacitação, requisitos legais, alocação e uso eficiente dos recursos financeiros, gestão dos custos ambientais, compras, desenvolvimento de produtos e ações corretivas que possam influir no desempenho ambiental da organização.

Os IDG mostram os esforços dos gestores da organização que influem no desempenho ambiental da organização. As atividades gerenciais podem ser divididas em quatro subcategorias: aplicação de políticas e programas; conformidade das ações com requerimentos e expectativas; relações com a comunidade; e as relações ambientais com o desempenho financeiro.

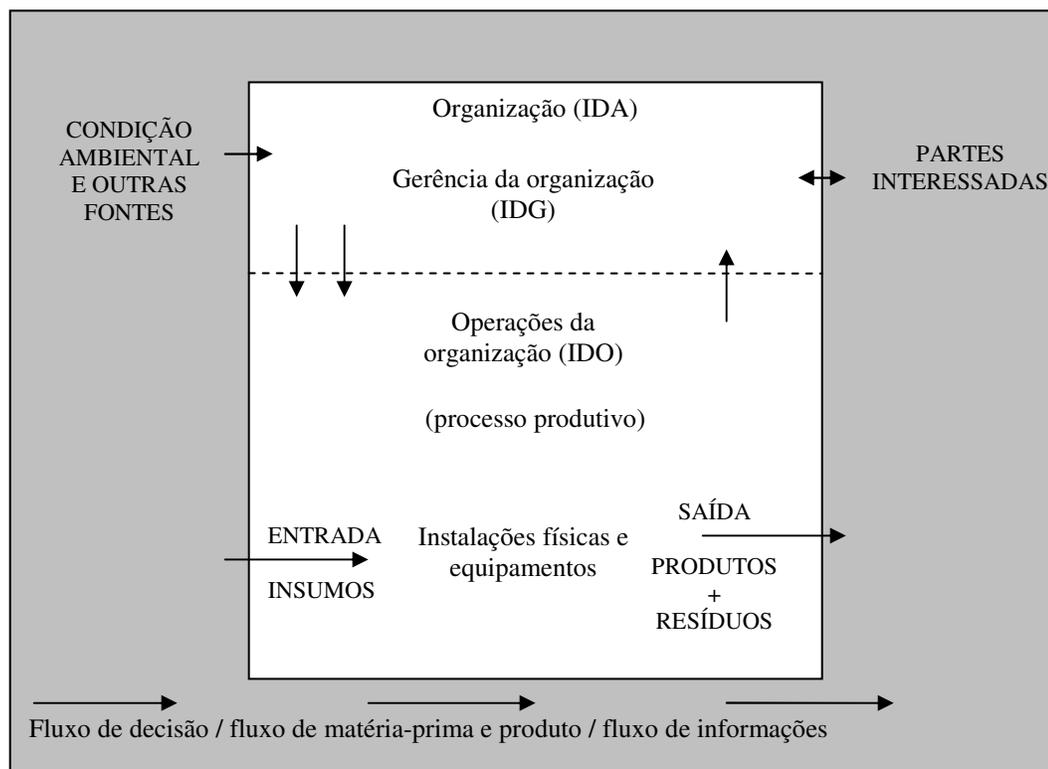
Os indicadores de desempenho operacional (IDO) têm o objetivo de fornecer informações sobre o desempenho ambiental das operações da organização, estão relacionados com entradas e saídas de materiais, fluxo de materiais, características operacionais e instalações físicas do processo.

Fazem parte do indicador as matérias-primas, energia e serviços, a operação nas instalações, equipamentos e logística, e os produtos, serviços, resíduos e emissões.

2.3.1.2 Indicadores de condições ambientais (ICA)

Os ICA promovem informações sobre condições ambientais locais, regionais, nacionais ou globais. Seu objetivo é ajudar a identificação de impactos reais e potenciais no aspecto ambiental e assim apoiar o planejamento e a implementação da ADA.

As decisões e ações da diretoria no sistema de gestão ambiental (SGA) da organização estão extremamente relacionadas com o desempenho de suas operações. Na Figura 1 pode-se observar as relações entre os tipos de indicadores



FONTE: ISO 14031, 1999, modificado.

Figura 1: relações entre a direção e as operações de uma organização com a condição ambiental

2.3.1.3 Uso da Avaliação de Desempenho Ambiental

O compromisso da direção organizacional é essencial para implementar a ADA. As recomendações são que a ADA seja apropriada às condições da organização, suas necessidades e prioridades. A ADA deve ser economicamente viável e ser parte das funções e atividades habituais da organização.

As informações obtidas através de uma ADA se aplicam para determinar ações que visam melhorar o desempenho ambiental, identificar impactos ambientais, realizar a prevenção de impactos, identificar tendências do desempenho, aumentar a eficiência e eficácia da organização, bem como, identificar oportunidades estratégicas.

Essas informações podem ser comunicadas internamente e também às partes interessadas. Com a revisão periódica da ADA pode-se identificar possibilidades de melhorias nas atividades da organização.

2.3.1.4 Método do Processo de Avaliação de Desempenho do Sistema de Gestão Ambiental

A ISO 14031 se estrutura de acordo com o método de avaliação PDCA, do inglês *plan, do, chek e act*: **planejar, fazer, verificar e atuar.**

Planejar

Planejar inclui a elaboração da estrutura do sistema de avaliação. Nesta elaboração, a organização pode considerar sua estrutura e características organizacionais, a estratégia de negócios, o espectro completo de suas atividades, produtos e serviços. A direção deve identificar e proporcionar recursos financeiros, físicos e humanos necessários para realizar a ADA.

É importante que sejam identificados os aspectos ambientais significativos da organização para a etapa de planejamento da ADA, e esta identificação pode ocorrer com a utilização das normas ISO 14001 e ISO 14004.

Se a organização não tiver um SGA com as informações da ISO 14001 e ISO 14004, a determinação desses aspectos deve considerar: a quantidade e origem dos materiais e energia, as emissões, os riscos, as condições ambientais, a possibilidade de acidentes e os requisitos legais, regulamentos e outros requisitos da organização.

Independente do SGA a organização pode planejar a ADA com o estabelecimento dos critérios ambientais e indicadores condizentes a estes critérios para descrever o desempenho ambiental da organização.

Inserida na etapa de planejamento está a seleção de indicadores para a avaliação de desempenho ambiental.

São selecionados indicadores que informam os dados quantitativos ou qualitativos da maneira mais compreensível e útil. Os indicadores ajudam a converter dados pertinentes em informações concisas.

As informações obtidas através dos indicadores podem ser agrupadas ou ponderadas, entretanto devem ter precauções necessárias para assegurar que são indicadores verificáveis, coerentes, comparáveis e compreensíveis. Devem compreender as hipóteses formuladas para o tratamento dos dados e sua conversão em indicadores para a ADA.

Fazer

Conforme a ISO 14031, a etapa fazer está relacionada às atividades de aquisição de dados e informações para gerar os indicadores, analisar e elaborar informações sobre o desempenho ambiental da organização baseadas nesses indicadores.

A aquisição de dados deve ser feita regularmente proporcionando entradas para o cálculo dos indicadores selecionados, a aquisição deve ser feita sistematicamente através de fontes apropriadas com uma frequência coerente ao planejamento.

A qualidade dos indicadores gerados está vinculada à qualidade dos dados coletados, validade científica e estatística e se são verificáveis. A informação sobre o desempenho ambiental da organização deve ser comunicada interna e externamente através de um documento.

A avaliação das informações é feita através dos indicadores, normalmente ICA que devem ser comparados aos critérios de desempenho ambiental da organização.

A comunicação das informações deve ser feita interna e externamente para as partes interessadas com base na avaliação das necessidades do público a quem se dirigem.

A comunicação deve informar fielmente o desempenho ambiental da organização, deve considerar o conhecimento técnico do público-alvo. Os métodos de informação selecionados devem motivar a comunicação entre a organização e as partes interessadas.

Verificar e Atuar

A etapa de verificação e atuação prevê a revisão e melhoria do sistema ADA. A revisão dos resultados periodicamente é uma oportunidade de identificar possibilidades de melhorias no sistema de gestão ambiental e na organização.

2.3.2 Diretrizes para o Desenvolvimento, Mensuração e Uso de Indicadores da OECD

A *Organization for Economic Co-operation and Development* – OECD publicou em 2003 um documento sobre indicadores ambientais, intitulado Indicadores Ambientais OECD: Desenvolvimento, Mensuração e Uso. (OECD, 2003)

Os indicadores apresentados neste documento são usados em níveis nacionais e internacionais, mas podem ser aplicados em dimensões menores que estas, a fim de facilitar e registrar progressos em sentido do desenvolvimento sustentável.

O documento apresenta uma estrutura baseada no modelo de PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA (PER) em critérios para selecionar indicadores ambientais, nas identificações e definições de indicadores, no guia para o uso e nas circunstâncias nacionais.

O modelo PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA considera que as atividades humanas exercem pressão sobre o meio afetando a qualidade e quantidade dos recursos

naturais, a sociedade responde por essas mudanças, a economia e os setores políticos. Assim, o modelo apresenta uma estrutura com relacionamentos de causa-efeito.

Pressão: As pressões ambientais são definidas por pressões diretas e indiretas exercidas através de atividades antropogênicas. Os indicadores de pressão ambiental refletem a intensidade de emissões ou de recursos em um determinado período. Podem mostrar o progresso nas questões econômicas ou os objetivos nacionais e compromissos internacionais.

Estado: As condições ambientais são relacionadas à qualidade do meio e a qualidade e quantidade de recursos naturais. Eles refletem nas políticas ambientais. Os indicadores de condições ambientais são desenvolvidos para refletir a situação do meio (estado) relacionando o meio ambiente ao desenvolvimento ao longo do tempo.

Resposta: A resposta da sociedade se refere a ações e reações individuais e coletivas, como a mitigação de efeitos negativos ao meio ambiente, preservação e conservação dos recursos naturais, campanhas, subsídios, programas de reciclagem, entre outros.

A estrutura facilita o entendimento e o uso dos indicadores, mostrando não apenas o que cada um dos aspectos envolve, mas também as relações entre os tipos de indicadores e os fluxos de informações, como apresentado na Figura 2.

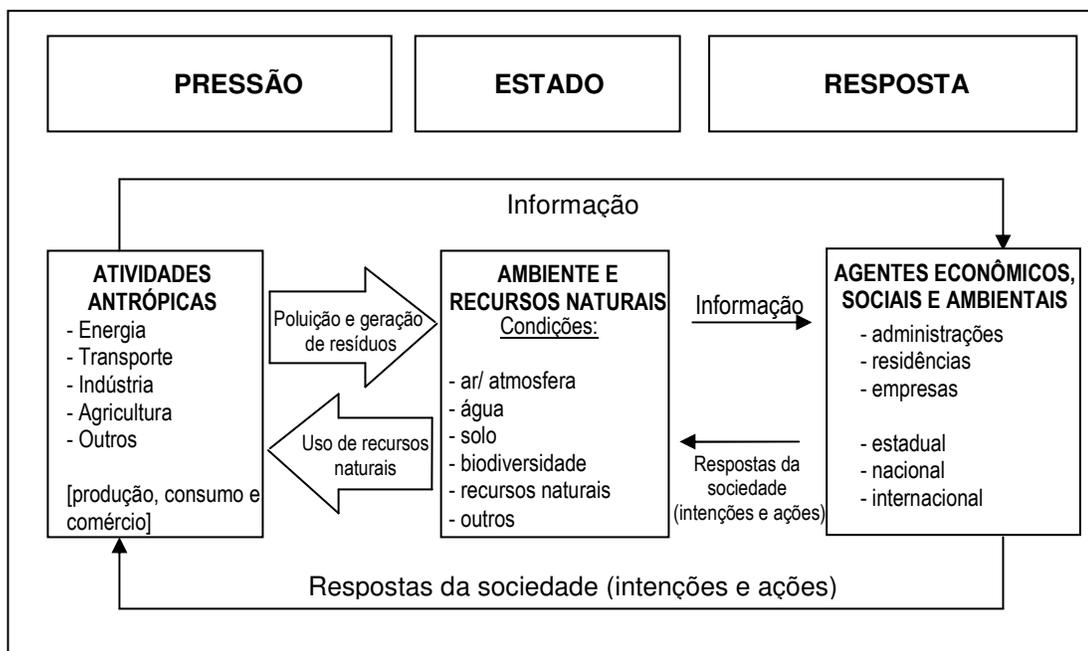


Figura 2: Modelo PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA da OECD.

A estrutura PER tem algumas variantes que são: Força Motriz – Estado – Resposta (FER), Pressão – Estado – Impacto – Resposta (PEIR), Força Motriz – Pressão – Impacto – Estado – Resposta (FPIER).

A estrutura FER apenas substitui a Pressão por Força Motriz e foi adotada pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas em 1995.

Força Motriz: Representa o que está por trás das pressões, são as atividades humanas que provocam impacto sobre o meio ambiente, por exemplo, a atividade industrial produz a emissão de poluentes. Podem também expressar processos mais amplos como crescimento demográfico e urbanização. (CARVALHO *et al*, 2008)

A estrutura PEIR incluiu o Impacto na estrutura PER e é utilizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – UNEP.

Impacto: São os indicadores que medem as conseqüências da degradação ambiental sobre o homem e seu entorno, por exemplo, a incidência de doenças respiratórias associadas à poluição do ar. (CARVALHO *et al*, 2008)

E a estrutura FPIER incorporou à estrutura PER os indicadores de Força Motriz e de Impacto.

2.3.3 OECD e ISO 14031

Os Indicadores de Desempenho Ambientais Operacionais, apresentados pela ISO 14031 correspondem aos indicadores intitulados por indicadores de Pressão do modelo PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA, enquanto os de Condição Ambiental são correspondentes aos indicadores de Estado e os Indicadores de Desempenho Ambiental Gerenciais podem ser classificados como Resposta.

Na Tabela 1 são relacionadas as semelhanças entre as diretrizes da ISO 14031 e OECD.

Tabela 1: Indicadores correspondentes entre a ISO 14031 e OECD.

ISO 14031	OECD
Indicador de desempenho operacional	Pressão
Indicador de condição ambiental	Estado
Indicador de desempenho gerencial	Resposta

Embora o perfil dessas diretrizes tenha semelhanças há também diferenças, em especial quanto aos seus objetivos. Enquanto as diretrizes da OECD são mais abrangentes podendo ser aplicadas por governos, indústrias ou quaisquer organizações para gerar indicadores de PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA a norma ISO 14031 direciona-se às organizações que ao utilizarem esta ferramenta visam gerir processos operacionais, sua interação com o meio e suas relações com clientes e acionistas.

2.3.4 Diretrizes para elaboração de relatórios de sustentabilidade através de indicadores: Global Reporting Initiative - GRI

A *Global Reporting Initiative* é uma organização que atua em dezenas de países por todo o mundo, um núcleo oficial de colaboração do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. É pioneira na elaboração de estruturas para relatórios e se

compromete com a melhoria contínua destes em todo o mundo. Esta estrutura oferece princípios e indicadores que as organizações e estados nacionais podem utilizar para medir e relatar o desempenho econômico, ambiental e social. Sua visão é que os relatórios de desempenho ambiental e social possam ser comparados assim como os relatórios financeiros. (GRI, 2008)

Tem como objetivo o auxílio às organizações na busca pela transparência, prestação de contas e elaboração de relatórios de sustentabilidade.

A estrutura da GRI consiste em diretrizes para a elaboração de relatórios de sustentabilidade. Outros componentes da estrutura são os suplementos setoriais e protocolos.

Os relatórios de sustentabilidade baseados nessas diretrizes podem ser utilizados como ferramentas para a comparação do desempenho organizacional, respeitando leis e normas locais, padrão de desempenho e iniciativas voluntárias. A elaboração de relatórios de sustentabilidade demonstra comprometimento organizacional com o desenvolvimento sustentável. (GRI, 2008)

As organizações que voluntariamente optam por gerar relatórios de sustentabilidade de acordo com as diretrizes da GRI devem também utilizar indicadores ambientais específicos condizentes à realidade local para que sejam demonstrados os resultados do desempenho em relação aos objetivos. (GRI, 2006)

São disponibilizados pela GRI alguns conjuntos de protocolos de indicadores nas diferentes áreas: economia, meio ambiente, responsabilidade pelo produto, práticas trabalhistas, direitos humanos e sociedade.

Os protocolos de indicadores ambientais apresentam indicadores de desempenho ambiental, os temas abordados são materiais, energia, água, biodiversidade, emissões, efluentes e resíduos, produtos e serviços, conformidade e transportes. Tais protocolos apresentam a importância do tema em questão e detalham a forma de mensuração. (GRI, 2008)

2.3.5 Exemplos de indicador ambiental

2.3.5.1 Global Reporting Initiative - GRI

A GRI apresenta entre outros indicadores os indicadores de GEE e em sua estrutura são propostos três tipos de indicadores: o total de emissões diretas, por massa; o total de emissões indiretas, por massa; e as iniciativas para reduzir as emissões de gases causadores do EE e as reduções obtidas.

O indicador de emissões de gases de efeito estufa *diretas* GRI é composto por:

- Metodologia de conversão para o cálculo do volume de emissões por fonte baseado no Protocolo GEE (2004) da WBCSD-WRI e no Relatório do IPCC, WG1 (2001).
- Identificação das emissões diretas de todas as fontes de propriedade da organização relatora ou por ela controladas, incluindo: geração de eletricidade, calor ou vapor; processos de combustão; beneficiamento físico-químico; transporte de materiais, produtos e resíduos; abertura de respiradouros; emissões fugitivas.
- Identificação das emissões indiretas resultantes da geração de eletricidade, calor ou vapor comprado.
- Relatório da soma das emissões diretas e indiretas em toneladas de CO₂.

O indicador de emissões de gases de efeito estufa *indiretas* GRI é composto por:

- Identificação das emissões resultantes do uso indireto de energia.
- Identificação das atividades da organização que causam emissões indiretas e avaliação das quantidades (transporte de funcionários, viagens de negócios, etc.)
- Relatório da soma das emissões indiretas de GEE identificadas em toneladas equivalentes de CO₂.

O indicador das iniciativas para reduzir as emissões de gases causadores do EE e as reduções obtidas é composto por:

- Identificação das reduções de emissões de todas as fontes da organização relatora ou por ela controladas, deve-se distinguir as reduções de emissões obrigatórias e voluntárias.
- Relatório de iniciativas para redução de emissões de GEE, incluindo áreas onde as iniciativas foram aplicadas
- Quantificação das reduções de emissões de GEE atingidas durante o período coberto pelo relatório como resultado direto das iniciativas em toneladas equivalentes de CO₂.

2.3.5.2 Greenhouse Gas Protocol – Protocolo GEE

O Protocolo GEE é uma iniciativa conjunta do *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) e *World Resources Institute* (WRI) e foi estabelecido em 1998.

O Protocolo GEE é utilizado internacionalmente por líderes de empresas e governos como uma ferramenta de quantificação e gerenciamento das emissões de gases de efeito estufa. É um subsídio para inventariar as emissões de GEE.

Os objetivos do Protocolo GEE são:

- Gerar credibilidade e transparência para quantificar e relatar as reduções de GEE para projetos de GEE;
- Realçar a credibilidade dos projetos de quantificação de GEE com aplicação de quantificação, procedimentos e princípios comuns;
- Fornecer uma plataforma para a harmonização entre diferentes projetos e programas de GEE.

Esta ferramenta de gerenciamento auxilia a negociação entre governos e fornece informações sobre as decisões relacionadas com mudanças climáticas.

No Brasil, o programa foi apresentado em 12 de maio de 2008 em Brasília - DF para promover o gerenciamento voluntário dos gases de efeito estufa através da construção de técnicas e da capacidade institucional para a contabilidade dos GEE e relatórios organizacionais.

Através da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), Fundação Getúlio Vargas e Instituto de Recursos Mundiais (World Resources Institute - WRI), o Brasil é o terceiro país a desenvolver um programa de gerenciamento de emissões de GEE baseado no Protocolo de Gases de Efeito Estufa GHG. (WRI e WDCSD, 2008)

2.4 POLÍTICAS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA QUÍMICA

A indústria é uma das principais partes da economia humana e, de acordo com Azapagic e Perdan (2000) embora seja vista como responsável por grande parte da degradação ambiental e depreciação de recursos, ela também é reconhecida como parte vital do desenvolvimento e inovação, e está sempre buscando alternativas de sustentabilidade.

A indústria química pode ser considerada o setor mais diversificado no ramo industrial, segundo Almeida (2009) é o setor sobre qual se concentram as maiores preocupações quanto às possibilidades de contaminação ambiental.

As associações nacionais das indústrias químicas são regidas pelo conselho internacional *International Council of Chemical Associations - ICCA*, situado no Canadá, organização que tem representatividade em termos da produção química mundial e busca reforçar a existência da cooperação de organizações em escala global como a UNEP (*United Nations Environment Programme*), UNITAR (*United Nations Institute For*

Training and Research), OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) e outras de caráter intergovernamental e não governamental, que auxiliam no gerenciamento do objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável. (ICCA a, 2009)

Em síntese, o ICCA tem a meta de que a indústria química seja valorizada e apoiada por seus atributos econômicos, sociais e ambientais, contribuindo com a sociedade.

Dentre os programas que compõem as iniciativas do ICCA está o *Responsible Care* que consiste em uma iniciativa voluntária global onde as indústrias, junto às suas associações nacionais, podem desenvolver um trabalho conjunto para melhorar o desempenho na saúde, segurança e meio ambiente e comunicar aos seus parceiros a relação dos seus produtos e processos com estes aspectos.

O programa *Responsible Care* auxilia a indústria para que sua produção ocorra de forma segura, com viabilidade econômica e favorável às futuras gerações. Para isto devem ser aplicados sistemas de verificação, indicadores de desempenho e verificação de procedimentos, assim as indústrias podem desenvolver políticas de melhoria e disponibilizar informações com transparência aos seus parceiros, comunidades locais, ambientalistas, autoridades locais e governamentais e também ao público em geral. (ICCA b, 2009)

Esta iniciativa é intencionalmente flexível e pode transcender diferenças culturais, legislações nacionais, permitindo às associações e seus membros onde estiverem a adotar o programa adaptando-o à sua realidade.

O programa atualmente está inserido em 53 países que correspondem a 90% da produção química global. Mecanismos asseguram aos membros uma rede de suporte robusta e efetiva, fundamental para o desenvolvimento sustentável e para o êxito do *Responsible Care*. (ICCA a, 2009)

No Brasil, o programa *Responsible Care* é conhecido como Atuação Responsável, intitulado assim pela Associação Brasileira da Indústria Química - ABIQUIM, a fim de

que a idéia de pró-atividade e responsabilidade da indústria seja transmitida. O programa foi adotado no Brasil através da ABIQUIM em 1992.

Segundo a ABIQUIM (2009), inicialmente a adesão ao programa por parte das indústrias era voluntária, mas em 1998 tornou-se obrigatória para as suas associadas. O programa Atuação Responsável tem incorporado alguns elementos para torná-lo mais robusto e adequado às atividades do setor, como indicadores de desempenho e sistema de verificação externa.

As diretrizes abordadas pela ABIQUIM são: segurança de processo; saúde e segurança do trabalhador; proteção ambiental; transporte e distribuição; diálogo com a comunidade; preparação e atendimento a emergências; e gerenciamento do produto.

As diretrizes relacionadas à proteção ambiental são baseadas na metodologia do *Global Reporting Initiative* - GRI. Neste contexto, ressalta-se que a sustentabilidade ambiental tem sido um dos grandes desafios.

A maioria das indústrias químicas possui políticas corporativas voltadas à sustentabilidade ambiental, mas para que seja possível a determinação do desempenho ambiental de uma organização e para que sejam estabelecidas metas dentro de uma política de melhoria contínua e busca pelo desenvolvimento sustentável os indicadores são ferramentas essenciais, e precisam ser fundamentados na realidade do país.

Os indicadores têm o objetivo de fornecer diretrizes de melhoria no desempenho da indústria que o utiliza voluntariamente para o gerenciamento de emissões e cumprimento da legislação, transparência perante seus acionistas e consumidores e ainda para melhorar a qualidade do meio onde a indústria está inserida.

2.5 ATMOSFERA

A atmosfera é a camada mais tênue do planeta, manto que circunda a Terra e composta por uma mistura de gases que oferecem proteção à superfície. A principal função da atmosfera é a filtragem seletiva de radiações que reduz a quantidade de

ondas mais curtas, radiação ultravioleta (UV), nocivas ao meio. Em sua condição natural, os gases que a compõem têm a proporção aproximada 78% de nitrogênio (N₂), 21% de oxigênio (O₂) e 1% outros gases, concentrações que não consideram as quantidades variáveis de vapor d'água.

Divide-se a atmosfera em camadas de acordo com a altitude, assim pode-se abordar uma determinada região atmosférica que compreende características únicas. A Figura 1 apresenta as camadas e as variações da temperatura de acordo com a altitude.

As camadas inferiores são denominadas troposfera, que se estende a 15 quilômetros da superfície em altitude, e estratosfera que compreende a faixa entre 15 e 50 quilômetros da superfície e é onde se localiza a camada de ozônio. As camadas superiores são a mesosfera, entre 50 e 85 quilômetros e a termosfera que fica acima 85 quilômetros da superfície terrestre.

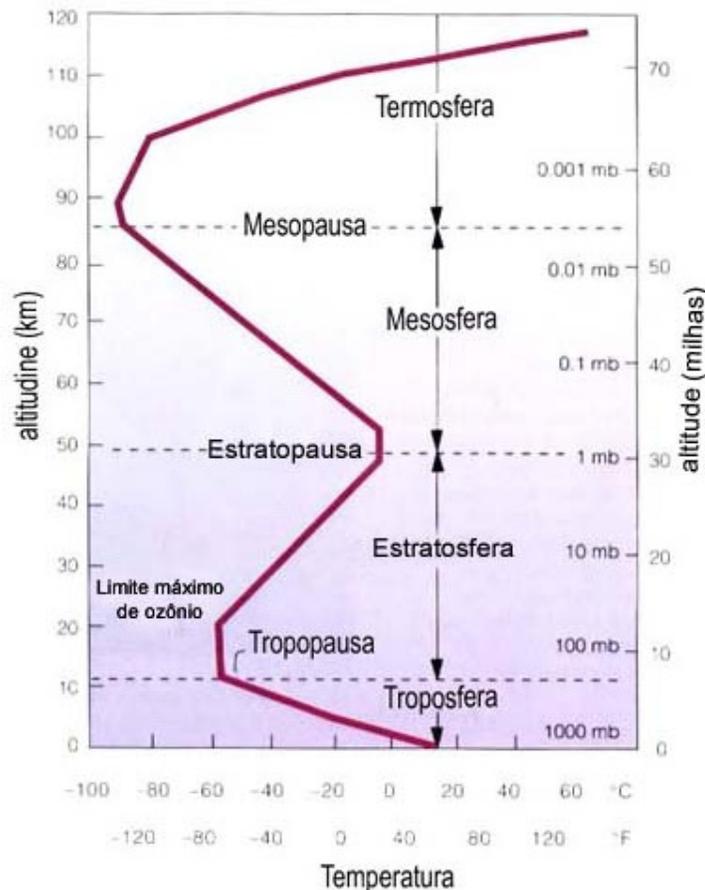


Figura 3: Perfil térmico em diferentes altitudes.

A composição da atmosfera tem sido modificada no decorrer dos anos, e tal fato foi observado principalmente a partir da revolução industrial. As emissões não apenas alteram a proporção dos gases na atmosfera, mas também inserem novos gases sintéticos e desta forma caracteriza-se a poluição atmosférica.

A qualidade da atmosfera está diretamente ligada a intensidade e dispersão das emissões, também exercem papel definitivo na qualidade do ar a topografia e as condições meteorológicas. Através da qualidade do ar pode-se caracterizar a poluição atmosférica.

A poluição atmosférica é um tema que vem sendo estudado em todo o mundo, especialmente por seus diversos efeitos sobre a saúde humana e o meio ambiente. Alguns desses efeitos podem ser mais bem compreendidos com a observação do perfil térmico da atmosfera, como a inversão térmica que ocorre a aproximadamente 6 km da superfície, na troposfera, e o buraco na camada de ozônio na estratosfera, outros são de abrangência mais localizada e podem ser identificados através da identificação dos poluentes presentes na região.

2.6 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Poluentes atmosféricos são substâncias contaminantes que causam efeito prejudicial ao ambiente, como problemas à saúde humana, efeitos adversos na vegetação, alteração em materiais, deposições ácidas e odores.

Os poluentes podem ser classificados em poluentes primários ou secundários. Poluentes primários são aqueles que podem ocasionar impactos no ambiente da maneira como são emitidos pela fonte. Poluentes secundários são aqueles formados através de reações entre os poluentes primários e compostos encontrados naturalmente no ambiente.

De acordo com a USEPA (2009 a), os poluentes que mais tem se intensificado são material particulado (MP₁₀ e MP_{2,5}), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio, ozônio e chumbo, e são as principais substâncias emitidas quando há a queima de combustíveis.

Além desses poluentes, atualmente pode-se também encontrar presentes na atmosfera outros tipos e devido aos seus efeitos são focos de estudos e medidas para a redução de suas emissões e impactos. Entre eles, pode-se citar os dióxidos de carbono (CO₂), os clorofluorcarbonos (CFC), compostos orgânicos voláteis (COV) e gases de efeito estufa (GEE).

A legislação brasileira impõe padrões de emissão para os poluentes atmosféricos através da resolução CONAMA n. 03 de 1990. Os valores são apresentados através do quadro 1.

Quadro 1: Padrões de emissão da resolução CONAMA 03/1990 (adaptado)

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário (µg/m ³)	Padrão secundário (µg/m ³)
Partículas Totais em Suspensão	24 h (1)	240	150
	MGA (2)	80	60
Dióxido de Enxofre	24 h (1)	365	100 (38ppb)
	MAA (3)	80	40 (15ppb)
Partículas inaláveis	24 h (1)	150	150
	MAA (3)	50	50
Dióxido de Nitrogênio	1 h (1)	320	190 (101ppb)
	MAA (3)	100	100 (53ppb)
Monóxido de carbono	1h (1)	40.000 (35ppm)	40.000 (35ppm)
	8h (1)	10.000 (9ppm)	10.000 (9ppm)
Ozônio	1h	160	160 (81ppb)

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média Geométrica Anual.

(3) Média Aritmética Anual.

Os poluentes podem ser gerados através de diferentes fontes e ter efeitos diretos ou indiretos.

Os poluentes são apresentados a seguir, com informações relevantes de suas emissões e impactos no meio e na saúde humana; são apresentados também valores do monitoramento da qualidade do ar publicados através de órgãos ambientais estaduais como a CETESB, no Estado de São Paulo; a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (Fepam), no Rio Grande do Sul; Instituto Ambiental do Paraná (IAP), no Paraná e Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (Feema), no Rio de Janeiro.

2.6.1 Óxidos de enxofre (SO_x)

Óxidos de enxofre, SO_x é a maneira utilizada para se referir aos dióxidos de enxofre (SO₂) e trióxido de enxofre (SO₃) que podem ser poluentes primários ou secundários.

O SO₂, como um poluente secundário, resulta da oxidação de H₂S, poluente emitido principalmente a partir da queima de combustíveis que contém enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. A quantidade de SO₂ emitida na combustão é proporcional ao teor do enxofre do combustível.

As principais fontes de SO₂ em escala global podem ser naturais a partir de vulcões e da oxidação de gases sulfurados produzidos pela decomposição de plantas. Entretanto, existem importantes fontes antrópicas que podem ser controladas com maior facilidade, a principal é a combustão de carvão cujas características variam, mas dependendo da área geográfica pode conter até 9% de enxofre (BAIRD, 2002)

Níveis elevados deste gás podem causar impactos na saúde humana como desconforto na respiração, agravamento de problemas respiratórios e cardiovasculares. É um dos principais formadores da chuva ácida e pode reagir com outras substâncias presentes no ar formando partículas de sulfato que são responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera. (CETESB, 2009a)

A USEPA (2009a) relata alguns efeitos decorrentes do aumento da concentração dos SO₂ na atmosfera, como descrito a seguir:

Altos níveis de SO₂ na atmosfera acarretam em dificuldades respiratórias para aqueles que ficam expostos a este tipo de poluição, principalmente para pessoas asmáticas ou que fazem exercícios físicos ao ar livre.

A presença de SO₂ prejudica a visibilidade devido a absorção de luz dos gases e partículas

Através da reação do SO₂ com os NO_y são formados ácidos, que são devolvidos à Terra através de deposição úmida (chuva ácida) ou seca. Tais ácidos podem ser arrastados por longas distâncias.

Como consequência à chuva ácida ocorre muitos impactos no meio ambiente, por exemplo, a alteração em florestas, cultivos, corpos hídricos e alterações no ecossistema, como mudança na variedade plantas e animais.

Outro impacto ressaltado é o dano gerado por construções, pinturas, monumentos históricos, estátuas, esculturas, que são heranças da formação de uma cultura.

A resolução CONAMA 03/90 estabelece padrões de emissão para que haja controle das emissões de SO₂, os padrões são máxima média diária de 365 µg.m⁻³ e média aritmética anual de 80 µg.m⁻³.

Este poluente é monitorado através de estações de monitoramento da qualidade do ar. São apresentados alguns dados a seguir publicados por órgãos ambientais estaduais, entretanto tais não devem ser comparados entre si, pois não se referem ao mesmo ano, são apresentados os últimos dados publicados por cada um dos órgãos mencionados a seguir.

A Fepam (2002) apresenta dados do monitoramento da qualidade do ar referentes ao ano de 2001 que registrou como concentração máxima diária o valor de 101,9 µg.m⁻³ e média anual de 30,62 µg.m⁻³; o IAP (2008) registrou os valores no ano de

2008 de máxima diária igual a 333,5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e média anual de 22,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$; a Feema registrou os valores no ano de 2007 de máxima diária inferior a 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e média anual inferior a 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$; e a CETESB apresenta em seu relatório valores de máxima diária de 125 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e média anual inferior a 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Observa-se que em nenhum dos estados houve ultrapassagem dos limites estabelecidos pela legislação.

2.6.2 Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Os óxidos de Nitrogênio, NO_x , são uma combinação de nitrogênio e oxigênio que se formam em razão da alta temperatura na câmara de combustão. Estes poluentes participam na formação de dióxido de nitrogênio e na formação do “smog” fotoquímico. O NO, sob a ação de luz solar se transforma em NO_2 e tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. O dióxido de nitrogênio (NO_2), em particular, é formado em processos de combustão veicular, em indústrias e em centrais termoelétricas que utilizam óleo combustível ou gás natural. (CETESB, 2009 a).

A emissão de óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2) se dá principalmente em processos de combustão, sendo que as principais fontes são os automóveis, e em menor escala os processos industriais, usinas termoelétricas e o cigarro. Os NO_x apresentam grande importância na formação de ozônio troposférico, através da reação entre o NO e o NO_2 .

São de grande influência à saúde humana e segundo Cançado *et al* (2006), a inalação do dióxido de nitrogênio (NO_2) atinge as partes mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade em água. E ainda apresenta efeito tóxico pelo fato de ser um agente oxidante, o que faz com que o sistema respiratório apresente uma resposta inflamatória.

De forma mais geral, a CETESB (2009 a) apresenta os efeitos da intoxicação por NO_2 em seres vivos ligados à asma, bronquite e baixa resistência a infecções do trato

respiratório. Além disso, altas concentrações de NO_2 na atmosfera podem causar chuva ácida.

De acordo com a USEPA (2009b) algumas causas e efeitos dos NO_x são:

- São facilmente formados quando há altas concentrações de ozônio. Também contribuem com a formação do ozônio quando reagem com os COV.
- Contribuem na formação das deposições ácidas junto aos SO_2 .
- Quando este poluente atinge corpos hídricos o adicional de nitrogênio na água deteriora sua qualidade, acelerando a eutrofização que diminui as taxas de oxigênio na água e reduz as populações de peixes e mariscos.

Partículas de nitratos e NO_x reduzem a passagem de luz e reduzem a visibilidade, principalmente em áreas urbanas.

O N_2O , que faz parte do NO_y , é considerado um gás de efeito estufa, assim contribui para o aquecimento global que tem diversos impactos.

Reagem com químicos orgânicos comuns e também com o ozônio, formando produtos tóxicos que podem causar mutações biológicas.

A resolução CONAMA 03/90 estabelece padrões de qualidade do ar para que haja controle das emissões de NO_2 , os padrões são máxima em 1h de $320 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e média aritmética anual de $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Este poluente é monitorado através de estações de monitoramento da qualidade do ar. Os dados apresentados a seguir não devem ser comparados entre si, pois não se referem a um mesmo ano, são apresentados, a seguir, os últimos dados publicados por órgãos ambientais estaduais.

A Fepam (2002) apresenta dados do monitoramento da qualidade do ar referentes ao ano de 2001 que registrou como máxima concentração de 1h o valor de $226 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e média anual de $80,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; o IAP (2008) registrou os valores no ano de 2008 de

máxima em 1 hora igual a 351,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e média anual de 34,4 $\mu\text{g.m}^{-3}$; a Feema registrou os valores no ano de 2007 de máxima horária de aproximadamente 330 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e média anual de aproximadamente 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$; e a CETESB apresenta em seu relatório valores de máxima horária de 312 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e média anual igual a 77 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

2.6.3 Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono é uma substância inodora, insípida e incolor. Um gás produzido através da combustão incompleta de combustíveis fósseis. As principais fontes de emissão de CO são as veiculares. A intoxicação por CO ocasiona danos ao sistema nervoso central, como: confusão mental, prejuízo dos reflexos, inconsciência, parada das funções cerebrais, e morte, em casos extremos (CETESB, 2009 a).

Segundo Cançado *et al* (2006) este gás apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que o oxigênio, o que faz com que uma pequena quantidade de monóxido de carbono possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina. Como consequência, ocorre diminuição da capacidade do sangue transportar oxigênio.

A resolução CONAMA 03/90 estabelece padrões de qualidade do ar para que haja controle das emissões de CO, os padrões são máxima em 1h de 40.000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (35ppm) e máxima em 8h de 10.000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (9 ppm).

A seguir são apresentados alguns dados registrados por estações de monitoramento da qualidade do ar, ressalta-se que estes dados não devem ser comparados entre si, pois não se referem a um mesmo ano, devido à escassez deste tipo de monitoramento no país são apresentados os dados mais recentes publicados por alguns órgãos ambientais estaduais.

A Fepam (2002) apresenta dados do monitoramento da qualidade do ar referentes ao ano de 2001 que registrou como máxima concentração em 8h o valor de 8,61 ppm; a Feema registrou os valores no ano de 2007 de máxima concentração registrada em 1h de aproximadamente 10 ppm e de máxima concentração registrada em

8h de aproximadamente 5ppm; e a CETESB registrou 146 ultrapassagens de concentração em 8h para este poluente.

2.6.4 Ozônio

O ozônio troposférico é um poluente secundário, formado através de reações fotoquímicas. Os principais poluentes primários precursores do ozônio são o óxido nítrico e os hidrocarbonetos.

Uma pequena parcela do ozônio presente na troposfera se deve ao transporte vertical da atmosfera que desloca ozônio da estratosfera.

A resolução CONAMA 03/90 estabelece padrões de emissão para que haja controle das concentrações de O₃, segundo o padrão é de máxima concentração em 1h não deve ultrapassar 160 µg.m⁻³.

Este poluente secundário é monitorado através de estações de monitoramento da qualidade do ar. Os dados apresentados a seguir não devem ser comparados entre si, pois não se referem ao mesmo ano, são apresentados os últimos dados publicados por órgãos ambientais estaduais.

A Fepam (2002) apresenta dados do monitoramento da qualidade do ar referentes ao ano de 2001 que registrou como máxima concentração de 1h o valor de 164 µg.m⁻³; o IAP (2008) registrou os valores no ano de 2008 de máxima em 1 hora igual a 188,3 µg.m⁻³; a Feema (2007) registrou os valores no ano de 2007 de máxima horária de aproximadamente 600 µg.m⁻³; e a CETESB (2008) apresenta em seu relatório que uma das regiões de estudo teve 146 ultrapassagens no nível de ozônio para o ano de 2008.

Todos os valores relatados ultrapassam o padrão da legislação brasileira. As grandes metrópoles possuem alto potencial de formação de ozônio, devido às fontes veiculares que emitem os precursores deste poluente. Como a frota veicular permanece

inalterada ou ainda recebe um acréscimo a cada ano, as variações de ozônio se dão praticamente pelas variações das condições meteorológicas.

2.6.5 Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

São considerados compostos orgânicos voláteis quaisquer compostos orgânicos presentes na atmosfera excluindo o carbono elementar, o monóxido de carbono e o dióxido de carbono. As principais fontes de COV são o tráfego e outros processos de combustão, e evaporação de combustíveis. Mais de 300 tipos de COV são conhecidos e constatados através da cromatografia, incluindo benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros de xileno (BTEX) que possuem importância na saúde pública. (Han, 2006)

De acordo com a USEPA (2009) os compostos orgânicos voláteis são emitidos a partir de alguns sólidos ou líquidos. COV incluem uma variedade de substâncias químicas, com efeitos de curto ou longo prazo prejudiciais à saúde. Podem ser encontrados em concentrações maiores em ambientes *indoor*. São emitidos através de tintas, materiais de limpeza, materiais de construção, equipamentos como copiadoras, materiais de escritório, incluindo colas e adesivos, soluções fotográficas, preparação de madeiras, spray aerosol, combustíveis estocados e produtos automotivos, entre outros. Os efeitos sobre a saúde humana são irritações nos olhos, nariz e garganta; dores de cabeça, perda da coordenação, náuseas; danos no fígado, rim e sistema nervoso central. Alguns compostos orgânicos podem causar câncer em animais ou seres humanos. Alguns sinais ou sintomas são associados aos COV, os quais incluem irritação nos olhos, nariz e garganta, dor de cabeça, reação alérgica na pele, dispnéia náuseas, fadiga e vertigem.

2.6.6 Gases de Efeito Estufa (GEE)

Os gases globais denominados gases de efeito estufa são aqueles que possuem potencial de aquecimento. Estão presentes na atmosfera em sua composição natural e

possibilitam com que a temperatura média da Terra seja favorável a diversas formas de vida no planeta.

Atualmente estes gases são foco de muitas discussões e estudos, pois resultados de pesquisas no tema apontam o aumento da concentração dos mesmos na atmosfera, principalmente devido às emissões antropogênicas.

A indústria química produz, desde 1930, substâncias como hexafluoreto de enxofre (SF_6) e diversos halon carbonos, como o clorofluorcarbono (CFC), hidrofluorcarbono (HFC) e perfluorcarbono (PFC) que apresentam grande potencial de aquecimento global (*global warming potential* - GWP), contudo suas concentrações crescentes na atmosfera vieram a ser alvo de atenção apenas a partir da década de 1970. (IPCC, 2007).

- GEE emitidos através de fontes biogênicas

O metano e o óxido nitroso são os principais gases emitidos através de fontes biogênicas. As atividades que geram a emissão de cada um desses gases são conhecidas e são identificadas a seguir de acordo com o IPCC (2007).

Metano (CH_4): Depois do vapor d'água e do dióxido de carbono é o gás que tem maior participação no efeito estufa. Seu tempo de vida é de 12 anos e seu potencial de aquecimento é 21 vezes maior que do CO_2 .

Há quatro principais fontes naturais de emissão global do metano. O alagamento que corresponde a 76%, os cupins que representam 11%, os oceanos que participam em 8% e hidratos em aproximadamente 5%. (USEPA, 2009; IPCC, 2001)

A emissão através de alagamentos é devido à decomposição de matéria orgânica feita por bactérias que produzem o metano e encontram condições adequadas nesse ambiente (oxigênio e abundância de matéria orgânica), essa fonte de emissão corresponde a 145 Tg de metano por ano aproximadamente.

Os cupins produzem o metano através do processo digestivo. Essas emissões variam de acordo com a população e espécie do inseto, assim são significativas em algumas regiões do mundo. O valor aproximado deste tipo de emissão é de 20 Tg por ano.

As emissões de metano que ocorrem através da digestão anaeróbica de peixes e zooplâncton marinho e através dos sedimentos e áreas de drenagem litorâneas são consideradas como emissões oceânicas, correspondem a aproximadamente 15 Tg de metano por ano.

Os hidratos de metano são emissões globais estimadas em 10 Tg por ano.

Óxido nitroso (N₂O): É um dos quatro principais gases de efeito estufa, seu tempo de vida é de aproximadamente 120 anos e seu potencial de aquecimento é 206 vezes maior que do CO₂.

Mais de 60% de sua emissão é proveniente de processos naturais. Grande parte dos suprimentos naturais do óxido nitroso gasoso é liberada pelos oceanos e a maioria da outra parte é liberada por processos que ocorrem nos solos das regiões tropicais (BAIRD, 2002).

- GEE emitidos através de fontes antropogênicas

As fontes antropogênicas emitem vários tipos de gases de efeito estufa e os principais são: metano, óxido nitroso, clorofluorcarbonos, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre.

Metano: Há seis principais atividades nas emissões antrópicas de metano, energia, aterros, criação de animais ruminantes, tratamento de efluentes, cultivo de arroz e queima de biomassa.

As emissões de metano através da energia são as maiores, especificamente devido à energia hidrelétrica, fonte renovável que necessita de grandes áreas de alagamento. Esta emissão chega a 109 Tg anuais. Outras emissões acontecem através de

aterros, oriundas da grande quantidade de matéria orgânica nos resíduos. Uma porção significativa da matéria orgânica se decompõe de forma anaeróbica, emitindo o 36 Tg de metano por ano.

Os tratamentos de efluentes domésticos e industriais emitem metano em função da decomposição do lodo gerado que pode ser biodegradado em condições anaeróbicas ou até mesmo somente pela decomposição anaeróbica de matéria orgânica.

Os animais ruminantes emitem metano em seu sistema digestivo; segundo Baird (2002), estes animais emitem grandes quantidades de metano no estômago após digerirem a celulose que os alimentam. Mesmo depois de alguns animais selvagens como o Búfalo Americano terem sido reduzidos, as populações de ovinos e bovinos vem aumentando e já superaram as emissões que teriam diminuído por consequência da redução dos animais selvagens. O valor mostrado pelo IPCC, que agrupa as emissões de animais ruminantes às emissões oriundas dos tratamentos de efluentes é de 93 Tg por ano.

O cultivo de arroz também emite metano, uma vez que utiliza o alagamento e proporciona as condições ideais para a matéria orgânica contida no solo se decompor de forma anaeróbica. As emissões variam de acordo com os níveis de substratos orgânicos, de oxigênio dissolvido.

Óxido Nitroso: Apesar de sua fonte principal ser biogênica o N_2O tem sua concentração elevada através de atividades antrópicas. Como a queima de combustíveis (carvão e biomassa, por exemplo) que contém N_2 , que ao entrar em contato com o ar atmosférico reage formando o N_2O , outra atividade antrópica que coopera para a emissão deste gás são as hidrelétricas em fase de construção, pois utilizam grandes áreas de alagamento. Parte dos fertilizantes utilizados na agricultura à base de nitrato e amônio também é convertida em óxido nitroso.

Clorofluorcarbonos (CFC): Os CFC são substâncias sintéticas que foram muito utilizadas no século XX como propelentes, refrigerantes e solventes. É um gás estável e com longo tempo de residência na atmosfera.

Desde 1995, através do protocolo de Montreal essas substâncias vêm sendo substituídas por outras, principalmente por seu efeito de destruição da camada de ozônio, atualmente ainda são encontradas moléculas de CFC na atmosfera não apenas por seu tempo de residência elevado, mas também por serem emitidos através de equipamentos anteriores à sua substituição e ainda em uso.

Seu potencial de aquecimento é de dez mil vezes a do CO₂ e o tempo de residência na atmosfera varia de 45 a 1.700 anos de acordo com o IPCC (2007).

Hidrofluorcarbonos (HFC): Os hidrofluorcarbonos são algumas das substâncias utilizadas como substituição do CFC, o tempo de residência na atmosfera chega a 270 anos.

Perfluorcarbonos (PFC): Os perfluorcarbonos são também substâncias utilizadas na substituição dos CFC, são utilizados na indústria de alumínio.

Hexafluoreto de Enxofre (SF₆): O potencial de aquecimento global do hexafluoreto de enxofre é 22.000 vezes maior que do CO₂ e o tempo de vida é de 4.000 anos.

2.6.7 Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (SDO)

A destruição da camada de ozônio é um tema global, um efeito da emissão de poluentes estáveis que alcançam a estratosfera e reagem com o ozônio estratosférico causando a destruição do mesmo e permitindo a passagem de raios ultravioleta para a troposfera, nocivos à saúde. A partir do efeito causado por um conjunto de substâncias, determinou-se este conjunto como um tipo de poluente. A principal característica desse conjunto é que nele estão contidas principalmente substâncias que contêm cloro ou bromo e são emitidas a partir de atividades antropogênicas.

Entre as SDO estão os clorofluorcarbonos, bromofluorcarbono (halons), o tetracloreto de carbono, o metil clorofórmio, brometo de metila, entre outras,

empregadas em unidades de refrigeração, em aerossóis, na fabricação de espumas, em extintores de incêndio, etc. Cada uma dessas substâncias tem um potencial de destruição da camada de ozônio em função da sua capacidade de liberar radicais reativos na estratosfera.

2.6.8 Material Particulado (MP)

O material particulado compreende partículas sólidas e líquidas que devido ao seu tamanho ficam suspensas na atmosfera. Outros nomes para este tipo de material são dados de acordo com suas características (sólido ou líquido) e origens. São nomeados poeiras, aerossol, fumaça e fuligem materiais sólidos; neblina e névoa os materiais particulados líquidos. (BAIRD, 2002)

A CETESB (2009 a) classifica o poluente de acordo com seu tamanho e relaciona os tipos de MP com seu potencial de causar problemas de saúde e ressalta que independente de seu tamanho este poluente prejudica a visibilidade. As classificações são:

- “partículas totais em suspensão” são aquelas que possuem diâmetro inferior a $50\mu\text{m}$, uma pequena parte deste material pode ser inalada, mas prejudica principalmente a qualidade de vida da população interferindo em questões estéticas e nas atividades normais da comunidade;
- “partículas inaláveis” são aquelas com o diâmetro inferior a $10\mu\text{m}$. São classificadas em partículas inaláveis finas (inferiores a $2,5\mu\text{m}$) ou grossas (entre $2,5\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$). As partículas inaláveis apresentam efeitos agressivos à saúde humana. As partículas finas podem atingir os alvéolos pulmonares e as grossas também são inaladas, mas retidas no sistema respiratório superior.

As fontes de emissão de material particulado podem ser tanto naturais, como quanto antropogênicas. As principais emissões se dão através de veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo. Podem se formar na atmosfera a partir de gases como o dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV), emitidos em combustões, transformados em partículas como resultado de reações químicas no ar. (CETESB, 2009^a)

2.7 EFEITOS DA POLUIÇÃO

2.7.1 Acidificação

A acidificação tem como principais precursores os SO_2 e NO_2 devido à sua oxidação que se inicia no momento em que são emitidos à atmosfera. Esta oxidação resulta em sulfato e nitrato nas formas gasosa e aquosa. Além desses precursores, a deposição ácida pode ser causada por compostos orgânicos que se oxidados resultam em compostos gasosos (HNO_3 , HCl , HCOOH , CH_3 , COOH , entre outros), como aerossol (sulfato, nitrato, cloreto, ácidos orgânicos) e também na fase aquosa. (SEINFELD e PANDIS, 1998)

As espécies ácidas são removidas da atmosfera tanto por deposição seca quanto deposição úmida. Chuva ácida é o termo mais utilizado para as deposições úmidas e refere-se também a neblina ácida, neve ácida e todos os tipos de precipitação que contém substâncias ácidas.

Tal fenômeno foi descoberto por Argus Smith, na Grã-Bretanha, em meados de 1800, mas permaneceu esquecido até a década de 1950. A maneira como Argus Smith classificou uma chuva ácida foi relativa a uma chuva mais ácida que a chuva conhecida como chuva natural. Assim, classifica-se como chuva ácida aquela com pH inferior a 5. (BAIRD, 2002)

Os dois ácidos predominantes na chuva ácida são o ácido sulfúrico, H_2SO_4 , e o ácido nítrico, HNO_3 e a precipitação ácida acontece em locais distantes das fontes de seus poluentes primários.

No contexto industrial brasileiro os parâmetros legislativos quanto à emissão dos poluentes precursores da acidificação são dado pela resolução CONAMA n. 382 (CONAMA, 2006) estabelece limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos (NO_x , SO_x , MP e CO) para fontes fixas novas. Além desta resolução, o órgão ambiental que licenciar a indústria pode lhe impor limites mais restritivos, em função das características locais e da área de influência sobre a qualidade do ar.

Os óxidos de nitrogênio (NO e NO_2) e os compostos de enxofre (SO_2 principalmente) são gerados principalmente em processos de combustão para a geração de energia. Outras fontes de emissão de NO_x são processos industriais que geram quantidades expressivas do poluente, como a produção de ácido adípico e ácido nítrico. Além da emissão nos processos de combustão, o dióxido de enxofre pode ser emitido de forma significativa na produção de ácido sulfúrico e nos processos de sulfatação e sulfonação.

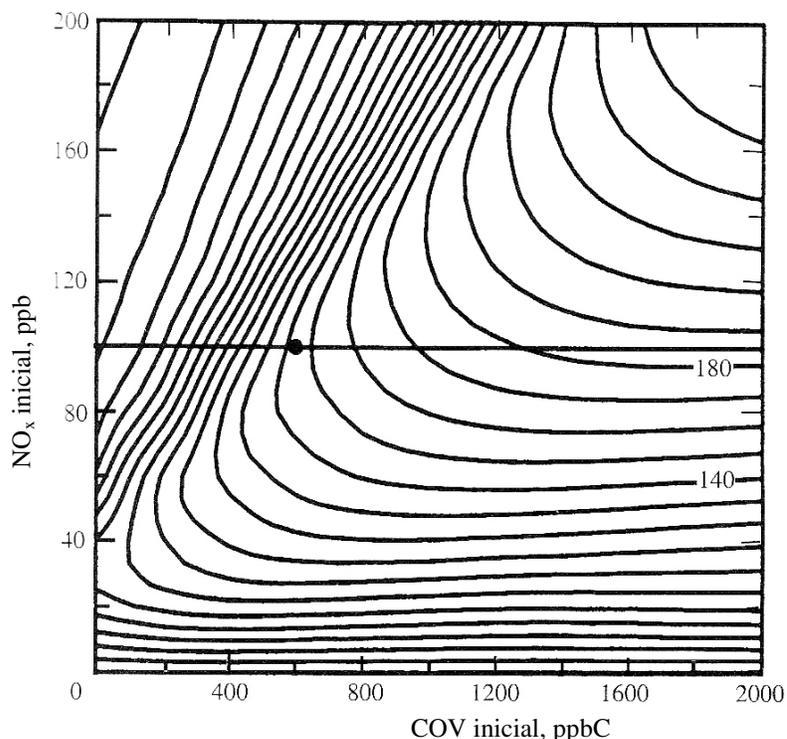
2.7.2 Potencial da Formação de Ozônio Troposférico

A formação de ozônio na troposfera ocorre a partir de reações entre poluentes, caracterizando uma poluição secundária. Os poluentes primários precursores deste tipo de poluição são principalmente os óxidos de nitrogênio e alguns hidrocarbonetos, que reagem na presença de luz solar. Apenas uma pequena parcela do ozônio presente na estratosfera é decorrente do transporte vertical entre a estratosfera e a troposfera (TRESMONDI, 2003)

Segundo Baird (2002) para melhorar a qualidade do ar nos ambientes urbanos sujeitos a *smog* fotoquímico, a quantidade de reagentes, principalmente NO_x e

hidrocarbonetos contendo ligações C=C, além de outros COV, emitidas no ar devem ser reduzidas.

O gráfico da Figura 4 que demonstra o contorno mínimo das concentrações de ozônio em função concentrações iniciais de NO_x e COV.



FONTE: SEINFELD e PANDIS, 1998, modificado.

Figura 4: Isoconcentração de ozônio baseado em simulações da trajetória química da atmosfera em Atlanta (Jeffries and Crouse, 1990 *apund* Sienfeld e Pandis, 1998). Cada linha representa 10 ppm de O₃ aumentando para o lado direito e para cima.

Para o controle deste tipo de poluição deve-se conhecer a relação entre seus precursores. O estudo da relação das concentrações dos COV e NO_x com a formação de ozônio realizado através de simulações da trajetória química da atmosfera em Atlanta aponta para importantes considerações sobre a formação e medidas que se pretende adotar a fim de mitigar o efeito de formação do ozônio. (SEINFELD E PANDIS, 1998)

Verifica-se, através da Figura 4, que o ponto indicado tem concentração de ozônio aproximada de 140ppm, entretanto, se a medida adotada para a redução do

ozônio for a redução de NO_x de 100 para 80ppb não será uma medida eficaz, pois esta redução de 20ppb no NO_x, não reduzirá a concentração de ozônio, uma vez que as concentrações de COV sejam mantidas. Em outras condições, a redução apenas um dos precursores, pode não apenas ser ineficaz como também ser prejudicial, aumentando os níveis do ozônio troposférico encontrado.

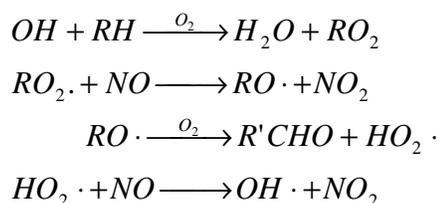
2.7.2.1 Escalas de Reatividade

Os compostos orgânicos voláteis têm grande importância nos problemas de poluição atmosférica, pois além do potencial de seus efeitos nocivos à saúde em sua forma primária, tem um potencial de formação de ozônio troposférico que é um dos principais problemas contemporâneos de poluição atmosférica.

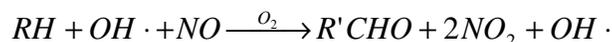
As escalas de reatividade foram elaboradas relacionando as emissões de compostos orgânicos voláteis e seu potencial de formação de ozônio troposférico.

As escalas de baseadas nos valores de K_{OH} apresentam limitações, e a por isso, com os trabalhos de Weir *et al* (1988) e Carter (1991) iniciaram-se as propostas de escalas da reatividade real dos COV baseadas o conceito de Reatividade Incremental (*Incremental Reactivity* - IR). (ALBUQUERQUE, 2007)

O conceito da reatividade incremental pode ser ilustrado pela reação generalizada do mecanismo para a foto oxidação de um alcano, RH:



Reação global:



O conceito de reatividade incremental fornece a quantidade de ozônio formado por unidade de COV adicionado ou subtraído para uma mistura de COV em uma dada massa de ar onde a quantidade de COV tende a zero. (SEINFELD e PANDIS, 1998)

2.7.3 Destruição da Camada de ozônio

Resolução CONAMA n. 267, de setembro 2000 (CONAMA, 2000), é a legislação brasileira que dispõe sobre as proibições das substâncias destruidoras da camada de ozônio. A resolução considera o Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e do Consumo das Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio-PBCO, compromisso formalizado pelo Governo Brasileiro junto ao Secretariado do Protocolo de Montreal, em junho de 1994, que estabelece a eliminação gradativa do uso dessas substâncias no País.

O protocolo de Montreal lista as substâncias que destroem a camada de ozônio, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal

	CÓDIGO DA SUBST. NO IBMA	SUBSTÂNCIA	
		NOME GENÉRICO	COMP. QUÍMICA
ANEXO A/ GRUPO I	1101	CFC-11	CFCl ₃
	1102	CFC-12	CF ₂ Cl ₂
	1103	CFC-113	C ₂ F ₃ Cl ₃
	1104	CFC-114	C ₂ F ₄ Cl ₂
	1105	CFC-115	C ₂ F ₅ Cl
ANEXO A/ GRUPO II	1201	HALON-1211	CF ₂ BrCl
	1202	HALON-1301	CF ₃ Br
	1203	HALON-2402	C ₂ F ₄ Br ₂
ANEXO B/ GRUPO I	2101	CFC-13	CF ₃ Cl
	2102	CFC-111	C ₂ FCl ₅
	2103	CFC-112	C ₂ F ₂ Cl ₄
	2104	CFC-211	C ₃ FCl ₇
	2105	CFC-212	C ₃ F ₂ Cl ₆
	2106	CFC-213	C ₃ F ₃ Cl ₅
	2107	CFC-214	C ₃ F ₄ Cl ₄
	2108	CFC-215	C ₃ F ₅ Cl ₃
	2109	CFC-216	C ₃ F ₆ Cl ₂
2110	CFC-217	C ₃ F ₇ Cl	
ANEXO B/ GRUPO II	2201	CTC – TETRACLORETO DE CARBONO	CCl ₄
ANEXO B/ GRUPO III	2301	1,1,1 – TRICLOROETANO (METIL CLOROFÓRMIO)	C ₂ H ₃ Cl ₃
ANEXO C/ GRUPO I	3101	HCFC-21	CHFCl ₂
	3102	HCFC-22	CHF ₂ Cl
	3103	HCFC-31	CH ₂ FCl
	3104	HCFC-121	C ₂ HFCl ₄
	3105	HCFC-122	C ₂ HF ₂ Cl ₃
	3106	HCFC-123 (*)	CHCl ₂ CF ₃
	3107	HCFC-124(*)	CHFClCF ₃
	3108	HCFC-131	C ₂ H ₂ FCl ₃
	3109	HCFC-132	C ₂ H ₂ F ₂ Cl ₂

	CÓDIGO DA SUBST. NO IBMA	SUBSTÂNCIA	
		NOME GENÉRICO	COMP. QUÍMICA
	3110	HCFC-133	C ₂ H ₂ F ₃ Cl
	3111	HCFC-141	C ₂ H ₃ FCI ₂
	3112	HCFC-141b (*)	CH ₃ CFCl ₂
	3113	HCFC-142	C ₂ H ₃ F ₂ Cl
	3114	HCFC-142b	CH ₃ CF ₂ Cl
	3115	HCFC-151	C ₂ H ₄ FCI
ANEXO C/ GRUPO I	3116	HCFC-221	C ₃ HFCl ₆
	3117	HCFC-222	C ₃ HF ₂ Cl ₅
	3118	HCFC-223	C ₃ HF ₃ Cl ₄
	3119	HCFC-224	C ₃ HF ₄ Cl ₃
	3120	HCFC-225	C ₃ HF ₅ Cl ₂
	3121	HCFC225ca (*)	CF ₃ CF ₂ CHCl ₂
	3122	HCFC-225cb (*)	CF ₂ ClCF ₂ CHClF
	3123	HCFC-226	C ₃ HF ₆ Cl
	3124	HCFC-231	C ₃ H ₂ FCI ₅
	3125	HCFC-232	C ₃ H ₂ F ₂ Cl ₄
	3126	HCFC-233	C ₃ H ₂ F ₃ Cl ₃
	3127	HCFC-234	C ₃ H ₂ F ₄ Cl ₂
	3128	HCFC-235	C ₃ H ₂ F ₅ Cl
	3129	HCFC-241	C ₃ H ₃ FCI ₄
	3130	HCFC-242	C ₃ H ₃ F ₂ Cl ₃
	3131	HCFC-243	C ₃ H ₃ F ₃ Cl ₂
	3132	HCFC-244	C ₃ H ₃ F ₄ Cl
	3133	HCFC-251	C ₃ H ₄ FCI ₃
	3134	HCFC-252	C ₃ H ₄ F ₂ Cl ₂
	3135	HCFC-253	C ₃ H ₄ F ₃ Cl
3136	HCFC-261	C ₃ H ₅ FCI ₂	
3137	HCFC-262	C ₃ H ₅ F ₂ Cl	
3138	HCFC-271	C ₃ H ₆ FCI	
ANEXO C/ GRUPO II	3201		CHFBr ₂
	3202	HBFC-22B1	CHF ₂ Br
	3203		CH ₂ FBr
	3204		C ₂ HFBBr ₄
	3205		C ₂ HF ₂ Br ₃
	3206		C ₂ HF ₃ Br ₂
	3207		C ₂ HF ₄ Br
	3208		C ₂ H ₂ FBr ₃
	3209		C ₂ H ₂ F ₂ Br ₂
	3210		C ₂ H ₂ F ₃ Br
	3211		C ₂ H ₃ FBr ₂
	3212		C ₂ H ₃ F ₂ Br
	3213		C ₂ H ₄ FBr
	3214		C ₃ HFBBr ₆
	3215		C ₃ HF ₂ Br ₅
ANEXO C/ GRUPO III	3301	BROMOCLOROMETANO	CH ₂ BrCl
ANEXO E/ GRUPO I	5101		CH ₃ Br

FONTE: Protocolo de Montreal (1990)

Halogênios como o cloro estão presentes em substâncias químicas artificiais que são liberados na atmosfera sendo responsáveis pela destruição do ozônio na estratosfera. Uma grande parte desses compostos está em moléculas como as do Clorofluorcarbonos (CFC - 11, 12, 113, 114 e 115), brometo de metila e halons.

2.7.3.1 Brasil e o Protocolo de Montreal

Em 1990, o Brasil fez a ratificação do Protocolo de Montreal & Convenção de Viena (Decreto Presidencial N°99.280/90). Logo após a ratificação do protocolo de Montreal o governo federal, através da portaria interministerial 929 de 04/10/1991, formou o Grupo de Trabalho do Ozônio (GTO). Através do GTO foi elaborado em 1994 o Programa Brasileiro de Eliminação da Produção e Consumo de Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio - PBCO. O órgão responsável pela anuência das SDO é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA.

Como regulamentação nacional há as resoluções CONAMA n° 13/1995, que proíbe o uso de SDO em equipamentos novos e importados a partir de 2001, e a resolução CONAMA n° 267/2000 que estabelece cotas decrescentes para a importação de CFC-12.

Em 2002 iniciaram as atividades do Plano Nacional de Eliminação Gradual dos CFC (PNC) que inclui os CFC de grupo I, que estão no Anexo A do protocolo de Montreal, são eles: CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114 e CFC-115. O plano de eliminação destes CFC tem como data limite o dia 01 de janeiro de 2010, que coincide com o protocolo de Montreal.

As obrigações do Brasil, previstas no Protocolo de Montreal, impôs limites máximos anuais de consumo das substâncias, de forma decrescente para que a eliminação do consumo (e conseqüente emissão) seja possível até janeiro de 2010.

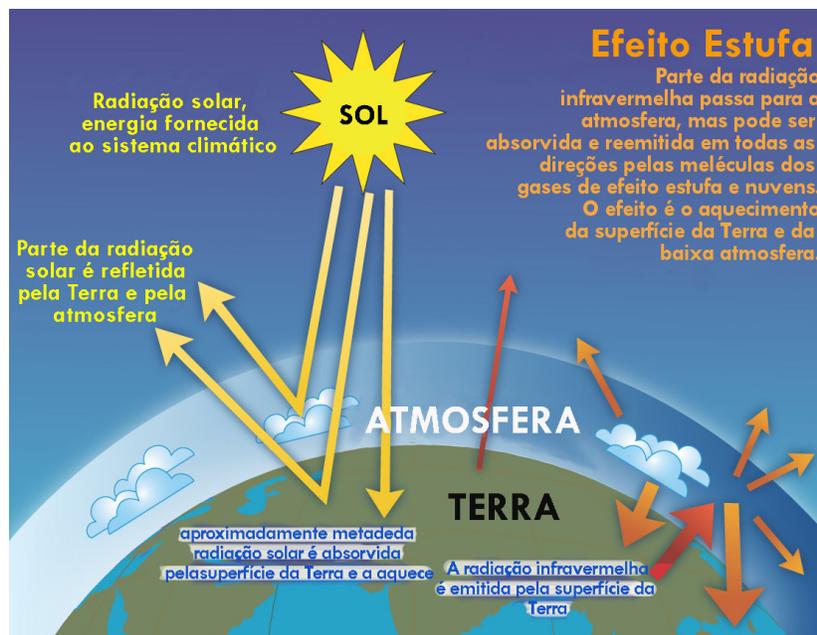
2.7.4 Efeito Estufa

O efeito estufa é resultado da absorção de radiação ultravioleta (UV) por gases que refletem parte desta radiação através de ondas longas, no infravermelho. Os principais agentes do efeito estufa são o vapor d'água e o dióxido de carbono que são encontrados em abundância na atmosfera, além desses, gases traço participam efetivamente para que o efeito ocorra, pois embora estejam presentes em menores

concentrações, eles possuem um elevado potencial de aquecimento, exemplos destes são o óxido nitroso e o metano.

O efeito estufa é um fenômeno que ocorre nas condições naturais do planeta, não é decorrente apenas da poluição atmosférica que intensifica o efeito. Seu mecanismo permite condições adequadas de temperatura na Terra, fator essencial à vida.

É apresentado na Figura 5 o mecanismo do efeito estufa que se dá pela radiação emitida pelo Sol (UV) à Terra onde parte desta radiação é absorvida, uma fração é refletida pela superfície e outra refletida pela atmosfera. A representação na Figura 5 mostra também, através das setas alaranjadas, a radiação infravermelha que é emitida pela superfície da Terra, parte dela passa para a atmosfera e a maioria é absorvida e reemitida em todas as direções pelos gases de efeito estufa, moléculas e nuvens.



FONTE: IPCC, WG1-AR4 (2007), modificado

Figura 5: Mecanismo de Efeito Estufa

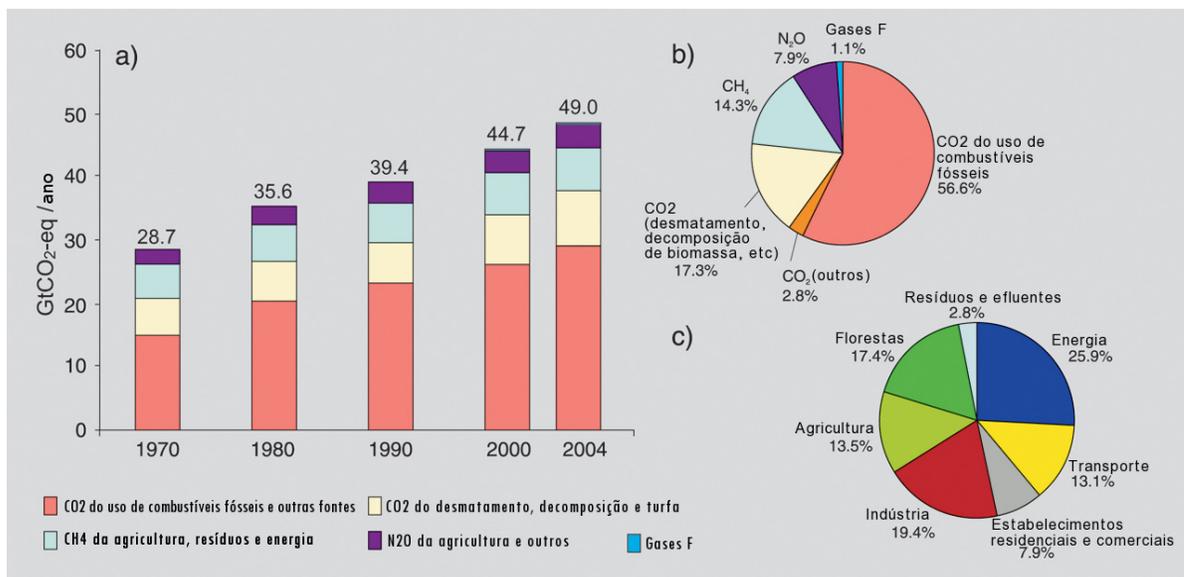
Segundo o IPCC (2007) se não houvesse o efeito estufa a temperatura média da Terra seria de -18°C , ou 33°C inferior à média global atual de 15°C .

Desde a revolução industrial, muitos gases de efeito estufa foram adicionados à atmosfera, entre eles algumas substâncias sintetizadas, gases com elevado potencial de aquecimento global como os clorofluorcarbonos (CFCs). Desta forma tem-se a intensificação do efeito estufa.

A intensificação do efeito estufa decorre principalmente de atividades antropogênicas que emitem gases com potencial de aquecimento. As principais atividades com este tipo de emissão são o uso de combustíveis fósseis, as mudanças no uso da terra, a transformação de matérias primas, entre outros.

A indústria química produz desde 1930 substâncias como hexafluoreto de enxofre (SF_6) e diversos halocarbonos, como os clorofluorcarbonos (CFC), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC), que apresentam grande potencial de aquecimento global (GWP), mas suas concentrações crescentes na atmosfera vieram a ser alvo de atenção apenas a partir da década de 1970. (IPCC, 2007).

A Figura 6 apresenta as emissões globais antropogênicas de GEE utilizando três abordagens indicadas através das letras: (a) emissões globais antropogênicas de GEE de 1970 até 2004, (b) GEE antropogênicos em emissões totais de 2004, em $\text{CO}_2\text{-eq}$, e (c) participação de diferentes setores no total de emissões antropogênicas de GEE em 2004, em $\text{CO}_2\text{-eq}$.



FONTE: IPCC, SYR-AR4 (2007), modificado.

Figura 6: Emissões globais antropogênicas de gases de efeito estufa

As emissões globais de GEE elevam-se desde a revolução industrial, dados publicados pelo IPCC (2007) mostram um aumento de 70% no período de 1970 e 2004.

O aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera acompanha as tendências do aumento da temperatura nas últimas décadas, segundo o IPCC (2007), assim, em muitas organizações surge a preocupação em conhecer, quantificar, relatar e reduzir as emissões dos gases de efeito estufa oriundas de suas atividades, atendendo os protocolos estabelecidos.

2.7.4.1 Fontes de emissões de GEE

As fontes de emissão dos gases de efeito estufa são classificadas como fontes biogênicas e fontes antropogênicas. Estas fontes compreendem atividades como a produção energia, processos industriais, agricultura, resíduos e alagamentos.

Para a descrição das fontes de emissão identificam-se os gases que proporcionam o efeito estufa através da Tabela 3 que apresenta a descrição dos GEE considerados pelo IPCC, seu tempo de vida, eficiência radiativa, e potencial de aquecimento global (GWP).

Tabela 3: Principais Gases de Efeito Estufa.

Designação Industrial ou nome comum	Fórmula Química	Tempo de vida (anos)	Eficiência radiativa	Potencial de Aquecimento Global			
				SAR* 100 anos	20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de carbono	CO ₂			1	1	1	1
Metano	CH ₄			21	72	25	7,6
Óxido nitroso	N ₂ O	114		310	289	298	153
<i>Substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal</i>							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0,25	3.800	6.730	4.750	1.620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0,32	8.100	11.000	10.900	5.200
CFC-13	CClF ₃	640	0,25		10.800	14.400	16.400
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	85	0,3	4.800	6.540	6.130	2.700
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	0,31		8.040	10.000	8.730
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1700	0,18		5.310	7.370	9.990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0,32	5.400	8.480	7.140	2.760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0,3		4.750	1.890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0,33		3.680	1.640	503
Tetracloro de Carbono	CCl ₄	26	0,13	1.400	2.700	1.400	435
Brometo de Metila	CH ₃ Br	0,7	0,01		17	5	1
Cloroforme de metila	CH ₃ CCl ₃	5	0,06		506	146	45
HCFC-12	CHClF ₂	12	0,2	1.500	5.160	1.810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1,3	0,14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClF ₂ CF ₃	5,8	0,22	470	2.070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9,3	0,14		2.250	725	220
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17,9	0,2	1.800	5.490	2.310	705
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1,9	0,2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClF ₂ CClF ₂	5,8	0,32		2.030	595	181
<i>Hidrofluorcarbonos</i>							
HFC-23	CHF ₃	270	0,19	11.700	12.000	14.800	12.200
HFC-32	CH ₂ F ₂	4,9	0,11	650	2.330	675	205
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	0,23	2.800	6.350	3.500	1.100
HFC-134 ^a	CH ₂ FCF ₃	14	0,16	1.300	3.830	1.430	435
HFC-143 ^a	CH ₃ CF ₃	52	0,13	3.800	5.890	4.470	1.590
HFC-152 ^a	CH ₃ CHF ₂	1,4	0,09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	34,2	0,26	2.900	5.310	3.220	1.040
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0,28	6.300	8.100	9.810	7.660
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7,6	0,28		3.380	1030	314
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8,6	0,21		2.520	794	241
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCH ₂ CF ₂ CF ₃	15,9	0,4	1.300	4.140	1.640	500
<i>Compostos perfluoretados</i>							
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	3200	0,52	23.900	16.300	22.800	32.600
Trifluoreto de nitrogênio	NF ₃	740	0,21		12.300	17.200	20.700

Designação Industrial ou nome comum	Fórmula Química	Tempo de vida (anos)	Eficiência radiativa	Potencial de Aquecimento Global			
				SAR* 100 anos	20 anos	100 anos	500 anos
PFC-14	CF ₄	50.000	0,10	6.500	5.210	7.390	11.200
PFC-116	C ₂ F ₆	10.000	0,26	9.200	8.630	12.200	18.200
PFC-218	C ₃ F ₈	2.600	0,26	7.000	6.310	8.830	12.500
PFC-318	c-C ₄ F ₈	3.200	0,32	8.700	7.310	10.300	14.700
PFC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	2.600	0,33	7.000	6.330	8.860	12.500
PFC-4-1-12	C ₅ F ₁₂	4.100	0,41		6.510	9.160	13.300
PFC-5-1-14	C ₆ F ₁₄	3.200	0,49	7.400	6.600	9.300	13.300
PFC-9-1-18	C ₁₀ F ₁₈	>1.000 ^d	0,56		>5.500	>7.500	>9.500
Trifluorometil pentafluoreto de enxofre	SF ₅ CF ₃	800	0,57		13.200	17.700	21.200
<i>Éters fluoretados</i>							
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	136	0,44		13.800	14.900	8.490
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂	26	0,45		12.200	6.320	1.960
HFE-143 ^a	CH ₃ OCF ₃	4,3	0,27		2.630	756	230
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃	2,6	0,38		1.230	350	106
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	5,1	0,32		2.440	708	215
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	4,9	0,31		2.280	659	200
HFE-254cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	2,6	0,28		1.260	359	109
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	5,2	0,34		1.980	575	175
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	7,1	0,25		1.900	580	175
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	0,33	0,93		386	110	33
HFE-449sl (HFE-7100)	C ₄ F ₉ OCH ₃	3,8	0,31		1.040	297	90
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	0,77	0,3		207	59	18
HFE-43-10pccc124 (H-Galden 1040x)	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ O CHF ₂	6,3	1,37		6.320	1.870	569
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	12,1	0,66		8.000	2.800	860
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OC HF ₂	6,2	0,87		5.100	1.500	460
<i>Perfluorpolieteres</i>							
PFPME	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ O CF ₂ OCF ₃	800	0,65		7.620	10.300	12.400
<i>Hidrocarbonos e outros compostos - Efeitos Diretos</i>							
Dimetileter	CH ₃ OCH ₃	0,015	0,015	0.02	1	1	<<1
Cloreto metileno	CH ₂ Cl ₂	0,38	0,03		31	8,7	2,7
Cloreto metil	CH ₃ Cl	1,0	0,01		45	13	4

Fonte: IPCC (2007) WG1, modificado

A observação de alterações no clima do planeta ao decorrer da história trouxe aos pesquisadores o anseio de buscar suas causas.

A dimensão dos estudos realizados pelo IPCC possibilita a análise de resultados globais, este fato facilitou o entendimento das mudanças apontado como principal causa a variação nas concentrações de gases de efeito estufa.

Algumas causas são apontadas como responsáveis pelo aumento dessas concentrações como os processos naturais (atividades vulcânicas e variações da órbita terrestre) e atividades antrópicas (utilização acelerada de combustíveis fósseis, desmatamento e queimadas de florestas).

Relaciona-se à era industrial a principal causa do aumento das concentrações de gases de efeito estufa. Desde então o incremento dos gases de efeito estufa na atmosfera foi em 35% e as atividades que mais contribuíram para este cenário foram a queima de combustíveis fósseis e a remoção de florestas.

2.7.4.2 Protocolo de Quioto

As políticas internacionais relativas às mudanças do clima são regidas pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC). A convenção foi aberta para assinatura em 1992, no Rio de Janeiro na conferência ECO-92. Entrou em vigor em 1994, e no período de 10 anos obteve a assinatura de 188 países, ou 188 partes da convenção. (NAE, 2005)

Na terceira conferência - COP3, em 11 de dezembro de 1997, em Quioto, Japão foi estabelecido o Protocolo de Quioto que objetiva o incentivo e compromisso dos países desenvolvidos (Partes do Anexo I) na redução de emissão dos gases de efeito estufa. Um acordo internacional ligado a UNFCCC.

As condições para que o protocolo entrasse em vigor era que houvesse a assinatura de no mínimo 55 partes do anexo I, ou a assinatura de partes que representassem de 55% das emissões totais de dióxido de carbono mundiais com base nos dados de 1990. Em 16 de fevereiro de 2005 o protocolo de Quioto entrou em vigor, nove dias após a ratificação da Rússia, o que totalizou as condições pré-estabelecidas.

O protocolo propõe a redução de 5% das emissões dos GEE aos níveis do ano de 1990 nos países desenvolvidos, assumindo que os níveis calculados para 1990 são resposta de aproximadamente 150 anos de emissões. O período para as reduções dos níveis é entre 2008 e 2012.

Os países em desenvolvimento não assumem a responsabilidade de redução, mas sua participação ocorre através de mecanismos determinados e descritos no protocolo.

Os três mecanismos relacionados ao mercado de emissões, que visam facilitar o cumprimento do protocolo são, o Comércio de Emissões - CE (Emissions Trading - ET), a Implementação Conjunta (Joint Implementation - JI) e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL (Clean Development Mechanism - CDM).

O comércio de emissões tem a participação das partes incluídas no Anexo B, do Protocolo de Quioto, com o objetivo de cumprir os compromissos do artigo 3 que são reduções nas emissões.

A Conferência das Partes deve definir os princípios, as modalidades, regras e diretrizes apropriados, em particular para verificação a elaboração de relatórios e prestação de contas do comércio de emissões. As Partes incluídas no Anexo B podem participar do comércio de emissões com o objetivo de cumprir os compromissos assumidos sob o Artigo 3 do Protocolo de Quioto. Tal comércio deve ser suplementar às ações domésticas com vistas a atender os compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos sob este artigo.

O mecanismo de desenvolvimento limpo é uma oportunidade efetiva para que partes não incluídas no anexo I do Protocolo de Quioto atinjam o desenvolvimento sustentável e auxiliem os países do anexo I a atingirem suas metas de redução. O MDL é sujeito a orientação e autoridade da Conferência das Partes e supervisão de um conselho executivo do MDL.

O MDL assiste às Partes como descrito no Artigo 6 do protocolo, países (ou partes) do Anexo I podem adquirir ou transferir para qualquer outro país do mesmo anexo, unidades de redução de emissões resultantes de projetos visando a redução das emissões antrópicas por fontes ou aumento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa em qualquer setor da economia.

A redução proposta pelo Protocolo de Quioto pode ser feita individualmente e coletivamente de acordo com as quantidades atribuídas, os gases de efeito estufa assumidos pelo Protocolo como precursores de maior impacto foram o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre.

2.7.4.3 O Brasil e suas ações com relação às mudanças do clima

Embora o Brasil não tenha metas acordadas quanto à redução quantitativa de emissões de gases de efeito estufa por não ser parte do anexo I do protocolo de Quioto, o país possui compromissos estabelecidos pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), entre eles, a elaboração e atualizações de inventários nacionais de emissões antrópicas de gases de efeito estufa, formular programas nacionais de mitigação e adaptação à mudança do clima, promover a cooperação tecnológica, científica e educacional a fim de mitigar as mudanças do clima, promover o manejo sustentável de sumidouros e reservatórios de carbono e comunicar a convenção das partes à implantação da convenção.

O *Primeiro Inventário Nacional de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa* do Brasil foi elaborado e publicado em 2004 pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. O inventário foi feito a partir de dados do ano de 1994 e composto utilizando a metodologia proposta pela UNFCCC, descrita no Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC 1996.

O inventário está organizado em três setores de emissões: O setor energético, o setor agropecuário e o tratamento de resíduos.

O *setor energético* engloba a queima de combustíveis, as fontes móveis, as emissões fugitivas da mineração e do tratamento de carvão mineral e a indústria que é subdividida de acordo com as emissões nos processos industriais e no uso de solventes. O *setor agropecuário* aborda as emissões da pecuária, do cultivo de arroz, da queima de resíduos agrícolas, do solo, da queima da biomassa do cerrado, mudanças do uso da terra e de florestas. E o *tratamento de resíduos* abrange as emissões no tratamento e disposição de resíduos.

O relatório do inventário específico para a indústria se refere às emissões de gases de efeito estufa oriundas dos processos produtivos, as emissões decorrentes do uso de combustíveis não foram consideradas neste relatório, pois tal atividade foi contemplada na produção de energia. Os tipos de indústrias que tiveram suas emissões relatadas foram as de produtos minerais, a indústria química, a indústria metalúrgica, a de alimentos e bebidas, a indústria de papel e celulose e ainda neste setor, a relação de produção e consumo de HFC.

A parte do relatório que se dedica ao inventário das emissões da indústria química utilizou como método as recomendações do IPCC (2007) e do CORINAIR (1996), que tem como objetivo relacionar as emissões com a quantidade de produtos químicos produzidos, através de fatores de emissão.

Os fatores de emissões utilizados no relatório para os produtos: ácido adípico, ácido nítrico, amônia, caprolactama, metanol e negro de fumo foram fornecidos pela ABIQUIM, para o anidrido ftálico, poliestireno e PVC, utilizaram-se os fatores do CORINAIR (1996), e para os demais produtos químicos, os fatores do IPCC (1997).

2.7.4.4 Emissões do setor elétrico brasileiro

O setor elétrico brasileiro, modificado desde 1995 através de leis federais, decretos e regulamentos, foi apoiado em 1996 com a lei nº 9.427 de 26 de dezembro, que instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para “disciplinar o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dar outras providências”. O novo modelo busca diretrizes para geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica.

Para apoiar este novo modelo, em 1998 foi formado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), uma entidade de direito privado, sem fins lucrativos que tem como responsabilidade a coordenação e controle de operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulação da ANEEL.

O SIN tem dimensões e características que o faz ser considerado como um sistema único, responsável pela produção e transmissão de energia elétrica do Brasil, tem forte predominância de usinas hidrelétricas e múltiplos proprietários. Apenas 3,4% da capacidade de produção nacional de eletricidade encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica. (ONS, 2008)

O perfil da geração de energia elétrica no país tem predominância de hidrelétrica, como a participação de termelétricas, nucleares, eólicas e outras fontes alternativas. Sua composição é apresentada pela Figura 7:

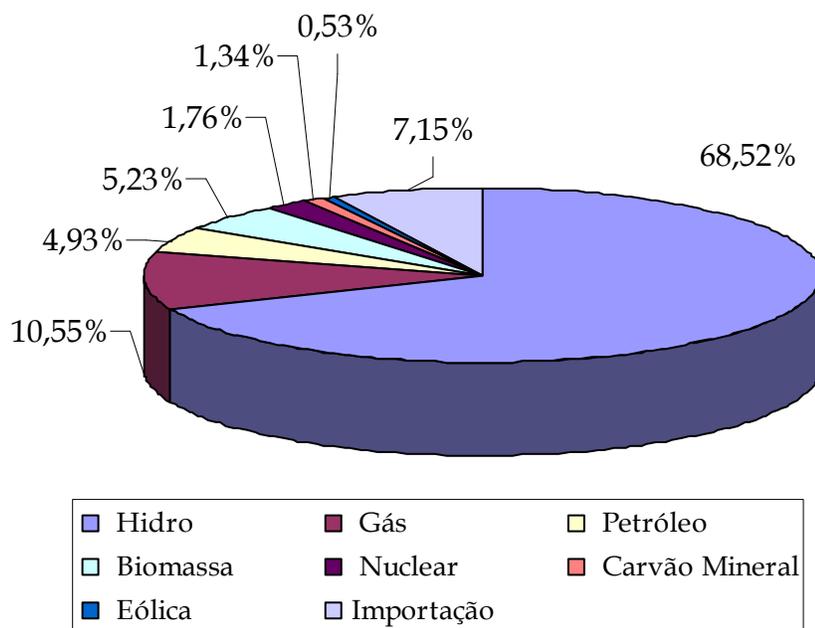


Figura 7: Perfil da matriz de energia elétrica brasileira

FONTE: ANEEL, 2009.

A geração de energia elétrica por usinas hidrelétricas se dá através da transformação da energia potencial gravitacional das águas dos rios em energia cinética de rotação para a geração de energia elétrica. Devido à grande quantidade de recursos hídricos disponíveis em escoamento superficial no Brasil é a forma de geração de energia elétrica predominante no país. Para a execução de uma usina hidrelétrica é necessária a construção de barragens para o alagamento e aumento da vazão de água nos equipamentos de transformação da energia. Durante a vida útil da usina, o processo de geração é uma fonte de energia limpa, sem resíduos.

Para que se obtenha um valor representativo das emissões de gases de efeito estufa oriundas do consumo de energia elétrica é necessário que seja feita uma ponderação das emissões das fontes utilizadas no país, considerando as proporções do SIN que são disponibilizadas pela ANEEL (2009).

As termoelétricas utilizam o calor, na forma de vapor para a geração de energia elétrica. Para a geração do vapor, as usinas utilizam combustíveis com alto poder

calorífico e economicamente viáveis. São utilizados combustíveis como o gás natural, carvão ou óleo.

As usinas nucleares partem do princípio de fissão nuclear utilizando material radioativo para o aquecimento de água, completando três circuitos até chegar ao gerador de energia elétrica. É uma energia considerada limpa, com baixo custo de produção e independente de fatores climáticos, mas apresenta aspectos negativos quanto à segurança, principalmente por utilizar materiais radioativos.

O abastecimento de uma usina através de energia eólica utiliza a velocidade do vento para a movimentação de turbinas e posterior geração da energia elétrica. A emissão nesse tipo de geração é nula, porém a sua aplicação depende de diversos fatores climáticos e geográficos.

A utilização de biomassa para a geração de energia elétrica tem vantagens tanto ambientais como econômicas, pois geralmente são utilizados os resíduos da produção para a geração de energia, como o bagaço de cana-de-açúcar.

De acordo com a agência nacional de energia elétrica, ANEEL (2009), mais de 80% da energia elétrica brasileira é produzida por fontes renováveis, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de energia elétrica brasileira

Tipo	Capacidade Instalada			%	Total		%
	N.º de Usinas	(kW)			N.º de Usinas	(kW)	
Hidro		820	78.299.429	68,52	820	78.299.429	68,52
Gás	Natural	94	10.811.412	9,46	126	12.057.895	10,55
	Processo	32	1.246.483	1,09			
Petróleo	Óleo Diesel	783	3.917.578	3,43	804	5.628.772	4,93
	Óleo Residual	21	1.711.194	1,50			
Biomassa	Bagaço de Cana	282	4.458.515	3,90	344	5.976.860	5,23
	Licor Negro	14	1.145.798	1			
	Madeira	33	298.867	0,26			
	Biogás	8	42.272	0,04			

Tipo	Capacidade Instalada		%	Total		%
	N.º de Usinas	(kW)		N.º de Usinas	(kW)	
	Casca de Arroz	7	31.408	0,03		
Nuclear		2	2.007.000	1,76	2	2.007.000
Carvão Mineral	Carvão Mineral	9	1.530.304	1,34	9	1.530.304
Eólica		36	602.284	0,53	36	602.284
Importação	Paraguai		5.650.000	5,46		8.170.000
	Argentina		2.250.000	2,17		
	Venezuela		200.000	0,19		
	Uruguai		70.000	0,07		
Total		2.141	114.272.544	100	2.141	114.272.544

FONTE: ANEEL, 2009

A matriz energética apresentada na Tabela 4 representa a composição da energia obtida através do sistema interligado nacional.

As emissões de GEE do setor elétrico podem ser estimadas através de fatores de emissões específicos para cada fonte de geração.

O IPCC (1997) apresenta alguns desses fatores que embora não sejam específicos para o Brasil podem ser utilizados internacionalmente, segundo as suas recomendações.

De acordo com Tolmasquim *et al* (2001) a emissão gerada através do bagaço de cana-de-açúcar e licor negro são nulas por serem fontes de energia completamente renováveis.

Na Tabela 5 são apresentados os fatores de emissões que podem ser utilizados para o cálculo do fator de emissão da matriz de energia elétrica brasileira.

Tabela 5: Fatores de emissão das fontes de geração de energia elétrica no Brasil

FONTE	Fator de emissão (kg/MW.h)		
	Bruto ⁽¹⁾		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Não renovável			
Derivados de Petróleo	270,54	0,010714	0,0021
Gás Natural	200,36	0,003571	0,0004
Gás Industrial	205,71	0,003571	0,0004
Carvão Mineral	382,14	0,003571	0,0054
Nuclear	0,00	0,00	0,00
Renovável			

FONTE	Fator de emissão (kg/MW.h)		
	Bruto ⁽¹⁾		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Hidráulica + Importação	0,00	0,00	0,00
Biomassa	0,00	0,11	0,01

(1) IPCC/2006 e MCT/2008

2.8 QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES

A quantificação de emissões pode ser realizada por diversos métodos, é uma ferramenta para a elaboração de um inventário de emissões.

Segundo Clemente (2001) o inventário de emissões é o estudo das fontes industriais com o objetivo de identificar, localizar, quantificar e qualificar todos os componentes que estão sendo descarregados para a atmosfera, podendo incluir estimativas de emissões de fontes pontuais, móveis, biogênicas e fonte área.

Inventário de emissões é um instrumento fundamental no gerenciamento da qualidade do ar e as estimativas de emissões são importantes para o desenvolvimento de estratégias de controle de emissões, determinando aplicabilidade de programas de controle e verificando os efeitos das fontes e estratégias de mitigação apropriadas (USEPA, 1997).

Pode-se realizar uma avaliação global de todos os poluentes emitidos, bem como a localização das emissões e as suas características físicas através da quantificação e do inventário de emissões. A utilização desta ferramenta é comum no estudo de tendências anuais para verificar se o aumento ou a diminuição da produção de uma empresa repercute em mudanças detectadas na qualidade do ar.

No trabalho de Lyra (2008) é destacado que os resultados obtidos em um inventário possuem uma série de usos importantes, além de sua utilização como dados de entrada nos simuladores de dispersão dos poluentes, como, por exemplo, identificar

as principais fontes de emissões, os principais poluentes emitidos e estabelecer uma base para programas/estratégias de controle de perdas.

Muitas refinarias e plantas petroquímicas têm estimado suas emissões. Rastrear emissões de COV, por exemplo, tem grande importância, pois os COV reagem com óxidos de nitrogênio para formar ozônio, que é um poluente regulado pela Lei. Contribuições totais das emissões de COV dependem dos processos industriais utilizados e dos controles de emissões instalados.

Tabela 6: Poluentes atmosféricos e suas fontes potenciais de emissão USEPA (1997).

Fonte	Descrição	COV	CO	NO _x	SO ₂	MP
Queima de combustível	Óleo, gás, carvão, outros;			X	X	X
Fabricação de produtos químicos	Produtos orgânicos	X	X			
	Produtos inorgânicos		X			
	Polímeros e resinas	X				
	Outros produtos químicos	X	X			
Processamento de metais	Metais não-ferrosos		X			X
Outros processos industriais	Papel e celulose	X	X			X
Utilização de solventes	Desengraxe	X				
Estocagem e transporte	Produtos orgânicos	X				
	Produtos inorgânicos					X
Tratamento de resíduos	Incineração		X			X
Efluentes e resíduos	Estações de tratamento	X				
Outras fontes	Torres de refrigeração	X				

De uma forma preliminar, é possível identificar os tipos de poluentes atmosféricos existentes, relacionando-os com os diferentes tipos de fontes de emissão. A Tabela 6 indica os principais poluentes atmosféricos associados aos segmentos produtivos e operações industriais. (USEPA, 2008)

2.8.1 Métodos de estimativas de emissões

Para estimar emissões de poluentes gasosos para a atmosfera são utilizados os seguintes métodos:

- Fatores de emissões
- Balanço de massa
- Amostragem de chaminé
- Modelos de estimativa de emissões (*software*)

2.8.1.1 Fatores de emissões

Um fator de emissão é um valor representativo que tenta relacionar a quantidade de um poluente liberado para a atmosfera com uma atividade associada à esta emissão (USEPA, 1998).

Fatores de emissão podem estar baseados na medida da amostragem de chaminé, modelagem, balanço de massa ou outras informações.

O documento da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) “*Compilation of Air Pollutant Emission Factors*” (AP-42) (USEPA, 1994) foi publicado em 1972 e vem sendo atualizado desde então, trás várias categorias de fontes e respectivos fatores de emissões. Um fator de emissão relata a quantidade em massa dos poluentes emitidos por uma unidade de atividade da fonte.

O AP-42 foi desenvolvido como um recurso para ajudar as indústrias a calcular suas emissões de fontes pontuais, como por exemplo, caldeiras, fornos, compressores, máquinas de combustão interna, tanques de estocagem e estações de serviço (PHILLIPS, 1995).

O método geral de aplicar os fatores de emissões AP-42 está em multiplicar o fator de emissão apropriado pela taxa de alimentação do combustível. Em alguns casos de fontes de poluentes devido à combustão, ocorrem emissões de material particulado, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (especialmente, emissões de metanos e não-metanos) em unidades da massa de substâncias emitidas por unidade de tempo. Em geral, os fatores

de emissão AP-42 estão em unidades da massa de substâncias emitidas por volume de combustível queimado (PHILLIPS, 1995).

Para calcular emissões usando fatores de emissões são requeridas as seguintes características:

- Informação da atividade
- Fator de emissão
- Informações dos equipamentos e dispositivos de controle, quando aplicável.

A equação básica para estimar emissões quando se usa um fator de emissão para uma fonte desprovida de equipamento de controle de poluição é dada por:

$$E = R \times EF \times (1-C/100) \quad (1)$$

Onde:

E = estimativa de emissão para um processo

R = nível de atividade

EF = fator de emissão assumido sem controle

C = controle (expresso em porcentagem); C = 0 se não existe dispositivo de controle para a fonte

$$E = R \times EF \rightarrow \text{fator de emissão não controlado} \quad (2)$$

Para cada fator de emissão do AP-42 é atribuída uma classificação de A até E (USEPA, 1994). Esta classificação está baseada na boa qualidade do teste usado no desenvolvimento do fator e nas características e quantidades representativas desses dados. A qualidade de classificação dos dados do AP-42 ajudam a identificar um bom dado, quando não é possível extrair um fator representativo de uma fonte típica.

2.8.1.2 Balanço de massa

Utilizando-se o conceito da lei de conservação da massa é possível conhecer o destino de qualquer material, numa caldeira, num lago, no ar, ou no globo terrestre, por exemplo.

Numa fronteira imaginária em torno de uma região, pode-se então começar a identificar o fluxo de materiais através da fronteira, bem como o acúmulo de materiais dentro de um volume de controle.

Uma substância que entra numa região tem dois destinos possíveis: 1- pode ser levado a uma região desconhecida e 2- pode ser convertido em alguma outra substância através de acúmulo ou decaimento.

A equação de balanço de massa é a seguinte:

$$T_E = T_S + T_D + T_A \quad (3)$$

Onde:

T_E é a taxa de entrada da substância no volume de controle

T_S é a taxa de saída da substância no volume de controle

T_D é a taxa de decaimento da substância dentro do volume de controle

T_A é a taxa de acúmulo da substância dentro do volume de controle

Neste caso, o balanço de massa será utilizado para calcular as emissões de poluentes e isto depende do conhecimento da quantidade de certos materiais que entram no processo, a quantidade de produto que deixa o processo e alguma quantidade do material perdido ao longo do processo. Esta técnica é igualmente aplicada para fontes pontuais e fontes área. Processos típicos no qual um balanço de massa é particularmente útil são operações de degradação de solventes, operações de

recobrimento de superfícies e análises de combustíveis queimados em caldeiras. Balanço de massa não poderia ser usado para processos onde materiais reagem na forma de produtos secundários ou onde o material recebe significantes transformações químicas (USEPA, 1998).

A equação básica para estimar emissões pelo balanço de massa é:

$$E_x = (Q_{\text{entrada}} - Q_{\text{saída}}) \cdot C_x \quad (4)$$

Onde:

E_x = emissões totais do poluente x;

Q_{entrada} = quantidade de material que entra no processo;

$Q_{\text{saída}}$ = quantidade de material deixado do processo como resíduo;

C_x = concentração do poluente x no material.

2.8.1.3 Amostragem de chaminé

Amostragem em chaminé é um procedimento experimental utilizado para avaliar as características dos fluxos gasosos emitidos em processos industriais. O objetivo é quantificar as emissões de poluentes para verificar, entre outras coisas, se estas emissões se enquadram na legislação vigente, se um equipamento de controle está operando nas condições especificadas pelo fabricante ou ainda, para estabelecer padrões de emissão (USEPA, 2008).

Em uma amostragem de chaminé deve-se procurar obter dados que sejam representativos do fluxo de gás emitido pela fonte. Para isso, é necessário extrair uma amostra da chaminé em condições tais que reproduzam a medida dos gases que estão sendo emitidos.

Simultaneamente à coleta da amostra, devem ser medidos parâmetros que permitam calcular as concentrações de poluentes e as taxas de emissão. Assim é necessário medir o volume total do gás amostrado e o tempo da coleta.

Para padronizar os resultados, eles são expressos em condições normais de temperatura e pressão (0 °C e 760 mmHg) em base seca. Para isso, é necessário medir parâmetros como pressão, temperatura e teor de umidade.

O equipamento e a aparelhagem necessários em uma amostragem de chaminé são relativamente complexos e variam em função do poluente que se quer analisar. Para cada poluente há uma instrumentação específica.

As metodologias utilizadas no Brasil são as mesmas adotadas pelo Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA).

Embora amostragem de chaminé produza mais exatidão nas estimativas de emissões que fatores de emissões ou balanço de massa, o uso desse método para fazer um inventário de emissões pode ser limitado por várias razões. Primeiro, a amostragem de chaminé é cara, especialmente se o custo é composto por um grande número de poluentes a serem testados. Segundo, amostragem de chaminé fornece uma foto instantânea de emissões de teste na fonte levantando-se em conta a estimativa das condições durante a corrida do teste. Finalmente, apesar do método de amostragem de chaminé ser padronizado, nem sempre ele é utilizado corretamente.

2.8.1.4 Modelos de emissão

Alguns modelos de emissões atualmente disponíveis estão baseados em valores empíricos. Os softwares de estimativa de emissão são usados quando um grande número de equações e interações devem ser manipuladas e o efeito de muitos parâmetros diferentes devem ser considerados para as estimativas de emissões. A

USEPA desenvolveu códigos de simulação em FORTRAN para os algoritmos dos modelos de emissões, tais como o TANKS 4.09d e o WATER9.

TANKS 4.09d destina-se à realização de estimativas de perdas por estocagem de líquidos orgânicos dos tanques de armazenamento (USEPA, 2008).

WATER9 destina-se a estimativa de perdas por evaporação do sistema de tratamento de efluentes (USEPA, 1994 b).

Modelo de emissão para estimar perdas por estocagem de líquidos orgânicos dos tanques de armazenamento (TANKS)

Vasos de estocagem contendo líquidos orgânicos podem ser encontrados em muitas indústrias, incluindo produção e refinamento de petróleo, manufatura química e petroquímica, volume de estocagem e operações de transferência e outras indústrias de consumo ou produção de líquidos orgânicos. Líquidos orgânicos em indústrias de petróleo, geralmente são chamados de líquidos de petróleo e em geral são misturas de hidrocarbonetos, como por exemplo, gasolina e óleo cru. Líquidos orgânicos na indústria química, geralmente chamado de líquidos orgânicos voláteis, são compostos de substâncias químicas puras ou misturas de substâncias químicas como, por exemplo, benzeno (USEPA, 2000).

Muitos produtos são armazenados e manuseados operando próximos à pressão atmosférica. Esses líquidos geralmente têm pressões de vapor bem leves e suportam uma concentração significativa desses produtos no espaço do vapor dentro do tanque. Em temperaturas normais de estocagem, a pressão de vapor é menor que a pressão atmosférica, então o ar deve ser introduzido no espaço do vapor para evitar o vácuo parcial no tanque e fazer a pressão atmosférica total (API, 1969).

Evaporação é um processo natural pelo qual o líquido é convertido em vapor. Perdas por evaporação ocorrem quando um líquido estocado evapora e o vapor escapa

para atmosfera. E quanto maior o “*turnover*” do tanque, que é a capacidade dele encher e esvaziar, maior será a perda por evaporação (API, 1969).

Existem quatro tipos de projetos de tanques de estocagem de líquidos orgânicos:

- Teto fixo vertical
- Teto fixo horizontal
- Teto flutuante interno
- Teto flutuante externo

a)- Tanques de teto fixo vertical / horizontal

Este tipo de tanque consiste num casco de aço cilíndrico com um teto fixado permanentemente que pode variar o desenho na forma de cone ou cúpula.

Perdas por evaporação dos tanques de teto fixo são causadas por mudanças na temperatura, pressão e nível do líquido. Os acessórios também permitem emissão de vapores dos produtos, como respirador central e válvula de alívio de pressão/vácuo (USEPA, 2000).

Os tanques de teto fixo com ou sem controle terão maiores emissões do que tanques de teto flutuantes (PASQUILL, 1983).

As perdas por evaporação de tanques de teto fixo podem ser divididas em duas categorias:

Perdas por respirador: vapores expelidos pelo tanque como resultado de uma vaporização adicional e/ou expansão do vapor causado pelo aumento da temperatura e/ou diminuição da pressão barométrica.

Perdas quando o tanque está em operação de enchimento: vapores expelidos do tanque como resultado da transferência de um líquido para dentro ou para fora do tanque.

Tanques horizontais de teto fixo são construídos acima ou abaixo do nível do solo. São geralmente tanques pequenos com capacidade menor do que 150 m³, estes são equipados com respiradores de pressão/vácuo.

b)- Tanque de teto flutuante externo

Um tanque de teto flutuante externo consiste em um casco de aço cilíndrico aberto no topo, equipado com um teto que flutua na superfície do líquido. O teto flutuante consiste numa cobertura, acessórios na cobertura e um sistema de selo na borda da cobertura flutuante. São construídos com chapas de aço e são geralmente de dois tipos: ponte flutuante ou dupla cobertura. Como todos os tanques de teto flutuante externo, a subida e a descida do teto depende do nível de líquido no tanque. Coberturas flutuantes externas são equipadas com um sistema de selo na borda, que são colocados no perímetro da cobertura e ajustadas à parede do tanque. O propósito do teto flutuante e do sistema de selo na borda é a redução das perdas por evaporação do líquido estocado. Alguma sobra no espaço anular entre o sistema de selo e a parede do tanque pode causar emissões. O sistema de selo escorrega contra a parede do tanque durante a alteração do nível de líquido no esvaziamento ou no enchimento (USEPA, 2000).

c)- Tanque de teto flutuante interno

Um tanque de teto flutuante interno possui um teto fixo permanente e um teto flutuante interior. Existem dois tipos básicos de tanque de teto flutuante interno: tanques no qual o teto fixo é suportado pela coluna vertical dentro do tanque, e tanque com um teto fixo auto-suportado e não por colunas de suporte interno. Tanques de teto fixo têm sido readaptados para o uso de um teto flutuante e são tipicamente do primeiro

tipo. Tanque de teto flutuante externo tem sido convertido em tanque de teto flutuante interno auto-suportado. A cobertura do tanque de teto flutuante interno sobe e desce com o nível do líquido e também flutua diretamente na superfície do líquido (contato com a cobertura) ou apóia em pontos flutuantes várias polegadas acima da superfície do líquido (não tem contato com a cobertura).

Instalando um tanque de teto flutuante interno ocorre diminuição das perdas por evaporação de líquido estocado. Ambas as coberturas com contato ou sem contato incorpora selos na borda e acessórios na cobertura pelo mesmo propósito descrito no tanque de teto flutuante externo. Perdas por evaporação de teto flutuante interno podem ocorrer nos acessórios da cobertura, pela costura da cobertura não soldada e pelo espaço anular entre a cobertura e a parede do tanque. Adicionalmente, estes tanques possuem respiradores no topo do teto fixo. Os respiradores minimizam a possibilidade de acúmulo de vapor orgânico, no espaço do vapor do tanque aproximando-se da concentração de inflamabilidade.

Modelo de emissão para estimar emissões das estações de tratamento de efluentes - WATER9

O software de uso livre WATER9, modelo para estimativa de emissões de compostos orgânicos voláteis oriundos de estações de tratamento de efluentes, baseado em programa computacional do Windows que consiste em expressões analíticas para a estimativa de emissões de etapas individuais da estação de tratamento de efluentes: coleta, estocagem, tratamento e disposição final. Sua base de dados lista diversos compostos orgânicos e procedimento para a obtenção de relatórios de destino dos constituintes, incluindo emissões atmosféricas e eficiência do tratamento. (USEPA, 2001)

O programa tem um banco de dados com as características de diversas substâncias químicas, e permite que o usuário insira novos agentes químicos na base de dados. As equações matemáticas usadas no cálculo das emissões estão baseadas nas

aproximações descritas na publicação da USEPA (1994), documento intitulado *Air Emissions Models for Waste and Wastewater*.

Compostos orgânicos podem ser emitidos através de uma variedade de percursos, incluindo a volatilização, decomposição biológica, a adsorção, reação fotoquímica, e hidrólise. Para permitir estimativas razoáveis do desaparecimento de compostos orgânicos deve-se conhecer qual a predominância nos percursos para um determinado produto químico, o tipo de armazenamento do efluente, e um conjunto de condições meteorológicas. (USEPA, 2001)

O programa pode avaliar uma instalação completa que contém múltiplos fluxos de entrada de águas residuais, múltiplos sistemas de coleta e complexas configurações de tratamento. O *software* fornece estimativas de emissão separada para cada composto individual que é identificado como um componente do efluente. Para obter estas estimativas de emissão, o usuário deve identificar os compostos de interesse e inserir as suas concentrações nos efluentes.

As estimativas do total de emissões provenientes dos efluentes são obtidas pela soma das estimativas para os compostos individuais.

No relatório gerado são comparadas as taxas relativas de destruição de compostos orgânicos e volatilização para determinar os caminhos mais significativos. A taxa de destruição de compostos orgânicos voláteis para qualquer percurso é calculado de modo que ela possa ser expressa como uma fração da perda / destruição, de todas as vias.

Este programa é uma importante ferramenta para as estimativas de emissões dos compostos orgânicos voláteis das emissões de tratamento de efluentes. Estas emissões são significativas e contribuem significativamente para a formação do ozônio troposférico, prejudicial à saúde humana.

O Software WATER9 pode ser obtido diretamente do portal do USEPA o endereço eletrônico <<http://www.epa.gov/ttnchie1/software/water/>>.

3 PROPOSTA DE INDICADORES PARA A INDÚSTRIA QUÍMICA

A partir dos conceitos relacionados aos indicadores publicados na literatura, e principalmente a partir do conceito de indicador e de indicador de sustentabilidade, o presente trabalho propõe indicadores de desempenho ambiental e indicadores de impacto ambiental direcionados à indústria química brasileira.

Os indicadores elaborados são classificados como indicadores operacionais, e foram elaborados com base nas estruturas apresentadas anteriormente, com algumas alterações necessárias, correspondem aos indicadores de PRESSÃO da estrutura OECD e aos indicadores operacionais seguindo a estrutura da norma ISO 14031. Os indicadores propostos são caracterizados com a abordagem *top-down*.

Os indicadores operacionais são ferramentas para a análise de desempenho ambiental. Para análises de sustentabilidade esses indicadores devem ser relacionados a outros tipos que apresentem os dados qualitativos do meio e relações das ações humanas com a questão ambiental (ações de tomadores de decisão, organizações e comunidades).

São definidos os indicadores elaborados nesta proposta:

Indicador de Desempenho Ambiental (IDA)

O indicador de desempenho ambiental aqui proposto não se iguala ao indicador IDA apresentado pela ISO 14031, a proposta busca enquadrar-se na realidade de disponibilidade de dados no Brasil, por isso este indicador não considera todos os fluxos recomendados pela norma.

Este é o indicador que quantifica o consumo de recursos naturais energéticos e os poluentes primários liberados ou de compostos com potencial geração de poluentes secundários, expresso em massa em relação ao nível de atividade da fonte. Mostra o desempenho anual de uma indústria relacionando a massa de poluente com a

quantidade de produto produzida no período. A análise no decorrer de anos possibilita a verificação da melhoria do desempenho ao longo do tempo.

Neste indicador, quanto mais eficiente o processo menor será o valor representado por ele. Este tipo de indicador possibilita a comparação com outros processos similares e continua sendo válido mesmo com a ampliação do processo industrial.

Indicador de Impacto Ambiental (IIA) este indicador representa a quantidade de um poluente com potencial de gerar um impacto específico. É similar ao indicador de desempenho ambiental, mas expresso simplesmente em massa de poluente por ano.

Neste indicador, quanto maior o processo ou as fontes, maior o valor do indicador. Pode ser empregado para avaliar o impacto ao meio ambiente decorrente de suas atividades que estão relacionadas com seu porte e com seu desempenho ambiental. Seria esperado um grande impacto ambiental de um processo de grande porte com baixo desempenho ambiental (IDA alto).

Portanto, os dois indicadores estão relacionados através do nível de atividade do processo, que pode ser expresso pela quantidade de produtos produzida ou pela quantidade de matéria prima processada.

3.1 INDICADORES DE EMISSÃO ATMOSFÉRICA

O indicador de emissão atmosférica não apenas representa as emissões de poluentes, mas alguns dos seus possíveis impactos no meio ambiente, como a acidificação causada pelas emissões de SO_x e NO_x ; a destruição do ozônio estratosférico devido à emissões de SDO; o indicador de gases que causam o efeito estufa; o ozônio troposférico formado a partir de reações fotoquímicas e a partir das emissões de NO_x e COV.

3.1.1 Indicador de Potencial Acidificação

O indicador de acidificação busca representar uma possível contribuição da indústria para a acidificação na atmosfera como consequência de suas emissões de SO₂ e NO_x.

Este indicador é expresso através das equações 5 e 6, sendo que a equação 5 apresenta o Indicador de Desempenho Ambiental (IDA) e a equação 6 o indicador de impacto ambiental (IIA), ou seja, a possível contribuição da organização para o aumento do efeito de acidificação.

$$I_{acidificação}^{IDA} = \frac{\text{massa } NO_x \text{ e } SO_x \text{ emitida em t/ano}}{\text{massa de produto produzida em t/ano}} \quad (5)$$

$$I_{acidificação}^{IIA} = \text{massa de } NO_x \text{ e } SO_x \text{ emitida em t/ano} \quad (6)$$

Para a estimativa das emissões de NO_x e SO_x recomenda-se empregar prioritariamente dados de amostragem de chaminé. Métodos alternativos também podem ser utilizados como fatores de emissões do AP-42 - *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (USEPA, 2008) ou dados de monitoramento contínuo de fontes.

3.1.2 Indicadores de Emissão de Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono é gerado na combustão, bem como é emitido em processos industriais como o craqueamento catalítico de gasóleo em refinarias e na produção de negro de fumo.

O indicador é expresso de acordo com as equações 7 e 8.

$$I_{CO}^{IDA} = \frac{\text{massa de CO emitida em t/ano}}{\text{massa de produto produzida t/ano}} \quad (7)$$

$$I_{CO}^{IIA} = \text{quantidade CO emitida em t/ano} \quad (8)$$

Para a estimativa das emissões de monóxido de carbono recomenda-se prioritariamente o emprego de dados de amostragem de chaminé. Entretanto métodos alternativos também são recomendados, como fatores de emissões do AP-42 - *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* ou dados de monitoramento contínuo de fontes.

3.1.3 Indicador de Potencial Formação de Ozônio Troposférico por COV

A simples totalização dos compostos orgânicos voláteis emitidos por um processo não é suficiente para representar o potencial desses poluentes de gerar ozônio troposférico, pois cada um deles tem uma reatividade fotoquímica diferente, como apresentado no item 2.7.2 da revisão bibliográfica.

Carter tem publicado sistematicamente dados de sua pesquisa sobre reatividade fotoquímica para diversas moléculas, empregando um parâmetro, a máxima reatividade incremental (MIR - *Maximum Incremental Reactivity*), que é expressa em termos de quantidade de ozônio gerado por meio de processo fotoquímico na atmosfera por molécula de cada composto orgânico volátil emitida.

O produto da máxima reatividade incremental pela quantidade de composto orgânico volátil fornece uma estimativa do potencial de formação de ozônio troposférico.

Portanto, os compostos orgânicos voláteis são considerados neste indicador apenas como um precursor de um poluente secundário.

As equações 9 e 10 apresentam as equações que permitem calcular o indicador expresso em termos de massa de ozônio gerado por massa produzida e a massa de ozônio gerada, respectivamente.

$$I_{COV}^{IDA} = \frac{\sum((\text{massa de COV emitida em t/ano}) (\text{reatividade MIR em t de } O_3 \text{ formado / t COV}))}{\text{massa de produto produzida em t/ano}} \quad (9)$$

$$I_{COV}^{HA} = \sum((\text{massa de COV emitida}) (\text{reatividade MIR})) \quad (10)$$

As fontes de emissões de compostos orgânicos voláteis são diversificadas e as taxas de emissões podem ser estimadas por amostragens de chaminés para lançamento em dutos com fluxo forçados em fontes de combustão ou alívios de processos.

Para emissões de tanques de armazenamento de efluentes recomenda-se a utilização da metodologia do EPA empregando o software do TANKS 4.09d (USEPA, 2008b). Para emissões fugitivas de processos recomenda-se seguir os procedimentos do EPA utilizando a metodologia do *Protocol for Equipment Leak Emission Estimates para Synthetic Organic Chemical Manufacturing Industry* (U.S.E.P.A, 2009). Para emissões atmosféricas de compostos orgânicos voláteis de estações de tratamento de efluentes é recomendado empregar o método do USEPA EPA-453/R-94-080a - 1994 *Air Emissions Models For Waste And Wastewater*, por meio do software WATER9 do USEPA. Para estimar as emissões dos processos de transferências de substâncias voláteis sugere-se o emprego do procedimento descrito no documento AP-42 - *Compilation of Air Pollutant Emission Factors - 5.2 Transportation And Marketing Of Petroleum Liquids, Volume 1. Fifth Edition*.

3.1.4 Indicadores de Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis

As emissões de compostos orgânicos voláteis além de possuírem um potencial de formação de ozônio troposférico podem ocasionar efeitos por meio de sua forma primária como problemas de poluição atmosférica e efeitos nocivos à saúde humana.

Sendo assim, o indicador de compostos orgânicos voláteis tem como objetivo a quantificação deste tipo de emissão oriunda do processo produtivo.

As Equações 11 e 12 são respectivamente os indicadores de desempenho e de impacto ambiental que se referem às emissões de COV.

$$I_{COV}^{IDA} = \frac{\sum(\text{massa de COV emitida em t / ano})}{\text{massa de produto produzida em t / ano}} \quad (11)$$

$$I_{COV}^{IIA} = \sum((\text{massa de COV emitida}) (\text{reatividade MIR})) \quad (12)$$

3.1.5 Indicadores de Emissão de NO_x

As emissões de óxidos de nitrogênio causam alguns efeitos indesejáveis à saúde humana, entretanto, seu impacto sobre o meio ambiente também é significativo, principalmente quando há formação de ozônio troposférico devido às reações fotoquímicas na atmosfera.

Assim o indicador de NO_x tem uma grande importância em relação ao desempenho industrial, a proposta dos indicadores IDA e IIA para o NO_x é apresentada com as Equações 13 e 14.

$$I_{NO_x}^{IDA} = \frac{\text{massa de NO}_x \text{ emitida em t / ano}}{\text{massa de produto produzida t / ano}} \quad (13)$$

$$I_{NO_x}^{IIA} = \text{quantidade NO}_x \text{ emitida em t / ano} \quad (14)$$

Para a estimativa das emissões de NO_x recomenda-se prioritariamente o emprego de dados de amostragem de chaminé. Entretanto métodos alternativos também são recomendados, como fatores de emissões do AP-42 - *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* ou dados de monitoramento contínuo de fontes.

3.1.6 Indicadores de Potencial de Destruição de Ozônio Estratosférico

Este indicador se refere à revisão apresentada no item 2.7.3. O cálculo do indicador de potencial destruição do ozônio estratosférico utiliza como substâncias

destruidoras da camada de ozônio àquelas contempladas nos Anexos A, B, C e E do Protocolo de Montreal associadas ao seu potencial de destruição de ozônio estratosférico.

Define-se como Potencial de Destruição do Ozônio Estratosférico (PDO) como uma quantidade relativa de degradação da camada de ozônio tendo como referência o triclorofluorcarbono (CFC-11) cujo PDO é igual à unidade. O Protocolo de Montreal e seus aditivos estabelecem, entre outras coisas, o Potencial de Destruição da Camada de Ozônio para as substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO).

Para o indicador de substâncias destruidoras da camada de ozônio, propõe-se o somatório das contribuições de cada SDO para a destruição da camada de ozônio, expressas pelas equações 15 e 16.

$$I_{COV}^{IDA} = \frac{\sum((PDO)(\textit{quantidade de SDO emitida em t/ano}))}{\textit{ton de produto produzidas em t/ano}} \quad (15)$$

$$I_{COV}^{IPIA} = \sum((PDO)(\textit{quantidade emitida em t/ano})) \quad (16)$$

3.1.7 Indicador de Emissão de Gases de Efeito de Estufa

O indicador de emissões de gases de efeito estufa considera não apenas emissões diretas, mas também faz considerações quanto as emissões associadas ao consumo e produção de energia, como detalhado a seguir.

3.1.7.1 Considerações para a proposição de indicadores de GEE

Para que o indicador de gases de efeito estufa seja representativo dentro das condições do país, recomenda-se que sejam consideradas não apenas as emissões diretas do processo, mas também emissões oriundas dos fluxos de energia ligados ao processo produtivo que ocorrem de maneira indireta.

A emissão devido à produção e consumo de energia implica em particularidades de acordo com a forma e fonte de energia que podem ser principalmente energia elétrica e térmica e de origem renovável ou fóssil. A Figura 8 representa as correntes de energia com relevância do ponto de vista de emissões em um sítio industrial.

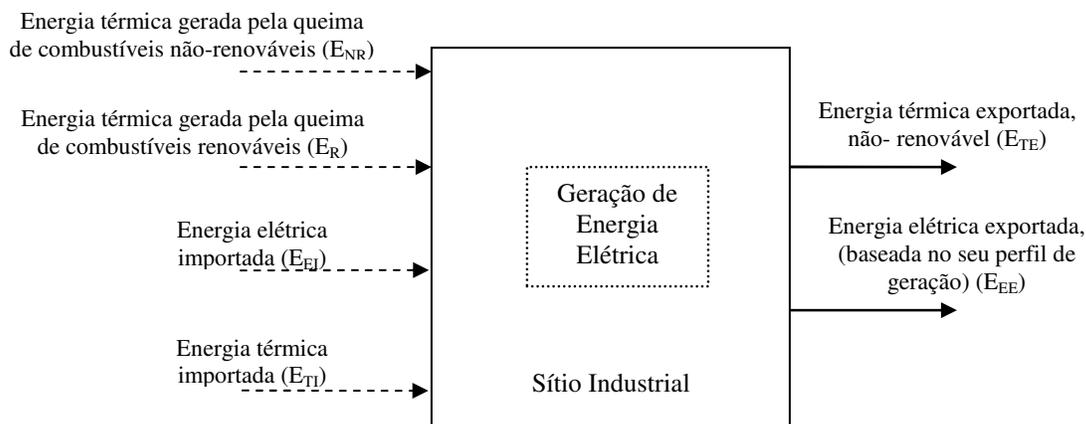


Figura 8: Emissões de GEE decorrentes do consumo de energia no sítio industrial.

A parcela de emissões de GEE referente ao consumo e geração de energia compreende a queima de combustíveis fósseis ou renováveis para a geração de energia térmica ou elétrica e as emissões decorrentes da geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). Essas emissões devem ter suas quantidades calculadas através da relação entre o fator de emissão de dióxido de carbono do combustível utilizado e a quantidade de energia.

- *Emissões de GEE decorrentes do consumo de energia elétrica*

Para incluir no indicador de GEE as emissões oriundas da geração de energia elétrica do SIN o presente trabalho apresenta um fator de emissão estimado para este

tipo de energia, a partir da composição de suas fontes e devidas proporções, como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Fator de emissão para o SIN, calculado de acordo com a matriz energética de maio de 2009.

FONTE	Participação ⁽¹⁾ (%)	Fator de emissão (kg/MW.h)					
		Bruto ⁽²⁾			Ponderado		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Não renovável							
Derivados de Petróleo	4,93	270,54	0,010714	0,0021	13,34	5,28E-04	1,04E-04
Gás Natural	9,46	200,36	0,003571	0,0004	18,95	3,38E-04	3,78E-05
Gás Industrial	1,09	205,71	0,003571	0,0004	2,24	3,89E-05	4,36E-06
Carvão Mineral	1,34	382,14	0,003571	0,0054	5,12	4,79E-05	7,24E-05
Nuclear	1,76	0,00	0,00	0,00	0	0	0
Renovável							
Hidráulica + Importação	75,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	5,23	0,00	0,11	0,01	0,00	0,00	1,53E-05
Fator de Emissão da Matriz					39,65	0,0010	0,0002

FONTES:

(2) ANEEL/2009

(3) IPCC/2006 e MCT/2008

Algumas organizações não consomem apenas energia elétrica fornecida pelo sistema nacional, possuem uma fonte própria de geração de energia elétrica, como pequenas hidrelétricas. Neste caso, recomenda-se o cálculo das emissões utilizando o fator de emissão específico de acordo com o combustível utilizado para geração de energia.

- *Emissões de GEE decorrentes do consumo de energia térmica*

A energia térmica pode ser gerada através de caldeiras ou alto fornos, com a utilização de diversos combustíveis fósseis e renováveis, este tipo de energia é utilizado para o abastecimento em etapas do processo.

Além da geração há a co-geração de energia, uma forma de aumentar a eficiência energética do processo industrial. Um processo de co-geração ocorre quando

há a possibilidade de se utilizar matéria prima ou um resíduo dela como combustível para geração de energia térmica em forma de calor ou vapor.

As indústrias geradoras de energia térmica que tem a possibilidade de gerar energia excedente ao seu consumo comercializarem este bem para outra organização. Neste caso recomenda-se que as emissões referentes à energia exportada não sejam vistas como um ônus à indústria geradora, pois esta emissão deve ser contabilizada pela indústria importadora, ou seja, por quem a consumirá. Ressalta-se que a indústria exportadora será responsável em fornecer os dados necessários à consumidora.

- *Emissões de GEE de processo*

Para a quantificação das emissões de GEE no processo produtivo da indústria química recomenda-se, como referência internacional, a utilização do Guia para Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa do IPCC (2006) que, em seu terceiro capítulo, descreve as emissões decorrentes dos processos de produção da amônia, produção do ácido nítrico, produção do ácido adípico, produção de caprolactama, glyoxal e ácido glioxílico, produção de carbide, produção de dióxido de titânio, produção de carbonato de sódio da indústria química.

Para cada um dos processos o guia do IPCC apresenta métodos de quantificação das emissões de gases de efeito estufa em através de 3 diferentes níveis que devem ser utilizados de acordo com as circunstâncias do país e disponibilidade de dados da planta industrial.

3.1.7.2 Indicadores de GEE para a indústria química

O indicador das emissões de gases de efeito estufa (E_{GEE}) proposto é descrito pelas equações 17 e 18:

$$I_{GEE}^{IDA} = \frac{E_P + E_{NR} + E_{EI} - E_{EE} + E_{TI} - E_{TE}}{t \text{ produto produzida}} \quad (17)$$

$$I_{GEE}^{IIA} = E_P + E_{NR} + E_{EI} - E_{EE} + E_{TI} - E_{TE} \quad (18)$$

Onde:

- E_P são as emissões de processo dentro do sítio (outras emissões exceto aquelas para a geração de energia)
- E_{NR} são as emissões associadas à geração de energia não renovável dentro do sítio
- E_{EI} são as emissões associadas à energia elétrica importada (comprada da concessionária de distribuidora)
- E_{EE} são as emissões associadas à energia elétrica exportada (vendida para a concessionária de distribuidora)
- E_{TI} são as emissões associada à energia térmica importada (comprada de terceiros)
- E_{TE} são as emissões associadas à energia térmica exportada (vendida de terceiros)

Cada um dos termos de emissões da equação 17 e 18 podem ser calculados pelo produto da quantidade de energia ou combustível envolvido pelo fator de emissão correspondente Entretanto, a forma para o cálculo de cada variável é detalhada a seguir.

O fator de emissão estimado para o SIN é de 39,65 tCO₂/MW.h deve ser multiplicado pela quantidade de energia consumida, resultando na quantidade de emissão correspondente a energia elétrica importada (E_{EI}).

E a emissão da *energia elétrica* corresponde a Equação 19:

$$E_{EE} = FE_C \cdot CE \quad (19)$$

- E_{EE} = emissão de GEE de energia elétrica (CO₂e)
- FE_C = fator de emissão do SIN (tCO₂e/MW)
- CE = consumo de energia (MW)

A energia térmica comprada de terceiros terá suas emissões (E_{TI}) calculadas de acordo com o fator de emissão do combustível utilizado e a quantidade de energia gerada. Se a indústria exportar parte dessa energia, deve-se então subtrair as emissões (E_{TE}) referentes à porção exportada que será relatada pela indústria consumidora (E_{TI}).

Se ao invés de comprar energia elétrica da rede nacional a indústria gerá-la, deve-se relatar a emissão (E_{NR}) através do fator de emissão relativo à fonte de energia empregada, ressalta-se que se a geração for por fonte renovável o fator de emissão será zero.

Caso a indústria gere energia excedente ao seu consumo e esta energia seja vendida, a quantidade de emissão referente à energia exportada deve ser subtraída de seu indicador de GEE, a fim de que não haja duplicação nas quantidades de emissões.

A emissão da *energia gerada* (térmica ou elétrica) a partir da queima de combustíveis não renováveis na indústria corresponde a:

$$E_G = FE_C \cdot Q_G \quad (20)$$

- E_G = emissão de GEE da geração de energia (CO_2e)
- FE_C = fator de emissão do combustível utilizado ($\text{tCO}_2\text{e}/\text{MW}$)
- Q_G = quantidade de energia gerada (MW)

As emissões oriundas do processo produtivo (E_P) da indústria devem ser estimadas, sempre que possível, de acordo com a metodologia do IPCC (2006) que descreve os fatores de emissões dos processos da indústria química.

A emissão no *processo* é dada por:

$$E_P = TP \cdot FE \quad (21)$$

Onde:

- E_P é a emissão de GEE do processo (CO_2e)
- TP = Tonelada de produto (t)

- FE = Fator de Emissão (t CO₂e/t)

Os fatores de emissão de dióxido de carbono dos combustíveis utilizados indicam as emissões dos gases de efeito estufa para na geração de energia. O IPCC (1997) apresenta valores de fatores de emissão de carbono e o poder calorífico dos combustíveis que possibilitam o cálculo do fator de emissão de CO₂ através da seguinte equação:

$$E_{CO_2} = FE_C \cdot PC \cdot 44/12 \quad (22)$$

Onde:

- E_{CO_2} = emissão de dióxido de carbono na queima do combustível
- FE_C = Fator de emissão de carbono
- PC = Poder calorífico do combustível

4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO: indicadores de emissões atmosféricas em uma refinaria de petróleo

Este exemplo de aplicação considera o segmento de refino de petróleo, que é composto de todas as plantas de refino de processamento de petróleo e fabricação de produtos acabados, principalmente combustíveis, petroquímicos, óleos lubrificantes, óleos especiais e asfalto.

O exemplo de aplicação foi realizado utilizando dados da dissertação de Chan (2006) para a primeira parte, que caracteriza o indicador de efeito estufa e para os demais indicadores foram utilizados os dados do Relatório Ambiental Preliminar apresentado à CETESB no ano de 2006. O exemplo de aplicação não contempla o indicador de ozônio estratosférico, pois os dados necessários para este indicador encontravam-se indisponíveis.

O refino de petróleo poderia ser classificado em três grandes grupos dentro de uma seqüência de processos: processos físicos, processos químicos e processos de tratamento.

De acordo com Chan (2006), os processos físicos separam a mistura em seus componentes através de várias etapas de destilação que, por sua vez, separam os hidrocarbonetos do petróleo em frações com faixas de ebulição mais estreitas. Os processos químicos promovem uma modificação na estrutura dos componentes, através de reações entre os hidrocarbonetos, e têm como exemplos os processos de craqueamento, coqueamento, reforma, alquilação e isomerização. Os processos de tratamento separam e removem produtos indesejáveis do petróleo e de suas frações, gerando produtos de maior valor econômico ou químico. Como exemplos de processos de tratamento estão os hidrotreatamentos, que removem enxofre e nitrogênio do petróleo ou de suas frações, processos de “adoçamento” e tratamento de águas ácidas.

As unidades de processo de uma refinaria são classificadas pela USEPA (1995) em cinco categorias:

- Processos de Separação: Destilação atmosférica; Destilação a vácuo; Recuperação de gás;
- Processos de Conversão: Craqueamento (térmico e catalítico); Reforma Catalítica; Alquilação; Polimerização; Isomerização; Coqueamento; Viscorredução;
- Processos de Tratamento: Hidrodessulfurização; Hidrotratamento; Dessulfurização; Remoção de gás ácido; Desasfaltação;
- Processos de Estocagem e Movimentação: Estocagem; Mistura; Carregamento; Descarregamento;
- Processos Auxiliares: Geração de utilidades (água tratada, vapor e energia elétrica); Tratamento de efluentes hídricos; Produção de hidrogênio; Recuperação de enxofre; Torres de resfriamento; Sistema de descarga (*blowdown*); Motores de compressão.

Independentemente da classificação escolhida para caracterizar os processos de refino, as unidades que o compõem são unidades de tecnologia conhecida e difundida. Os segredos industriais do processo de refino estão ligados principalmente ao uso e ao desenvolvimento de catalisadores para os processos de conversão e tratamento, à busca de condições ótimas de processo e às alterações em equipamentos, aumentando o rendimento da unidade e reduzindo o consumo de insumos (STELLING, 2004).

A indústria de refino de petróleo utiliza uma grande variedade de processos sempre com o objetivo de obter produtos de maior valor agregado. Em função do tipo de petróleo processado e dos produtos esperados em uma refinaria, o perfil das unidades de processo tem diferenças significativas. Será apresentada a seguir uma breve descrição das principais unidades de processo existentes em refinarias de petróleo.

O petróleo, ao chegar à refinaria, fica estocado em um parque de tancagem. Estes tanques são drenados para a remoção grosseira da água acumulada e o petróleo é então bombeado para unidades de destilação. Na Figura 9 é apresentado o fluxograma de processo simplificado de uma refinaria brasileira típica.

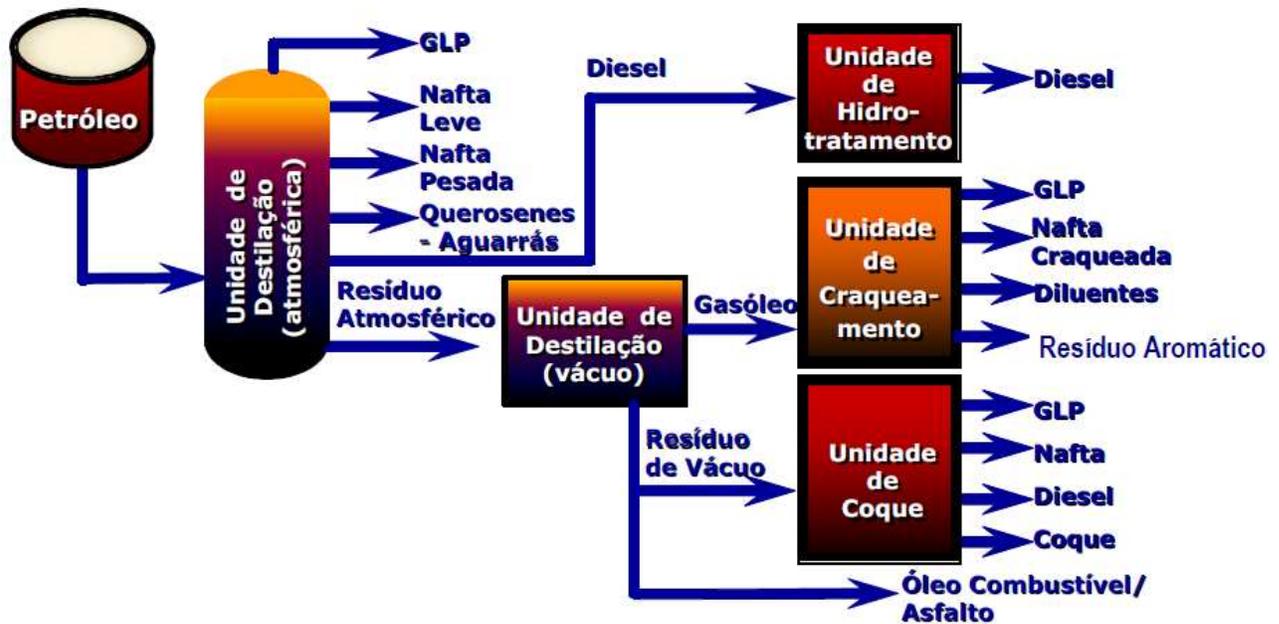


Figura 9: Configuração simplificada típica de uma refinaria brasileira

FONTE: Chan, 2006

Na unidade de destilação atmosférica o petróleo é separado em frações de acordo com os seus pontos de ebulição, produzindo frações leves como gás liquefeito de petróleo, naftas leve e pesada, querosene, aguarrás e diesel, bem como frações pesadas como o denominado “resíduo atmosférico” (RAT). O resíduo atmosférico, por sua vez, é encaminhado para a torre de destilação à vácuo onde são separadas duas frações principais: o gasóleo, que posteriormente é encaminhado para a unidade de craqueamento catalítico para produzir gasolina, GLP e outros condensados; e o resíduo de vácuo, que é empregado para produção de coque, asfalto ou óleo combustível.

Na unidade de coqueamento, o resíduo de vácuo é convertido por processo térmico em GLP, nafta, diesel e coque. A unidade de hidrotatamento de diesel destina-se à remoção de enxofre do combustível e à sua estabilização através do processo de hidrogenação catalítica.

Em termos de fontes de combustão, a refinaria possui fornos de aquecimento de carga nas várias unidades de processo, caldeira para geração de vapor, turbinas a gás para geração de energia elétrica, incinerador da unidade recuperadora de enxofre, incinerador de amônia e sistema de tocha ("flare") que queimam os gases dos sistemas de alívio de pressão. Nestas fontes, predominam o uso do gás natural e do gás refinaria como combustíveis, com a possibilidade de uso de óleo combustível de refinaria em caso de falha de suprimento do gás natural.

4.1 Indicador de Efeito Estufa para uma refinaria

As emissões de GEE do refino ocorrem principalmente devido à queima de combustíveis para suprir a energia necessária aos processos de refino. Emissões de dióxido de carbono de caldeiras, fornos de processo, turbinas, tochas e incineradores são as principais emissões de GEE. Emissões de óxido nitroso também resultam dessas fontes, mas em quantidades bem menores que o CO₂. Quando essas fontes de combustão são alimentadas por gás natural ou gás de refinaria, poderá também haver traços de emissão de CH₄ não queimado. (CHAN, 2006)

O sistema de gás natural e o sistema de gás de refinaria são as únicas correntes de processo dentro da refinaria com potencialidade para concentrações significativas de CH₄. Emissões fugitivas de CH₄ podem resultar de tubulações e componentes associados com esses sistemas e com os equipamentos de combustão que queimam esses combustíveis. Um estudo do API sobre emissões fugitivas de sistemas de gás de

refinaria mostrou que elas são desprezíveis (em torno de 0,1% do inventário total de GEE de uma refinaria) (API, 2004).

Além das emissões fugitivas pontuais (vazamentos em equipamentos), existe uma série de fontes evaporativas não-pontuais, tais como tratamento de efluentes líquidos, manuseio de sólidos e lodos, jazidas, represamentos e torres de resfriamento de água. Novamente, o API (2004) considera que elas não são fontes significativas de emissões de CH₄ e de CO₂.

Também há várias fontes de processo especializadas que podem contribuir para as emissões de GEE. Algumas fontes potenciais incluem o conjunto caldeira de CO e regenerador da unidade de craqueamento catalítico fluidizado (UCCF), os processos de coqueamento, as plantas de hidrogênio e os processos de regeneração de catalisadores. O regenerador da UCCF é principalmente uma fonte de emissão de CO₂, embora possa haver alguma emissão de CH₄ quando se utiliza combustível suplementar na caldeira de CO. A planta de hidrogênio e a regeneração de catalisadores são basicamente fontes de emissão de CO₂.

O critério padrão do API (2004) assume que as emissões por trabalho e por respiração de tanques do segmento de Refino são desprezíveis para CH₄ e CO₂.

Para o estudo de caso das emissões de gases de efeito estufa de uma refinaria utilizou-se como referência e base de dados a dissertação de mestrado intitulada “quantificação e redução de emissões de gases de efeito estufa em uma refinaria de petróleo” . (CHAN, 2006).

A dissertação de Chan (2006) apresenta dados de emissão de gases de efeito estufa que foram obtidos através da ferramenta *SANGEA™ Energy and Emissions Estimating System*, um aplicativo de uso público disponibilizado gratuitamente pelo API. No estudo e análise de Chan (2006) a metodologia foi comparada à ferramenta SIGEA desenvolvida e utilizada pela Petrobrás e concluiu que o SANGEA é uma ferramenta adequada para conduzir o inventário de emissões de GEE da refinaria em estudo.

O SANGEA possibilita flexibilidade no estabelecimento de um inventário, permite ao usuário escolher as unidades dos dados de entrada e de saída. O usuário da ferramenta deve ter bom conhecimento do processo para que as estimativas de emissão sejam condizentes à realidade.

De acordo com Chan (2006) as considerações para a quantificação de dados de emissões de gases de efeito estufa foram: descrições da instalação, capacidade de produção e operações. Foram utilizados os módulos de: combustão (fornos, caldeiras, caldeiras de recuperação de calor, caldeiras de CO, turbinas, incineradores, tochas); combustão de coque (regeneradores de duas unidades de craqueamento catalítico fluidizado - UCCF); plantas de hidrogênio (unidades de geração de hidrogênio - UGH); emissões indiretas (compra de energia elétrica da concessionária local) e miscelânea (sistemas de tochas, unidades de recuperação e fontes fugitivas).

Os dados de entradas utilizados pelo autor foram obtidos no banco de dados da Petrobras para o ano 2005. As emissões se referem à produção de 57.200 m³/dia (360bbl/dia ou 17.119.960 t/ano) e consumo de energia do SIN de 104.154.141 kWh.

A Tabela 8 apresenta os dados de emissão de GEE calculados por Chan (2006) utilizando o aplicativo SANGEA.

Tabela 8: Emissões de GEE da refinaria nacional em 2005

Parcela	CO ₂ (t/ano)	CH ₄ (t/ano)	N ₂ O (t/ano)	CO ₂ Equivalente (t/ano)	CO ₂ Equivalente (%)
Combustão de óleo combustível	186.276	7,1	3,7	187.568	6,2
Combustão de gás de refinaria	1.015.347	18,8	18,0	1.021.321	33,8
Combustão de gás natural	422.059	8,0	7,6	424.599	14,0
Sistemas de Tocha ⁽¹⁾	53.910	0	0	53.910	1,8
Regeneradores de UCCF	1.001.580	0	0	1.001.580	33,1
Plantas de Hidrogênio (UGH)	294.392	0	0	294.392	9,7
Unidades de Recuperação de Enxofre ⁽¹⁾	10.138	0	0	10.138	0,3
Fugitivas ⁽¹⁾	0	1139,5	0	23.930	0,8
Compra de Energia Elétrica	7.249	0,3	1,2	7.640	0,3
Total	2.990.951	1.174	30,6	3.025.078	100,0

FONTE: Chan (2006)

Nota (1): Valores determinados pelo inventário da Petrobrás.

Os indicadores de efeito estufa foram calculados a partir das Equações 17 e 18, empregando os dados de emissões de GEE apresentados na Tabela 8.

$$I_{GEE}^{IDA} = \frac{3.025.078 \text{ t } CO_2e / \text{ ano}}{17.119.960 \text{ t / ano}} = 0,177 \text{ t } CO_2e / \text{ t de petróleo processado}$$

$$I_{GEE}^{IIA} = 3.025.078 \text{ t } CO_2e / \text{ ano}$$

O exemplo de aplicação para o indicador de gases de efeito estufa foi realizado apenas com os valores de emissões disponíveis em Chan (2006), portanto não foi utilizado o fator de emissão do SIN de energia elétrica proposto no presente trabalho.

4.2 Indicadores de Potencial Acidificação, de emissão de CO, de Potencial Formação do O₃ Troposférico, de emissão COV e de emissão de NO_x de uma refinaria

Para esta etapa de exemplificação, foram consideradas as seguintes fontes pontuais de emissões da Replan, extraídas do Relatório Ambiental Preliminar - RAP apresentado à CETESB em 2006.

A

Tabela 9 apresenta as fontes de emissões organizadas por unidades produtivas da refinaria.

Tabela 9: Taxas de emissão das fontes fixas da REPLAN em 2006

Fontes		SO ₂ (g/s)	NO ₂ (g/s)	MP (g/s)	COV (g/s)	CO (g/s)
UNIDADES DE DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA U-200 E A VÁCUO U-210						
F-2001A/B	Forno de carga da Torre Atmosférica	8,14	18,06	0,61	0,39	3,19
F-2002A/B	Forno refeedor da Torre de Pré-Flash	0,58	4,75	0,11	0,14	1,14
F-2101A/B	Forno de carga da Torre de Vácuo	2,64	7,81	0,28	0,18	1,39
UNIDADES DE DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA U-200 A E A VÁCUO U-210 A						
F-2051A/B	Forno de carga da Torre Atmosférica	8,06	17,86	0,61	0,41	3,14
F-2052 A/B	Forno refeedor da Torre de Pré-Flash	2,36	5,94	0,25	0,16	1,22
F-2151A/B	Forno de carga da Torre de Vácuo	2,83	6,75	0,28	0,13	1,06
F-2151 C	Forno de Vácuo	0,31	0,92	0,06	0,08	0,61
UNIDADES DE CRAQUEAMENTO CATALÍTICO U-220 E U-220 A						
F-22502		0,06	0,14	0,01	0,01	0,11
UNIDADE DE HIDROTRATAMENTO DE CORRENTES INSTÁVEIS U-283						
F-2401	Forno de carga da Unidade de Geração de Hidrogênio (U-241)	0,06	0,11	0,01	0,01	0,08
F-2402	Forno reformador da Unidade de Geração de Hidrogênio (U-241)	0,25	10,83	0,53	0,77	5,67
F-2801	Forno de carga	0,08	0,19	0,03	0,02	0,17
UNIDADE RECUPERAÇÃO DE ENXOFRE (URE) U-910 B						
F-91505	Forno da URE	102,3	0,28	0,44	0,21	0,49
UNIDADE DE COQUEAMENTO RETARDADO U-980						
F-9801A/B	Forno Fracionador	8,33	4,11	1,17	0,26	2,17
UNIDADE CENTRAL TERMOÉLETRICA U-631						
GV-2201	Caldeira de CO ligada a U-220	90,81	25,06	21,56	6,17	16,89
GV-6301A	Caldeira da Cafor	20,17	18,78	1,58	0,31	2,08
GV-6301B	Caldeira da Cafor	20,17	18,78	1,58	0,31	2,08
GV-6301C	Caldeira da Cafor	20,17	18,78	1,58	0,31	2,08
GV-22501	Caldeira de CO ligada a U-220 A	98,94	41,17	10,36	7,14	18,17
GV-6302	Caldeira recuperadora da Turbina a Gás	2,31	14,44	0,42	0,43	4,56
GV-6303	Caldeira recuperadora da Turbina a Gás	2,31	14,44	0,42	0,43	4,56
UNIDADE DE HIDROTRATAMENTO DE CORRENTES INSTÁVEIS U-283 A						
F-24501	Forno de carga da Unidade de Geração de Hidrogênio (U-241 A)	0,06	0,06	0,01	0,01	0,08
F-24502	Forno reformador da Unidade de Geração de Hidrogênio (U-241 A)	0,25	5,56	0,39	0,55	3,72

Fontes		SO₂ (g/s)	NO₂ (g/s)	MP (g/s)	COV (g/s)	CO (g/s)
-28501	Forno de carga	0,08	0,19	0,03	0,02	0,17
UNIDADES DE ÁGUAS ÁCIDAS U-683 A E U-683 B						
F-68701	Conversor de Gases Amoniacais	83,42	0,03	0,00	0,01	0,03
F-9104	Conversor de Gases Amoniacais	55,72	0,03	0,00	0,01	0,03
UNIDADE DE RECUPERAÇÃO DE ENXOFRE (URE) U-910 C						
F-91705	Forno da URE	12,36	0,28	0,44	0,21	0,49
UNIDADE DE COQUEAMENTO RETARDADO U-980 A						
F-98501	Forno de Coque	8,33	4,11	1,17	0,26	2,17
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES						
BAO	Bacia de águas oleosas	0,00	0,00	0,00	8,45	0,00
ETDI	Estação de Tratamento de Despejos Industriais	0,00	0,00	0,00	17,11	0,00
ÁREAS DE TRANSFERÊNCIA E ESTOCAGEM						
TANQUES	Tanques de estocagem de hidrocarbonetos	0,00	0,00	0,00	41,58	0,00
EMISSIONES FUGITIVAS DAS ÁREAS DE PROCESSO						
Fugitivas	Emissões fugitivas	0,00	0,00	0,00	139,16	0,00
TOTAL		551,0	239,4	43,92	225,23	77,54

FONTE: RAP (2006)

As taxas de emissões pontuais de processo e de fontes de combustão foram obtidas a partir da compilação de dados de amostragens de chaminés e de fatores de emissões do AP-42 do USEPA (USEPA, 1995). As emissões dos tanques de armazenamento foram estimadas a partir dos dados de projeto e de operação dos 152 tanques de petróleo, derivados e intermediários da refinaria empregando a metodologia do USEPA (USEPA, 2006) por meio do software TANKS 4.09d. As emissões da estação de tratamento de efluentes e as emissões fugitivas de processo foram obtidas a partir de fatores de emissões do AP-42 (USEPA, 1995).

Indicador de Potencial Acidificação

O indicador de acidificação é obtido através das Equações 5 e 6, empregando os dados de emissões de gases ácidos (SO₂ e NO_x) apresentados na Tabela 9.

$$I_{acidificação}^{IDA} = \frac{\text{massa } NO_x \text{ e } SO_x \text{ emitida em t/ano}}{\text{massa de produto produzida em t/ano}} = 1,46 \times 10^{-3} \frac{\text{t de gases ácidos}}{\text{t de petróleo processado}}$$

$$I_{acidificação}^{IIA} = \text{massa de } NO_x \text{ e } SO_x \text{ emitida em t/ano} = 24.926,05 \text{ t/ano}$$

Indicador de Emissão de Monóxido de Carbono

O indicador de monóxido de carbono é obtido através das Equações 7 e 8, empregando os dados de emissões de CO apresentados na Tabela 9.

$$I_{CO}^{IDA} = \frac{\text{massa de CO emitida em t/ano}}{\text{massa de produto produzida t/ano}} = 1,43 \times 10^{-4} \frac{\text{t de CO}}{\text{t de petróleo processado}}$$

$$I_{CO}^{IIA} = \text{quantidade CO emitida em t/ano} = 2.445,30 \text{ t/ano}$$

Indicador de Potencial Formação de Ozônio Troposférico por COV

Na Tabela 10 são encontrados os valores de reatividade fotoquímica dos principais compostos orgânicos voláteis que podem ser encontrados numa refinaria de petróleo, incluindo alcanos, alcenos e aromáticos. A reatividade fotoquímica varia de 0,01 g de ozônio por grama do composto emitido (metano) até 11,88 para alcenos com quatro carbonos. Tendo em vista que não está disponível um inventário das emissões com especificação química, para esta exemplificação foi arbitrado um valor médio para o fator de reatividade fotoquímica com base na Tabela 10 (3,7 g de ozônio formado por g de composto orgânico lançado para a atmosfera). Este valor certamente superestima os efeitos das emissões de refinarias uma vez que há o predomínio de emissões de alcanos neste tipo de processo, que têm baixa reatividade fotoquímica.

Tabela 10: valores de reatividade fotoquímica dos principais compostos orgânicos voláteis

Descrição	CAS	MWt	Reatividade (t O ₃ / t VOC)
			MIR
methane	74-82-8	16,04	0,014
ethane	74-84-0	30,07	0,26
propane	74-98-6	44,10	0,46
n-butane	106-97-8	58,12	1,08
n-pentane	109-66-0	72,15	1,23
n-hexane	110-54-3	86,18	1,15
n-heptane	142-82-5	100,20	0,99
n-octane	111-65-9	114,23	0,82
n-nonane	111-84-2	128,26	0,71
n-decane	124-18-5	142,28	0,62
n-undecane	1120-21-4	156,31	0,55
n-dodecane	112-40-3	170,33	0,50
isobutane	75-28-5	58,12	1,17
cyclopropane	75-19-4	42,08	0,082
cyclobutane	287-23-0	56,11	1,12
cyclopentane	287-92-3	70,13	2,25
cyclohexane	110-82-7	84,16	1,16
cycloheptane	291-64-5	98,19	1,83
cyclooctane	292-64-8	112,21	1,35
C9 cycloalkanes		126,24	1,26
C10 bicycloalkanes		138,25	1,00
C10 cycloalkanes		140,27	0,99
C12 cycloalkanes		168,32	0,72
ethene	74-85-1	28,05	8,76
propene	115-07-1	42,08	11,37
1-butene	106-98-9	56,11	9,42
1-pentene	109-67-1	70,13	6,97
1-hexene	592-41-6	84,16	5,28
1-heptene	592-76-7	98,19	4,25
1-octene	111-66-0	112,21	3,12
1-nonene	124-11-8	126,24	2,48
1-decene	872-05-9	140,27	2,07
1-undecene	821-95-4	154,29	1,78
1-dodecene	112-41-4	168,32	1,56
isobutene	115-11-7	56,11	6,14
styrene	100-42-5	104,15	1,65
benzene	71-43-2	78,11	0,69
toluene	108-88-3	92,14	3,88
ethyl benzene	100-41-4	106,17	2,93
n-propyl benzene	103-65-1	120,19	1,95
isopropyl benzene (cumene)	98-82-8	120,19	2,43
m-xylene	108-38-3	106,17	9,52
o-xylene	95-47-6	106,17	7,44

Descrição	CAS	MWt	Reatividade (t O ₃ / t VOC)
			MIR
p-xylene	106-42-3	106,17	5,69
m-ethyl toluene	620-14-4	120,19	7,21
o-ethyl toluene	611-14-3	120,19	5,43
p-ethyl toluene	622-96-8	120,19	4,32
1,2,3-trimethyl benzene	526-73-8	120,19	11,66
1,2,4-trimethyl benzene	95-63-6	120,19	8,64
1,3,5-trimethyl benzene	108-67-8	120,19	11,44
C4 alkenes		56,11	11,88
C5 alkenes		70,13	8,57
C6 alkenes		84,16	6,59
C7 alkenes		98,19	5,17
C8 alkenes		112,21	3,88
C9 alkenes		126,24	3,43
C10 alkenes		140,27	3,17
C11 alkenes		154,29	2,62
C12 alkenes		168,32	2,29
	Mínimo		0,01
	Máximo		11,88
	Médio		3,68

FONTE: Carter

Os indicadores de Potencial Formação de Ozônio Troposférico por COV foram calculado com as Equações 9 e 10, empregando os dados de emissões de COV apresentados na Tabela 9 e o fator de reatividade fotoquímica médio de 3,7 g de ozônio formado por g de composto orgânico lançado para a atmosfera.

$$I_{COV}^{IDA} = \frac{\sum ((\text{massa de COV emitida em t ano}^{-1}) (\text{reatividade MIR em t de O}_3 \text{ formado / t COV}))}{\text{massa de produto produzida em t ano}^{-1}} =$$

$$I_{COV}^{IDA} = 1,54 \times 10^{-3} \frac{\text{t de ozônio}}{\text{t de petróleo processado}}$$

$$I_{COV}^{IA} = \sum ((\text{massa de COV emitida}) (\text{reatividade MIR})) = 26.280,56 \text{ t de ozônio / ano}$$

O Indicador de Emissão de COV

As equações 11 e 12 utilizadas a seguir se referem aos indicadores de COV, empregando os dados de emissões de COV apresentados na Tabela 9.

$$I_{COV}^{IDA} = \frac{\sum(\text{massa de COV emitida em t / ano})}{\text{massa de produto produzida em t / ano}} = 4,15 \cdot 10^{-4} \frac{t \text{ de COV}}{t \text{ de petróleo processado}}$$

$$I_{COV}^{IIA} = \sum(\text{massa de COV emitida}) = 7.102,85 t / \text{ano}$$

Indicador de Emissão de NO_x

Os indicadores de NO_x foram obtidos com a utilização das equações 13 e 14, empregando os dados de emissões de NO_x apresentados na Tabela 9 Os dados disponíveis se referem às emissões de NO₂.

$$I_{NO_x}^{IDA} = \frac{\text{massa de NO}_x \text{ emitida em t / ano}}{\text{massa de produto produzida t / ano}} = 4,41 \cdot 10^{-4} \frac{t \text{ NO}_x}{t \text{ de petróleo processado}}$$

$$I_{NO_x}^{IIA} = \text{quantidade NO}_x \text{ emitida em t / ano} = 7.549,72 t / \text{ano}$$

Tabela 11: Indicadores calculados para a Refinaria de Paulínia.

	Indicador de Desempenho Ambiental	Indicador de Impacto Ambiental
Efeito Estufa	0,177 tCO ₂ e / t de petróleo processado	3.025.078 t CO ₂ e / ano
Acidificação	$1,46 \times 10^{-3} \frac{t \text{ de gases ácidos}}{t \text{ de petróleo processado}}$	24.926,05 t / ano
Monóxido de Carbono	$1,43 \times 10^{-4} \frac{t \text{ de CO}}{t \text{ de petróleo processado}}$	2.445,30 t / ano
Formação de Ozônio troposférico	$1,54 \times 10^{-3} \frac{t \text{ de ozônio}}{t \text{ de petróleo processado}}$	26.280,56 t de ozônio / ano
Compostos Orgânicos Voláteis	$4,15 \cdot 10^{-4} \frac{t \text{ de COV}}{t \text{ de petróleo processado}}$	7.102,85 t / ano
Óxidos de Nitrogênio	$4,41 \times 10^{-4} \frac{t \text{ NO}_x}{t \text{ de petróleo processado}}$	7.549,72 t / ano

Os resultados apresentados na Tabela 11 podem ser empregados no gerenciamento ambiental, entre outras, para os seguintes fins:

- O IDA pode ser empregado para avaliar uma refinaria por meio da comparação com outras similares, dentro ou fora da corporação;
- O IDA pode ser um parâmetro para estabelecer metas de desempenho ambiental visando o processo de melhoria contínua;
- IIA pode ser usado para avaliar o impacto ambiental de fontes e atividades industriais diferentes sobre o meio ambiente, em termos de emissões totais. O IIA aplicado para várias indústrias em uma região pode representar a contribuição de cada uma para a degradação da qualidade do ar.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração de indicadores para a indústria é um passo importante dentro da realidade do Brasil, onde os dados ambientais muitas vezes não são registrados, outras não são organizados e sobretudo não são divulgados ou disponibilizados.

Esta realidade aponta a um desafio para que os indicadores sejam elaborados e apresentados como uma solução para a divulgação de desempenho operacional.

O presente trabalho apresentou indicadores de emissões atmosféricas que se referem ao processo produtivo de indústrias químicas brasileiras.

O Indicador de Desempenho Ambiental (IDA) foi elaborado com base no indicador de desempenho operacional (IDO) da norma ISO 14031, o qual inclui fluxos de entrada de insumos no processo bem como de saída de produtos e resíduos, enquanto o IDA proposto se restringiu apenas às emissões do processo.

São consideradas emissões do processo operacional aquelas que ocorrem dentro do sítio industrial, sem considerar as emissões relacionadas às matérias-primas. Esta consideração foi feita devido a escassez de dados desta natureza no país. Embora fosse possível a elaboração de um indicador que abordasse também esta variável tal inserção inviabilizaria o seu uso imediato na Indústria Química Brasileira.

Foram abordados nos indicadores propostos as emissões de compostos orgânicos voláteis e seu potencial de formação do ozônio troposférico, tema que não foi ainda contemplado na legislação nacional, mas que apresenta grande importância quanto à saúde pública.

O desempenho ambiental do processo produtivo será demonstrado com a avaliação do desempenho ambiental, onde o indicador de desempenho é uma das ferramentas que compõe a avaliação. Outras ferramentas podem ser úteis dentro do processo de avaliação como os indicadores de condição ambiental.

Os indicadores de desempenho operacional podem oferecer informações muito valiosas se comparados à aplicação dos mesmos em processos semelhantes ou em um

mesmo processo em diferentes momentos possibilitando uma análise do desempenho ao longo do tempo.

Considera-se a importância de indicadores de desempenho operacional para que a comunidade tenha acesso a informações ambientais que lhe forem de interesse.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento desta dissertação foi um passo acadêmico dentro do tema de indicadores para a indústria química brasileira. Para trabalhos futuros sugere-se:

- ✓ a elaboração de indicadores de outros aspectos ambientais para a indústria química, tais como: efluentes, resíduos, energia e áreas contaminadas.
- ✓ A aplicação dos indicadores na indústria.
- ✓ Obtenção de dados históricos de emissão para a aplicação dos indicadores e avaliação do desempenho ambiental.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM, Associação Brasileira das Indústrias Químicas. **Atuação Responsável**. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/atuacaoresponsavel>>. Acesso em 18 de agosto de 2008.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de gestão ambiental - Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio**. NBR ISO 14.001. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 32 p.

ALBUQUERQUE, Édler Lins de. **Compostos orgânicos voláteis na atmosfera urbana da região metropolitana de São Paulo**. 2007. 499f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. **Gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Thex, 2009.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <www.aneel.gov.br>, acesso em:

AMARAL, Sérgio Pinto. **Indicadores de sustentabilidade ambiental, social e econômica: uma proposta para a indústria de petróleo brasileira**. ANAIS: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória-ES, 2002

API Bulletin 2523: Petrochemical evaporation loss from storage tanks, 5 ed., New York, nov. 1969.

Asian Development Bank. Development of environment statistics in developing Asian and pacific countries. ADB, 1998.

AZAPAGIC, A. e PERDAN, S. Indicators of sustainable development for industry: a general framework. **Trans IchemE**, v.78, parte B, p. 243 - 261, julho de 2000.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BARTOLOMEO, M. Environmental performance indicators in industry. Milano: FEEM, 1995.

BCSD Portugal. Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<http://www.bcsdportugal.org/content/index.php?action=articlesDetailFo&rec=81>> Acesso em: 20 de junho de 2009.

BELLEN, Hans Michel van. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.

BERSSERMAN, Sérgio. Indicadores. In: SILVA, Marina. Meio ambiente no século 21. 4ed. Campinas – SP: Armazém do Ipê. 2005.

BRUNDTLAND, Gro Halem. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1987.

CANÇADO, José Eduardo Delfini; BRAGA, Alfesio; PEREIRA, Luiz Alberto Amador ; ARBEX, Marcos Abdo; SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento; SANTOS, Ubiratan de Paula. “Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica”. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. V.32 suppl. 2 São Paulo, maio de 2006.

CARBONELL, Montserrat Motas. **Modelagem fluidodinâmica e reacional com avaliação ambiental do processo de hidroconversão de resíduos de petróleo**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Pós-graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CARTER, W. P. L. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds, EPA 600/3-91-050. U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (August), 1991. Citado em ALBUQUERQUE, 2007.

CARVALHO, Paulo Gonzaga Mibielli de; BARCELLOS, Frederico Cavadas; GREEN, Aristides Lima; OLIVEIRA Sonia Maria M. de. **Indicadores para a avaliação da gestão ambiental municipal com base no modelo Pressão-Estado-Resposta**. XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Caxambu – MG, 29 de setembro a 03 de outubro de 2008.

CETESB – Relatório do Inventário Estadual de Fontes Fixas. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 19 de agosto de 2008.

CETESB. Companhia Ambiental do estado de São Paulo. Disponível em:<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp>. Acesso em: 09 de junho de 2009 a.

CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo de 2008** [recurso eletrônico]. CETESB: São Paulo, 2009b.

CHAN, Wai Nam. **Quantificação e redução de emissões de gases de efeito estufa em uma refinaria de petróleo**. 2006. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

CLEMENTE, Daniela de Amorin. **Estudo de impacto ambiental das fontes industriais de poluição do ar no município de Paulínia – SP, empregando o modelo ISCST3**.

2000. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução** nº 3, de 28 de junho de 1990. Estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar. **Diário Oficial [da República federativa do Brasil]**, Brasília, 22 ago. 1990

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução** nº 13, de 13 de dezembro de 1995. Estabelece prazo para o cadastramento de empresas que produzam, importem, exportem, comercializem ou utilizem substâncias controladas que destroem a camada de ozônio. **Diário Oficial [da República federativa do Brasil]**, Brasília, 22 dez 1995.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução** nº 267, de 14 de setembro de 2000. Dispõe sobre a proibição da utilização de substâncias que destroem a Camada de Ozônio. **Diário Oficial [da República federativa do Brasil]**, Brasília, 11 dez. 2000

DJSW. Dow Jones Sustainability World Indexes Guide. Version 10.1, September 2008. Disponível em <http://www.sustainability-indexes.com/djsi_pdf/publications/Guidebooks/DJSI_World_Guidebook_10_1.pdf>. Acesso: 02 de abril de 2009.

EL-FADEL, M.; Zeinati, M.; Ghaddar, N.; MEZHER, T. Uncertainty in estimating and mitigating industrial related GHG emissions. **Energy Policy**, v. 29 n. , p. 1031-1043, 2001.

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. **Relatório anual de qualidade do ar**. Rio de Janeiro – RJ, 2007.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Relatório de qualidade do ar 2001-2002**. Porto Alegre – RS, 2002.

GALLOPÍN, G. C. Indicators and their use: information for decision-making introduction. In: Sustainability indicators: report of the project of indicators for sustainable development. Wiley/Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). 1997.

GALLOPIN, G. C. Indicators and their use: information for decision-making. In: Moldan, B.; Billharz, S. **Sustainability indicators**: report of the project on indicators of sustainable development. New York: J. Wiley and Sons, 1997. cap. 1, p. 13-27

GHG Protocol, 2004

GRI. Diretrizes para relatório de sustentabilidade. Global reporting initiative.

Disponível em <www.globalreporting.org>. 2006

GRI. Diretrizes para relatório de sustentabilidade. Global reporting initiative. Disponível em <http://www.globalreporting.org/NR/rdonlyres/4855C490-A872-4934-9E0B-8C2502622576/2725/G3_POBR_RG_Final_with_cover.pdf>. Acesso em: 16 de março de 2008.

HENRI, Jean-François e JOURNEAULT, Marc. Environmental Performance indicators: An empirical study of Canadian manufacturing firms. **Journal of Environmental Management**. V. 87, p.165-176, 2008

HOLLING, C. S. Adaptive environmental assessment and management. Chichester, New York: John Wiley & Sons, 1978

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Relatório de qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba**. Curitiba – PR, 2008

ICCA a – International Council of Chemical Associations. Disponível em: <www.icca-chem.org/Home/ICCA-initiatives/Responsible-care/>. Acesso: 31 de março de 2009.

ICCA b. International Council of Chemical Associations. Disponível em : <www.responsiblecare.org>, acesso: 31 de março de 2009

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental management – Environmental performance evaluation – Guidelines**. Norma ISO 14.031. S.L. 1999.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York. 881 p.

IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Japão, 2006.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA, 996 p.

IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook, 1997.

LYRA, Diógenes Ganghis Pimentel de. **Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da região metropolitana de Salvador**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MANAHAN, S. E. The Atmosphere and Atmospheric Chemistry. In: CRC Press LLC.

Fundamentals of Environmental Chemistry. Boca Rat, 2001. v.1, p. 481-520.

MARTÍNEZ, Rayén Quiroga. Indicadores de sustentabilidade: avanços e desafios para a América Latina. In: ROMEIRO, Ademar Ribeiro (organizador). Avaliação e contabilização de impactos ambientais. São Paulo: Editora da Unicamp, 2004.

MCQUEEN, D.; NOAK, H. Health promotion indicators: current status, issues and problems. **Health Promotion Internatinal**, [S.I.]: Oxford University, v. 3, n. 3, 1988.

MEADOWS, Donella H.; MEADOWS, Dennis L.; RANDERS, Jorgen; BEHRENS III, Willian W. Limites do Crescimento. Ed. Perspectiva. 1972

MITCHELL, G. - Problems and Fundamentals of Sustainable Development Indicators. Disponível em: <<http://www.lec.leeds.ac.uk/people/gordon.html>>. Acesso em: 02 fevereiro de 2007.

NAE. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Cadernos NAE**. n. 3, fev.2005. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

NICOLELLA, G.; MARQUES, J. F.; SKORUPA, L. A. Sistema de Gestão Ambiental: aspectos teóricos e análises de um conjunto de empresas da região de Campinas, SP. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2004.

OECD. **OECD core set of indicators for environmental performance reviews**. OECD Environment Monographs No. 83. OECD. Paris, 1993.

OECD. OECD Environmental Indicators Development, Measurement and Use. 2003.

ONS - Operador nacional do Sistema Elétrico. Disponível em <<http://www.ons.org.br/home/index.aspx>>. Acesso em 18 de agosto de 2008.

PASQUILL, F.; SMITH, F. B. *Atmospheric Diffusion*. 3. Ed. New York: Ellis Horwood, 1983, 237p.

PEROTTO, Eleonora; CANZIANI, Roberto; MARCHESI, Renzo; BUTELLI, Paola. Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. **Journal of Cleaner Production**. N. 16, p.517-530, 2008.

PHILLIPS, J. B. A methodology for obtaining air emission factors at point sources containing a combustion process. *Environmental Process*. V.14, n. 3, p.131.136, agosto de 1995.

RAP - Relatório Ambiental Preliminar, REPLAN, 2006.

ROSS, H. Developing environmental performance indicators for business. Det Norske

Veritas, 1996.

SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. **Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 1326p.

SIMÕES, A.F.; LA ROVERE, E. L. Energy Sources and Global Climate Change: The Brazilian Case. **Energy Sources**. V.30, 1327-1344 p. 2008.

STELLING, Glenda R. R. **Estudo de Caso: Implantação e utilização de indicador de emissões atmosféricas como ferramenta de gestão em refinarias de petróleo**. 2004. 170f. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão) – Escola de Engenharia, Universidade Fluminense, Niterói- RJ, 2004.

TINOCO, J. E.P; KRAEMER, M.E.P. **Contabilidade e gestão ambiental**. 2ed. São Paulo. Ed. Atlas, 2006. v.1. 312p.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno; COHEN, Claude; SZKLO, Alexandre Salem. CO₂ emissions in the Brazilian industrial sector according to the integrated energy planning model (IEPM). **Energy Policy**. 29, p. 641-651, 2001.

TRESMONDI, Ana Cláudia Camargo de Lima. **Qualidade do ar na área de influência do pólo industrial de Paulínia-SP: 2000-2002**. 2003. 303f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponível em: <http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php>. Acesso em: 16 de abril de 2008.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Volume I: Stationary Point & Area Sources*. Disponível em <<http://www.epa.gov/ttn/chief>>. Acesso em 19 de agosto de 2009.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. *Draft report on the environment*. Publication n. EPA 260-R-02-006. 2003.

USEPA, 1997. United States Environmental Protection Agency. *Introduction to the Emission Inventory Improvement Program*. Volume 1. Julho de 1997. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/volume01/i01.pdf>>

USEPA, 2000. AP 42 *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, vol. 1: Stationary Point and Area Sources, 5 ed. Chapter 3: Organic Liquid Storage Tanks. Office of air quality planning and standards. EPA – 454/B – 95 – 003a. Research Triangle Park, N.C, 2000.

USEPA. AP 42 *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, Fifth Edition, Volume I Chapter 7: Liquid Storage Tanks. 2006

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Air Emissions Models for Waste and Wastewater**. EPA-453/R-94-080A. Research Triangle Park, N.C, 1994.

USEPA. AP 42 *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, Fifth Edition, Volume I. Chapter 5: Petroleum Industry, 1995.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em 19 de agosto de 2008

USEPA, 2009a. 08 de junho de 2009.
<http://www.epa.gov/ebtpages/airairpollutantssulfuroxidesso2.html>

USEPA, 2009b. 08 de junho de 2009.
<http://www.epa.gov/ebtpages/airairpollutantsnitrogenoxidesnox.html>

WALZ, R. Development of environmental indicators system: experience from Germany. *Environmental Management*. v. 25, n. 6, p. 613-623, 2000.

WEIR, B. R.; ROSENBAUM, A. S.; GARDNER, L. A.; WHITTEN, G. Z. E CARTER, W. Architectural Coatings in South Coast Air Basin: Survey, Reactivity and Toxicity Evaluation, Final Report to the South Coast Management District, SYSAPP – 88/137, Systems Applications, Inc., San Rafael, CA (December), 1988; citado por ALBUQUERQUE, 2007.

WRI e WDCSD. Protocolo GEE. Normas corporativas de transparência e contabilização. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/standards/corporate-standard>>. Acesso em: 20 de junho de 2008.