



UFMS

Ministério da Educação
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

LENICE CARRILHO DE OLIVEIRA MOREIRA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E
RUÍDOS EMITIDOS POR UMA CALDEIRA
FLAMOTUBULAR MOVIDA A GÁS NATURAL E A ÓLEO
COMBUSTÍVEL BPF 2A**

Campo Grande – MS

Dezembro de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

Lenice Carrilho de Oliveira Moreira

**Comparação entre os poluentes atmosféricos e ruídos emitidos por
uma caldeira flamotubular movida a gás natural e a óleo combustível
BPF 2A.**

*Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em
Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul, para obtenção do grau de Mestre na área de concentração em
Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.*

Orientador: Prof. Dr. Amâncio Rodrigues da Silva Júnior

Aprovada em: 03 de dezembro de 2007

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Amâncio Rodrigues da Silva Júnior
Orientador – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Hamilton Germano Pavão Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul Universidade Estadual Paulista FCA-Botucatu

Campo Grande – MS
Dezembro de 2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Coordenadoria de Biblioteca Central – UFMS, Campo Grande, MS, Brasil)

M838c Moreira, Lenice Carrilho de Oliveira.
 Comparação entre os poluentes atmosféricos e ruídos
emitidos por uma caldeira flamotubular movida a gás natural e
a óleo combustível BPF 2A / Lenice Carrilho de Oliveira
Moreira. -- Campo Grande, MS, 2007.
 145 f. ; 30 cm.

Orientador: Amâncio Rodrigues da Silva Júnior.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

1. Poluição – Aspectos ambientais. 2. Caldeiras - Combustíveis. 3. Gás
como combustível. 4. Gás natural. I. Silva Júnior, Amâncio Rodrigues da.
II. Título.

Ao meu esposo pelo incentivo e apoio, e aos meus filhos, pelas ausências durante o desenvolvimento do presente estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu força e perseverança para realizar o objetivo de cursar a Pós-graduação em Tecnologias Ambientais (PGTA) e, àqueles que, direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, em especial:

- ◆ ao professor Dr. Amâncio Rodrigues da Silva Júnior, pela orientação incansável e paciente;
- ◆ aos servidores que passaram pela chefia da Divisão de Apoio e Manutenção do Hospital Universitário – UFMS, pela colaboração na coleta de dados sobre a caldeira;
- ◆ aos professores do PGTA, pela imensa gama de conhecimentos oferecidos;
- ◆ aos operadores de caldeira: Claudeir da Silva, Eliezer Nogueira, Irineu Filho, Jorge Oliveira Borges e José Antonio Chaves de Carvalho, pela colaboração e paciência durante as medições que resultaram nesta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRAT	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Energia e Meio Ambiente	4
3.1.1. Consumo e reservas de energia no mundo	6
3.1.2. Consumo e reservas de energia no Brasil	7
3.1.3. A geração termelétrica	9
3.1.4. O Protocolo de Kioto	10
3.1.5. A Agenda 21	11
3.2. Poluição Atmosférica	12
3.2.1. Características do ar atmosférico	12
3.2.2. Poluentes atmosféricos	14
3.2.3. Efeitos da poluição atmosférica	20
3.2.4. Condicionantes atmosféricos intervenientes na poluição do ar	32
3.2.5. Padrões de qualidade do ar	35
3.2.6. Conversão de unidades de concentração	42
3.2.7. Legislação ambiental referente à poluição atmosférica	43
3.3. Caldeiras Geradoras de Vapor	45
3.3.1. Classificação das caldeiras	46
3.3.2. Principais componentes	51
3.3.3. Tratamento da água	53
3.3.4. Características da chama	53
3.3.5. Requisitos da operação para caldeira utilizando o gás natural	54

3.3.6.	Utilização do vapor	54
3.4.	Gás Natural	55
3.4.1.	Histórico	55
3.4.2.	Gás natural	56
3.4.3.	Vantagens do uso do gás natural	62
3.4.4.	Transporte	63
3.4.5.	Reservas brasileiras de gás natural	66
3.5.	Combustão	70
3.5.1.	O triângulo do fogo	70
3.5.2.	Classificação da combustão	72
3.5.3.	Relação ar/combustível	73
3.5.4.	Tipos de combustão de combustíveis gasosos	74
3.5.5.	Condições de ignição	74
3.5.6.	Balanços da combustão	76
3.6.	Poluição Sonora	81
3.6.1.	Fontes de poluição sonora	83
3.6.2.	Consequências da poluição sonora	83
3.6.3.	Padrões de emissão de ruídos	85
3.6.4.	Controle da poluição sonora	88
3.7.	Neutralização de Carbono	89
3.7.1.	Cálculo do fator de emissão de CO ₂ por tipo de combustível	91
3.7.2.	Cálculo do fator de emissão de CO ₂ por usina termelétrica	92
3.8.	Tempo de Retorno	93
4	MATERIAIS E MÉTODOS	94
4.1.	Materiais	95
4.1.1.	Caldeira	95
4.1.2.	Analizador de poluentes atmosféricos	98
4.1.3.	Decibelímetro	102
4.2.	Métodos	103
4.2.1.	Medida da concentração dos poluentes atmosféricos	103
4.2.2.	Medida do nível de ruído	105
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	107
5.1.	Poluentes Gasosos	107

5.1.1.	Comparação entre os poluentes atmosféricos emitidos pela caldeira operando a gás natural e a óleo BPF 2A, com a literatura/legislação.	117
5.2.	Outras comparações entre o Óleo Combustível e o Gás Natural	124
5.3.	Ruídos Sonoros	127
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	133
6.1.	Conclusões	133
6.2.	Recomendações	134
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Efeito Estufa	27
Figura 3.2 – Camadas atmosféricas	34
Figura 3.3 – Classificação das caldeiras quanto à classe de pressão	47
Figura 3.4 – Troca de calor numa caldeira flamotubular	48
Figura 3.5 – Caldeira flamotubular	48
Figura 3.6 – Corte esquemático de uma caldeira flamotubular horizontal (escocesa) com retorno de chama	50
Figura 3.7 – Gás natural	57
Figura 3.8 – Gás natural associado e não-associado	58
Figura 3.9 – Unidade de Processamento do Gás Natural	61
Figura 3.10 – Gasoduto Bolívia-Brasil	65
Figura 3.11 – Evolução das reservas brasileiras de gás natural 1965-2006	67
Figura 3.12 – Produção mensal de gás natural total	67
Figura 3.13 – Novas descobertas de gás natural	69
Figura 3.14 – Triângulo do fogo na combustão	70
Figura 4.1 – Caldeira flamotubular instalada no Hospital Universitário da UFMS – Campo Grande-MS	95
Figura 4.2 – Localização da casa de caldeiras do NHU	96
Figura 4.3 – Analisador de Poluentes Atmosféricos TESTO – 350 XL	99
Figura 4.4 – Decibelímetro Minipa, modelo MSL-1351C	102
Figura 4.5 – Detalhe esquemático da seção transversal da chaminé, com os pontos onde foram medidas as concentrações de poluentes atmosféricos	103
Figura 4.6 – Localização dos pontos de coleta dos poluentes atmosféricos	105
Figura 4.7 – Locais de medição dos níveis de ruídos	106
Figura 5.1 – Concentração de CO medida no interior da chaminé da caldeira	111
Figura 5.2 – Concentração de CO ₂ medida no interior da chaminé da caldeira	112
Figura 5.3 – Concentração de NO medida no interior da chaminé da caldeira	112
Figura 5.4 – Concentração de NO ₂ medida no interior da chaminé da caldeira	113
Figura 5.5 – Concentração de NO _x medida no interior da chaminé da caldeira	114

Figura 5.6 – Concentração de CO medida na base da chaminé da caldeira	114
Figura 5.7 – Concentração de NO medida na base da chaminé da caldeira	115
Figura 5.8 – Concentração de NO ₂ medida na base da chaminé da caldeira	115
Figura 5.9 – Concentração de NO _x medida na base da chaminé da caldeira	116
Figura 5.10 – Concentração de CO ₂ medida a 10m da chaminé da caldeira	116
Figura 5.11 – Nível de ruído sonoro gerado pela caldeira	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Tempo de permanência e concentrações de poluentes	15
Quadro 3.2 – Principais poluentes atmosféricos, origens e conseqüências	33
Quadro 3.3 – Especificação para o gás natural comercializado no Brasil	59
Quadro 3.4 – Reserva de gás natural por unidade da Federação	66
Quadro 3.5 – Escala de sons	82
Quadro 3.6 – Limites de tolerância para ruídos contínuos ou intermitentes	85
Quadro 3.7 – Níveis sonoros recomendados para os diversos usos, em dB(A)	86
Quadro 4.1 – Características da caldeira flamotubular do NHU	97
Quadro 4.2 – Dados técnicos na medição de O ₂ e CO do Analisador de Poluentes Atmosféricos TESTO – 350 XL	99
Quadro 4.3 – Dados técnicos na medição de CO ₂ , NO e NO ₂ do Analisador de Poluentes Atmosféricos TESTO – 350 XL	100
Quadro 5.1 – Concentração de poluentes e condições atmosféricas medidas no interior da chaminé da caldeira	108
Quadro 5.2 – Concentração de poluentes e condições atmosféricas medidas na base da chaminé da caldeira	109
Quadro 5.3 – Concentração de poluentes e condições atmosféricas medidas a 10m da base da chaminé	110
Quadro 5.4 – Média da concentração de poluentes no interior da chaminé da caldeira	117
Quadro 5.5 – Média da concentração de poluentes na base da chaminé da caldeira	120
Quadro 5.6 – Média da concentração de poluentes a 10m da base da chaminé da caldeira	121
Quadro 5.7 – Resultado da combustão do óleo 2A e do gás natural	122
Quadro 5.8 – Poluentes emitidos por caldeiras utilizando combustíveis diversos	122
Quadro 5.9 – Fatores de emissão por tipo de combustível na Turquia	123
Quadro 5.10 – Demonstrativo do consumo de combustível pela caldeira Ata 14 do NHU	124
Quadro 5.11- Custo de operação da caldeira do NHU	125

Quadro 5.12 – Retorno do investimento da conversão da caldeira para gás natural	126
Quadro 5.13 – Medidas do nível de ruído sonoro gerado pela caldeira	128
Quadro 5.14 – Média dos níveis de ruídos emitidos pela caldeira	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Reservas comprovadas de petróleo, gás natural e carvão mineral no mundo	6
Tabela 3.2 – Distribuição das reservas e da produção de petróleo e gás natural no mundo	7
Tabela 3.3 – Dados do setor energético brasileiro	8
Tabela 3.4 – Principais fontes de poluição e poluentes atmosféricos	17
Tabela 3.5 – Fontes antropogênicas dos gases estufa	28
Tabela 3.6 – Concentração média de poluentes no ar limpo e contaminado	36
Tabela 3.7 – Padrões de concentrações máximas de poluentes no ar ambiente	37
Tabela 3.8 – Limites máximos de poluentes atmosféricos nas emissões gasosas de usinas termelétricas	37
Tabela 3.9 – Padrões nacionais de qualidade do ar	38
Tabela 3.10 – Padrões de qualidade do ar para o Estado de São Paulo	39
Tabela 3.11 – Qualidade do ar adotado pela CETESB no estado de São Paulo	40
Tabela 3.12 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar	41
Tabela 3.13 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de óleo combustível	41
Tabela 3.14 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de gás natural	42
Tabela 3.15 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de turbinas a gás para geração de energia elétrica	42
Tabela 3.16 – Composição do gás transportado pelo gasoduto Bolívia-Brasil	64
Tabela 3.17 – Efeito da temperatura inicial do gás sobre os limites de inflamabilidade de alguns gases	75
Tabela 3.18 – Produtos da combustão perfeita de diversos gases (sem excesso de ar)	77
Tabela 3.19 – Emissões de diferentes equipamentos industriais e comerciais queimando gás natural	78
Tabela 3.20 – Poder calorífico de diversos gases (combustão perfeita)	79

Tabela 3.21 – Níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico, de acordo com a NBR - 10.152/87, da ABNT	86
Tabela 3.22 – Níveis de Critério de Avaliação – NCA para ambientes externos, em dB (A)	87
Tabela 3.23 – Valor por combustível	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT-NBR - Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira
ABNT-NR - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Norma Regulamentadora
ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANSI - American National Standards Institute
ASTM - American Society For Testing and Materials
BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD - Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento
BPF - Baixo Ponto de Fluidez.
CAF - Corporación Andina de Fomento
CEC - Comission of the European Communities
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFCs - Clorofluorcarbonos
CLT - Consolidação das Leis Trabalhistas
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COVs - Compostos Orgânicos Voláteis
EIA - Estudos de Impacto Ambiental
ECO - Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente
EPA - Environmental Protection Agency
EUA - Estados Unidos da América
GEMS - Sistema Global de Monitoramento Ambiental
GLP - Gás Liquefeito de Petróleo
GN - Gás Natural
GNC - Gás Natural Comprimido
GNL - Gás Natural Liquefeito
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IEC - International and Engineering Consortium
ISO - International Organization for Standardization
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
MCA - Milímetro por coluna de água

MTE - Ministério do Trabalho e Emprego
MIC - Metil-isocianato
NAAQS - National Ambient Air Quality Standards
NHU - Núcleo de Hospital Universitário
OC - Óleo Combustível
PAN - Peroxiacetilnitrato
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
PPM - Partes por Milhão
PMTA - Pressão Máxima de Trabalho Admissível
PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar p/ Veículos Automotores
PRONAR - Programa de Controle da Qualidade do Ar
RIMA - Relatório de Impacto Ambiental
SEMA/MS - Secretaria de Meio Ambiente
SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente – Estado Ceará
SEMADES - Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SENAI-DN - Serviço Nac. de Aprendizagem Industrial – Departamento Nacional
SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente
TBG - Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil
TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo
UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
YPFB - Yacimientos Petroliferos Fiscales de Bolívia
WHO - World Health Organization

RESUMO

MOREIRA, L. C. O. (2007). *Comparação entre os Poluentes atmosféricos e ruídos emitidos por uma caldeira flamotubular movida a gás natural e a óleo combustível BPF 2A*. Campo Grande, 2007. 145 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

A crise energética pela qual passa o Brasil fez do país um grande mercado para uso de fontes alternativas de energia. Das várias fontes à disposição, a que mais vem recebendo investimentos é o uso do gás natural, importado da Bolívia, via gasoduto Bolívia-Brasil. A utilização do gás natural é uma realidade e passou a ser uma nova opção para os processos de geração de vapor. Considerando que a adoção de medidas mais limpas começaram a ser viáveis a partir da passagem do gasoduto Bolívia-Brasil; que a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) optou pela troca do combustível que movia a caldeira instalada no Núcleo de Hospital Universitário (NHU); e, o levantamento realizado quanto à concentração de poluentes gerados pela caldeira do NHU movida a óleo combustível, tornou-se interessante a realização de idênticas medições, com a caldeira agora movida a gás natural, para identificação dos gases emitidos e sua concentração, bem como os níveis de ruídos gerados, com vistas a comparar os resultados de ambos os combustíveis e analisar as variações existentes, além de outras vantagens, como diminuição do número de manutenções, dispensa de estoques, redução de custos, entre outros. O presente estudo caracteriza-se como pesquisa bibliográfica e de campo, tendo como foco a concentração dos poluentes atmosféricos monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), e óxido de nitrogênio (NO_x), levantados a partir de medições realizadas com a utilização de equipamento analisador de poluentes atmosféricos (TESTO 350 XL) e, os níveis de ruído emitidos, medidos com a utilização de um decibelímetro. Os dados obtidos no presente estudo foram comparados com os dados e informações obtidas por Okano (2004), quando a caldeira do NHU era movida a óleo combustível, e com a legislação em vigor, com o objetivo de avaliar a qualidade do ar. Verificou-se que, no interior da chaminé, a troca do combustível proporcionou uma redução significativa na concentração dos poluentes medidos, tais como: CO, passou de 46,2 ppm para 1,8 ppm (-96,10%); CO₂ passou de 6,9% para 5,7% (-17,39%); NO₂ passou de 0,3 ppm para 0,1 ppm (-66,67%); e, Nox, passou de 310,5 ppm para 22,6 ppm (-92,72%). O nível de ruído a 1m de distância da fonte,

também diminuiu, passando de 86,7 dB(A) para 84,5 dB(A) (-2,2 dB A). As comparações com os limites máximos permitidos pelo CONAMA (2006), World Bank (1998), CONAMA (1990), EPA-NAAQS (1996), CETESB (2003) e, MTE (2005), revelaram que os fatores de emissão para os poluentes atmosféricos e os níveis de ruídos estudados, estão em conformidade com a legislação nacional e internacional. Considerando que os fatores de emissão são afetados pelas características do combustível, caldeira e, a forma de se executar a combustão, a redução da concentração de poluentes, demonstra a viabilidade da substituição do óleo combustível pelo gás natural.

PALAVRAS-CHAVES: Poluição ambiental, caldeiras, gás natural.

ABSTRACT

MOREIRA, L. C. O. (2007). *Comparison between atmospheric pollutants and noise emitted by a fire-tubular boiler, fueled by natural gas and fuel oil number 2A*. Campo Grande, 2007. 145 p. Master Thesis (Environmental Technologies) - Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil.

The energy crisis through which Brazil is passing has greatly increased the market for alternative power sources in the country. Of the various available sources, the use of natural gas imported from Bolivia, via the Bolivia-Brazil gas-line has received most investment. The use of natural gas has become a reality, and is now a novel option for the generation of steam. Considering that the adoption of cleaner practices had started to become viable due to the passage of the Bolivia-Brazil gas-line, the Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS) opted to change the type of fuel used in the boiler of the University Hospital Nucleus (NHU). As a survey quantifying the concentrations of pollutants generated by the boiler when using fuel oil had been carried out, it seemed interesting to carry out identical measurements with the boiler now using natural gas, with identification of the emitted gases and measurement of their concentrations, as well as the levels of noise generated, with the aim of comparing the results for both fuels; in addition, other possible advantages, such as reductions in maintenance levels and costs. The present study consisted of a literature review and field research, focusing on the concentrations of the atmospheric pollutants carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), nitrogen monoxide (NO), nitrogen dioxide (NO₂) and nitrogen oxides (NO_x), measured with the analytical equipment TESTO 350 XL, and the noise levels emitted, measured using a decibel-meter. The data obtained in the present study was compared with the data of Okano (2004), when the boiler of the NHU used fuel oil, and with the legislation in vigor, with the objective of evaluating the air quality. It was verified that, in the interior of the chimney, the changing of the fuel type led to a significant reduction in the concentration of the measured pollutants: CO decreased from 46.2 ppm to 1.8 ppm (-96.10%); CO₂ from 6.9% to 5.7% (-17.39%); NO₂ from 0.3 ppm to 0.1 ppm (-66.67%); and NO_x from 310.5 ppm to 22.6 ppm (-92.72%). The noise level 1m away from the source, also diminished, from 86.7 dB(A) to 84.5 dB(A) (-2,2 dB). Comparisons with the maximum limits allowed by CONAMA (2006), World Bank (1998), CONAMA (1990), EPA-NAAQS (1996), CETESB (2003) and MTE (2005) revealed that the emissions of atmospheric pollutants and the noise levels were

in compliance with national and international legislation. Considering that the emissions are affected by the characteristics of the fuel, the boiler and the form of using the fuel, the reduction of the concentration of pollutants demonstrates the viability of substituting fuel oil with natural gas.

Keywords: Environmental pollution, Boiler, Natural gas.

1. INTRODUÇÃO

A deterioração da capacidade assimilativa dos ecossistemas e da capacidade de regeneração dos recursos naturais a taxas compatíveis com o desgaste imposto pelas atividades econômicas do homem, vem demandando uma revisão profunda do tipo de relação mantida com a natureza. Esta questão depende crucialmente do nível de atividades econômicas e do modelo de desenvolvimento vigentes.

As mudanças promovidas, em grande parte, pela ação direta do homem sobre o meio ambiente, resultante do crescimento populacional, da urbanização descontrolada, de atividades agrícolas, da geração e consumo de energia, de processos industriais poluentes, entre outros; a rapidez e amplitude desse desenvolvimento, com efeitos cumulativos e, a superação de certos limites que este padrão de consumo da civilização acarreta está colocando em perigo a própria sobrevivência da humanidade e da vida na Terra.

Assim, o ser humano começou a perceber que a preservação ambiental deve ser perseguida, buscando-se uma drástica redução dos processos de degradação dos recursos naturais. A Agenda 21, o Protocolo de Kioto e as normas e legislações ambientais aprovadas, são exemplos de ações positivas para combater os impactos ambientais gerados pela ação do homem na Terra.

A queima de combustíveis fósseis é a principal fonte de poluição atmosférica, sendo que, para que ocorra uma diminuição na quantidade de emissão desses poluentes, as alternativas são os usos das chamadas fontes limpas – energia solar, eólica e das marés, por exemplo.

O gás natural, embora seja um combustível fóssil, já ocupa o lugar de fonte energética abundante menos nociva ao meio ambiente da atualidade.

Apesar de não ser um Estado predominantemente industrial, o meio ambiente tem se tornado foco de interesse da sociedade sul-mato-grossense como um todo, vez que o problema ambiental passou a ser uma questão de sobrevivência da própria espécie humana.

O gás natural tornou-se uma realidade em Mato Grosso do Sul desde a implantação do Gasoduto Bolívia-Brasil, que se encontra em operação desde 1999. A partir de então, uma nova opção como fonte de energia passou a ser empregada também nos processos de geração

de vapor, onde anteriormente utilizava-se, basicamente, os combustíveis líquidos, com destaque para o óleo BPF (baixo poder de fluidez), e sólidos como lenha e bagaço de cana.

Apesar de o gasoduto Bolívia-Brasil ter trazido para o Estado, a possibilidade de substituição dos combustíveis líquido-sólidos pelo gás natural, ainda é muito tímido o uso desse combustível pela indústria para geração de energia (calor), estando, entretanto, bastante desenvolvido o uso veicular.

O gás natural constitui uma novidade para as empresas da região, entretanto, muitas delas, ainda não estão convencidas das vantagens de substituir o seu combustível atual pelo novo combustível. As razões que tem levado as empresas a adotar o uso do gás, variam desde as econômicas, passando pelas ambientais, operacional-tecnológicas e as de qualidade.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como a maioria das indústrias de Campo Grande, utilizava na caldeira geradora de vapor, localizada no Núcleo de Hospital Universitário, o combustível óleo BPF 2A. Porém, consciente da necessidade de contribuir para a melhoria das condições atmosféricas, e, considerando a disponibilização, por meio da Companhia de Gás do Estado de Mato Grosso do Sul-MSGÁS, de uma rede de distribuição dentro de seus limites territoriais, levando o gás até próximo à caldeira, passou a utilizar o gás natural como combustível.

Este estudo visa, ao identificar os poluentes atmosféricos oriundos da caldeira do NHU movida a gás natural e suas concentrações, promover uma comparação destes, com os resultados obtidos por Okano (2004), quando do desenvolvimento de estudos, com a mesma caldeira, porém movida a óleo BPF 2A, e, ainda, com a legislação vigente. Visa, também, comparar o nível de ruído emitido antes e após a troca do combustível.

Para tanto, trabalhou-se especificamente com a caldeira tipo flamotubular instalada no NHU/UFMS, que é utilizada para gerar vapor d'água saturado a ser consumido na lavanderia, na nutrição (cozinha), na esterilização/limpeza de equipamentos cirúrgicos (autoclave), e no aquecimento de água para uso geral.

Com a identificação dos gases emitidos e, feitas as análises e comparações possíveis, verificada a melhoria das condições atmosféricas e as vantagens geradas pelo uso do gás natural (econômicas, operacionais, de qualidade), o resultado deste estudo poderá gerar confiança e credibilidade, aumentando a adesão de empresas à novidade, contribuindo para a diminuição do aquecimento global e a destruição da camada de ozônio.

O presente estudo enquadra-se na linha de pesquisa “Diagnóstico e Avaliação de Impactos Ambientais” do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais da UFMS, subárea 03.07.04.00-8 (Saneamento Ambiental) do CNPq.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Identificar, medir e avaliar as concentrações das emissões dos poluentes atmosféricos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e, óxido de nitrogênio (NO_x) e, os níveis de ruídos gerados por uma caldeira flamotubular a gás natural, utilizada na geração de vapor d'água, de modo a demonstrar a melhoria da qualidade do ar no Núcleo de Hospital Universitário - NHU e proximidades.

2.2. Objetivos Específicos:

- a) comparar os resultados dos parâmetros identificados, com os resultados encontrados quando a caldeira operava a óleo combustível BPF 2A;
- b) comparar os resultados encontrados com os parâmetros estabelecidos pela legislação pertinente;
- c) comparar os níveis de ruídos identificados no presente estudo, com os resultados encontrados quando a caldeira operava a óleo combustível BPF 2A; e,
- d) comparar os custos de aquisição, a estocagem e os pré-requisitos para queima, entre o óleo combustível BPF 2A e o gás natural.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas pesquisas em literaturas e estudos relacionados à energia e ao meio ambiente, poluição atmosférica, caldeiras geradoras de vapor e gás natural.

3.1. Energia e Meio Ambiente

A passagem da lenha ao carvão no século XIX e a generalização do uso do petróleo e da eletricidade após 1930, assentaram a base da moderna civilização industrial sobre o consumo de combustíveis fósseis, que a natureza havia levado milhões de anos para produzir.

A produção de energia por meio de combustíveis fósseis, os processos industriais e os meios de transporte exercem grande influência sobre o meio ambiente, em virtude do desmatamento e da emissão de poluentes (CO_2 , NO_x , SO_x , C_xH_y , particulados, etc.), sendo considerados as principais fontes antropogênicas da poluição.

A energia é definida como a capacidade de realizar trabalho. Ao longo dos séculos, o homem aprendeu a utilizar as fontes de energia disponíveis na natureza para atender às suas necessidades. Hoje, a energia, em suas várias formas, é indispensável à produção de bens e serviços essenciais à vida humana: calor, força motriz, eletricidade, etc.

Segundo Braga *et al.* (2002), todos nós incorporamos energia através de nossos alimentos, utilizamos energia para as nossas necessidades alimentares, de habitação e de transporte, e produzimos resíduos que precisam ser eliminados de forma adequada para evitar a contaminação do meio ambiente. O acúmulo destes resíduos, seja por problemas de excesso de produção ou por dificuldade na sua eliminação, resulta em poluição do nosso meio vivente.

Lora & Teixeira (2001) definem poluição como sendo a degradação do ambiente, ou seja, mudanças nas características físico-químicas ou biológicas do ar, da água ou do solo que afetam negativamente a saúde, a sobrevivência ou as atividades humanas e de outros organismos vivos.

A definição legal de poluição (Lei nº. 6.938, de 31 de agosto de 1981 – Política Nacional do Meio Ambiente) é: degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Em que pese a aplicação da ciência e da tecnologia ter conduzido à melhoria no nível de vida da população, têm, ao mesmo tempo, provocado efeitos nocivos ao meio ambiente, tais como: mudanças climáticas; perda de terras cultiváveis (desertificação); desmatamento; poluição de rios, lagos e mares; poluição do solo e das águas subterrâneas; o smog fotoquímico e a poluição do ar nas cidades.

O consumo de energia sempre traz alguma forma de dano ambiental, seja na sua exploração ou no seu consumo, e uma das soluções para atenuar e manter em limites aceitáveis este problema seria a utilização racional das fontes primárias de energia.

Os principais riscos ambientais com que hoje nos defrontamos estão intimamente associados à elevação do consumo de energia e dão margem a reservas quanto às conseqüências de seu prosseguimento, indefinidamente, no futuro. Destes riscos, quatro se destacam por sua dimensão global: o “efeito estufa” (...); a poluição do ar urbano, pelas indústrias e veículos de transporte; a chuva ácida (...); e o risco de acidentes em reatores nucleares (...). (La Rovere, 1996, p.12).

Segundo Fontenelle & Coutinho (2004), a maior parte da energia consumida no planeta vem das chamadas fontes sujas, principalmente petróleo e carvão mineral. Elas são a principal causa da elevação dos níveis de CO₂ na atmosfera e criam outros riscos ao ambiente.

Na lista dos combustíveis sujos encontram-se, ainda, as fontes de eletricidade que abastece empresas e residências, sendo a mais polêmica, a energia nuclear que embora não lance poluente na atmosfera, gera rejeitos que se transformam em um problema ambiental praticamente eterno.

Na lista de grandes geradores de energia, e de problemas ambientais, figuram, ainda, as hidrelétricas. Teoricamente uma fonte limpa elas, além de alagarem e desestruturarem complexos ambientais, são emissoras de metano, um gás com poder de retenção de calor 21 vezes maior que o do dióxido de carbono.

Segundo Coelho *et al.* (2000), é de amplo conhecimento, hoje em dia, que a geração de energia, em particular a energia elétrica, poderia ser efetuada com menores conseqüências ambientais e sociais se seus impactos fossem analisados prévia e criteriosamente, visando sua minimização e se avaliada a conveniência (ou não) da realização da obra.

Como analisa Furtado apud Coelho *et al.* (2000), em que pese ser importante especificar os custos e benefícios relativos à concessionária, essa análise do projeto deveria considerar todos os itens financeiros independente de quem está pagando por eles. Em poucos casos a análise econômica foi realizada conforme as exigências das agências financiadoras, porém não incluíram regras definidas para a incorporação dos custos ambientais nos projetos.

Vários estudos têm demonstrado que o gerenciamento da poluição urbana e industrial utilizando-se métodos corretivos (*end-of-pipe*), não só é custoso como, também, em muitos casos, é insustentável. Experiências realizadas nos Estados Unidos e em outros países desenvolvidos têm demonstrado que, a longo prazo, a prevenção da poluição por meio da minimização de resíduos e de uma produção com tecnologias mais limpas e eficientes, é mais sensata tanto na relação custo-benefício, como para o próprio meio ambiente, se comparado às técnicas tradicionais.

3.1.1. Consumo e reservas de energia no mundo

Considerando-se que a principal fonte de energia da sociedade moderna é a energia química acumulada nos diferentes combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural, etc.), usa-se como unidade comum para expressar a quantidade de energia consumida e as reservas disponíveis de combustíveis, a “tonelada equivalente de petróleo – tep”. Um tep libera durante a combustão 41868,0 MJ, propriedade dos combustíveis que recebe o nome de poder calorífico.

Na Tabela 3.1, são apresentados dados sobre as reservas mundiais comprovadas de petróleo, gás natural e carvão, bem como a relação reserva/consumo que indica o número de anos em que as mesmas se esgotariam. Já na Tabela 3.2, são mostrados os valores das reservas mundiais de petróleo e gás natural por região, bem como a sua produção.

Tabela 3.1 – Reservas comprovadas de petróleo, gás natural (ANP, 1999) e carvão mineral (OLADE, 1994) no mundo.

Tipo de combustível	Reservas	Reservas/consumo (anos)
Petróleo (10^9 Barris)	1053,1	39,0
Gás natural (10^{12} m ³)	146,4	63,7
Carvão mineral (10^9 toneladas)	1039,2	236,0

Fonte: LORA & TEIXEIRA (2001)

Tabela 3.2 – Distribuição das reservas e da produção de petróleo e gás natural no mundo (ANP, 1999).

Reservas	Reservas mundiais provadas - petróleo		Reservas mundiais provadas - GN		Produção mundial de petróleo		Produção mundial de GN	
	10 ⁹ barris	%	10 ⁹ m ³	%	10 ³ barris/dia	%	10 ⁹ m ³ /ano	%
Mundo	1053,1	100	146386	100	74039	100	2296,4	100
Am. Latina e Caribe	137,5	13	8006	6	10290	14	138,7	6
África	75,4	7	10220	7	7713	10	85,9	4
Oriente Médio	673,7	64	49530	33	22464	31	140,3	6
Antiga União Soviética	65,4	6	56700	39	7660	10	688,5	30
América do Norte	37,3	4	6550	5	10691	15	693,1	30
Ásia e Oceania	43,1	4	10170	6	8368	11	236,2	10
Europa	20,7	2	5210	4	6853	9	313,9	14

Fonte: LORA & TEIXEIRA (2001)

A oferta mundial de energia, no ano de 2005, foi de $11.435.10^6$ tep, distribuída nas seguintes fontes: carvão mineral (25,3%); petróleo e derivados (35,0%); gás natural (20,7%); energias renováveis (10,0%); hidráulica (2,2%); nuclear (6,3%); outras (0,5%).

O consumo final de energia, no ano de 2005, foi de $7.912.10^6$ tep, distribuído nas seguintes fontes: carvão mineral (8,3%); petróleo (43,4%); gás natural (15,6%); eletricidade (16,3%) energias renováveis (12,9%); outros (3,5%).

No ano de 2006, a produção mundial de petróleo foi de $4.281,0.10^6$ tep, a produção de gás natural foi de $2.977.10^9$ m³ e, a produção de carvão mineral foi de $6.284.10^6$ t distribuídos entre carvão metalúrgico e carvão vapor.

3.1.2. Consumo e reservas de energia no Brasil

O consumo de energia *per capita* do Brasil, é da ordem de 1,42 tep/hab (aproximadamente igual à média mundial).

Os indicadores utilizados para análise do desempenho energético e socioeconômico do Brasil em relação ao mundo foram obtidos no Key World Energy Statistic 2006. Por estes indicadores o Brasil, com uma Oferta Interna de Energia-OIE per capita de 1,12 tep/hab em 2005, se situa bem abaixo da média mundial (1,78 tep/hab), abaixo da Argentina (1,64 tep/hab) e muito abaixo dos Estados Unidos (7,89 tep/hab).

No Brasil a alta participação da energia hidráulica na geração de eletricidade é uma vantagem complementada por grande utilização de biomassa, fazendo com que o País apresente baixa taxa de emissão de CO₂, de 1,57 tCO₂ por tep, pela utilização de combustíveis, quando comparada com a média mundial, de 2,37 tCO₂ por tep.

A oferta interna de energia, em 2006, foi de 230,6 milhões de tep. Cerca de 45,1% da OIE teve origem em fontes renováveis, enquanto que no mundo essa taxa é de 12,7% e nos países membros da OECD é de apenas 6,2%.

Na Tabela 3.3 são apresentados os dados do setor energético brasileiro.

Tabela 3.3 – Dados do setor energético brasileiro (BEN 2007)

Item	Valor
Oferta interna de energia	230,6.10 ⁶ tep
Energia não-renovável	54,9%
Energia renovável	45,1%
Oferta interna de energia per capita	1,12 tep/hab
Consumo final total de energia	202,9.10 ⁶ tep
Dependência externa em energia	
2005	10,2%
2006	8,3%
Produção nacional de petróleo ¹ e LGN	1,761.10 ³ barris/dia
Produção nacional de gás natural	48,5.10 ⁶ m ³ /d
Consumo de derivados de petróleo	1.733,2.10 ³ barris/dia
Geração total de energia elétrica	419,4 TWh
Geração hidráulica	335,8 TWh
Geração térmica	41,9 TWh
Geração autoprodutores	41,7 TWh
Oferta interna de energia elétrica ²	460,5 TWh
% correspondente às fontes hidráulicas	76%
% correspondente às demais fontes	24%
Consumo final de energia elétrica	390,0 TWh
Energia elétrica de fonte térmica	71 TWh
Consumo de carvão mineral na geração elétrica	5.500.10 ³ t

Fonte: MME (2007)

OBS: 1) inclui líquidos de gás natural; 2) inclui autoprodução. * 1 tep = 10.000 kcal.

A Matriz Energética Brasileira, em 2006, foi composta das seguintes fontes: petróleo e seus derivados (37,67%); gás natural (9,6%); produtos energéticos resultantes da cana-de-açúcar (14,6%); carvão mineral e seus derivados (6,0%); lenha e carvão vegetal (12,6%); urânio (U₃O₈) e derivados (1,6%); energia hidráulica (14,8%), outras (3,13%).

Com o objetivo de subsidiar a identificação de prioridades para Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no setor energético, e atender a demanda feita pelo Ministério de Minas e Energia como uma das fontes para o planejamento energético, a Secretaria do Fundo Setorial de Energia/Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Ciência, Tecnologia e Inovação

elaborou, sob a coordenação do Dr. Isaias Macedo, o Relatório intitulado “Estado da Arte e Tendências das Tecnologias para Energia”, através do qual foram apresentadas as oportunidades de P&D em energia para os próximos 20-30 anos.

O Relatório elenca como áreas de interesse para esforços em P&D, entre outras: carvão mineral e vegetal; gás natural; biomassa; hidroeletricidade; energia nuclear; energia solar e eólica; etanol; petróleo; metanol; biogás; e, hidrogênio.

Segundo Macedo (2003), para produção de energia elétrica, as tecnologias promissoras (geração e co-geração) para os próximos quinze anos incluem as baseadas em gás natural e turbinas a gás, ciclos integrados de gasificação de carvão/ciclo combinado, e, ainda, células à combustível.

Para produção de combustível (limpos) de fósseis, pensando na evolução futura para emissões quase-zero (incluindo as de CO₂), têm se dado ênfase aos combustíveis sintéticos gerados a partir de gás de síntese. Estes poderão vir de gás natural ou carvão e, seriam a base para futura inserção do hidrogênio (H₂) como vetor energético em larga escala.

3.1.3. A geração termelétrica

A partir do início do século XX, época em que as máquinas movidas a vapor apresentavam rendimento de apenas 1%, a tecnologia de conversão de calor em trabalho mecânico evoluiu consideravelmente. Com a substituição do carvão pelo petróleo, os motores diminuíram de tamanho e ganharam potência, tornando-se mais rápidos e eficientes, viabilizando os motores Otto e Diesel e as turbinas a gás e a vapor.

O grande potencial de recursos hídricos do Brasil, conduziu o país, no passado, à opção de geração hidrelétrica, criando oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias de construção de barragens, de turbinas e de equipamentos hidráulicos, correspondendo ao chamado Sistema Interligado, restringindo a geração termelétrica à Região Amazônica e poucas centrais no Sul, Sudeste e Centro-Oeste do País.

Este quadro tende a sofrer alterações, considerando-se a recente construção do Gasoduto Bolívia-Brasil, e a possibilidade da utilização do gás natural na geração termelétrica, principalmente com o estabelecimento do chamado Programa Prioritário de Termelétricas. Em consequência deste Programa, ocorrerão alterações na Matriz Energética brasileira, pois, com a implementação de um parque gerador hidrotérmico, aumentar-se-á para

20% ou mais, a participação da termelétrica na oferta de energia elétrica até o ano de 2009.

Por ser um energético que produz menores impactos ambientais, que queima com maior facilidade, e que é canalizado e conduzido com segurança até o consumidor final, o gás natural se apresenta como uma alternativa interessante para os derivados do petróleo.

Entretanto o incremento na oferta de energia com a operação destas térmicas, levará também a um incremento significativo na emissão de poluentes atmosféricos, particularmente emissões de carbono e óxidos de nitrogênio, cujos limites de emissão são previstos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA por meio da Resolução nº 382, de 26/12/2006.

3.1.4. O Protocolo de Kioto

O Protocolo de Kioto resultou do encontro de 160 nações, em 1997, no Japão, visando reduzir as emissões de gases que causam o efeito estufa (CO_2 , CH_4 , entre outros) e, estimular o desenvolvimento de novas tecnologias e a implantação de fontes limpas de energia. Desde então, a possibilidade de comercializar as emissões (principalmente de CO_2 , resultante da queima de combustíveis fósseis, cuja utilização nos países desenvolvidos é intensiva) vem ganhando força como estratégia política.

Segundo Coelho *et al.* (2000), nesse aspecto, o Brasil ocupa uma posição privilegiada devido principalmente ao Programa Nacional do Álcool, responsável por evitar, em 1997, a emissão de cerca de 13 milhões de toneladas de carbono; resultados alcançados não apenas pela substituição de parte da gasolina pelo álcool para fins automotivos, como também pela co-geração com bagaço de cana, no setor sucro-alcooleiro, que é auto-suficiente em termos energéticos, com aproximadamente 2.500 MW instalados em todo o País. O fato de a geração de energia elétrica no Brasil ser predominantemente de origem hídrica, também faz com que as emissões específicas de carbono sejam bastante reduzidas.

Ratificado por um número suficiente de países depois de sete anos de negociação, o Protocolo de Kioto começou a vigorar em fevereiro de 2005. É um passo importante no combate aos efeitos do aquecimento do planeta. O Protocolo entra em vigor em etapas, sendo que na primeira, de 2008 a 2012, os signatários tem que cumprir o acordado e reduzir, em 5%, sua emissão de poluentes, em relação aos valores apurados em 1990. Cada país possui uma meta, expressa em “créditos” que pode gastar. Se um país signatário ultrapassar a meta,

pode comprar créditos excedentes de outros, tendo ainda a opção de financiar programas de energia limpa ou desenvolvimento sustentável em outros países, o que também vale créditos.

Em 2005, foi discutida a segunda etapa de Kioto. As metas a serem cumpridas a partir de 2012 tornar-se-ão mais rígidas, pois, para frear de vez o aquecimento, calcula-se que seja necessário reduzir 60% das emissões em relação a 1990.

3.1.5. A Agenda 21

A Agenda 21 é um documento elaborado pelas Nações Unidas, estabelecendo um projeto de ação global visando ao desenvolvimento sustentável, o qual foi adotado por chefes de Estado de 179 países participantes da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - ECO/92, realizada no Rio de Janeiro, em junho de 1992. (Mota, 2000, p. 361).

A ECO/92, por meio da Agenda 21, procurou identificar os problemas prioritários, os recursos e meios para enfrentá-los e as metas para as próximas décadas.

A implementação da Agenda 21 não depende exclusivamente dos governos, visto que serão necessárias mudanças em termos de valores, de modelos produtivos e de padrões de consumo, o que se configura uma verdadeira revolução cultural das pessoas.

A Agenda 21 reflete um consenso mundial e um compromisso político no nível mais alto no que diz respeito a desenvolvimento e cooperação ambiental. Constitui um guia para as ações dos indivíduos, empresas e governos, no sentido de alcançar um desenvolvimento sustentável, garantindo-se a qualidade ambiental e as condições econômicas necessárias a todos os povos do mundo.

“A Agenda 21 é composta de quarenta capítulos, distribuídos em quatro seções, as quais agrupam assuntos inter-relacionados e sempre voltados para o desenvolvimento sustentável.” (Mota, 2000, p. 362).

O Capítulo Nonoo, Seção II, trata da Proteção da Atmosfera. O referido capítulo inclui as seguintes áreas de programas:

- a) Considerações das incertezas: aperfeiçoamento da base científica para a tomada de decisões;
- b) Promoção do desenvolvimento sustentável: desenvolvimento, eficiência e consumo da energia; transportes; desenvolvimento industrial; desenvolvimento dos recursos terrestres e marinhos e uso da terra;
- c) Prevenção da destruição do ozônio estratosférico;
- d) Poluição atmosférica transfronteiriça.

3.2. Poluição Atmosférica

3.2.1. Características do ar atmosférico

Pinheiro & Monteiro (1992) definem a atmosfera, ou ar, como é conhecida, como um composto gasoso com mais de mil quilômetros de espessura que envolve o globo terrestre.

Para Mota (2000), o ar constitui a camada da atmosfera que fica em contato com a superfície da Terra. Esta camada é denominada troposfera e tem cerca de doze quilômetros de espessura.

O ar é um recurso natural indispensável ao homem, aos animais e à vegetação, sendo, portanto, essencial à manutenção da vida na Terra. Também é utilizado na comunicação, no transporte, na combustão, em processos industriais e como diluidor de resíduos gasosos.

Segundo Mota (2000), o ar atmosférico é constituído por uma mistura de gases, principalmente nitrogênio (78,11%), oxigênio (20,95%), argônio (0,93%) e dióxido de carbono (0,03%). Além desses, encontram-se o hidrogênio, o metano, o óxido nitroso e gases nobres, como o neônio, o hélio e o criptônio. O ar contém, ainda, vapor d'água, ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, amônia, monóxido de carbono, partículas sólidas em suspensão e outros componentes, em concentrações variáveis, em função das atividades desenvolvidas pelo homem.

Sewell (1978) considera o ar como normal quando mais de 99,99% do volume de ar compõem-se de apenas quatro moléculas gasosas, nitrogênio (78,09%), oxigênio (20,94%), argônio (0,95%) e dióxido de carbono (0,03%), além de uma dúzia de outros constituintes que se encontra em quantidades microscópicas, geralmente expressos em partes por milhão.

Na primeira camada deste grande cobertor de ar vive o homem. O ser humano é dependente desse ar e cada indivíduo respira 22 mil vezes por dia. Se esse cobertor fosse removido, o homem não sobreviveria mais do que cinco minutos.

O ar é um dos elementos que mais tem sido agredido pelo homem. Indispensável para a vida, vez que não se pode deixar de respirar, o ser humano vem sendo obrigado a utilizar o ar nas condições em que o mesmo se encontra no seu ambiente, muitas vezes com suas características alteradas, gerando impactos sobre o homem, os animais, os vegetais e os materiais.

As primeiras preocupações com a qualidade do ar surgiram na era pré-cristã. Nessa época, as cidades já ostentavam ares de qualidade aquém do desejável, em virtude do uso do

carvão como combustível. Esta situação agravou-se durante os primeiros séculos da história pós-cristã, quando foram baixados, na Inglaterra do final do século XIII, os primeiros atos de controle de emissão de fumaça, passando pela revolução industrial e pelo crescimento das cidades.

Galvão Filho (1996) define poluição do ar como a presença ou lançamento no ar de matéria e energia que podem vir a danificar os usos desse recurso natural.

Segundo Braga *et al.* (2002), a poluição do ar tem sido, desde a primeira metade do século XX, um grave problema nos centros urbanos industrializados, com a presença cada vez maior dos automóveis, que vieram a somar-se às indústrias, como fontes poluidoras. Episódios de poluição excessiva causaram aumento do número de mortes em algumas cidades da Europa e Estados Unidos. O primeiro episódio ocorreu em 1930, no vale de Meuse, Bélgica, entre as cidades de Huy e Liège, uma região com grande concentração de indústrias, distribuídas em uma faixa de aproximadamente vinte quilômetros de comprimento onde, nos cinco primeiros dias do mês de dezembro, condições meteorológicas desfavoráveis, como a ausência de ventos, impediram a dispersão dos poluentes que permaneceram estacionados sobre a região. Imediatamente foi registrado um aumento do número de doenças respiratórias e um excesso de mortes (sessenta) até dois dias após o início do episódio.

Episódio semelhante ocorreu durante os últimos cinco dias do mês de outubro de 1948 na cidade de Donora, Pensilvânia, quando os produtos da combustão das indústrias locais permaneceram sobre a cidade devido à ocorrência de inversões térmicas que impediram a dispersão destes poluentes. Durante este período foram observadas vinte mortes ao invés das duas mortes esperadas normalmente em uma comunidade de 14.000 pessoas.

Em Londres, durante o inverno de 1952, um episódio de inversão térmica impediu a dispersão de poluentes, gerados então pelas indústrias e pelos aquecedores domiciliares que utilizavam carvão como combustível, e uma nuvem, composta principalmente por material particulado e enxofre (em concentrações, até nove vezes maiores do que a média de ambos), permaneceu estacionada sobre a cidade por aproximadamente três dias, levando a um aumento de 4.000 mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes.

Somente no início da década de 60, foi criado um programa federal de poluição atmosférica ligado ao Departamento de Saúde, Educação e Bem-estar Social dos Estados Unidos (EUA).

A ocorrência de novos episódios de aumento súbito da poluição levaram os Estados Unidos a estabelecerem, ainda na década de 60, padrões de qualidade do ar, especificando os seis poluentes atmosféricos que seriam controlados: partículas totais, dióxido de enxofre

(SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e chumbo (Pb). Para efetivar esse controle, criou-se a Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA), tendo-lhe sido conferidos, em 1990, poderes para determinar os critérios técnicos de controle das substâncias tóxicas, com base nos seus efeitos para a saúde.

Na Europa, o desenvolvimento de ações controladoras também foi bastante influenciado pelo episódio ocorrido em 1952 na cidade de Londres. Em 1956, o Parlamento inglês, atribuiu às autoridades locais o controle das áreas de maior risco da ocorrência de acúmulo de fumaça emitida pelas chaminés das residências, obrigando a troca do sistema a carvão por eletricidade, gás ou óleo diesel.

Em 1976, uma comissão de países europeus (Comission of the European Communities – CEC), estabeleceu padrões de qualidade do ar para SO₂, CO, NO₂, material particulado e oxidantes foto-químicos.

Em que pese o aprimoramento das formas de controle ambiental, outros episódios envolvendo o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos continuaram a ocorrer, mas desta vez, nos países em desenvolvimento.

Em 03 de dezembro de 1984, em Bhopal, na Índia, um grande vazamento de metil-isocianato (MIC) proveniente da Union Carbide, indústria localizada próxima à cidade, causou a morte de, pelo menos, 1.700 pessoas devido a um intenso edema pulmonar (acúmulo de líquido no pulmão) causado pela reação exotérmica do MIC com a água do tecido pulmonar.

3.2.2. Poluentes atmosféricos

A Resolução CONAMA nº. 003, de 28/06/1990, define como poluente atmosférico, qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, que tornem ou possam tornar o ar: I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; II - inconveniente ao bem-estar público; III - danoso aos materiais, à fauna e à flora; IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes do ar originam-se principalmente da combustão incompleta de combustíveis fósseis, para fins de transporte, aquecimento e produção industrial.

Segundo Mota (2000), os poluentes atmosféricos são classificados em dois tipos: primários e secundários.

Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente das fontes para a atmosfera, destacando-se: material particulado (fumos, poeiras, névoas); monóxido de carbono (CO); dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO e NO₂); compostos de enxofre (SO₂ e H₂S); hidrocarbonetos; clorofluorcarbonos.

Os poluentes secundários são os formados na atmosfera, através de reações químicas, a partir de poluentes primários. Entre esses se destacam os oxidantes fotoquímicos, resultantes da reação entre os hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio, na presença da luz solar.

O ozônio (O₃) é o oxidante fotoquímico que provoca mais danos ao ambiente. Como oxidantes, podemos destacar, ainda, o peroxiacetilnitrato (PAN), o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e os aldeídos.

Segundo Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], dependendo do seu teor há impurezas que se tornam poluentes, e são encontradas na atmosfera em estado gasoso, sólido e líquido.

Os fumos, as poeiras e as fumaças constituem os poluentes sólidos que se dispersam na atmosfera.

As partículas líquidas encontradas são resultantes da condensação de vapores e das nebulizações líquidas.

Os gases em geral, formam a parte mais importante, visto que facilmente se incorporam aos componentes normais da atmosfera.

Os poluentes podem apresentar-se tanto em compostos orgânicos (hidrocarbonetos, aldeídos e as cetonas), como inorgânicos. (ácido sulfúrico, ácido fluorídrico e amônia),

Segundo Mota (2000), as concentrações típicas de alguns poluentes, no ar limpo e poluído, bem como o tempo de permanência dos mesmos na atmosfera, são as indicadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Tempo de permanência e concentrações de poluentes

Poluente	Tempo de permanência	Concentração típica (ppm)	
		Ar limpo	Ar poluído
SO ₂	4 dias	0,0002	0,2
H ₂ S	< 1 dia	0,0002	-
CO	< 3 anos	0,1	40 - 70
NO/NO ₂	5 dias	<0,002	0,2
Hidrocarbonetos	-	<0,001	-
CO ₂	2 a 4 anos	340	400
O ₃	14 a 21 dias	0,03	0,5

Fonte: FREEDMAN (1995)

Quanto à fonte emissora, Mota (2000) afirma que a poluição do ar pode originar-se de fontes naturais (vulcões; florestas (queimadas); decomposição anaeróbia de matéria orgânica;

desnitrificação por bactérias) e, antrópicas (indústrias; meios de transporte; destruição e queima da vegetação; queima de combustível; queima do lixo; aplicação de agrotóxicos; fermentação de resíduos (dejetos, lixo); uso de “sprays”, refrigeração, fabricação de espumas plásticas, solventes; compostos radioativos).

As fontes de poluição do ar podem ser estacionárias ou móveis (veículos, aviões, motocicletas, barcos, locomotivas).

Os processos industriais respondem pela emissão de material particulado e vários gases poluentes, tais como, os óxidos de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NO e NO_2); gás sulfídrico (H_2S); Hidrocarbonetos, ácido clorídrico (HCl), entre outros.

As fontes móveis de poluição colaboram para o lançamento de material particulado, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxido de enxofre (SO_2), hidrocarbonetos e aldeídos.

A combustão do carvão, do petróleo e da biomassa gera a produção de material particulado, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), óxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

Por meio da queima do lixo, são lançados na atmosfera, material particulado, óxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e ácido clorídrico (HCl).

A decomposição anaeróbia da matéria orgânica, presente no esgoto, no lixo e em dejetos de animais, gera gás sulfídrico (H_2S) e metano (CH_4), entre outros.

Os clorofluorcarbonos, originam-se dos processos de refrigeração, dos “sprays”, da fabricação de espumas plásticas e dos solventes usados na limpeza de circuitos eletrônicos.

Segundo Lora & Teixeira (2001), uma análise da distribuição, por fontes de emissão, de cinco poluentes, nos EUA, permite concluir que:

- a) as emissões de óxido de enxofre são quase totalmente devidas à queima de combustíveis fósseis;
- b) as emissões de óxido de nitrogênio distribuem-se em partes iguais entre a queima de combustíveis fósseis e as emissões dos veículos automotores;
- c) os compostos orgânicos voláteis têm como fontes mais importantes os processos industriais e o transporte automotivo;
- d) as emissões de particulados estão uniformemente distribuídas entre as diferentes fontes;
- e) mais de 2/3 das emissões totais de CO , nos EUA, têm como fonte o transporte automotivo .

Na Tabela 3.4 apresenta-se um resumo dos tipos de poluentes com maior impacto ambiental, lançados à atmosfera pelos diferentes ramos da indústria e da atividade econômica em geral. Centrais termelétricas e incineradores de resíduos figuram como grandes emissores de poluentes, porém, faz-se necessário conhecer a diferença na composição dos gases de exaustão destas fontes. Nos incineradores, além de particulados, óxidos de enxofre e nitrogênio, existem dioxinas, vapores de mercúrio e outros compostos ácidos.

Tabela 3.4 – Principais fontes de poluição e poluentes atmosféricos

Fonte	Particulados	Emissões Gasosas
Caldeiras e fornos industriais	Cinzas e fuligem	NO _x , SO ₂ , CO, aldeídos, ácidos orgânicos, 3,4 - benzopireno
Motores de combustão interna	Fuligem	CO, NO _x , aldeídos, hidrocarbonetos, 3,4 - benzopireno
Indústria de refino do petróleo	Pó, fuligem	SO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , NO _x , CO, hidrocarbonetos, mercaptanas, ácidos, aldeídos, cetonas, substâncias orgânicas cancerígenas.
Indústria química	Pó, fuligem	Dependente do processo (H ₂ S, CS ₂ , CO, NH ₃ , ácidos, substâncias orgânicas, solventes, compostos orgânicos voláteis (COV), sulfetos, etc).
Metalurgia e química do coque	Pó, óxidos de ferro	SO ₂ , CO, NH ₃ , NO _x , compostos de flúor, substâncias orgânicas.
Indústria extrativa mineral	Pó	Dependente do processo (CO, compostos de flúor, substâncias orgânicas.
Indústria alimentícia	Pó	NH ₃ , H ₂ S (misturas multicomponentes de compostos orgânicos)
Indústria de materiais da construção	Pó	CO, compostos orgânicos

Fonte: LORA & TEIXEIRA (2001)

Os principais poluentes atmosféricos são:

I) Óxidos de carbono

O monóxido de carbono (CO) origina-se da queima incompleta de combustíveis fósseis, tendo como sua principal fonte de emissão os veículos automotores. É o mais abundante poluente atmosférico, sendo altamente nocivo à saúde em ambientes fechados, como túneis e garagens. É um gás incolor, inodoro e insípido, passando despercebido em função dessas propriedades. É mais leve que o ar, sendo facilmente disperso na atmosfera, o que minimiza seus efeitos tóxicos. Apresenta densidade relativa 0,967;

O dióxido de carbono (CO₂) é um componente natural do ar atmosférico cujas concentrações vêm sendo aumentadas pelas crescentes queimadas e uso de combustíveis fósseis. Não sendo um gás tóxico, a não ser em concentrações muito

elevadas, o aumento de sua concentração na atmosfera é prejudicial devido a suas propriedades de gás estufa. (Pinheiro & Monteiro, 1992, p. 58).

II) Óxidos de Enxofre

O dióxido de enxofre (SO_2), é tradicionalmente originado na queima de carvão e óleo na geração de energia elétrica ou no aquecimento de ambientes, nas fábricas e nos veículos automotores. É um gás incolor que possui odor irritante e azedo. Tem efeito altamente irritante no trato respiratório e nas conjuntivas oculares. Nas plantas causa alterações na fotossíntese, causando, também, danos materiais de origem calcária (mármore, cimento, etc).

O gás sulfídrico (H_2S) origina-se na decomposição anaeróbia de matéria orgânica, como a que ocorre em rios altamente poluídos por esgoto, podendo ser oxidado a dióxido de enxofre (SO_2), e contribuir como fonte de emissão deste poluente. São, ainda, fontes naturais de H_2S , os vulcões e as atividades geotérmicas.

O dióxido de enxofre (SO_2), por meio de reação fotoquímica, pode ser transformado em trióxido de enxofre (SO_3), que na presença de vapor de água do ar atmosférico pode transformar-se em ácido sulfúrico (H_2SO_4), cuja ação química corrosiva é notada em metais e condutores elétricos. No homem pode provocar danos irreversíveis ao trato respiratório, e nos vegetais, lesões em suas folhas.

III) Compostos nitrogenados

Segundo Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], os compostos nitrogenados mais abundantes são o NO , NO_2 e NH_3 , e outros óxidos de nitrogênio. O NO e o NO_2 são produzidos na combustão a alta temperatura e em diversas outras atividades industriais e, ainda, pela combinação de oxigênio e nitrogênio da atmosfera. Suas principais fontes de emissão são as descargas de veículos automotores e as usinas de energia que se utilizam de combustíveis fósseis.

Em virtude da radiação solar, o monóxido de nitrogênio (NO) é oxidado a dióxido de nitrogênio (NO_2). Este, por sua vez, na presença da luz solar, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando o ozônio (O_3), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera.

O NO_2 absorve a luz solar fundamentalmente na zona do espectro visível. Tem cor pardo amarelada e, em baixas concentrações, irrita levemente os pulmões. Nas plantas, provoca diminuição da atividade fotossintética e, nos materiais, promove o ataque químico às pinturas.

O óxido nitroso (N_2O) é um gás incolor emitido quase que totalmente por fontes naturais. A queima de combustíveis sólidos é sua maior fonte antropogênica.

Segundo Lora & Teixeira (2001), os óxidos de nitrogênio (NO_x) são produzidos por fontes naturais, como os relâmpagos, a atividade microbiana no solo, a oxidação da amônia e os processos fotolíticos ou biológicos nos oceanos. Como fontes antropogênicas, têm-se a queima de combustíveis fósseis e de biomassa. A fim de manter um balanço global, existem “sumidouros” de NO_x , como as precipitações e a deposição seca.

IV) Material Particulado (MP)

Segundo Braga *et al.* (2002), o material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar, sendo que a sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão.

Cinzas e fuligem da combustão de carvão ou óleo, para a geração de energia e da incineração de resíduos, são as fontes mais comuns, porém a queima, pulverização e abrasão de qualquer coisa sólida, ou o respingo de um líquido costumam produzir partículas.

Os particulados presentes na atmosfera classificam-se em: finos, com diâmetro de $d_p < 2,5 \text{ mm}$; e, grossos, com diâmetro $d_p > 2,5 \text{ mm}$.

O tempo de residência dos particulados na atmosfera inferior varia de alguns dias a uma semana.

O material particulado é a forma de poluição mais perceptível, em virtude da interferência na visibilidade.

V) Compostos Orgânicos Voláteis – COVs (VOC's – Volatile Organic Compound)

Os COVs são hidrocarbonetos do tipo aldeído, cetonas, solventes clorados, substâncias refrigerantes, etc. A distribuição por fontes das emissões antropogênicas dos COVs é: processos industriais – 46% e transporte automotivo – 30%. (Lora & Teixeira, 2001, p. 59).

Os hidrocarbonetos são de grande diversidade e sua tendência ao estado sólido aumenta com o número de carbonos, enquanto sua tendência ao estado gasoso diminui com a diminuição do número de carbonos.

VI) Ozônio (O₃)

O ozônio presente na troposfera, a porção da atmosfera em contato com a crosta terrestre, é formado por uma série de reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioleta) envolvendo, como precursores, óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos, derivados de fontes de combustão móveis, como os veículos automotivos, de fontes estacionárias, como usinas termoeletricas, e até mesmo fontes naturais como as árvores, que contribuem na produção de compostos orgânicos voláteis. (Braga *et al.*, 2002, p. 9).

O ozônio é um gás composto de três átomos de oxigênio, sem cor e com um característico cheiro de ar fresco, geralmente percebido durante as tempestades com trovoadas.

Existem três fontes naturais de ozônio. A principal delas está na estratosfera, onde a produção de ozônio decorre da reação fotoquímica da luz ultravioleta com o oxigênio. O ozônio é também produzido por relâmpagos, porém essa é uma fonte menor. A terceira forma de produzir ozônio, é através de reações fotoquímicas que envolvem o óxido de nitrogênio e hidrocarbonetos naturalmente emitidos pela vegetação.

Embora nas camadas superiores da atmosfera o ozônio seja benéfico, nas camadas inferiores seus efeitos nocivos são sentidos pelas plantas e pelo próprio homem.

VII) Hidrocarbonetos (HC)

Para Sewell (1978), os hidrocarbonetos são usualmente vapores não queimados, que se evaporam dos tanques de gasolina e são emitidos pelos escapamentos de veículos. Mas também podem ser os solventes em evaporação do asfalto, emissões gasosas de vegetação em estado de apodrecimento, ou o produto de qualquer reação que envolva matéria orgânica contendo carbono.

A importância dos hidrocarbonetos como poluentes atmosféricos deve-se a sua participação em reações fotoquímicas que ocorrem na atmosfera, com a formação de agentes poluidores secundários. Seus efeitos tóxicos são melhor sentidos próximo aos locais de emissão, como garagens e refinarias, podendo causar desde leve irritação das mucosas até condicionar o desenvolvimento de câncer. (Pinheiro & Monteiro, 1992, p.60-61).

3.2.3. Efeitos da poluição atmosférica

O problema da poluição do ar é intenso nas grandes cidades, especialmente naquelas localizadas nos países em desenvolvimento. Segundo uma avaliação do GEMS (Global Environmental Monitoring System), mais de 1,3.10⁹ pessoas moram em cidades onde a concentração de particulados no ar ultrapassa os valores estabelecidos nos padrões da WHO (World Health Organization). Este valor, para o caso dos óxidos de enxofre, é de 1,2.10⁹ pessoas. A WHO, com base na atualização

dos dados obtidos no GEMS, chegou a conclusão que $1,6.10^9$ pessoas correm o risco de condição saudável em consequência da poluição do ar. (Lora & Teixeira, 2001, p. 51).

Segundo Mota (2000), nem sempre é fácil estabelecer uma relação direta entre determinado poluente e os efeitos que o mesmo provoca no ambiente. A dispersão do poluente no ar, a distância que alcança, sua concentração e o tempo de exposição ao mesmo, são alguns fatores que influem nos impactos que podem causar.

A poluição atmosférica pode resultar em impactos de alcances locais, regionais e globais.

Impactos locais são aqueles verificados nas áreas próximas às fontes de poluição, compreendendo:

I) Danos à saúde humana

Quando a concentração de poluentes do ar aumenta, sem que este seja adequadamente disperso pela ação da meteorologia, da topografia e de outros fatores, sérios problemas de saúde acabam ocorrendo.

Segundo Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], a determinação da influência da poluição do ar na saúde humana é extremamente complexa e difícil. Exige uma avaliação quantitativa e qualitativa de grande número de fatores, tais como a concentração de poluente, duração da exposição, localização da sua atuação, efeitos sinérgicos ou antagônicos, tudo aliado à influência de fatores meteorológicos.

Na maioria dos países sujeitos à poluição do ar, estão sendo desenvolvidos estudos, visando determinar o grau de influência que os poluentes tem sobre a saúde humana. Os resultados encontrados vêm demonstrando que a poluição atmosférica constitui um risco evidente à saúde dos seres humanos.

O grande problema enfrentado pelos técnicos, é a determinação das substâncias poluidoras capazes de afetar a saúde humana e, em que concentração sua ação patogênica se faz sentir.

O efeito preciso da poluição do ar usualmente não pode ser previsto, porque uma pessoa normalmente está exposta a misturas de poluentes de ar. Alguns intensificam uma reação quando combinados, enquanto outros podem reagir mutuamente, reduzindo o efeito. Os fatores que influenciam a resposta humana podem incluir a idade de uma pessoa, sua saúde e desgaste físico, bem como a intensidade e duração da exposição. (Sewell, 1978, p. 167).

Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], classificam os poluentes atmosféricos que podem exercer ações sobre o organismo humano, de acordo com sua fisiologia em:

a) asfixiantes:

1) simples – aquelas substâncias que tomam o lugar do oxigênio em sua função vital. Exemplos: dióxido de carbono (CO_2), metano, etano e acetileno, nitrogênio, argônio e neônio;

2) químicos – substâncias que podem provocar asfixia mesmo havendo oxigênio em quantidade suficiente no ar. Reagem no organismo humano e impedem a vital utilização do oxigênio do ar atmosférico. Exemplos: monóxido de carbono (CO), ácido cianídrico (HCN) e ácido sulfídrico (H_2S);

b) narcóticos – raramente se apresentam livres na atmosfera normal, são encontrados em ambientes confinados. Exemplos: clorofórmio, acetileno, benzeno, acetona, éter, hidrocarbonetos;

c) irritantes – produzem geralmente congestão, edema e inflamação. Raramente se apresentam na atmosfera livre sendo próprios de ambientes fechados. Exemplos: ácido sulfídrico (H_2S), ozônio (O_3), amônia (NH_3), formaldeído (CH_2O), dióxido de enxofre (SO_2), cloro (Cl_2), óxidos de nitrogênio (NO_x);

d) tóxicos sistemáticos – alguns atacam o sistema nervoso, outros o sistema formador do sangue ou o próprio sangue. Há ainda aqueles que prejudicam o fígado, os rins e outros órgãos. Exemplos: benzeno (C_6H_6), sulfeto de carbono (CS_2), hidrogênio arsenical (AsH_3) hidrogênio fosforado (PH_3), chumbo, mercúrio, bário, cádmio, cobre;

e) efeitos do material particulado – vários efeitos são causados sobre o homem por pequeninas partículas. Alguns pesquisadores são de parecer que pode haver estreita relação entre o aumento de fuligem no ar e o aumento de casos de pneumonia. Exemplos: surto de asma verificado em Bauru, em 1952, atribuído à poeira de mamona; as partículas de chumbo no ar podem afetar nosso sistema central; alguns pólenes e certas poeiras podem produzir asma; partículas de arsênico, berílio, cádmio, chumbo, cromo, manganês lançados na atmosfera pela indústria podem contribuir para o aparecimento de câncer, além de perturbações cardíacas e outros processos patológicos.

II) Efeitos sobre a flora

Várias plantas são sensíveis aos poluentes do ar, sendo que algumas são usadas como indicadores de poluição do ar por demonstrarem um tipo característico de dano para cada poluente específico. A extensão dos danos varia de acordo com vários fatores, tais como: as

características dos poluentes (concentração, duração, propriedades físicas e químicas); condições climáticas (temperatura, intensidade de luz, precipitação); condições do solo (umidade, nutrientes); e fatores biológicos (estágio de desenvolvimento, composição genética, doenças).

Segundo Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], um dos primeiros efeitos que se pode notar é a redução da penetração da luz, por sedimentação direta de partículas nas folhas ou por interferência de partículas em suspensão na atmosfera. Com isto, há uma sensível redução da capacidade fotossintetizante do mundo vegetal clorofilado, com graves prejuízos para sua sobrevivência ou seu desenvolvimento.

A deposição de poluentes no solo, por sedimentação de partículas grosseiras, ou pelo carreamento de partículas finas e gases solúveis efetuado pelas chuvas, permite a penetração destes poluentes pelas raízes, alterando substancialmente o solo. Existe, ainda, a possibilidade da penetração de poluentes pelos estômatos das plantas.

Os poluentes levam ao colapso do tecido foliar, clorose e outras alterações na cor da folha, podendo provocar alterações no crescimento e produção das plantas.

III) Efeitos sobre a fauna

Para Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], com as evidências de que a poluição afeta a saúde do homem, pode-se fazer um paralelo com as demais espécies animais.

Os grandes episódios de Donora, Pozza Rica, Vale do Mosa e Londres, contribuíram para o desencadeamento das investigações. Em Donora, 1948, foi verificado uma susceptibilidade de grande número de animais, entre eles canários, frangos e pombos, com regular quantidade de mortes. O que se sabe sobre ocorrências com animais no Vale do Mosa, 1930, é que houve muitos distúrbios digestivos e respiratórios.

Os poluentes chegam ao interior dos organismos animais, por inalação ou por ingestão de alimentos contaminados.

Da mesma forma como os fluoretos, o arsênico, o chumbo e o molibdênio podem contaminar a alimentação dos animais, os resíduos ácidos carreados pelas chuvas podem provocar alterações nas águas dos rios e lagos, com efeitos nocivos sobre os peixes.

IV) Efeitos sobre os materiais

A existência de minúsculas partículas no ar suja tudo, automóveis, edifícios, roupas, pessoas, obras de arte, etc. A deposição de partículas sobre os tecidos em geral obriga a que sejam lavados com maior frequência, gerando um desgaste maior desses.

O processo de abrasão causado pelas partículas em suspensão arrastadas pelos ventos, juntamente com o ataque dos gases ácidos, vem causando grandes prejuízos às obras de arte. Alguns velhos tesouros da Acrópole e do Partenon, na Grécia, estão quase irreconhecíveis em consequência dos efeitos corrosivos da poluição do ar.

A simples alteração da forma de certos objetos, pela sedimentação pura e simples de materiais trazidos pelo ar, já é suficiente para degradá-los, agravando o problema com a sua imediata solidificação.

O ácido sulfúrico ataca a superfície das pedras, corroendo-as lentamente. O ozônio ataca os têxteis, destrói as tintas utilizadas para colorir e causa deterioração da borracha, além de degradar materiais orgânicos, fibras, marfim, couro, madeira, papel e outros.

Nos metais a ação dos poluentes oxidantes provoca a sua gradativa mineralização.

V) Efeitos sobre as propriedades atmosféricas

A diminuição da visibilidade é um dos fenômenos mais facilmente observado. A baixa visibilidade é extremamente prejudicial ao tráfego em geral e, em particular, ao tráfego aéreo. É, ainda, especialmente danosa em locais com paisagens turísticas.

A redução da visibilidade pode ser causada por materiais particulados, por neblinas, nevoeiros, vapores que absorvem e dispersam luz. Tanto o smog tipo Londrino como o fotoquímico, reduz a visibilidade.

A poluição do ar pode causar, ainda, a descoloração da atmosfera. Esse fenômeno pode ser observado em várias cidades do Brasil, principalmente na cidade de São Paulo, com a sua nuvem marrom escurecida.

As poeiras protegem a Terra da radiação solar, pois estimulam a formação de nuvem, reduzindo a quantidade de radiação recebida.

Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], calculam que um aumento de 5% aos 31% da superfície da Terra coberto com nuvens, poderá diminuir, suficientemente, a temperatura para produzir uma nova idade do gelo. Em contrapartida ao fenômeno acima, o aumento da concentração de dióxido de carbono, poderá resultar num aumento de temperatura ambiental da Terra. Este aumento poderá provocar profundas alterações no clima terrestre, inclusive com possível degelo das calotas polares, aumentando o nível dos oceanos e inundando todas as áreas baixas do mundo.

Impactos Regionais ou Continentais, são aqueles observados a distâncias maiores das fontes, como acontece com as chuvas ácidas.

Segundo Mota (2000), as águas das chuvas são, normalmente, levemente ácidas, com pH aproximadamente igual a 5,65, devido à dissolução de gases, especialmente o CO_2 .

O lançamento de gases na atmosfera, a partir de fontes poluidoras do ar, especialmente, do dióxido de enxofre (SO_2) e dos óxidos de nitrogênio (NO_x), contribui para aumentar a acidez das águas, formando as chuvas ácidas.

A chuva ácida é um fenômeno decorrente da crescente industrialização do mundo, em relação direta com a poluição do ar, que se manifesta com maior intensidade e abrangência, nos países desenvolvidos. Embora as chuvas ácidas estejam afetando, principalmente os países industrializados, no Brasil, as grandes regiões industrializadas já apresentam os sintomas iniciais do problema, como é o caso de Cubatão (SP), onde morros e escarpas encontram-se desprovidos de vegetação, como resultado não só da acidez da chuva como também da alta taxa de poluentes encontrada na região.

As emissões de fumaça das usinas termelétricas à base de carvão, das indústrias de celulose, das refinarias, dos veículos automotores, assim como qualquer poluente gasoso lançado na atmosfera, colaboram para a formação da chuva ácida.

Lora & Teixeira (2001), afirmam que convencionalmente, é considerada ácida a chuva que apresenta valores de pH menores que 5,6. Este valor expressa o equilíbrio químico estabelecido entre o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico e sua forma ácida solúvel, o íon bicarbonato (HCO_3) em água pura. O decréscimo de uma unidade de pH significa um aumento de dez vezes na concentração do íon de hidrogênio.

Outras espécies químicas atmosféricas determinam a acidez da chuva, além do dióxido de carbono. Valores de pH inferiores a 5,6 resultam da presença de ácidos sulfúrico (H_2SO_4) e nítrico (HNO_3), que se originam das reações e interações que ocorrem na atmosfera entre os óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), o dióxido de enxofre (SO_2) e outras espécies químicas resultantes de reações fotoquímicas.

Na América do Sul, chuvas com pH médio de 4,7 têm sido registradas tanto em áreas urbanas e industrializadas quanto em regiões consideradas remotas.

Os efeitos da acidificação dos lagos sobre a vida aquática são:

a) diminuição da população de peixes. A truta e o salmão atlântico são particularmente sensíveis a baixos níveis de pH, o que interfere em seus processos reprodutivos e, com frequência, conduz a deformações do esqueleto;

b) redução de certos grupos de zooplâncton, algas e plantas aquáticas, o que interrompe a cadeia alimentar nos lagos;

- c) dificuldade de sobrevivência dos moluscos, por causa da dissolução do carbonato de cálcio;
- d) alta mortalidade em anfíbios e falhas no nascimento dos ovos.

As chuvas ácidas podem ser prejudiciais à agricultura. Chuvas com pH entre 2,5 e 3,0 afetam culturas tais como o alface, a beterraba, a cebola, o soja e o tabaco. No entanto, a chuva ácida pode ter efeito positivo a longo prazo por causa da ação fertilizante do nitrogênio. Em geral os sistemas terrestres são menos afetados pela chuva ácida que os aquáticos.

Podem causar, ainda, danos à vegetação (amarelecimento das folhas, desfolhamento prematuro, diminuição do crescimento e da produtividade), e impactos sobre o solo (alterações da química do solo, elevação da acidez do solo, esterilização, alteração no processo de decomposição e nitrificação realizado pelos microrganismos).

A chuva ácida causa danos às estruturas e monumentos, sendo os casos mais notáveis a Acrópole de Atenas e diferentes obras de arte na Itália. A água acidificada corrói as tubulações, havendo o risco de que o metal desprendido das paredes possa afetar as pessoas através do consumo de água.

Centenas de lagos nos Estados Unidos e na Escandinávia se tornaram tão ácidos que não mais abrigam vida aquática. Mais de noventa lagos do Estado de Nova York, na região de Adirondacks, já não possuem mais peixes por causa das condições ácidas. No centro-leste dos Estados Unidos, os números de pH chegam aos valores de 4 a 4,2.

Devido às correntes aéreas e regimes pluviais, as nuvens ácidas podem deslocar-se por muitos quilômetros de seu ponto de origem, levando seus efeitos deletérios a regiões onde estes gases não são normalmente observados. Hong Kong, por exemplo, acredita ser a China a responsável pela maior parte da chuva ácida que cai sobre o seu território.

Impactos Globais são os que podem afetar o planeta como um todo.

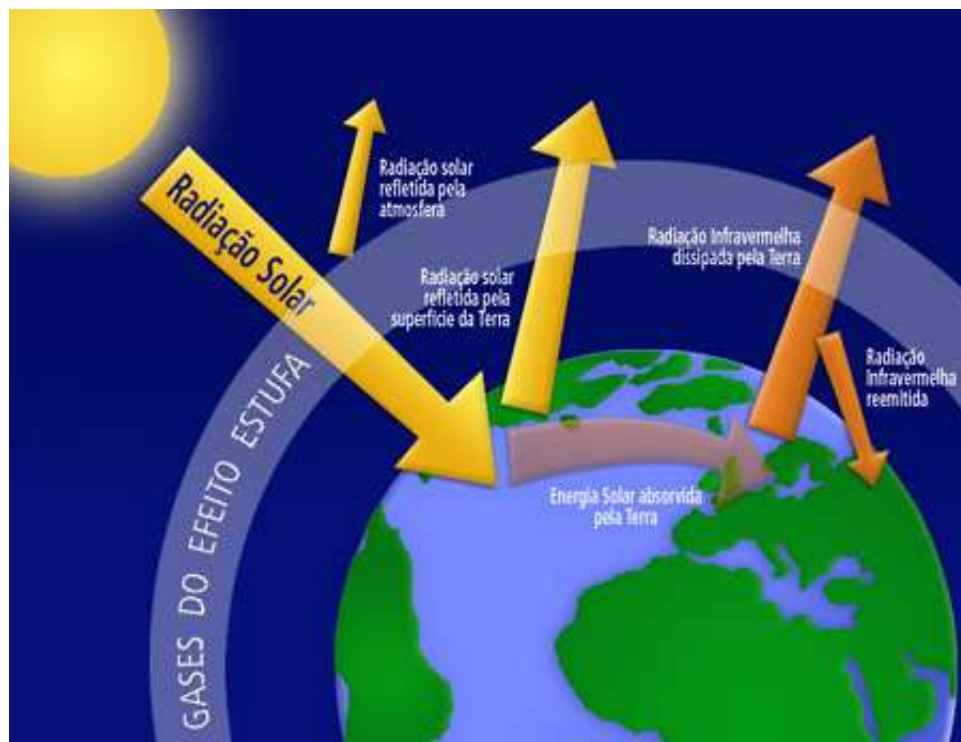
I) Efeito Estufa

Até dois séculos atrás, havia na atmosfera uma quantidade natural de poluentes, resultado basicamente das erupções vulcânicas, da decomposição orgânica e da fumaça de grandes incêndios. Depois que a humanidade começou a queimar carvão para alimentar as chaminés da Revolução Industrial, o volume de gases e partículas tóxicas dispersos no ar aumentou 30%, segundo calculam cientistas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. A análise de bolhas de ar presas há milênios no subsolo gelado da Antártica comprovou que a atual concentração de CO₂ na atmosfera é a maior já registrada nos últimos 440.000 anos. É um terço a mais do que a natureza é capaz de reciclar. (Fontenelle & Coutinho, 2004, p. 188).

A sociedade moderna, para sua manutenção, depende da produção de energia. Para Lora & Teixeira (2001), o problema de maior importância causado pelo uso da energia é o

efeito estufa, que pode ser definido como o acréscimo constante da temperatura média da Terra em consequência do aumento da concentração atmosférica de alguns gases, tais como o gás carbônico (CO_2), os clorofluorcarbonos (CFCs), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), etc. Estes gases são conhecidos como gases estufa e capturam parte da radiação infravermelha que a terra devolve para o espaço, provocando o aumento da temperatura atmosférica com as decorrentes mudanças climáticas.

Quando em grande quantidade, o gás carbônico e outros poluentes, acabam formando um filtro na atmosfera. Durante o dia, a Terra é aquecida pelo sol e à noite perde o calor armazenado tendo, por consequência, uma redução de temperatura. Entretanto, com a camada de poluentes presentes, o calor fica retido na Terra, provocando um aumento na temperatura média (Figura 3.1).



Fonte: RECICLE CARBONO/2007

Figura 3.1 – Efeito Estufa

O efeito estufa foi identificado pelo francês Jean Fournier no século XIX. O cientista Suedes Svante Arrhenius chamou a atenção sobre os possíveis impactos ambientais da duplicação do conteúdo de CO_2 na atmosfera, já em 1896. (Markham apud Lora & Teixeira, 2001, p. 43).

Conforme Lora & Teixeira (2001), no ano de 1938, num artigo titulado: *A produção artificial do dióxido de carbono e sua influência na temperatura*, o cientista Callendar G.,

chegou à conclusão que a utilização dos combustíveis fósseis tem a propriedade de aumentar as concentrações atmosféricas de CO₂.

Segundo Goldemberg apud Mota (2000), o CO₂ não é o único gás responsável pelo efeito estufa, apesar de atualmente representar 55% do fenômeno. O restante é causado pelo metano (CH₄), responsável por 15%, e pelos clorofluorcarbonos (CFCs), que contribuem com 20%, cabendo 10% ao óxido nitroso (N₂O), ozônio (O₃) e outros. As fontes antropogênicas de cada um destes gases são mostradas na Tabela 3.5.

O homem é culpado por mais de 95% dos incêndios em florestas. Segundo a Nasa, que monitora, por satélite, as ocorrências em todo o mundo, já se chegaram a queimar em apenas um ano 820 milhões de hectares (...). A fumaça gerada pelas queimadas lança na atmosfera quase três vezes o total de poluentes gerado no Brasil pela indústria, pelos transportes e pela agricultura, segundo um inventário divulgado em dezembro pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. A Amazônia responde por 77% das emissões, produzindo 776 milhões de toneladas de partículas de CO₂ por ano. (...). (Fontenelle & Coutinho, 2004, p. 194).

Tabela 3.5 – Fontes antropogênicas dos gases estufa (ROSSWELL,1991)

Gases Estufa	Fontes Antropogênicas
CO ₂	• combustão de combustíveis fósseis; • desmatamento/mudanças no uso da terra.
CFCs	• espuma plástica para embalagens; • refrigerantes (freon, etc); • solventes; • aerosol spray propelentes.
CH ₄	• cultivo de arroz; • ruminantes; • combustão de combustíveis fósseis; • queima de biomassa; • vazamento de gás natural.
N ₂ O	• fertilizantes; • queima de biomassa; • conversão da terra para fins de agricultura; • combustão de combustíveis fósseis.

Fonte: LORA & TEIXEIRA (2001)

As atividades do homem que mais contribuem para o efeito estufa são: produção de energia - 57%; uso de clorofluorcarbonos - 17%; agricultura - 14%; modificações no uso do solo e desmatamento - 9%; indústria - 3%. (Goldemberg apud Mota, 2000, p. 112).

A seguir são apontados alguns impactos causados pelo efeito estufa:

a) elevação da temperatura. Segundo Silver & DeFries apud Mota (2000), por causa do dióxido de carbono e de outros gases que estão se acumulando na atmosfera, desde 1860, a

Terra provavelmente já está comprometida com um aumento de 0,5 °C a 1,5 °C na sua temperatura média. Os modelos de circulação atmosférica prevêem que, com a concentração de CO₂ na atmosfera dobrando dentro de 50 a 60 anos, quando serão atingidas 600 partes por milhão em volume - ppmv (o dobro do início do século passado), a temperatura média do ambiente deverá subir de, no mínimo, 1,5 °C a 4,5 °C;

b) alterações nas precipitações pluviométricas. Embora as modificações nas precipitações dependam de outros fatores, como a remoção da cobertura vegetal, o efeito estufa poderá causar o aumento de chuvas em algumas regiões e a diminuição em outras, com repercussão na agricultura, umidade do solo e no ciclo hidrológico, com impactos sobre a população;

c) elevação do nível do mar. De acordo com Silver & DeFries apud Mota (2000), os cientistas esperam que o nível do mar suba em toda a Terra em virtude, primeiro, do acúmulo dos gases-estufa na atmosfera, com conseqüente aumento da temperatura da superfície terrestre, que fará com que as geleiras e a terra gelada em torno do globo derretam mais rapidamente, liberando água; segundo, quando o oceano começar a absorver o calor adicional do ar acima dele, a água se expandirá.

Segundo Hoskyn *et al.* apud Lora & Teixeira (2001), as principais medidas que podem ser tomadas para redução das emissões de CO₂ são: eficiência e conservação de energia; substituição de combustíveis; utilização de fontes renováveis de energia; captura e deposição de CO₂.

De acordo com Fontenelle & Coutinho (2004), os sinais da mudança do clima podem ser sentidos em todo o planeta. Um quarto das espécies animais estará ameaçada de extinção até 2050.

Na América do Norte, em pouco mais um mês, quatro furacões atingiram a Flórida em 2004. Na América Central, o sapo dourado, um símbolo da Costa Rica, foi dado como extinto, vez que uma seca anormal destruiu o seu habitat.

Na América do Sul, teme-se que o El Niño seja reforçado pelo aquecimento global, provocando secas em algumas regiões e enchentes em outras. Sessenta por cento da Amazônia pode virar cerrado.

A Antártida teve 1.994 quilômetros quadrados de gelo derretidos apenas em janeiro de 1995.

Na Europa, o glaciar da Noruega recuou dois quilômetros em um século.

Na Ásia, 10% dos mamíferos da China estão sob risco de extinção. Uma onda de calor atingiu a Índia em 2003, matando mais de 1.200 pessoas e provocando incêndios florestais.

O Sudeste Asiático é coberto, constantemente, por uma nuvem de poluição criada por fontes como complexos industriais do Japão, as quais acredita-se provoquem secas na Austrália.

Segundo Fontenelle & Coutinho (2004), o ciclone Catarina, que se formou no litoral sul do Brasil, em 2004, foi considerado por um grupo de cientistas ingleses como sinal antecipado da mudança do clima. Os especialistas afirmam que tormentas assim serão normais nessa região do Atlântico daqui a uma década. Dois séculos atrás, a Praça de São Marcos, em Veneza, era inundada uma ou duas vezes por ano. Agora é interditada quase toda semana por causa do avanço das águas.

King (2004), em artigo publicado na revista Science, em janeiro/2004, qualificou as mudanças climáticas como “um perigo com dimensões maiores que o terrorismo”. Para King (2004), embora seja difícil ligar eventos individuais às tendências de longo prazo, há evidências de que a onda de calor na Europa teve influência do aquecimento global.

II) Destruição da Camada de Ozônio

O gás oxigênio caracteriza-se por apresentar-se na natureza sob a forma diatômica (molécula com dois átomos – O_2). No alto da atmosfera, o oxigênio molecular absorve ondas de luz UV de até 150 nm formando o oxigênio atômico (O). Este oxigênio atômico combina-se com o molecular formando o ozônio – O_3 – forma alotrópica altamente oxidante e com relativa instabilidade. A instável molécula de ozônio, por sua vez, absorve outra parte das radiações UV e se quebra novamente em O_2 e O, reiniciando o ciclo. Este processo pode ocorrer, também, pela eletrização (descargas elétricas na atmosfera) do oxigênio molecular.

Vários outros processos químicos ocorrem simultaneamente quebrando a molécula de ozônio. Do equilíbrio entre os processos de síntese e degradação que ocorrem na atmosfera resulta uma faixa de concentração máxima de ozônio situada na estratosfera, a uma altura média de 30 km, conhecida como camada de ozônio.

O ozônio (O_3), gás azulado presente na atmosfera terrestre, é responsável pela proteção dos seres vivos contra a ação nociva dos raios ultravioleta (UV) oriundos da radiação solar.

Atualmente, a camada de ozônio tem sido bastante afetada pela ação de algumas substâncias químicas voláteis que, ao chegar à estratosfera, perturbam o frágil equilíbrio de sua composição. Pela interferência dessas substâncias, as reações normais do ciclo de oxigênio na camada de ozônio vêm sendo gradativamente reduzidas, resultando em um perigoso aumento dos níveis de radiação sobre a superfície.

Segundo Mota (2000), os clorofluorcarbonos, substâncias químicas sintetizadas pelo homem, utilizadas nos sistemas de refrigeração, como propolentes de “sprays”, na fabricação de espumas plásticas, ou como solventes na limpeza de circuitos eletrônicos, são apontados como destruidores da camada de ozônio.

Os CFCs apresentam baixa toxicidade, não possuem cor nem cheiro, são inertes, não inflamáveis, de baixo custo e bastante estáveis. Entretanto, possuem a nefasta característica de corroer a camada de ozônio graças ao cloro contido em sua molécula. A radiação solar fornece energia suficiente para romper as moléculas dos CFCs e liberar o cloro, que, reagindo com O_3 , resulta O_2 . Um átomo de cloro consegue destruir 10.000 moléculas de O_3 .

Além dos CFCs, outras substâncias semelhantes também contribuem para a destruição da camada de ozônio, destacando-se o tetracloreto de carbono e o metilclorofórmio, usados como solventes em lavagens à seco e no ramo farmacêutico, e os “halons”, usados em alguns extintores de incêndio, que contêm bromo e são dez vezes mais destruidores de ozônio do que os CFCs.

Os buracos na camada de ozônio são resultado da destruição das moléculas de O_3 pelos CFCs, e tem sido constatado principalmente na Antártida, onde as condições meteorológicas, contribuindo para a composição química das nuvens, além das baixas temperaturas, são favoráveis às reações químicas que causam a destruição da camada de ozônio.

A destruição da camada de ozônio permite o aumento da penetração das radiações ultravioletas à Terra, causando graves impactos:

- a) danos à saúde humana: câncer de pele, enfraquecimento do sistema imunológico do organismo e incidência de catarata;
- b) danos às plantas: redução do crescimento, diminuição do tamanho das folhas, maior suscetibilidade às pragas, doenças, pestes e, qualidade inferior das sementes;
- c) destruição do fitoplâncton, com impactos sobre a cadeia alimentar marinha.

III) Smog Fotoquímico e Redutor

Segundo Ambiente Global (2005), antes de 1950, a maior parte dos danos poluentes era oriunda da queima de carvão para a geração de energia, aquecimento, alimentação e transporte. Sob certas condições, a fumaça pode combinar com a *fog* para produzir o *smog* (termo que vem do inglês e deriva das palavras smoke = fumaça e fog = nevoeiro). Em altas

concentrações o *smog* pode ser extremamente tóxico para os humanos e outros organismos vivos.

Hoje há dois tipos quimicamente diferentes de formação de smog, o chamado Smog de Los Angeles, ou Fotoquímico, com características oxidantes, cujos ingredientes são luz solar, óxidos de nitrogênio (NO_2) e hidrocarbonetos. Têm como principais produtos o ozônio, o nitrato de peroxiacila (PAN) e os aldeídos.

O Smog de Londres, com características redutoras, é composto, geralmente, por dióxido de enxofre e material particulado. Este tipo de smog se forma em atmosferas contaminadas por SO_2 , CO e fuligem, e após várias reações as moléculas de SO_2 oxidam-se a SO_3 que reage com a água da neblina formando ácido sulfúrico.

No Quadro 3.2 são apresentados os principais poluentes atmosféricos, suas origens e consequências.

3.2.4. Condicionantes atmosféricos intervenientes na poluição do ar

Diversos agentes poluidores são lançados diariamente à atmosfera e, dependendo das condições meteorológicas, têm seus efeitos nocivos minimizados ou potencializados.

Segundo Mota (2000), a concentração de um poluente atmosférico, em uma determinada área receptora, depende do tipo de fonte e da concentração com que foi lançado, bem como das condições de dispersão do mesmo na atmosfera.

A dispersão de poluentes varia em função das características do ambiente, incluindo-se as condições naturais ou antropogênicas.

Como condições criadas pelo homem para barrar a propagação dos poluentes pode-se citar a altura do ponto de lançamento (exemplo, altura da chaminé), a disposição das edificações ou a colocação de obstáculos físicos.

Para evitar o acúmulo desastroso de poluentes, depende-se de movimentos do ar para diluir os gases e partículas e, por fim, facilitar sua remoção por precipitação, lavagem e reações químicas.

Mota (2000) cita como principais características naturais do ambiente que têm influência na dispersão de poluentes: a velocidade e direção dos ventos; a estabilidade atmosférica; e a topografia.

Quadro 3.2 – Principais poluentes atmosféricos, origens e consequências

Poluente	Origens	Consequências
Monóxido de Carbono	- Veículos automotores - Combustão incompleta do carvão e petróleo	- Afeta a capacidade de oxigenação da hemoglobina → asfixia - Danos ao aparelho respiratório - Corrosão do ferro, aço, mármore
Óxidos de Enxofre	- Queima de comb. fósseis - Queima de carvão - Processos industriais	- Danos às plantas (amarelecimento e morte) - Chuvas ácidas
Óxidos de Nitrogênio	- Veículos automotores - Processos industriais - Queima de combustíveis fósseis	- Tóxicos ao homem; irritação da mucosa; carcinogênicos - Danos às plantas - Reagem com os hidrocarbonetos produzindo oxidantes fotoquímicos - Chuvas ácidas
Hidrocarbonetos	- Veículos automotores - Processos industriais - Queima de comb. fósseis	- Carcinogênicos - Reagem com os óxidos de nitrogênio produzindo oxidantes fotoquímicos
Oxidantes Fotoquímicos, principalmente o Ozônio	- Reação dos óxidos de nitrogênio com os hidrocarbonetos, na presença da luz solar	- Irritação severa dos olhos e pulmões - Nocivos às plantas - Deterioração da borracha, de produtos sintéticos, etc.
Material Particulado	- Veículos automotores - Processos industriais	- Redução da visibilidade - Sujeira de roupas, prédios, monumentos (paisagem) - Carreiam poluentes tóxicos para os pulmões
Dióxido de Carbono	- Queima do petróleo /carvão - Queima da biomassa - Desmatamento	- Efeito estufa
Gás Sulfídrico	- Decomposição anaeróbia - Indústrias químicas	- Odor desagradável
Clorofluorcarbonos	- Refrigeração - “Sprays” - Fabricação de espumas plásticas - Solventes usados na limpeza de circuitos eletrônicos	- Destruição da camada de ozônio - Câncer de pele - Catarata - Danos à vegetação

Fonte: MOTA (2000)

A condição meteorológica tem grande influência no transporte e dispersão de poluentes lançados na atmosfera.

O ar move-se no sentido horizontal, na direção dos ventos, e vertical, em função dos deslocamentos das camadas atmosféricas.

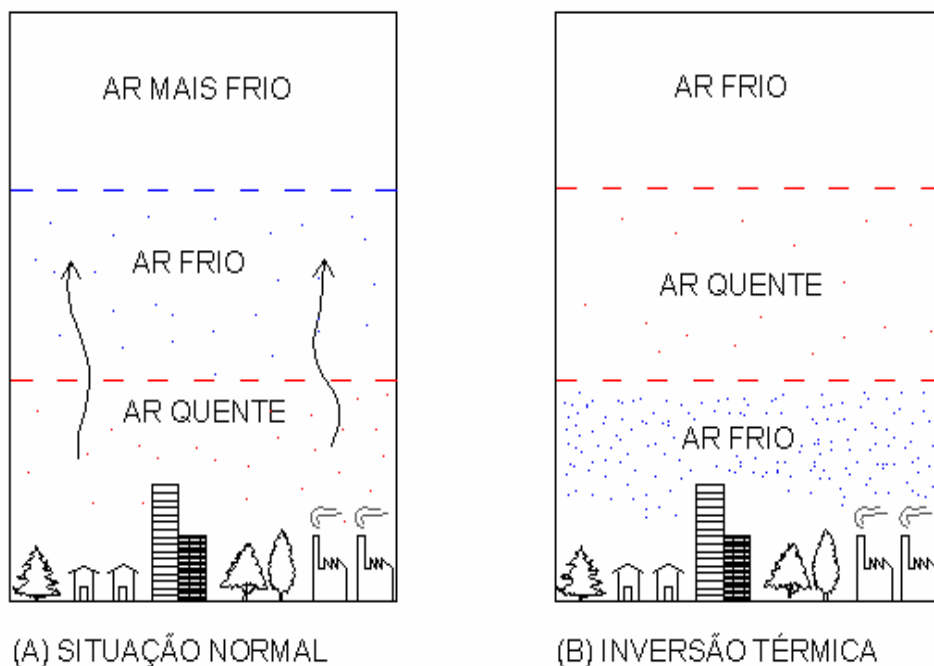
Segundo Sewell (1978), se uma cidade tiver “ventilação” vantajosa, espaço aberto em volta e brisas freqüentes, como é o caso de Boston e Nova Iorque, a poluição raramente se constitui em crise crítica.

A direção do vento determina que área em torno da fonte de poluição receberá os poluentes. O vento não circula permanentemente em uma determinada direção, devendo ser consideradas as mudanças de direção, na determinação das áreas sujeitas a receber poluentes, a partir de uma fonte.

A estabilidade atmosférica, a qual está associada os movimentos ascendentes e descendentes de volumes de ar, é uma das características meteorológicas mais importantes na dispersão de poluentes de ar.

De acordo com Mota (2000), em condições normais, a temperatura do ar decresce com a altura, ficando as camadas mais frias sobre as camadas mais quentes. Ocorre uma renovação natural, com o ar mais quente (mais leve) subindo e o ar mais frio (mais pesado) descendo, conforme Figura 3.2 (A).

Ocasionalmente ocorrem condições estáveis que suprimem esse movimento vertical. Isso é chamado inversão térmica, inversão de temperatura ou, ainda, inversão de camada, conforme mostrado na Figura 3.2 (B).



Fonte: MOTA (2000)

Figura 3.2 – Camadas atmosféricas

Segundo Pinheiro & Monteiro (1992), a inversão térmica caracteriza-se pela sobreposição de uma camada de ar quente a uma camada de ar frio, que, sendo mais pesada,

fica “aprisionada” sob o ar quente. Este fenômeno natural ocorre durante todo o ano. Contudo, na estação fria, ele se manifesta próximo à superfície do solo, impedindo a formação de correntes aérea de convecção, fazendo com que os poluentes fiquem estagnados próximos ao solo, elevando sua concentração a níveis críticos.

Dependendo da topografia e das condições meteorológicas, alguns locais estão mais sujeitos a inversões térmicas, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo.

A topografia se refere à irregularidade ou às configurações da superfície de um terreno. As irregularidades podem ser naturais, tais como colinas, ou artificiais, como edifícios, porém elas influenciam na circulação de ar. Quando ocorre uma inversão contra uma montanha ou vale, a poluição do ar se intensifica porque os poluentes não têm liberdade de movimento vertical nem horizontal.

Nas cidades, as construções formam novas elevações no solo, alterando a topografia inicial, o que contribui para modificar a circulação e a velocidade do vento. Prédios altos em filas, uns frente aos outros, produzem o efeito de “encanamento” do ar, mudando seu fluxo e provocando regiões de redemoinho.

3.2.5. Padrões de qualidade do ar

Os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar são:

- a) fornecer dados para ativar ações de emergência, durante períodos de estagnação atmosférica quando os níveis de poluentes na atmosfera possam representar risco à saúde pública;
- b) avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem-estar das pessoas;
- c) acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devidas a alterações nas emissões dos poluentes.

Na Tabela 3.6 mostram-se dados sobre a concentração média de poluentes em uma atmosfera limpa e em uma contaminada. Pode-se notar que os valores correspondentes ao ar contaminado são superiores àqueles correspondentes ao ar limpo. Considerando este problema, as organizações ambientais começaram a atentar para a padronização das concentrações de poluentes na atmosfera, estabelecendo padrões de qualidade do ar.

Tabela 3.6 – Concentração média de poluentes no ar limpo e contaminado

Poluente	Concentração, ppm	
	Ar limpo	Ar contaminado
SO ₂	0,001-0,01	0,02-0,2
CO	0,12	1-10
NO	0,00001-0,00005	0,05-0,75
NO ₂	0,0001-0,0005	0,05-0,25
O ₃	0,02-0,08	0,1-0,5

Fonte: LORA & TEIXEIRA (2001)

A Resolução CONAMA n° 005, de 15/06/1989, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR definiu como limite máximo de emissão, a quantidade de poluentes permissível de ser lançada por fontes poluidoras para a atmosfera, sendo que esses limites serão diferenciados em função da classificação de usos pretendidos para as diversas áreas.

As áreas de todo território nacional serão enquadradas nas classes I, II e III. Enquanto cada estado não definir a classificação de suas áreas, serão adotados os padrões primários de qualidade do ar estabelecidos na Resolução CONAMA n° 003, de 28/06/1990.

Segundo Derisio apud Lora & Teixeira (2001), um padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico, que garanta a proteção da saúde e do bem-estar das pessoas. Os padrões já estabelecidos baseiam-se em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

De acordo com Lora (2000), nos Estados Unidos foram desenvolvidos padrões de concentrações máximas de poluentes no ar ambiente conforme demonstrado na Tabela 3.7.

Os limites máximos permitidos de poluentes nas emissões gasosas de usinas termelétricas, para diversos tipos de combustíveis, são os apresentados na Tabela 3.8.

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução n°. 003, de 28/06/1990, estabeleceu os padrões de qualidade do ar (Tabela 3.9).

O Art. 1º da referida Resolução estabelece como padrões de qualidade do ar, as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, podem afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Tabela 3.7 – Padrões de concentrações máximas de poluentes no ar ambiente

Poluente	Concentração máxima permissível
SO ₂	Média em 24 horas 0,14 ppm (365 µg/m ³) Média anual 0,03 ppm (80 µg/m ³)
Ozônio	Média em 1 hora 0,12 ppm Média em 8 horas 0,08 ppm
NO ₂	Média anual 0,53 ppm (100 µg/m ³)
CO	Média em 1 hora 35 ppm (40.000 µg/m ³) Média em 8 horas 9 ppm (10.000 µg/m ³)
PTS - Particulados totais em suspensão	Média em 24 horas 260 µg/m ³ Média anual 75 µg/m ³
PM ₁₀ - Partículas com dimensões menores que 10 µm	Média em 24 horas 150 µg/m ³ Média anual 50 µg/m ³
PM _{2,5} - Partículas com dimensões menores que 2,5 µm	Média em 24 horas 65 µg/m ³ Média anual 15 µg/m ³
Chumbo	Média em 4 meses 1,5 µg/m ³

Fonte: EPA – NAAQS (1996)

Tabela 3.8 – Limites máximos de poluentes atmosféricos nas emissões gasosas de usinas termelétricas.

Poluente (*)	Combustível			
	Carvão (mg/Nm³)	Óleo Diesel (mg/Nm³)	Óleo (mg/Nm³)	Gás (*) (mg/Nm³)
Material Particulado	50	50	50	50
NO _x	750	165	300	125
SO _x	2000	2000	2000	2000

(*) Limites estabelecidos para usinas acionadas por turbinas convencionais.

Fonte: WORLD BANK (1998)

**Tabela 3.9 – Padrões nacionais de qualidade do ar
(Resolução CONAMA n°. 003, de 28/06/90, Derísio, 1992)**

Poluentes	Tempo de amostragem	Padrão primário, (µg/m³)	Padrão secundário, (µg/m³)	Método de amostragem
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostrador de Grandes Volumes
	MGA (2)	80	60	
Dióxido de enxofre	24 horas (1)	365	100	Pararonasilina
	MAA (3)	80	40	
Monóxido de carbono	1 hora (1)	40.000	40.000	Infravermelho não Dispersivo
		(35 ppm)	(35 ppm)	
	8 horas (1)	10.000	10.000	
		(9 ppm)	(9 ppm)	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimioluminescência
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Refletância
	MAA (3)	60	40	
Partículas inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA (3)	50	50	
Dióxido de nitrogênio	1 hora (1)	320	190	Quimioluminescência
	MAA (3)	100	100	

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

(2) MGA - Média geométrica anual.

(3) MAA - Média aritmética anual

Fonte: LORA & TEIXEIRA (2001)

A Resolução CONAMA n°. 003/90, estabelece que são padrões primários de qualidade do ar, as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

Estabelece, ainda, que padrões secundários de qualidade do ar, são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

O Decreto Estadual n°. 8.468, de 08/09/1976, estabelece padrões de qualidade do ar para o estado de São Paulo, porém abrange um número menor de parâmetros. Não são estabelecidos na legislação estadual, padrões e critérios para os parâmetros fumaça, partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio, sendo que os parâmetros comuns às legislações federal e estadual, têm os mesmos padrões e critérios (Tabela 3.10).

**Tabela 3.10 – Padrões de qualidade do ar para o Estado de São Paulo
(Decreto Estadual nº. 8.468, de 08/09/76, Derísio, 1992)**

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão (µg/m³)	Método de amostragem
Partículas totais em suspensão	24 horas MGA (2)	240 80	Amostrador de Grandes Volumes
Dióxido de enxofre	24 horas (1) MAA (3)	365 80	Pararonasilina
Monóxido de carbono	1 hora (1) 8 horas (1)	40.000 10.000	Infravermelho não Dispersivo
Oxidantes Fotoquímicos (como ozônio)	1 hora (1)	160	Quimioluminescência

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

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual

Fonte: LORA & TEIXEIRA (2001)

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (2003), por meio do Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, classifica a qualidade do ar, quanto à concentração de poluentes atmosféricos, em boa, regular, inadequada, má, péssima ou crítica (Tabela 3.11).

A Resolução CONAMA nº. 003/90, estabelece, ainda, os níveis de qualidade do ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, assim considerados, a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera, em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos (Tabela 3.12).

A Resolução CONAMA nº 382, de 26/12/2006, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, ou seja, a quantidade máxima de poluentes permissível de ser lançada para a atmosfera.

Fonte fixa de emissão é definida como qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou fugidia.

Entende-se por emissão pontual, o lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte provida de dispositivo para dirigir ou controlar seu fluxo, como dutos e chaminés; e, por emissão fugidia, o lançamento difuso na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte desprovida de dispositivo projetado para dirigir ou controlar seu fluxo.

Tabela 3.11 – Qualidade do ar adotado pela CETESB no Estado de São Paulo

Faixas	Qualidade do ar	Padrão (CONAMA)
Faixa de Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dióxido de Enxofre (SO_2)	
0-80 81-365	Boa Regular	Atende ao padrão
366-800 801-1600 1601-2100 >2101	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão
Faixa de Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Partículas Inaláveis (MP_{10})	
0-50 51-150	Boa Regular	Atende ao padrão
151-250 251-420 421-500 >501	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão
Faixa de Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	
0-100 101-320	Boa Regular	Atende ao padrão
321-1130 1131-2260 2261-3000 >3001	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão
Faixa de Concentração (ppm)	Monóxido de Carbono (CO)	
0-4,5 4,6-9,0	Boa Regular	Atende ao padrão
9,1-15,0 15,1-30,0 30,1-40,0 >40,1	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão
Faixa de Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ozônio (O_3)	
0-80 81-160	Boa Regular	Atende ao padrão
161-200 201-800 801-1000 >1001	Inadequada Má Péssima Crítica	Não atende ao padrão

Fonte: CETESB (2003)

Tabela 3.12 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar

Parâmetro	Níveis		
	Atenção	Alerta	Emergência
Dióxido de Enxofre-SO ₂ (µg/m ³) - 24h	800	1.600	2.100
Partículas Totais em Suspensão-PTS (µg/m ³) - 24h	375	625	875
SO ₂ (µg/m ³) x PTS (µg/m ³) - 24 h	65.000	261.000	393.000
Partículas Inaláveis (µg/m ³) - 24 h	250	420	500
Fumaça (µg/m ³) - 24 h	250	420	500
Monóxido de Carbono-CO (ppm) - 8 h	15	30	40
Ozônio (µg/m ³) - 1h	400	800	1.000
Dióxido de Nitrogênio-NO ₂ (µg/m ³) - 1 h	1.130	2.260	3.000

Fonte: Resolução CONAMA n°. 003, de 28/06/90.

Os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de óleo combustível e gás natural, são apresentados nas Tabelas 3.13 e 3.14.

Tabela 3.13 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de óleo combustível

Potência térmica nominal (MW)	Material particulado (MP)	NO _x ⁽¹⁾ (como NO ₂)	SO _x ⁽¹⁾ (como SO ₂)
Menor que 10	300	1600	2700
Entre 10 e 70	250	1000	2700
Maior que 70	100	1000	1800

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e 3% de excesso de oxigênio.

Fonte: Resolução CONAMA n° 382, de 26/12/2006.

Processo de geração de calor por combustão externa é o processo de queima de óleo combustível ou gás natural, realizado em qualquer forno ou caldeira, cujos produtos de combustão não entram em contato direto com o material ou produto processado.

A Resolução CONAMA n° 382/2006, estabelece que para sistemas com potência de até 10 MW (combustão a óleo combustível), poderá o órgão ambiental licenciador aceitar a avaliação periódica apenas de monóxido de carbono, sendo que neste caso, o limite máximo de emissão deste poluente será de 80 mg/Nm³.

Tabela 3.14 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão de gás natural

Potência térmica nominal (MW)	NO _x ⁽¹⁾ (como NO ₂)
Menor que 70	320
Maior ou igual a 70	200

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e 3% de excesso de oxigênio.

Fonte: Resolução CONAMA n° 382, de 26/12/2006.

Na Tabela 3.15, são apresentados os limites de emissão para poluentes atmosféricos gerados por turbinas destinadas à geração de energia elétrica, movidas a gás natural ou combustíveis líquidos, em ciclo simples ou ciclo combinado, sem queima suplementar, com potência elétrica acima de 100 MW.

Tabela 3.15 – Limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de turbinas a gás para geração de energia elétrica.

Turbina por tipo de Combustível	NO _x ⁽¹⁾ (como NO ₂)	CO ⁽¹⁾	SO _x ⁽¹⁾ (como SO ₂)	MP ⁽¹⁾
Gás natural	50	65	N.A.	N.A.
Combustíveis líquidos	135	N.A.	200	50

(1) Os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e 15% de excesso de oxigênio.

N.A. – Não aplicável.

Fonte: Resolução CONAMA n° 382, de 26/12/2006.

3.2.6. Conversão de unidades de concentração

De acordo com Calinesw apud Okano (2004), a conversão de unidades de concentração de mg/m³ para ppm é feita através da equação (3.1).

$$C(ppm) = 22,4 \frac{m^3}{kmol} \cdot \frac{T(K)}{273K} \cdot \frac{1}{PMS} \frac{kmol}{kg} \cdot e^{\frac{0,0341 \cdot xh(m)}{T(K)}} \quad (3.1)$$

Onde:

C = concentração (ppm)

h = altitude local (m)

T = Temperatura ambiente (K)

PMS = Peso molecular da substância (kg).

Segundo Okano (2004), aplicando-se a equação (3.1) em Campo Grande – MS, onde a temperatura média ambiente é de 32°C e, a altitude de 540m, o valor de 1mg/m³ equivale a: CO = 0,956 ppm; CO₂ = 0,609 ppm; NO = 0,893 ppm; NO₂ = 0,582 ppm; NO_x = 1,475 ppm; SO₂ = 0,418 ppm; O₃ = 0,558 ppm.

Para o NO_x a relação entre mg/Nm³ e ppm é: NO_x (mg/Nm³) = 1,234 ppm.

Conforme Reis Jr. (2006), a conversão de unidades de concentração de contaminantes para µg/m³, é feita por meio da equação (3.2).

$$C_{[\mu\text{g}/\text{m}^3]} = \frac{C_{[\text{ppm}]} \times P_{[\text{Pa}]} \times M_{[\text{g}/\text{mol}]}}{8.1314 \times T_{[\text{K}]}} \quad (3.2)$$

onde:

C_[µg/m³] = concentração dada em µg/m³

C_[ppm] = concentração dada em ppm

M_[g/mol] = valor da massa molecular da substância

P_[Pa] = pressão

T_[K] = temperatura em kelvin

3.2.7. Legislação ambiental referente à poluição atmosférica

I) Legislação Federal

A Lei Federal nº. 6.938, de 31/08/1981, estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismo de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do

Meio Ambiente (SISNAMA), e institui o Cadastro de Defesa Ambiental. Prevê, ainda, como instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, o zoneamento ambiental, a avaliação dos impactos ambientais, o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras e o cadastro técnico federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras dos recursos ambientais, entre outros.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA nº. 001, de 23/01/1986, estabelece critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação de avaliação de impacto ambiental (EIA/RIMA).

A Resolução CONAMA nº. 011, de 18/03/1986, altera e acrescenta incisos na Resolução CONAMA nº. 001/86, que institui o RIMA.

A Resolução CONAMA nº. 005, de 15/06/1989, institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, e dá outras providências.

A Resolução CONAMA nº. 003, de 28/06/1990, estabelece Padrões de Qualidade do Ar (padrões primários e secundários) e, amplia o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle.

A Resolução CONAMA nº. 008, de 06/12/1990, estabelece, em nível nacional, limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW (megawatts) e superiores.

A Resolução CONAMA nº. 382, de 26/12/2006, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.

II) Legislação do Estado de Mato Grosso do Sul

A Lei nº. 90, de 02/06/1980, dispõe sobre as alterações do meio ambiente, estabelece normas de proteção ambiental e dá outras providências.

O Decreto nº. 4.625, de 07/06/1988, regulamenta a Lei nº. 90, de 02/06/1980 e dá outras providências.

A Resolução SEMA/MS nº. 001, de 26/01/1989, disciplina o Serviço Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras e dá outras providências.

A Resolução SEMADES nº. 302, de 20/06/1997, altera anexos da Resolução SEMA/MS nº. 001, de 26/01/1989, da Resolução SEMA/MS nº. 009, de 19/04/1994, e dá outras providências.

3.3. Caldeiras Geradoras de Vapor

O homem, em virtude da crescente necessidade de produção, tem sido levado a aprimorar e racionalizar a transformação dos materiais, sendo que grande parte do parque fabril brasileiro, conta com o uso do vapor para essa transformação.

Segundo Arruda (1977), uma forma rudimentar de turbina a vapor chamada Eolipila, foi criada por Heron de Alexandria em 130 a.C., a qual viria provocar, séculos mais tarde, uma verdadeira revolução industrial, com a invenção da máquina a vapor.

A máquina foi aperfeiçoada por Thomas Sarveny passando a funcionar, a partir de 1705, com cilindro e êmbolo.

Em 1763, estudando a máquina, James Watt chegou a novas conclusões, terminando por inventar sua própria máquina a vapor.

Em 1782, Watt patenteou um novo modelo de máquina rotativa de ação dupla, que permitiu o aproveitamento do vapor para impulsionar toda espécie de mecanismo.

Por volta de 1800, Richard Trevithick e Oliver Evans, observando o fenômeno de alta pressão, aperfeiçoaram a engenhosa máquina, que logo teve aplicação nas locomotivas e na navegação.

As primeiras caldeiras eram feitas de cobre e ferro e trabalhavam a baixa pressão (menos de 100 psi). A partir de 1880, a utilização do aço permitiu o aparecimento de caldeiras de alta pressão.

No século XIX, as caldeiras eram quadradas. Por volta de 1862, surgiram as caldeiras cilíndricas, dotadas de três ou quatro fornalhas, reconhecidas como caldeiras Scotch ou caldeiras aquotubulares.

Para Martins (2001), geradores de vapor ou caldeiras, são equipamentos que se destinam a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, usando qualquer fonte de energia, com exceção dos refeedores e equipamentos similares utilizados em unidade de processo.

Torreira (1995) descreve caldeira a vapor como sendo um trocador de calor que produz vapor de água sob pressões superiores a da atmosférica a partir da energia térmica de um combustível e de um elemento comburente e ar, constituído por diversos equipamentos associados e perfeitamente integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível.

A Norma Regulamentadora nº. 13, aprovada pela Portaria 3.214, de 08/06/1978, do Ministério do Trabalho, com a redação atualizada pela Portaria nº. 23, de 27/12/1994, do

Secretário de Segurança e Saúde no Trabalho, no item 13.1.1, estabelece que caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refrervedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo.

As caldeiras, atualmente, são utilizadas em larga escala em várias etapas de processos industriais que necessitam de calor ou energia de pressão, tais como, indústrias de alimentos, frigoríficos, hospitais, hotéis e indústria de madeira.

No Brasil, a Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT), desde 1943, contempla a preocupação com a segurança em caldeiras. Uma das primeiras técnicas para inspeção de caldeiras foi a NB-55 que vigorou até o ano de 1975, quando sofreu a primeira revisão, com a inclusão de testes hidrostáticos. Em 1978, foi criada a norma sobre caldeiras e vasos de pressão, a NR-13, que estabeleceu as medidas de segurança para os usuários destes sistemas.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), por meio da NBR-12177 (1 e 2), e NBR-13203, dispõe sobre como fazer inspeções de segurança em caldeiras estacionárias a vapor.

As caldeiras também são utilizadas em sistemas de co-geração, onde se produz vapor para uso em processos industriais, aproveitando-se o excedente para geração de eletricidade.

3.3.1. Classificação das caldeiras

As caldeiras podem classificar-se de acordo com as classes de pressão, o grau de automatização, os tipos de energia empregada e, o tipo de troca térmica.

O Ministério do Trabalho e Emprego-MTE (2005), por meio da NR 13, item 13.1.9, classificou as caldeiras, quanto as classes de pressão, em:

- a) caldeiras da categoria A: são aquelas que apresentam pressão de operação igual ou superior a 1.960 KPa (19,98 Kgf.cm⁻²);
- b) caldeiras da categoria B: são aquelas cuja pressão de operação é maior que 588 KPa (5,99 Kgf.cm⁻²) e menor que 1.960 KPa (19,98 Kgf.cm⁻²);
- c) caldeiras da categoria C: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 KPa (5,99 Kgf.cm⁻²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros.

Na Figura 3.3, é demonstrada a classificação das caldeiras quanto às classes de pressão, segundo o MTE (2005).

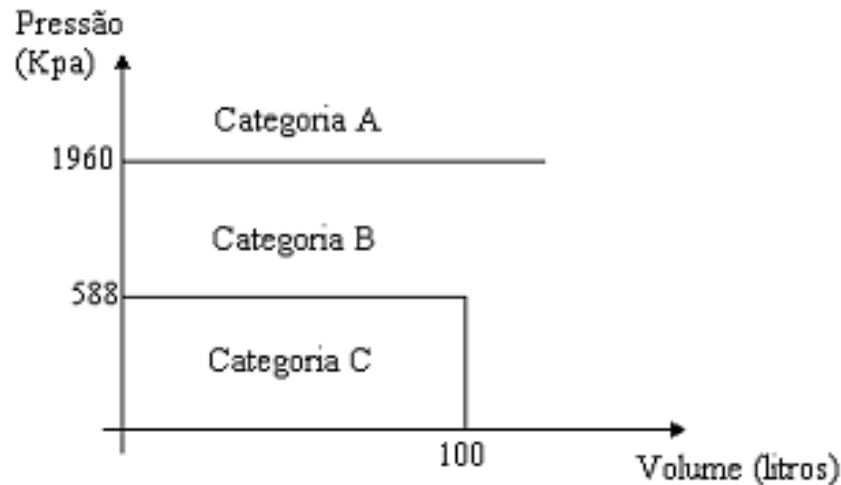


Figura 3.3 – Classificação das caldeiras quanto à classe de pressão

Quanto ao grau de automatização, classificam-se em: manuais, semi-automáticas e automáticas.

De acordo com a energia empregada para o aquecimento, as caldeiras são classificadas em: caldeiras a combustíveis convencionais (líquidos, sólidos e gasosos); elétricas (eletrodos submersos, a resistores); de recuperação (emprego de gases quentes de outros processos que liberam calor); nucleares (urânio); e, solares.

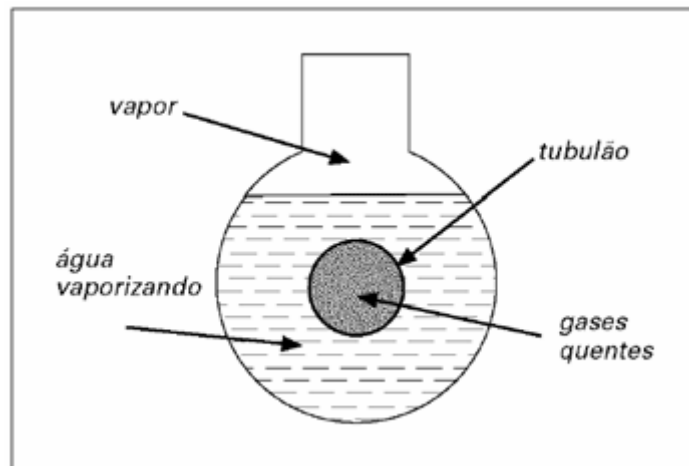
Dentre os combustíveis sólidos mais utilizados destacam-se a lenha em tora e cavaco, o carvão, o bagaço de cana, as cascas e caroços. Os combustíveis líquidos mais comuns são: óleo BPF, óleo de xisto, diesel e gorduras. Entre os combustíveis gasosos estão o gás natural e o GLP (gás liquefeito de petróleo).

De acordo com sua mobilidade, as caldeiras podem classificar-se em estacionárias ou móveis (navais, rodoviárias ou ferroviárias). Quanto à posição do costado, podem ser horizontais ou verticais.

Quanto à troca térmica, classificam-se em: flamotubulares, aquotubulares, mistas e elétricas.

I) Caldeiras Flamotubulares

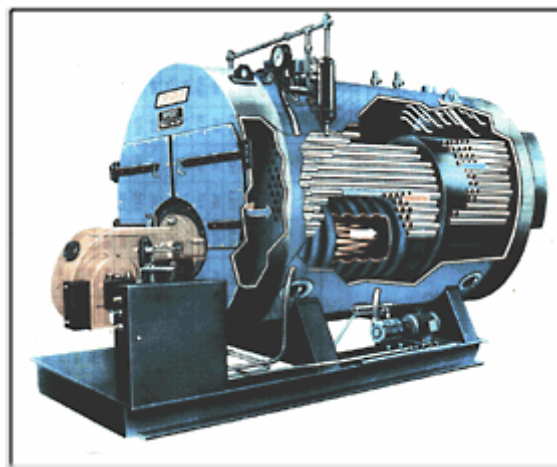
Segundo Torreira (1995), as caldeiras Flamotubulares ou Fogotubulares, são aquelas em que os gases provenientes da combustão (gases quentes), circulam no interior dos tubos, ficando por fora a água. Na Figura 3.4, apresenta-se a troca de calor numa caldeira flamotubular.



Fonte: CHD VÁLVULAS (2005)

Figura 3.4 – Troca de calor numa caldeira flamotubular

O vapor é gerado pelo calor transferido dos gases quentes da combustão, através das paredes metálicas dos tubos, para a água que fica circundando estes tubos (Figura 3.5).



Fonte: TENGE (2005)

Figura 3.5 – Caldeira Flamotubular

À medida que os gases da combustão fluem através dos tubos, eles são resfriados pela transferência de calor para a água; assim, quanto maior o resfriamento dos gases, maior a quantidade transferida de calor.

Martins (2001), afirma que as caldeiras flamotubulares são essencialmente metálicas, sendo que o processo de combustão ocorre dentro da própria caldeira, no tubo-fornalha. Os

gases quentes, após a queima do combustível, passam a percorrer os tubos internamente, fornecendo calor à água até que esta atinja a vaporização.

Este tipo de caldeira é de construção simples, podendo ter tubos de distribuição verticais ou horizontais. Nas caldeiras verticais os tubos são colocados verticalmente num corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas, chamadas espelhos. A fornalha interna situa-se no corpo cilíndrico logo abaixo do espelho inferior. Os gases de combustão sobem através dos tubos aquecendo e vaporizando a água que se encontra circundando os mesmos. As fornalhas externas são utilizadas principalmente, no aproveitamento da queima de combustíveis de baixo poder calorífico.

As caldeiras horizontais abrangem desde as caldeiras Cornuália e Lancaster, de grande volume de água, até as modernas unidades compactas.

Criada basicamente para uso marítimo, a caldeira Escocesa é o modelo de caldeira industrial mais difundido no mundo. É destinada à queima de óleo combustível ou gás, além da lenha.

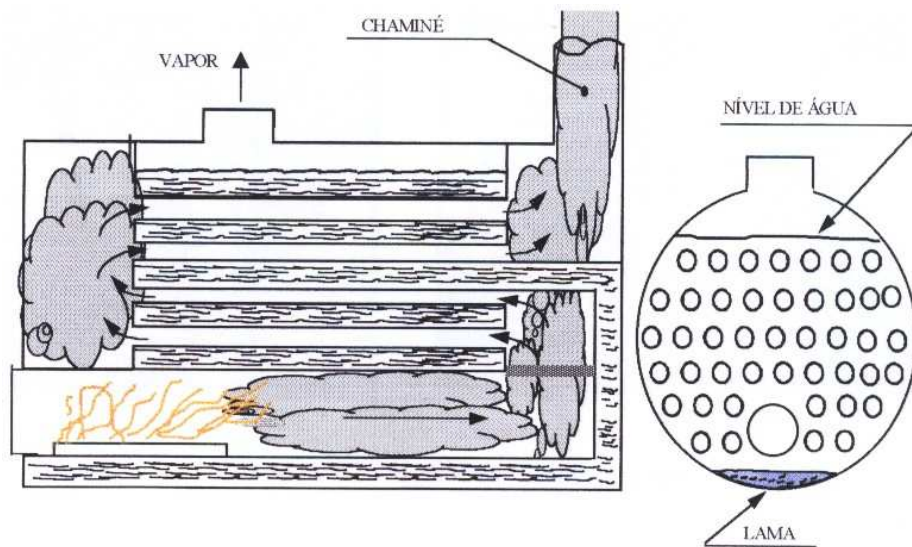
Segundo Torreira (1995), dependendo do sentido da direção dos gases em seu interior, as caldeiras podem ser classificadas em: caldeira de chama direta e caldeira com retorno de chama. Nas caldeiras de chama direta, os gases percorrem um caminho direto, desde a fornalha até os condutos de fumaça, para chegar até a chaminé. As fornalhas, as câmaras de combustão e os tubos, estão submersos na água contida no interior do invólucro, ou seja, encontram-se submetidos à pressão de vapor da caldeira.

Nas caldeiras com retorno de chama, os gases de combustão circulam em um sentido através das fornalhas e câmaras de combustão, e no sentido oposto, pelo interior dos tubos, no sentido dos condutos de fumaça e chaminé, conforme apresentado na Figura 3.6.

O uso de caldeiras flamotubulares apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

a) vantagens: custo de aquisição mais baixo; exigem pouca alvenaria por ser de construção fácil, sendo totalmente pré-fabricada; fácil de operar; atendem bem ao aumento instantâneo de demanda de vapor; não exige tratamento de água muito apurado; fácil limpeza da fuligem; e, fácil substituição de tubos;

b) desvantagens: baixo rendimento térmico; partida lenta devido ao grande volume interno de água; limitação de pressão de operação (até 20 Kgf.cm⁻²); baixa taxa de vaporização; capacidade de produção limitada; ocupam muito espaço, com relação à área de aquecimento; apresenta circulação de água deficiente; apresentam dificuldades para instalação de economizador, superaquecedor e pré-aquecedor; e, grande peso por metro quadrado de superfície de aquecimento.



Fonte: SOUZA (2001)

Figura 3.6 – Corte esquemático de uma caldeira flamotubular horizontal (escocesa) com retorno de chama

II) Caldeiras Aquotubulares

A evolução técnica das indústrias gerou a necessidade de caldeiras com maior rendimento, menor consumo, rápida produção e grandes quantidades de vapor. Baseado nos princípios da termodinâmica e na experiência com os tipos de caldeiras existentes, os fabricantes resolveram inverter o processo, trocando os tubos de fogo por tubos de água, o que aumentou a superfície de aquecimento, surgindo a caldeira aquotubular.

De acordo com Souza (2001), o princípio de funcionamento das caldeiras aquotubulares baseia-se no fato de que, quando um líquido é aquecido, as partículas aquecidas ficam mais leves e sobem, enquanto que as frias, que são mais pesadas, descem; recebendo calor elas tornam a subir, formando assim, um movimento contínuo, ocorrendo o fenômeno denominado calefação, até que a água entre em ebulição.

Segundo Martins (2001), somente com o advento das caldeiras aquotubulares tornou-se possível maiores produções de vapor a pressões elevadas e a altas temperaturas. Neste tipo de caldeira, a água circula no interior dos tubos e os gases da combustão circulam por fora.

As caldeiras aquotubulares apresentam as seguintes vantagens e desvantagens:

a) vantagens: redução do tamanho da caldeira; queda da temperatura de combustão; não há limite de pressão e de capacidade; eliminação da necessidade de uso de refratários de alta qualidade; vaporização específica maior (de 28,30 kg de vapor por m² a 50 kg de vapor por m², para caldeiras de tiragem forçada); fácil manutenção e limpeza; facilidade de inspeção nos componentes; partida rápida devido ao pequeno volume de água relativa à superfície de aquecimento; e, grande flexibilidade de operação;

b) desvantagens: exigem pessoal mais qualificado para sua operação e tratamento de água adequado e rigoroso; tem pouca capacidade no que diz respeito à demanda, devido ao relativamente pequeno volume de água; e, são de construção mais complexa que as flamotubulares; exigem sempre alvenaria.

III) Caldeiras Mistas

São caldeiras flamotubulares que possuem uma ante fornalha com parede d'água. São projetadas, normalmente, para queima de combustível sólido (lenha, bagaço de cana, etc.).

IV) Caldeiras Elétricas

Caldeira elétrica é um equipamento cujo papel principal é transformar energia elétrica em energia térmica.

Caldeiras a eletrodos submersos e a jato de água são os tipos de caldeiras elétricas mais utilizadas, sendo as caldeiras elétricas a resistores particularmente empregadas para a produção de água aquecida ou para baixas quantidades de vapor. (Martins, 2001, p. 335).

3.3.2. Principais componentes

As caldeiras são construídas com observância às normas e códigos vigentes no País e constituem-se, normalmente, de fornalha, queimadores, tubos, chaminé, boca de visita, válvulas de segurança e manômetro.

I) Fornalha

É o local destinado à queima do combustível, constituindo-se de um recinto fechado e isolado termicamente do meio externo à caldeira, que converte energia química em energia térmica.

Difere em relação ao tipo e à qualidade do combustível, vez que o sistema de abastecimento ou injeção é diferente. No caso de caldeira alimentada por combustíveis gasosos ou líquidos estes são injetados nas devidas proporções, o que permite a queima total e ainda em suspensão. Já nos casos dos combustíveis sólidos, estes são alimentados de formas variadas conforme o projeto de instalação.

As fornalhas para queima de combustíveis gasosos são simples, apresentando queimadores também simplificados, com a finalidade de fornecer o gás combustível e o comburente à câmara de combustão, posicionar a chama, misturar de forma conveniente o combustível e o ar e manter uma combustão contínua.

II) Queimadores

Os queimadores de óleo ou gás são dispositivos que proporcionam a automatização do combustível com turbulência no interior da fornalha, com o objetivo de provocar uma mistura adequada com o ar e garantir uma combustão completa.

III) Tubos

Através dos tubos ocorre a principal troca térmica entre os gases da combustão e a água a ser vaporizada. Os tubos em caldeira podem ser lisos ou espiralados.

IV) Chaminé

Componente que faz a tiragem dos gases resultantes da queima do combustível lançando-os na atmosfera, o que pode se dar de modo natural ou forçado. Natural dá-se pela diferença entre a fornalha e o topo da chaminé. Forçado, quando induzidos por ventiladores instalados na entrada da fornalha ou por exaustores na saída da chaminé.

V) Boca de Visita

São componentes utilizados para permitir a visualização e limpeza mecânica, quando possível, de partes internas da caldeira.

VI) Válvulas de Segurança

As válvulas de segurança promovem o alívio de pressão no interior da caldeira, não deixando ultrapassar a PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível), assim garante a segurança do equipamento e, por consequência, das pessoas e instalação.

A PMTA é o maior valor de pressão de vapor com a qual a caldeira pode operar.

VII) Manômetro

Instrumento utilizado para indicar ao operador a pressão interna da caldeira, garantindo que a PMTA não seja ultrapassada. Este dispositivo pode ser encontrado com indicador analógico ou digital.

3.3.3. Tratamento da água

A qualidade da água de uma caldeira é condição fundamental de segurança e durabilidade. Os sais de cálcio presentes na água são insolúveis em altas temperaturas, podendo formar incrustações nas paredes internas dos tubos de vaporização. Uma incrustação de apenas 0,1 mm de espessura atua como uma camada isolante, comprometendo a superfície de troca térmica, aumentando o consumo de combustível necessário ao aquecimento da água para possibilitar a mudança de fase, provocando, ainda, o enfraquecimento dos tubos. Coelho *et al.* (2000), afirmam que em uma caldeira que produz 400.000 kg/h de vapor, se a água contiver 0,1 ppm de carbonato de cálcio, no final de um ano, 350 kg deste sal passará pela caldeira e provavelmente uma grande quantidade será depositada nos tubos.

Óxidos de ferro e de cobre são outras impurezas cujos teores são rigorosamente controlados na água de alimentação de caldeiras de alta pressão, aceitando-se no máximo 0,01 ppm.

Outro problema operacional é a formação na parte interna dos tubos de uma película de magnetite (Fe_3O_4) pela reação do aço dos tubos com a água em elevadas temperaturas, na presença de oxigênio dissolvido na água. Esta película constitui uma barreira impermeável para possíveis oxidações futuras.

O pH é também rigorosamente controlado para se estabilizar entre 9,2 e 9,5 na água de alimentação e entre 9,6 e 10,0 dentro da caldeira.

3.3.4. Características da chama

O gás possui característica de emissão de radiação de calor diferente da chama com óleos combustíveis, possuindo comprimento de onda menor, emitindo, portanto, raios

ultravioletas, diferentes do óleo que é do tipo infravermelho. Isto altera significativamente a distribuição de temperatura no equipamento, devendo a mesma ser analisada caso a caso.

Em face desta característica, em sistemas de troca de calor a transmissão com gás natural ocorre mais por convecção do que por irradiação. Assim, em fornalhas que operam com óleo, a temperatura no final da chama se dá mais elevada, exigindo do usuário medidas preventivas para que não haja comprometimento da estrutura.

3.3.5. Requisitos da operação para caldeira utilizando o gás natural

Por tratar-se de um combustível gasoso, a utilização do mesmo requer uma série de cuidados e acessórios para garantir uma operação segura.

Os requerimentos de controle e segurança estão descritos na Norma Brasileira NBR 12313. A NBR 12313 trata do Sistema de Combustão, Controle e Segurança para Utilização de Gases Combustíveis em Processos de Baixa e Alta Temperatura.

Principais requerimentos da NBR 12313:

- a) Tubulações do Sistema de Combustão;
- b) Válvulas de Bloqueio Manual;
- c) Reguladores de Pressão;
- d) Proteção contra Alta Pressão e Baixa Pressão do Gás;
- e) Sistema de Bloqueio de Segurança;
- f) Válvula de Descarga Automática;
- g) Válvula de Alívio;
- h) Suprimento de Ar de Combustão;
- i) Visualização da Chama;
- j) Detecção de Chama;
- k) Pré-purga e Pós-purga;
- l) Ignição por Centelhamento Elétrico.

3.3.6. Utilização do vapor

Segundo Torreira (1995), o vapor produzido em uma caldeira pode, dependendo do tipo de indústria e da região, destinar-se à:

- a) processos de fabricação/beneficiamento – utilizado das mais diversas formas pelas indústrias de bebidas e conexos, laticínios, química, têxtil, de vulcanização e de recauchutagem, de petróleo e derivados, metalúrgica, madeiras, curtumes e frigoríficos;
- b) geração de energia elétrica – a energia elétrica é obtida por meio das usinas termelétricas, as quais se compõem basicamente, de um equipamento de geração de vapor superaquecido, uma turbina, um gerador elétrico e um condensador;
- c) geração de trabalho mecânico – utiliza o vapor para a movimentação de equipamentos rotativos;
- d) aquecimento de linhas e reservatórios de óleo combustível – quando se trabalha com “óleo combustível pesado”, faz-se necessário o aquecimento das tubulações e reservatórios, sob pena do mesmo não fluir livremente e também não proporcionar uma boa combustão;
- e) prestação de serviços – utilização do vapor por hospitais, indústrias de refeições e hotéis, em lavanderias, cozinha e conforto térmico.

3.4. Gás Natural

3.4.1. Histórico

Segundo Gasenergia (2005), registros antigos mostram que a descoberta do gás natural ocorreu no Irã entre 6000 e 2000 a.C e que, na Pérsia, utilizavam o combustível para manter aceso o “fogo eterno”, símbolo de adoração de uma das seitas locais. O gás natural já era conhecido na China desde 900 a.C, mas foi em 211 a.C que o país começou a extrair a matéria-prima com o objetivo de secar pedras de sal. Eram usadas varas de bambu para retirar o gás natural de poços com profundidade aproximada de 1000 metros.

Na Europa, o gás natural só foi descoberto em 1659, porém não despertou interesse à época, em virtude da grande aceitação do gás resultante do carvão carbonizado (*town gás*), que foi o primeiro combustível responsável pela iluminação de casas e ruas desde 1790. Nos Estados Unidos, o primeiro gasoduto com fins comerciais entrou em operação na cidade de Fredonia, Estado de Nova York, em 1821, fornecendo energia aos consumidores para iluminação e preparação de alimentos.

Somente no final do século XIX, o gás natural passou a ser utilizado em maior escala na Europa, devido à invenção do queimador Bunsen, em 1885 (por Robert Bunsen), que misturava ar com gás natural, e a criação de um gasoduto à prova de vazamentos, em 1890. Em virtude de os gasodutos contarem com, no máximo, 160 km de extensão, tornava-se impossível o transporte de grandes volumes a longas distâncias.

Os avanços na tecnologia de construção de gasodutos viabilizaram, no final de 1930, o transporte do gás natural para longos percursos.

A indústria do gás no Brasil iniciou-se em 1828, com o licenciamento por parte de D. Pedro I, de uma empresa para executar a iluminação das ruas da cidade do Rio de Janeiro. Em São Paulo, a iluminação iniciou-se em 1872, propiciada pela empresa inglesa denominada *The São Paulo Gás Company Ltda.*

Com as descobertas de óleo e gás na Bahia, na década de 40, iniciou-se efetivamente o uso do gás natural no Brasil, com fornecimento deste combustível às indústrias do Recôncavo Baiano.

O grande marco do gás natural ocorreu, na década de 80, com a exploração da Bacia de Campos, no Estado do Rio de Janeiro, que proporcionou um aumento no uso da matéria-prima, elevando em 2,7% a participação do gás natural na matriz energética nacional.

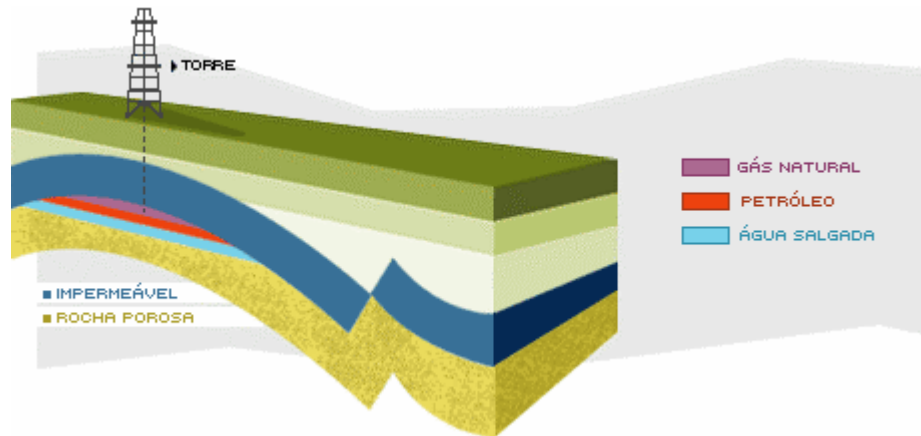
3.4.2. Gás natural

O gás natural é um combustível fóssil, de origem semelhante a do carvão e a do petróleo, resultante da decomposição de matéria orgânica (vegetal e animal) em meio carente de oxigênio e sob condições elevadas de pressão e temperatura, encontrado retido em rochas porosas no subsolo (Figura 3.7). O gás natural é uma mistura variada de gases inorgânicos e hidrocarbonetos saturados, cujo componente preponderante é sempre o metano (CH_4) e, em menores quantidades o propano (C_3H_8) e o butano (C_4H_{10}), entre outros.

Além dos hidrocarbonetos fazem parte da composição do gás natural bruto, outros componentes, tais como, o Dióxido de Carbono (CO_2), o Nitrogênio (N_2), Hidrogênio Sulfurado (H_2S), Água (H_2O), Ácido Clorídrico (HCl), Metanos e impurezas mecânicas.

Segundo Alonso (2005), gás natural (GN), é definido como uma mistura de hidrocarbonetos (contém somente hidrogênio e carbono) parafínicos leves, contendo predominantemente metano, etano, propano e outros componentes de maior peso molecular (podendo chegar à faixa do C 12+, dependendo da sua origem), que à temperatura ambiente e

pressão atmosférica permanece no estado gasoso. Apresenta normalmente baixos teores de contaminantes tais como nitrogênio, dióxido de carbono, água e compostos sulfurados, com raras ocorrências de gases nobres (hélio e argônio).



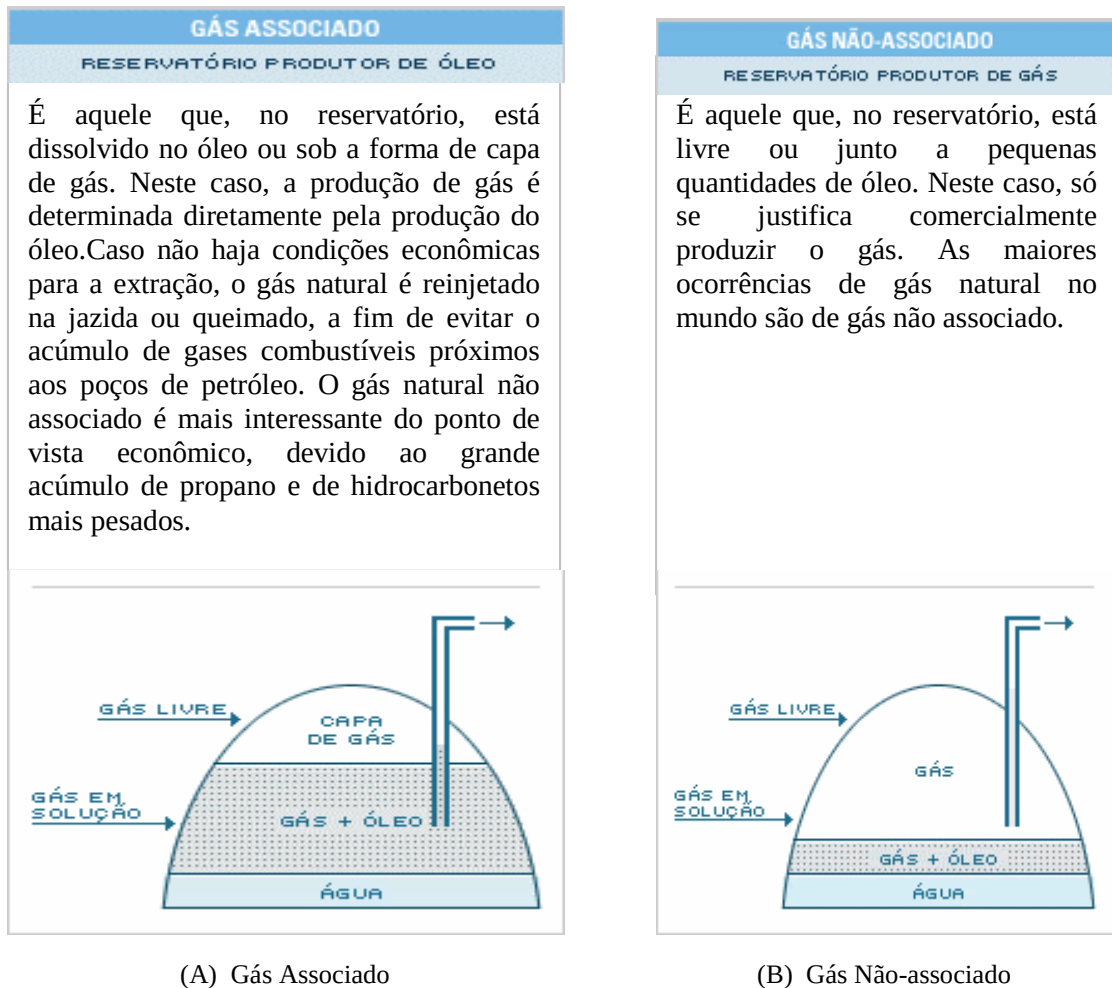
Fonte: GASENERGIA (2005)

Figura 3.7 - Gás natural

Mais leve que o ar, o gás natural dissipa-se facilmente na atmosfera em caso de vazamento. Para que se inflame, é preciso que seja submetido a uma temperatura superior a 620°C. Além disso, é incolor e inodoro, queimando com uma chama quase imperceptível. Por questões de segurança, o gás natural comercializado é odorizado com enxofre.

Quando o reservatório contém gás natural associado ao petróleo, recebe a designação de gás natural associado (Figura 3.8 A). Quando o reservatório contém pouca ou nenhuma quantidade de petróleo, o gás natural é dito não associado (Figura 3.8 B).

A composição comercial do gás natural é variada e depende da composição do gás natural bruto, do mercado atendido, do uso final e do produto gás que se deseja. Apesar da variabilidade da composição, são parâmetros fundamentais que determinam a especificação comercial do gás, o seu teor de enxofre total, de gás sulfídrico, de gás carbônico e, de gases inertes, bem como o ponto de orvalho da água e dos hidrocarbonetos, e o poder calorífico.



Fonte: GASENERGIA (2005)

Figura 3.8 - Gás natural associado e não-associado

No Quadro 3.3, são apresentadas as normas para a especificação do gás natural a ser comercializado no Brasil, de origem nacional ou importado, igualmente aplicável às etapas de comercialização e transporte desse produto, determinadas pela Agência Nacional do Petróleo – ANP, por meio da Portaria nº. 104, de 08 de julho de 2002.

A unidade básica de medida para o gás natural é o metro cúbico nas condições de 20°C e pressão de 1 atmosfera absoluta, sendo que a energia produzida pela combustão é medida em J (joules) e seus múltiplos ou o kWh (quilowatts/hora).

Quadro 3.3 – Especificação para o gás natural comercializado no Brasil

Características ⁽¹⁾	Unidades	Limites ^{(2) (3)}			Métodos de Ensaio
		Norte	Nordeste	Sul, Sudeste, Centro-Oeste	
Poder Calorífico Superior (PCS) ⁽⁴⁾	kJ/m ³ kWh/m ³	34.000 a 38.400 9,47 a 10,67	35.000 a 42.000 9,72 a 11,67	35.000 a 42.000 9,72 a 11,67	ASTM D 3588 ou ISO 6976
Índice de Wobbe ⁽⁵⁾	kJ/m ³	40.500 a 45.000	46.500 a 52.500	46.500 a 52.500	ISO 6976
Metano, mínimo	% volume	68,0	86,0	86,0	ASTM D 1945 ou ISO 6974
Etano, máximo	% volume	12,0	10,0	10,0	-
Propano, máximo	% volume	3,0	3,0	3,0	-
Butano e mais pesados, máximo	% volume	1,5	1,5	1,5	-
Oxigênio, máximo	% volume	0,8	0,5	0,5	-
Inertes (N ₂ + CO ₂), máximo	% volume	18,0	5,0	4,0	-
Nitrogênio	% volume	Anotar	2,0	2,0	-
Enxofre Total, máximo	mg/m ³	70	70	70	ASTM D 5504, ISO 6326-2 ou ISO 6326-5
Gás Sulfídrico (H ₂ S), máximo ⁽⁶⁾	mg/m ³	10,0	15,0	10,0	ASTM D 5504, ISO 6326-2 ou ISO 6326-5
Ponto de Orvalho da Água a 1 atm, Máximo	°C	-39	-39	-45	ASTM D 5454

Obs.: (1) – O gás natural deve estar tecnicamente isento, ou seja, não deve haver traços visíveis de partículas sólidas e líquidas.

(2) – Limites especificados são valores referidos a 293,15 K (20°C) e 101,325 KPa (1 atm), em base seca, exceto ponto de orvalho.

(3) – Os limites para a região Norte se destinam às diversas aplicações, exceto veicular, e para esse uso específico devem ser atendidos os limites equivalentes à região Nordeste.

(4) – O poder calorífico de referência de substância pura empregado neste Regulamento Técnico, encontra-se sob condições de temperatura e pressão equivalentes a 293,15 K, 101,325 kPa, respectivamente, em base seca.

(5) – O índice de Wobbe é calculado empregando o Poder Calorífico Superior em base seca. Quando o método ASTM D 3588 for aplicado para a obtenção do Poder Calorífico Superior, o índice de Wobbe deverá ser determinado pela fórmula constante do Regulamento Técnico.

(6) – O gás odorizado não deve apresentar teor de enxofre total superior a 70mg/m³.

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Regulamento Técnico ANP nº. 3/2002

De acordo com a Companhia Paranaense de Gás-COMPAGÁS (2005), o gás natural é composto de:

- a) Metano: 89,11%;
- b) Etano: 5,87%;
- c) Propano: 1,86%;
- d) Butano (+): 1,06%;
- e) Nitrogênio: 0,91%;
- f) Dióxido de Carbono: 1,17%;
- g) Densidade Relativa do Ar: 0,6340;
- h) Poder Calorífico Superior (PCS): 9560 kcal/m³.

Equivalência energética dos principais combustíveis:

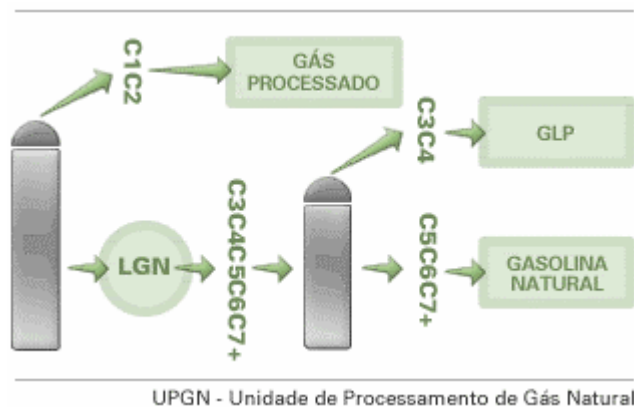
- a) 1 kg OC = 1 m³ de gás natural;
- b) 1 kg GLP = 1,25 m³ de gás natural;
- c) 1 st Lenha = 93 m³ de gás natural;
- d) 1 lt diesel = 0,92 m³ de gás natural.

O gás natural é produzido, muitas vezes, juntamente com o petróleo. Ao chegar à superfície ele é tratado para remoção de outras substâncias consorciadas, como a água e as partículas sólidas, por meio de separadores ou, ainda, para adequação do gás natural às características técnicas especificadas para o consumo. Este procedimento tem a finalidade de evitar que ocorram problemas durante a produção, transporte ou no próprio uso do produto.

O tratamento pode ser feito diretamente no poço de produção ou em plantas centralizadas e específicas. No caso de gases altamente ácidos, o tratamento é feito diretamente no poço, onde são desidratados, para evitar danos ao duto.

Na Unidade de Processamento do Gás Natural (UPGN), o gás natural passa por algumas etapas até estar pronto para a comercialização (Figura 3.9).

Segundo a Gasnet (2005), o gás natural tem amplo espectro de aplicações. Suas principais utilizações tem sido como combustível industrial, comercial, domiciliar e residencial, e na recuperação secundária de petróleo em campos petrolíferos, através de sua reinjeção. É também utilizado como matéria-prima nas indústrias petroquímica (plásticos, tintas, fibras sintéticas e borracha) e de fertilizantes (uréia, amônia e seus derivados), e para redução do minério de ferro na indústria siderúrgica.



Fonte: GASENERGIA (2005)

Figura 3.9 – Unidade de Processamento do Gás Natural

O gás natural é utilizado, ainda, como combustível na geração de eletricidade, seja em usinas termelétricas, seja em unidades industriais, instalações comerciais e de serviços, em regime de co-geração (produção combinada de vapor e eletricidade). O gás natural é a terceira maior fonte de energia primária no mundo, superado somente pelo petróleo e pelo carvão.

Nos segmentos de transporte coletivo e de cargas, a utilização do gás natural assume importância na redução de agentes poluentes.

O gás natural, sob todas as formas, é a energia mais segura, e os índices de mortes e acidentes são mais baixos que em quaisquer outras energias. A indústria de gás é também a menos perigosa, vez que não opera sistemas de altas temperaturas, como refinarias, os processos de limpeza do gás são simples e não aplica altas tensões ou correntes elétricas.

As principais características físico-químicas que conferem segurança ao gás natural são:

- a) Densidade relativa ao ar atmosférico inferior a 1: significa que o gás natural é mais leve que o ar, assim, sempre que alguma quantidade de gás natural for colocada livre no meio ambiente, esta subirá e ocupará as camadas superiores da atmosfera;
- b) Ponto de vaporização: é o ponto em que ocorre a mudança de fase do estado líquido para o estado gasoso em uma certa combinação de temperatura e pressão. À pressão atmosférica, a vaporização do gás natural ocorre à temperatura de (-162)°C;
- c) Não toxicidade: o gás natural não é quimicamente tóxico. Sua ingestão ou inalação acidental não provoca danos à saúde, vez que suas substâncias componentes são inertes no corpo humano;

d) Limites de inflamabilidade: percentagem mínima e máxima de gás combustível em composição com o ar, a partir das quais a mistura não irá inflamar-se e permanecer em combustão. O limite inferior representa a menor proporção de gás em mistura com o ar que irá queimar sem a aplicação continua de calor de uma fonte externa. O limite superior é a proporção de gás na mistura a partir da qual o gás age como diluente e a combustão não pode se auto-propagar. Os limites de inflamabilidade inferior e superior do gás natural são, respectivamente, 5% e 15% do volume;

e) Não explosividade: considerando que o gás natural não se acumula em ambientes internos, que as condições de inflamabilidade não são facilmente atingidas e que nestas condições a velocidade de propagação da combustão do gás natural é a menor entre os gases combustíveis, a ocorrência de explosões por escapamento de gás é praticamente nula.

3.4.3. Vantagens do uso do gás natural

A utilização do gás natural traz inúmeras vantagens, destacando-se:

a) Macroeconômicas: diversificação da matriz energética; fontes de importação regional; disponibilidade ampla, crescente e dispersa; redução do uso do transporte rodoviar; atração de capitais de riscos externos; melhoria do rendimento energético; maior competitividade das indústrias; geração de energia elétrica junto aos centros de consumo; não exige gasto de energia com o aquecimento para a queima; aumento da oferta de empregos; elimina o custo da estocagem;

b) Ambientais de segurança: não apresenta restrições ambientais; reduz a emissão de particulados (cinzas); redução do desmatamento; composição química constante, sem compostos pesados; dispensa a manipulação de produtos químicos perigosos; melhoria da qualidade do ar nas grandes cidades; baixíssima presença de contaminantes; não exige tratamento dos gases de combustão; rápida dispersão de vazamentos; emprego em veículos automotivos, diminuindo a poluição urbana;

c) Diretas para o usuário: redução de doenças respiratórias; maior vida útil dos equipamentos; obtenção de curvas de temperatura ideais; o calor energético queimado se aplica diretamente ao produto; dispensa aquecimento no inverno; possibilita a utilização da rede existente; fácil adaptação das instalações existentes; menor investimento em armazenamento/uso de espaço; menor corrosão dos equipamentos e menor custo de manutenção; menor custo de manuseio de combustível; menor custo das instalações;

combustão facilmente regulável; elevado rendimento energético; admite grande variação do fluxo; pagamento após o consumo; menores prêmios de seguro; custo bastante competitivo; entre outras alternativas.

O gás natural está entre os energéticos que tem menor potencialidade para impactar o meio ambiente. Sua sintonia ecológica é a maior entre os combustíveis. Seu estado natural gasoso e sua baixa densidade proporcionam uma rápida dissipação na atmosfera sem impregnar organismos minerais, vegetais ou animais. A ausência de compostos sulfurosos e nitrogenados em sua composição proporciona uma combustão livre da emissão de SO_x e com a menor taxa de emissão de NO_x entre os combustíveis. Como é um combustível no estado gasoso, sua combustão se processa da forma mais completa e a emissão de CO é baixíssima.

3.4.4. Transporte

O gás natural pode ser transportado na forma gasosa ou liquefeito. No estado gasoso, o transporte é feito por meio de dutos ou, em casos muito específicos, em cilindros de alta pressão (como GNC – gás natural comprimido).

No estado líquido (como GNL – gás natural liquefeito), é transportado por meio de navios, barcaças e caminhões criogênicos, a $(-160)^\circ\text{C}$, sendo seu armazenamento facilitado, vez que seu volume é reduzido em cerca de seiscentas vezes.

Para grandes volumes e em regime de operação contínua, por ser econômico e confiável, o ideal é utilizar-se de gasodutos que operam à pressão de 120 kgf.cm^{-2} . Este meio é o mais conveniente para realizar transporte ininterrupto de gás natural “on shore” e para distribuí-lo aos consumidores finais.

Segundo Kirchhoff (2004), a força que faz com que o transporte de gás nos gasodutos aconteça é a pressão, que gradualmente se dissipa e, sendo assim, uma série de estações de compressão são posicionadas ao longo do caminho do gasoduto. Cada estação tem um grande número de compressores que aumentam a pressão do gás, a fim de “empurrá-lo” até a próxima estação.

O gasoduto Bolívia-Brasil tem capacidade para transportar $30 \text{ Mm}^3/\text{dia}$ a uma pressão de 100 Kgf.cm^{-2} . O volume importado pela Petrobrás, em julho de 2007, atingiu $27,55 \text{ Mm}^3/\text{dia}$.

A extensão total do gasoduto Bolívia-Brasil é de 3.150 km, destes, 2.583 km estão situados em solo brasileiro e, 567 km em solo boliviano. O empreendimento liga Rio Grande

na Bolívia (a 40 km de Santa Cruz de La Sierra), a Porto Alegre/RS, passando pelos estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, atravessando quatro mil propriedades em 122 municípios. Em seu ramal tronco no Estado de Mato Grosso do Sul, a extensão do gasoduto é de 716 km, ligando os municípios de Corumbá e Três Lagoas, passando por Campo Grande.

A bitola da linha tronco do gasoduto é de 32 polegadas, sendo que, a cada 30 km, aproximadamente, possui instalações com sistema de válvula, by-pass e acessórios. No percurso do Estado, conta com cinco Estações de Compressão (ECOMP) distribuídas nos endereços das válvulas: VES-050 no município de Corumbá, VES-100 a 130 em Miranda, VES-180 em Anastácio, VES-230 a 270 em Campo Grande, VES-310 em Ribas do Rio Pardo e VES-360 a 390 no município de Três Lagoas.

O gasoduto conta com sistemas de proteção catódica em toda a sua extensão. Estações Retificadoras também fazem parte das instalações e são devidamente projetadas e executadas com malhas de aterramento e demais exigências que garantem a necessária proteção da tubulação.

As instalações das ECOMPs e algumas válvulas ao longo do gasoduto são operadas remotamente a partir da CSC (Central de Supervisão e Controle) instalada no Rio de Janeiro.

Segundo Kirchhoff (2004), dados contidos no Relatório Ambiental Preliminar (RAP) realizado pela Gás Brasileiro Distribuidora S.A., a composição do gás que vem da Bolívia é a descrita na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 – Composição do gás transportado pelo gasoduto Bolívia-Brasil

COMPONENTE	PORCENTAGEM (do volume)
Metano	91,80
Etano	5,58
Propano	0,97
I-Butano	0,03
N-Butano	0,02
Pentano	0,10
Nitrogênio	1,42
Dióxido de Carbono	0,08
T O T A L	100,00

Fonte: GÁS BRASILIANO DISTRIBUIDORA S/A (2001)

A TBG – Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil constituída em 1997, é a proprietária e operadora do gasoduto do lado brasileiro. O controle acionário da TBG é da Gaspetro, uma subsidiária da Petrobrás que tem 51%. Os outros 49% pertencem a um consórcio de sócios privados (BBPP Holdings, que reúne a britânica British Gás, a australiana BHP e, a norte-americana El Paso; Shell; Enron; e, Transredes).

O custo total do gasoduto é de US\$ 2,1 bilhões, sendo que 80% dos recursos necessários para as obras de implantação do mesmo foram obtidos por meio de financiamento (Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD; Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID; Corporación Andina de Fomento – CAF; Agências de Fomento do Japão e Itália; BNDES, entre outros).

A TBG não tem permissão para comercializar o gás natural, sendo seu único cliente, a Petrobrás, que vai vender o gás natural comprado da YPFB (Yacimientos Petrolíferos Fiscales de Bolívia) às empresas distribuidoras MSGás, Comgás, Compagás, SCgás e Sulgás.

A Companhia de Gás do Estado de Mato Grosso do Sul–MSGÁS, sociedade de economia mista, criada em 29 de julho de 1998, tem a concessão para distribuição de gás natural em todo o território do Estado de Mato Grosso do Sul. A MSGÁS tem em sua composição acionária o Governo do Estado de Mato Grosso do Sul, com 51% das ações, e a Petrobrás Gás S/A – GASPETRO, com 49%.

Na Figura 3.10, é mostrado o gasoduto Bolívia-Brasil.



Fonte: GASENERGIA (2005)

Figura 3.10 – Gasoduto Bolívia-Brasil

3.4.5. Reservas brasileiras de gás natural

Segundo a ANP (2007), as reservas provadas de gás natural, no período compreendido entre os anos de 1964 e 2006, cresceram a uma taxa média de 7,5% a.a. Este crescimento, resultado, principalmente, das descobertas ocorridas na Bacia de Campos e na Bacia do Solimões, levaram as reservas provadas de gás natural a atingir a marca de 347,9 bilhões de m³, um aumento de 13,5% em relação a 2005. As reservas totais atingiram a marca de 588,6 bilhões de m³, um acréscimo de 29,5% em relação ao ano de 2005 (Quadro 3.4).

**Quadro 3.4 – Reserva de gás natural por unidade da Federação
(bilhões de m³)**

Unidade da Federação	Reservas (2005)		Reservas (2006)	
	Provadas	Totais	Provadas	Totais
Alagoas	4.609	6.159	4.056	6.086
Amazonas	51.465	84.361	53.232	88.634
Bahia	21.767	49.469	25.743	54.755
Ceará	995	1.105	825	992
Espírito Santo	32.328	46.938	40.749	69.713
Paraná	15	821	9	370
Rio de Janeiro	145.378	197.405	164.503	274.525
Rio Grande do Norte	17.617	21.236	16.444	18.460
Santa Catarina	7	15	7	1.355
São Paulo	28.696	41.206	38.543	67.347
Sergipe	3.519	5.739	3.792	6.380
T O T A L	306.396	454.454	347.903	588.617

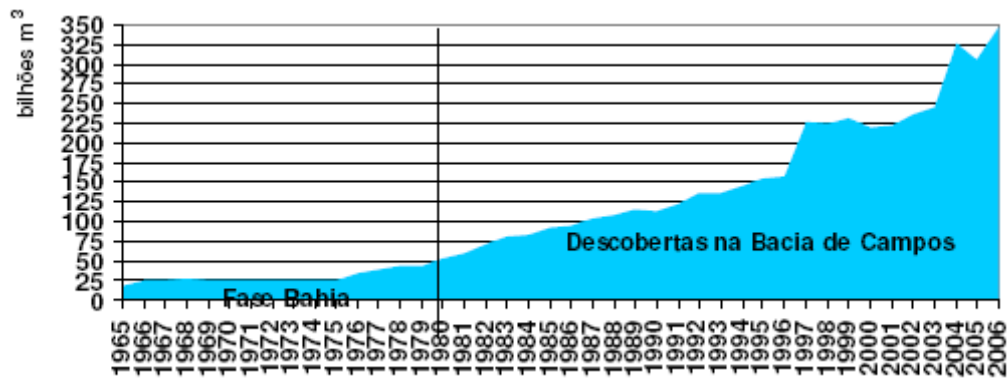
Fonte: ANP/SDP, conforme a Portaria ANP n° 9/00

OBS: 1) Reservas em 31/12 dos anos de referência;

2) Reservas totais representam o somatório das reservas provadas, prováveis e possíveis.

A Figura 3.11 mostra como se comportou a evolução das reservas brasileiras de gás natural no período de 1965-2006.

No período 1964-2006, a produção de gás natural cresceu, em média, 11,4% a.a. Em 2006, 62,3% da produção concentrou-se nos campos marítimos, situação bastante distinta daquela ocorrida até 1972, quando a produção concentrava-se nos campos terrestres, especialmente no estado da Bahia.

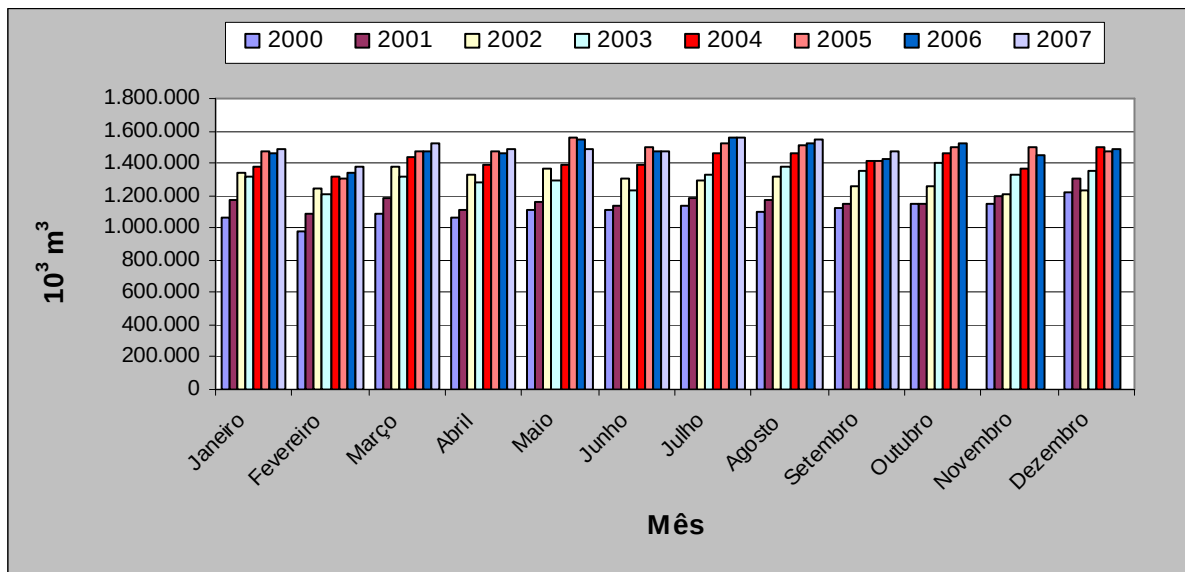


Fontes: ANP/SDP; MME

Figura 3.11 – Evolução das reservas brasileiras de gás natural 1965-2006

É importante observar que o volume de gás natural produzido não é disponibilizado em sua totalidade para venda, uma vez que parte do volume extraído é destinado a consumo próprio, queima e perda, rejeição e LGN.

De acordo com a ANP (2007) a produção média de gás natural, no mês de julho de 2007, foi de aproximadamente 50,4 milhões de m³/d. Destes 8,16 milhões de m³/d representa o consumo próprio das áreas de produção, 6,30 milhões de m³/d refere-se à queima e perda (12,50% da produção total), enquanto que 9,81 milhões de m³/d refere-se ao gás reinjetado. A Figura 3.12 demonstra a produção de gás natural no Brasil, de 2000 a 2007.



Fontes: ANP – Boletim mensal de produção submetido à ANP

Figura 3.12 – Produção mensal de gás natural total (mil m³)

Desde 2000 a oferta interna de gás natural no país tem crescido a uma taxa média de 17% a.a., muito superior, portanto, ao crescimento médio da economia brasileira (2,2% a.a.) e do crescimento médio da oferta de energia (3,3% a.a.). Esse resultado contribuiu para o crescimento da participação do gás natural na matriz energética nacional, de 5,4% em 2000 para 9,6% em 2006.

Apesar da importância do gás natural para a diversificação da matriz energética brasileira, o país tornou-se dependente quase que exclusivamente de um único fornecedor – a Bolívia.

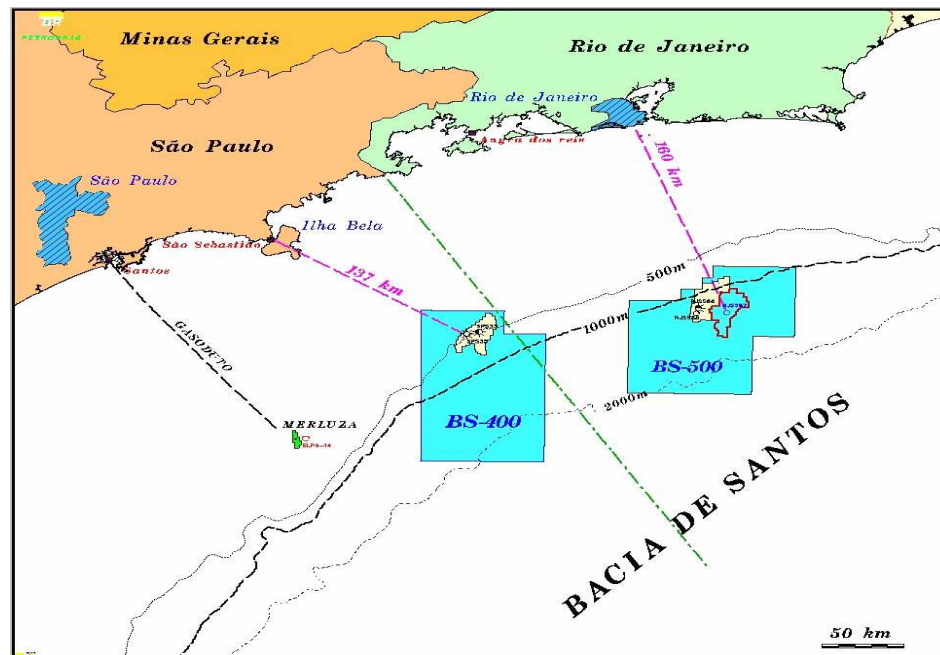
Segundo Barufi *et al.* (2006), a participação das importações no mercado brasileiro de gás natural cresceu substancialmente entre 1999 e 2005, passando de 3,3% da oferta total de gás do país para 33,7% em 2005. Em 2004, cerca de 54% de todo o gás comercializado, excluindo o voltado para usos próprios da Petrobrás, foi importado, sendo a Bolívia a principal supridora. As importações bolivianas representam mais de 80% do gás comercializado em SP, MS e toda região Sul do país.

De acordo com Bermann (2002), a ampliação da oferta de gás natural faz parte da atual política governamental que aponta para uma participação da ordem de 12% na matriz energética ao longo dos próximos anos. A solução para garantir o mercado para o gás natural que será disponibilizado através do gasoduto Bolívia-Brasil, além do proveniente da Argentina e da ampliação da produção nas bacias de Campos (RJ) e de Urucu (AM), é a priorização da utilização do gás natural como combustível para geração de eletricidade em termelétricas.

Em virtude da nacionalização das reservas de petróleo e gás natural por parte da Bolívia, a Petrobrás resolveu antecipar a produção das reservas brasileiras, de modo a diminuir a dependência do gás boliviano. Sua meta é atingir, no início de 2011, a produção de aproximadamente 74,5 milhões de m³/d, sendo a maior parte desse valor (55 Mm³/d) produzida na região Sudeste, nas bacias de Campos, Santos e Espírito Santo. Outros 12,8 Mm³/d devem ser obtidos dos campos do Nordeste.

Na Figura 3.13, apresenta-se as novas descobertas de gás natural no Brasil.

Taxas de crescimento do consumo de energia elétrica da ordem de 4,7% ao ano, criando a necessidade de novos projetos de geração da ordem de 4.330 MW por ano, são alguns dos motivos evocados pelo Ministério de Minas e Energia para justificar a criação do Programa Prioritário de Termelétricas, em 06 de fevereiro de 2000. Estas previsões faziam parte do Plano Decenal de Expansão 1999-2008, elaborado pela Eletrobrás. (Bermann, 2002, p.6).



Fonte: SANTOS (2005)

Figura 3.13 – Novas descobertas de gás natural

Estima-se que o consumo de gás natural será da ordem de 3,5 trilhões de metros cúbicos em 2010 e 4,7 trilhões em 2020, contra 2,3 trilhões em 1997, ou seja, um crescimento de 52% ou 4,2% ao ano na próxima década.

O gás natural deverá desempenhar um papel fundamental na sociedade mundial, permitindo a estruturação de uma civilização tecnológica e economicamente desenvolvida, ambiental e ecologicamente sustentável, atendendo à demanda energética industrial, comercial e residencial e à demanda de insumos da moderna indústria química e de materiais, base do progresso industrial do século XX.

A lógica da destruição do meio ambiente ou do aproveitamento sem limites dos bens naturais dos modelos de produção baseados exclusivamente na rentabilidade econômica e na otimização financeira está chegando ao fim. O novo paradigma se apóia na tecnologia para encontrar soluções efetivamente globais e justas para o binômio meio ambiente – desenvolvimento.

Este desenvolvimento sustentável tem passagem obrigatória pela transformação da matriz energética do mundo, que será bastante árdua e exigirá, antes de mais nada, a mobilização coordenada e a conscientização dos interessados.

3.5. Combustão

3.5.1. O triângulo do fogo

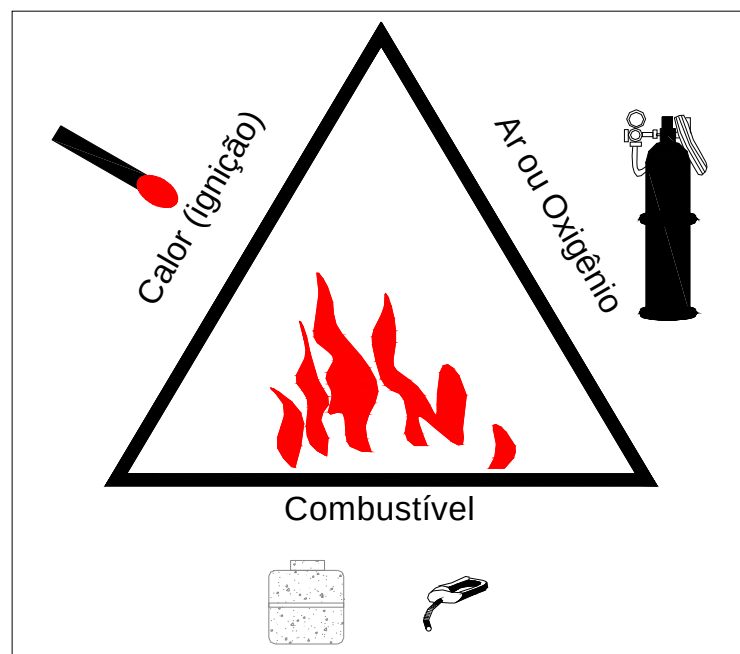
Há fogo quando há COMBUSTÃO.

Segundo Martins (2001), a combustão é um processo químico exotérmico composto de dois elementos distintos, o combustível e o comburente. Combustível é a substância, natural ou artificial, susceptível de, ao se combinar quimicamente com outra, gerar uma reação exotérmica rápida, desprendendo luz e calor. Os combustíveis são compostos basicamente de carbono e hidrogênio, contendo pequenas porcentagens de enxofre e outros elementos.

Comburente é todo elemento que, ao associar-se quimicamente ao combustível, é capaz de fazê-lo entrar em combustão (o ar atmosférico é o comburente mais utilizado, por ser a fonte mais abundante e barata de oxigênio).

Além do combustível e do comburente, uma terceira condição é necessária para que a combustão possa se processar, a temperatura de ignição, que é a temperatura acima da qual um combustível pode queimar.

O triângulo do fogo pode ser visto na Figura 3.14.

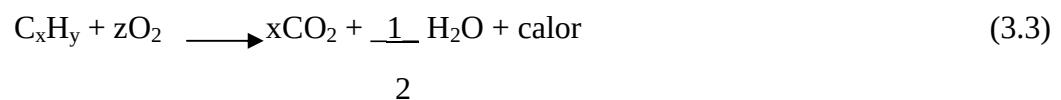


Fonte: SENAI (1995)

Figura 3.14 – Triângulo do fogo na combustão

Segundo a Gasnet (2005), combustão é a reação química do oxigênio com materiais combustíveis em cujo processo se apresenta luz e rápida produção de calor. A diferença entre a reação química de oxidação clássica (ferrugem, zinabre, alumina, etc.) e a de combustão é a velocidade com que esta última ocorre independente da quantidade de calor liberado.

De acordo com Souza (2001), combustível é a substância que queima e contém em sua composição, entre outros componentes, principalmente carbono e hidrogênio, que ao queimar em presença de oxigênio, desprendem uma grande quantidade de calor, formando gás carbônico e vapor d'água, segundo uma reação do tipo:



Onde: $z = x + \frac{y}{n}$

O resultado da queima do combustível produz calor da seguinte forma:

Carbono + Oxigênio $\longrightarrow$ Gás Carbônico + Calor

Hidrogênio + Oxigênio $\longrightarrow$ Vapor de Água + Calor.

Os combustíveis, quanto ao estado físico, são classificados em:

- a) sólidos (carvão, madeira, turfa, pólvora, etc.);
- b) líquidos (gasolina, álcool, éter, óleo, etc.);
- c) gasosos (gás natural, metano, etano, hidrogênio, etc.).

Quanto a Volatilidade, classificam-se em:

- a) voláteis – aqueles que, à temperatura ambiente, são capazes de se inflamar (álcool, éter, benzina, etc.);
- b) não voláteis – aqueles que, para desprenderem vapores capazes de se inflamar, necessitam aquecimento acima da temperatura ambiente (óleo combustível, óleo lubrificante, etc.).

O comburente normalmente encontrado na maioria das reações que geram a combustão é o oxigênio. A percentagem de oxigênio existente no ar atmosférico é de aproximadamente 21%. Quando a percentagem de oxigênio cair abaixo de 16%, o mesmo já não alimentará mais a combustão, ficando, se mantido este percentual, afastado um dos lados

do triângulo do fogo, extinguindo, conseqüentemente, o mesmo. Este método de extinção do fogo é chamado de ABAFAMENTO.

Quanto à temperatura, tem-se:

a) Ponto de fulgor – é a temperatura na qual um combustível desprende vapores suficientes para serem inflamados por uma fonte externa de calor, porém não em quantidade suficiente para manter a combustão;

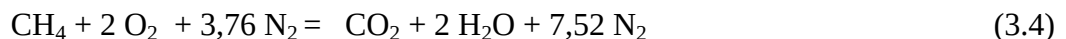
b) Ponto de combustão – é a temperatura do combustível acima da qual ele desprende vapores em quantidade suficiente para serem inflamados por uma fonte externa de calor, e continuarem queimando, mesmo quando retirada esta fonte;

c) Ponto de ignição – é a temperatura mínima na qual os vapores desprendidos por um corpo combustível provocam combustão ao entrar em contato com o ar, independente ou não da presença de qualquer fonte ígnea externa. Assim, conclui-se que, se abaixarmos a temperatura de um combustível, ou da região onde seus vapores flutuam, abaixo da sua temperatura de ignição, cessará a combustão. Este segundo método básico de extinção de incêndios é conhecido como RESFRIAMENTO. O agente universal utilizado no método do resfriamento é a ÁGUA.

3.5.2. Classificação da combustão

Pode-se classificar a combustão em:

a) Combustão Estequiométrica – é a reação de oxidação teórica que determina a quantidade exata de moléculas de oxigênio necessárias para efetuar a completa oxidação de um combustível. A reação estequiométrica da combustão do metano é:



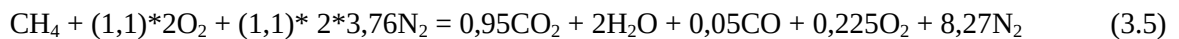
b) Combustão completa – é a reação onde todo o carbono do combustível se combina com o oxigênio, convertendo-se, integralmente, em dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O), óxidos de enxofre e nitrogênio;

c) Combustão incompleta ou parcial – nesta reação surgem produtos intermediários da combustão, em especial, o monóxido de carbono (CO) e o hidrogênio (H_2), resultado da

oxidação incompleta dos elementos do combustível. Ela pode ser induzida pela limitação na quantidade de oxigênio oferecido para a reação, pelo resfriamento ou sopragem da chama;

d) Combustão perfeita – é a combustão que, realizada com a quantidade de ar teórico ou de oxigênio (O₂) estequiométrico, resulta numa combustão completa. Por vários motivos, entre eles as características reais das reações químicas entre os elementos ou as condições técnicas dos equipamentos esta reação nunca se realiza na prática;

e) Combustão real – é a reação que ocorre, na prática, nos equipamentos combustores com maior ou menor excesso de ar e com a presença de uma quantidade mínima de produtos intermediários da combustão.



As principais reações entre os constituintes básicos dos combustíveis e o oxigênio são:

<u>Reação</u>			<u>Calor liberado (kJ/kg)</u>	
C + O ₂	=	CO ₂	32.600	(3.6)
2 CO + O ₂	=	2 CO ₂	10.100	(3.7)
2 C + O ₂	=	2 CO	9.990	(3.8)
2 H ₂ + O ₂	=	2 H ₂ O	142.120	(3.9)
S + O ₂	=	SO ₂	9.190	(3.10)

3.5.3. Relação ar/combustível

É a relação entre a quantidade de ar e a quantidade de combustível, usadas na reação de combustão. Para combustíveis sólidos e líquidos a relação é entre as massas, para combustíveis gasosos a relação é calculada entre os volumes envolvidos.

Ar teórico é a quantidade de ar atmosférico que fornece a quantidade exata de moléculas de oxigênio necessárias para efetuar a combustão estequiométrica.

Visando reduzir ao mínimo a presença dos produtos intermediários em uma combustão, tais como monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂), aplica-se uma quantidade de ar superior ao ar teórico, denominado ar real (AR), para que a abundância de oxigênio (O₂) proporcione uma reação próxima da combustão perfeita. A diferença entre o ar teórico e o ar real é denominada de Excesso de Ar, e é apresentada como uma relação percentual.

3.5.4. Tipos de combustão de combustíveis gasosos

Segundo a Gasnet (2005), os tipos de combustão de combustíveis gasosos podem ser:

- a) Atmosférica – processo de combustão utilizado na maior parte dos queimadores de uso comum, consiste em um sistema à baixa pressão de gás, até 35 mBar, em que a injeção do gás através de um venturi arrasta parte ou a totalidade do ar necessário à combustão;
- b) Catalítica – processo de combustão utilizado para produzir uma superfície emissora de radiação infravermelha de alta intensidade, consiste da queima do gás em presença de elementos catalisadores;
- c) Combustão interna e explosão – processos utilizados nos queimadores a jato e nos motores a jato ou a pistão, onde a combustão é realizada, e após compressão do ar e injeção do gás a alta pressão (até 20 bar). O motor a explosão utiliza uma mistura gás/ar e um sistema de ignição após a compressão da mistura.

3.5.5 Condições de ignição

De acordo com a Gasnet (2005), são condições de ignição:

I) Limites de inflamabilidade

Uma mistura de gás inflamável é aquela em que a chama se propaga, sendo a iniciação da chama realizada por uma fonte externa. Os limites de inflamabilidade de um combustível gasoso definem a faixa de diluição mínima e máxima do gás em ar para que a combustão possa ocorrer. Abaixo do limite mínimo a mistura não queimará sem a presença contínua de uma fonte de calor externa e, acima do limite máximo, a mistura do gás age como diluente e a chama não se propaga.

Os fatores que influenciam os limites de inflamabilidade são:

- a) Temperatura da mistura – uma elevação da temperatura inicial da mistura gás combustível ar amplia os limites de inflamabilidade, isto é, o limite inferior se reduz e o limite superior se eleva, como pode ser visto na Tabela 3.17;
- b) Pressão da mistura – os valores tabelados dos limites de inflamabilidade são obtidos para a pressão atmosférica. Próximo à pressão atmosférica os valores não variam de forma significativa. Em pressões inferiores à atmosférica a tendência é de contração da faixa de inflamabilidade, com elevação do limite inferior e redução do limite superior. Em pressões

superiores à atmosférica o limite inferior tende a permanecer estável enquanto o limite superior apresenta um crescimento.

Tabela 3.17 – Efeito da temperatura inicial do gás sobre os limites de inflamabilidade de alguns gases

Temperatura Inicial do Gás (°C)	Limites de Inflamabilidade da Mistura Ar Gás (%)			
	Metano	Hidrogênio	Monóxido de Carbono	Etileno
17	6,3 – 12,9	9,4 – 71,5	16,3 – 70,0	3,45 – 13,7
100	5,95 – 13,7	8,8 – 73,5	14,8 – 71,5	3,20 – 14,1
200	5,50 – 14,6	7,9 – 76,0	13,5 – 73,0	2,95 – 14,9
300	5,10 – 15,5	7,1 – 79,0	12,4 – 75,0	2,75 – 17,9
400	4,80 – 16,6	6,3 – 81,5	11,4 – 77,5	2,5 - ...

Fonte: Gas Engineers Handbook / SINDE

II) Temperatura de ignição ou de inflamação

É a menor temperatura na qual o calor é gerado pela combustão em velocidade superior ao calor dissipado para a vizinhança, dando à mistura condições de se auto-propagar. Abaixo desta temperatura a combustão da mistura ar gás só será contínua, mediante o fornecimento ininterrupto de calor externo.

III) Energia de ignição ou inflamação

É a energia mínima que deve ser fornecida por uma chama, centelha elétrica ou fonte de calor a uma mistura combustível, para que esta possa atingir a temperatura de ignição em algum ponto e iniciar a propagação da combustão.

IV) Auto combustão

Também chamada combustão espontânea, ocorre quando a temperatura de uma substância se eleva até atingir a temperatura de ignição. Quando toda a substância está nesta temperatura, qualquer aporte mínimo de energia gera a auto-ignição.

3.5.6. Balanços da combustão

Para a Gasnet (2005), combustão é o processo de reações químicas que se produzem durante a oxidação completa ou parcial do carbono, do hidrogênio e do enxofre contidos em um combustível. A análise destas reações é feita através de balanço de massas e de balanço térmico.

I) Balanço de massas

O balanço de massas é a análise das quantidades de ar e gás fornecidos à combustão e das quantidades de produtos de combustão escoados.

Os gases de exaustão, também denominados produtos da combustão, têm como componentes básicos o dióxido de carbono (CO_2), o vapor d'água (H_2O), o oxigênio (O_2) e o nitrogênio (N_2). Na Tabela 3.18 é apresentada como referência, a composição dos gases de exaustão para a combustão perfeita de diversos gases.

O teor ou a proporção de cada produto nos gases de exaustão é apresentado em proporção à massa total de gases ou ao volume total de gases. Neste total pode estar incluído ou não o vapor d'água, sendo, portanto, chamados teor em base seca ou em base úmida (Tabela 3.19).

II) Balanço térmico

O balanço térmico é a análise das quantidades de calor gerado e transferido na combustão, dos processos de transferência envolvidos, dos níveis de temperatura alcançados e das quantidades de calor perdidas no escoamento dos produtos de combustão.

O transporte de energia resultante de um gradiente de temperatura de um sistema ou, da diferença de temperatura entre dois sistemas, é denominado de transferência de calor. São três os mecanismos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. A transferência de calor pode ocorrer em regime permanente ou estacionário ou em regime transiente.

Poder calorífico é a quantidade de energia liberada pela combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de uma substância combustível. Em virtude da formação de água (H_2O) nos produtos da combustão, definiram-se dois valores de poder calorífico para as substâncias combustíveis:

a) Poder calorífico superior (PCS) – é a energia liberada pela combustão com a água (H_2O) dos produtos da combustão em estado líquido;

b) Poder calorífico inferior (PCI) – é a energia liberada pela combustão com a água (H₂O) dos produtos da combustão em estado de vapor.

**Tabela 3.18 – Produtos da combustão perfeita de diversos gases
(sem excesso de ar)**

Substância	Proporção em Volume (m ³ produto/m ³ combustível)				Ponto de Orva- lho (°C)	Proporção em Massa (kg produto/kg combustível)					Propor- ção de CO ₂ Volume em Base Seca (%)
	CO ₂	H ₂ O	N ₂	Total		CO ₂	H ₂ O	N ₂		Total	
Carbono						3,66		8,86		12,53	29,30
Monóxido Carbono	1,00		1,88	2,88		1,57		1,90		3,47	34,70
Hidrogênio		1,00	1,88	2,88	72		8,94	26,41		35,34	
Hidrocarbonetos Parafinados											
Metano	1,00	2,00	7,53	10,53	59	2,74	2,25	13,28		18,27	11,73
Etano	2,00	3,00	13,18	18,18	57	2,93	1,80	12,39		17,12	13,18
Propano	3,00	4,00	18,82	25,82	55	2,99	1,63	12,07		16,70	13,75
Butano	4,00	5,00	24,47	33,47	54	3,03	1,55	11,91		16,49	14,05
Pentano	5,00	6,00	30,11	41,11	53	3,05	1,50	11,81		16,35	14,24
Hexano	6,00	7,00	35,76	48,76	53	3,06	1,46	11,74		16,27	14,37
Heptano	7,00	8,00	41,40	56,40	53	3,07	1,44	11,69		16,20	14,46
Octano	8,00	9,00	47,05	63,05	53	3,08	1,42	11,65		16,15	14,80
Séries Olefinas											
Eteno	2,00	2,00	11,29	15,29	52	3,14	1,29	11,39		15,81	15,05
Propeno	3,00	3,00	16,94	22,94	52	3,14	1,29	11,39		15,81	15,05
Buteno	4,00	4,00	22,59	30,59	52	3,14	1,29	11,39		15,81	15,05
n-Penteno	5,00	5,00	28,23	38,23	52	3,14	1,29	11,39		15,81	15,05
Séries Aromáticas											
Benzeno	6,00	3,00	28,23	37,23	42	3,38	0,69	10,22		14,30	17,53
Tolueno	7,00	4,00	33,88	44,88	44	3,34	0,78	10,40		14,53	17,12
Xileno	8,00	5,00	39,52	52,52	45	3,32	0,85	19,53		14,70	16,83
Gases Diversos											
Acetileno	2,00	1,00	9,41	12,41	39	3,38	0,69	10,22		14,30	17,53
Naphtaleno	10,00	4,00	45,17	59,17	38	3,43	0,56	9,97		13,96	18,13
Álcool Metílico	1,00	2,00	5,65	8,65	64	1,37	1,13	6,64		9,14	15,05
Álcool Etilico	2,00	3,00	11,29	16,29	59	1,91	1,17	8,09		11,17	15,05
Amônia		1,50	3,32	4,82	70	1,76	1,59	7,82		11,16	
Formaldeido	1,00	1,00	3,76	5,76	57	1,47	0,60	3,55		5,61	20,99
Ácido Fórmico	1,00	1,00	1,88	3,88	66	0,96	0,39	1,16		2,50	34,70
Acetaldeido	2,00	2,00	9,41	13,41	54	2,00	0,82	6,05		8,87	17,53
	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂		CO ₂	H ₂ O	N ₂	SO ₂	Total	
Gases Sulfúricos											
Enxofre			1,00	3,76				1,66	1,50	3,16	
Sulfito de Hidrogênio		1,00	1,00	5,65	52		0,53	4,69	2,82	8,03	
Metil Mercaptan	1,00	2,00	1,00	11,29	52	0,55	0,45	3,99	1,20	6,18	9,55
Etil Mercaptan	2,00	3,00	1,00	16,94	52	0,94	0,57	5,09	1,02	7,62	12,93
Propil Mercaptan	3,00	4,00	1,00	22,58	52	1,22	0,67	5,90	0,89	8,68	14,64
Butil Mercaptan	4,00	5,00	1,00	28,23	52	1,44	0,74	6,53	0,79	9,46	15,71
Amil Mercaptan	5,00	6,00	1,00	33,88	52	1,62	0,79	7,03	0,71	10,25	16,42

Fonte: Gas Engineers Handbook / SINDE

Tabela 3.19 – Emissões de diferentes equipamentos industriais e comerciais queimando gás natural

Equipamento	Gás Natural Consumido (Nm³/h)*	Excesso de Ar de Combustão (% Vol)	Produtos da Combustão – Condição de Exaustão						Emissão de Contaminantes		
			Composição dos Gases Exaustos						Partículas (g/h)**	Aldeídos (g/h)	Óxidos de Nitrogênio (g/h)
			Gases de Exaustão (Nm³/min)*	Temperatura (°C)	Análise Orsat (Base Úmida)						
					CO₂ (% Vol)	O₂ (% Vol)	CO (% Vol)	Vapor D'água			
Caldeira(27 kw)	23,8	98	11,3	288	4,8	10,0	0,000	9,2	5,44	2,27	45,4
Gerador de Vapor (45 kw)	57,8	93	20,4	149	4,5	9,3	0,100	14,3	54,43	9,07	90,7
Caldeira (112kw)	203,9	13	51,0	304	7,4	2,3	0,200	18,3	36,29	9,07	181,4
Caldeira (112kw)	62,9	28	76,5	71	1,7	17,2	0,000	4,3	4,08	22,68	72,6
Caldeira (150kw)	120,6	94	48,1	188	4,8	9,6	0,000	10,8	7,26	13,61	72,6
Caldeira (150kw)	70,4	135	35,4	193	3,8	11,3	0,000	10,8	8,16	29,48	66,2
Caldeira (225kw)	137,6	13	34,0	227	7,8	2,3	0,010	16,6	9,07	9,07	151,5
Caldeira (225kw)	173,3	124	87,8	166	3,8	12,4	0,000	8,2	9,53	27,22	358,3
Caldeira (260kw)	305,8	72	116,1	249	5,0	8,2	0,000	13,3	20,87	63,50	771,1
Caldeira (345kw)	436,6	85	152,9	103	5,2	9,1	0,000	11,2	36,29	40,82	703,1
Caldeira (372kw)	815,5	84	325,6	316	4,8	9,0	0,000	10,9	149,69	90,72	4717,4
Caldeira (650kw)	679,6	73	260,5	249	5,0	8,1	0,020	14,6	77,11	226,80	3855,5
Aquecedor de Água	3,3	203	2,3	43	3,4	14,6	0,001	5,7	2,27	0,91	11,8
Condicionador	3,7	480	3,5	71	2,0	17,7	0,000	3,8	0,45	0,45	7,3
Estufa de Pintura	11,6	99	4,4	189	5,0	9,5	0,000	11,6	0,41	1,36	172,4
Estufa de Pintura	10,9	437	6,5	188	1,7	16,6	0,000	5,0	1,18	2,72	11,8
Forno de Cozimento	16,5	38	8,8	121	3,5	14,7	0,000	7,0	2,18	3,63	20,4
Fundição de Alumínio	32,5	6	36,8	166	18,1	1,0	0,000	20,0	33,11	0,00	72,6
Forno	17,5	67	6,8	227	5,6	9,1	0,040	5,6	1,81	1,13	10,4
Forno p/ Vidro	11,9		11,9	182	0,7	19,4	0,000	2,9	1,95	2,04	2,1
Forno Túnel	32,3	105	12,7	560	4,9	10,0	0,000	11,7	3,67	4,54	99,8
Forno para Alimento	132,5	355	31,1	310	2,7	15,7	0,000	8,1	21,77	15,88	68,0

Obs: *Condição Normal: temperatura de 15 °C e pressão de 1,0 atmosfera.

** Matéria descarregada na atmosfera contendo carbono livre ou combinado.

Fonte: Gas Engineers Handbook / SINDE

Na Tabela 3.20, é apresentado o poder calorífico de diversos gases.

Tabela 3.20 - Poder calorífico de diversos gases (combustão perfeita)

Gás Combustível	Poder Calorífico Superior (MJ/Nm³)	Poder Calorífico Inferior (MJ/Nm³)
Monóxido de Carbono	11,97	11,97
Hidrogênio	12,11	10,23
Hidrocarbonetos Parafinados		
Metano	37,72	33,96
Etano	66,08	60,44
Propano	94,03	86,52
n-Butano	121,86	112,47
iso-Butano	121,51	112,11
n-Pentano	149,77	138,50
Iso-Pentano	149,43	138,16
Neopentano	148,81	137,56
n-Hexano	177,66	164,51
Neohexano	177,35	164,20
n-Heptano	203,40	188,38
Triptano	202,87	187,86
n-Octano	233,24	216,33
iso-Octano	232,83	215,92
Séries Olefinas		
Eteno	59,75	56,00
Propeno	87,17	81,54
Buteno	114,91	107,49
Iso-Buteno	114,35	106,86
n-Penteno	142,96	133,57
Séries Aromáticas		
Benzeno	139,78	134,15
Tolueno	167,16	159,65
Xileno	194,60	185,21
Outros Gases Combustíveis		
Acetileno	55,01	53,14
Naftaleno	218,11	210,66
Álcool Metílico	32,34	28,58
Álcool Etílico	59,61	53,99
Amônia	16,43	13,56
Sulfito de Hidrogênio	24,07	22,17
Formaldeído	23,96	22,09
Ácido Fórmico	11,21	9,35
Acetaldeído	50,67	46,91
Óxido Nítrico	12,63	12,63
Teróxido de Nitrogênio	10,58	10,58

Fonte: Gas Engineers Handbook / SINDE

A diferença entre o PCS e o PCI está na quantidade de calor latente que o vapor d'água nos produtos da combustão possui, que foi fornecida pelo combustível e que não será aproveitada.

Temperatura adiabática da chama, é a temperatura teórica máxima que se pode alcançar com a mistura ar combustível em um processo de combustão adiabático, ou seja, um processo sem troca de calor dos reagentes com o meio, sem realização de trabalho ou variações de energia cinética e potencial.

A temperatura da chama atingida pela mistura ar combustível depende de vários fatores da combustão e influencia significativamente os processos de transferência de calor. A taxa de transferência de calor se eleva com a temperatura da chama, sendo a taxa de aquecimento de um objeto, diretamente proporcional à diferença de temperatura entre a chama e o objeto.

A intensidade específica da chama, é definida como a taxa de calor liberado por unidade de área da superfície da chama primária (chama no interior do cone) em $J/s\text{-cm}^2$ ou W/cm^2 . É utilizada para caracterizar a concentração de calor disponível na chama, vez que a temperatura da chama apenas indica o nível do calor e não a taxa em que este é liberado. É dada por:

$$I = \frac{V \cdot H}{A} \quad (3.11)$$

onde:

I = Intensidade específica da chama [W/cm^2 ou $J/s\text{-cm}^2$]

V = Fluxo volumétrico de mistura primária gás ar [m^3/s]

H = Poder calorífico líquido da mistura primária [J/m^3]

A = Área da superfície do cone de chama [m^2]

H e A são valores empíricos.

Denomina-se Radiação da Chama, a quantidade da energia total liberada pela combustão que se transmite por radiação térmica infravermelha, em diferentes temperaturas e com distribuição espectral (comprimento de onda) entre 1,4 e 16 microns. A radiação emitida pela combustão de um gás combustível é de baixa intensidade.

Além das perdas existentes no processo de combustão, uma perda importante ocorre na etapa de exaustão dos produtos da combustão (Calor de Exaustão). Estas perdas são funções do volume de cada produto e da sua temperatura.

As perdas ocorrem por:

- a) calor sensível que é o calor contido nos produtos que são descartados a temperaturas superiores à ambiente;
- b) calor latente contido no vapor d'água que não pode ser aproveitado sem a condensação do vapor;
- c) combustível não queimado presente nos produtos, tais como o monóxido de carbono (CO), o hidrogênio (H₂) e hidrocarbonetos.

Ponto de orvalho, é a temperatura em que se inicia a condensação do vapor d'água presente em uma massa de gases à determinada pressão. O ponto de orvalho é função da concentração do vapor d'água na massa de gases.

3.6. Poluição Sonora

Segundo Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], o som é uma perturbação mecânica do meio ambiente, devido às vibrações de um corpo emitente, que se desloca a partir de uma posição de equilíbrio. Estas vibrações provocam variações nas pressões do ar e, portanto, o som pode ser definido como resultado destas variações na pressão do ar, acima e abaixo da pressão atmosférica.

As ondas sonoras necessitam de um meio com massa e elasticidade para se propagarem – meio gasoso, líquido ou sólido. O ar é considerado como o principal meio de propagação do som.

Ruído e som são constituídos do mesmo fenômeno, porém o ruído é formado, geralmente, por uma mistura irregular e aleatória de várias frequências, não necessariamente harmônicas entre si.

Mota (2000) define ruído como um som indesejável, ou seja, desagradável ao homem. O ruído em excesso é um fato comum em grandes centros urbanos. Várias atividades desenvolvidas pelo homem, nas cidades, resultam na emissão de sons em altas intensidades, contribuindo para uma nova modalidade de poluição - a Poluição Sonora.

A intensidade do som é expressa em unidades de pressão sonora. Como os sons audíveis pelo homem compreendem um intervalo muito amplo, o que dificulta sua medição

em escala de pressão, utiliza-se uma escala logarítmica, a qual exprime o som numa unidade, chamada decibel. Considerando que a escala que representa o som de forma mais próxima ao comportamento da audição do homem é chamada Curva A, a intensidade do som é expressa em decibel A – dB (A).

Sewell (1978) afirma que o ouvido normal pode detectar pressões de som tão pequenas quanto 0,0002 microbar ou tão grandes quanto 100.000 microbares, antes que a capacidade auditiva seja destruída. Um microbar é definido como a pressão de um dina sobre um centímetro quadrado.

Mota (2000), apresenta uma escala associando diversos sons aos seus níveis, em dB (A), e aos seus efeitos (Quadro 3.5).

Quadro 3.5 - Escala de sons

Tipo de Som	Nível – dB (A)	Consequências
	140	Dolorosamente audível
Sirene de ataque aéreo	130	
Música de Rock	110	
Jato decolando (a cerca de 400m)	100	
Esquina de rua movimentada	90	Muito incômodo
Caminhão pesado (a 15m); Descarga de lixo	80	Incômodo
Aspirador de pó; Restaurante barulhento; Tráfego de auto-estrada	70	Início de danos à audição
Conversação em tom normal; Aparelho de ar condicionado (a 6m)	60	Interferência
Tic-tac de um relógio; Sussurro (a 5m)	30	Muito calmo
Barulho de folhas ao vento	20	
	10	Justamente audível
	0	Limite de audição

Fonte: Adaptado de publicações da US EPA.

Um aumento de dez decibéis no nível do som, considerando ser a escala de medição logarítmica, corresponde à sensação, para o ouvido humano, de que o mesmo dobrou de intensidade. A intensidade do som é medida por meio de um equipamento chamado decibelímetro.

3.6.1. Fontes de poluição sonora

A poluição sonora urbana já vem se arrastando e se agravando desde longa data. Os problemas nacionais do barulho vêm desde o Império, quando foi baixada a primeira Lei do Silêncio, em 06 de maio de 1824, pelo imperador D. Pedro I. Tratava-se de uma lei sábia, vez que proibia o ruído permanente, abusivo e por isso mesmo intolerável, representado pela incômoda chiadeira dos carros dentro da cidade.

Os obstáculos para o cumprimento da determinação imperial foram enormes e as chiadeiras continuaram a infernizar os pacatos moradores do período imperial e os atribulados cidadãos de nossa época, visto que a chiadeira chegou aos dias atuais, tendo sido substituída pelo bonde, outra fábrica de barulho, e após, pelos, pelos automotores.

Conforme Mota (2000) muitas atividades do homem resultam na poluição sonora principalmente nos grandes centros urbanos. Dentre as principais fontes de poluição sonora, destacam-se:

- a) atividades industriais;
- b) meios de transporte terrestre como veículos automotores, trens, metrô de superfície;
- c) tráfego aéreo;
- d) obras de construção civil: bate-estaca, serras, equipamentos pesados etc.;
- e) oficinas mecânicas, lanternagem;
- f) alto-falantes, rádios, equipamentos de som;
- g) aparelhos eletrodomésticos;
- h) restaurantes, bares, boates, pistas de dança, clubes, casas de “show” etc;
- i) outras fontes de ruído: buzinas, matracas, campainhas, sirene, apitos, morteiros, bombas etc.

3.6.2. Consequências da poluição sonora

O ruído que nos cerca pode ser simplesmente incômodo, mas pode também produzir dor física e até mesmo destruir partes do nosso corpo ou nos tornar loucos.

Segundo Pereira & Pereira [entre 1979 e 1981], são vários os fatores modificadores dos efeitos dos ruídos, entre eles pode-se arrolar:

- a) frequência: quanto mais altas mais danosas;

- b) intensidade: maior intensidade, maior dano, levando-se em conta as combinações de intensidade e frequência;
- c) tipo de ruído: os constantes prejudicam, em geral, o ouvido, e os intermitentes e flutuantes causam irritação. Isto não quer dizer que uma ação exclua a outra;
- d) tempo de exposição: o efeito do ruído está estreitamente ligado a este fato;
- e) local: o ruído em recintos fechados, com paredes lisas é mais prejudicial (devido à reverberação) do que o mesmo ruído ao ar livre;
- f) localização da fonte de ruído: fontes próximas às paredes, em centro de paredes côncavas, etc, causarão maior problema devido à reflexão do som;
- g) características individuais: como a susceptibilidade individual, lesões anteriores no aparelho auditivo, etc.

O ouvido humano não pode registrar variações de pressão além de certo limite, sem que venha a sofrer distúrbios fisiológicos. O limite de dor definido é variável segundo a frequência e corresponde a níveis sonoros compreendidos entre 110 e 130 decibéis.

Cento e quarenta decibéis é o nível sonoro máximo que os tímpanos do homem podem suportar sob pena de rompimento, sendo que o desconforto acústico, com danos para o organismo humano, começa aos 90 dB.

O ouvido humano só suporta determinado tempo, um ruído com intensidade de 85 a 90 dB, sem possíveis distúrbios fisiológicos. Portanto considera-se que ruídos acima destes valores, são traumáticos para os ouvidos.

Segundo Mota (2000), as principais conseqüências da poluição sonora são:

- a) perda gradativa da audição;
- b) incômodo; irritação; exaustão física;
- c) perturbação do sono; insônia;
- d) fadiga;
- e) problemas cardiovasculares;
- f) “stress”;
- g) aumento da adrenalina no sangue;
- h) aumento da produção de hormônios da tireóide;
- i) redução da eficiência e ocorrência de acidentes, nos locais de trabalho.

No Quadro 3.6, demonstra-se a relação dos limites de tolerância do ser humano a ruídos contínuos ou intermitentes, estabelecidos pelo Ministério do Trabalho e Emprego - MTE (2005), por meio da NR. 15: Atividades e operações insalubres.

Denomina-se fadiga auditiva a perda gradativa da audição em pessoas que ficam expostas a níveis de ruídos acima de 85 dB(A), por períodos acima dos apresentados no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Limites de tolerância para ruídos contínuos ou intermitentes

Máxima exposição diária permisível	Nível de ruído dB (A)
8 horas	85
7 horas	86
6 horas	87
5 horas	88
4 horas e 30 minutos	89
4 horas	90
3 horas e 30 minutos	91
3 horas	92
2 horas e 40 minutos	93
2 horas e 15 minutos	94
2 horas	95
1 hora e 45 minutos	96
1 hora e 15 minutos	98
1 hora	100
45 minutos	102
35 minutos	104
30 minutos	105
25 minutos	106
20 minutos	108
15 minutos	110
10 minutos	112
8 minutos	114
7 minutos	115

Fonte: MTE (2005)

3.6.3. Padrões de emissão de ruídos

Níveis máximos de ruídos para ambientes internos e externos têm sido estabelecidos, em função do tipo de uso do solo e do período de exposição aos mesmos, com o objetivo de garantir o conforto acústico ou evitar danos à saúde das pessoas.

Mota (2000) estabelece os níveis sonoros para alguns tipos de uso, em ambientes externos e internos, a serem observados nos períodos diurno e noturno (Quadro 3.7)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR - 10.152, de dezembro de 1987, fixou os níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos (Tabela 3.21).

Quadro 3.7 – Níveis sonoros recomendados para diversos usos, em dB(A)

Tipo de Uso	Ambientes Externos		Ambientes Internos	
	Período		Período	
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno
Residencial	55	50	45	40
Diversificado	65	60	55	50
Predominantemente Industrial	70	65	60	55

Fonte: Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (FOLHETO)

Tabela 3.21 – Níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico, de acordo com a NBR – 10152/87, da ABNT

Locais	Níveis – dB(A)
Hospitais Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos. Laboratórios, Áreas de uso público. Serviços.	35-45 40-50 45-55
Escolas Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho. Salas de aula, Laboratórios. Circulação.	35-45 40-50 45-55
Hotéis Apartamentos. Restaurantes, Salas de Estar. Portaria, Recepção, Circulação.	35-45 40-50 45-55
Residências Dormitórios. Salas de estar.	35-45 40-50
Auditórios Salas de concertos, Teatros. Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo.	30-40 35-45
Restaurantes	40-50
Escritórios Salas de reunião. Salas de gerência, Salas de projetos e de administração. Salas de computadores. Salas de mecanografia.	30-40 35-45 45-65 50-60
Igrejas e Templos (cultos meditativos)	40-50
Locais para esporte Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas.	45-60

Fonte: MOTA (2000)

A Resolução CONAMA nº. 001, de 08/03/1990, estabeleceu padrões, critérios e diretrizes a serem obedecidos no tocante à emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.

De acordo com esta Resolução, são prejudiciais à saúde e ao sossego público, os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR 10.151 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da ABNT (Tabela 3.22).

Tabela 3.22 – Níveis de Critério de Avaliação-NCA para ambientes externos, em dB (A)

TIPO DE ÁREA	DIURNO	NOTURNO
Área de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT- NBR 10.151, de 01/06/2000.

O nível de critério de avaliação-NCA para ambientes internos é o nível indicado na Tabela 3.22, com a correção de -10 dB (A) para janela aberta e, -15 dB (A) para janela fechada.

A NBR 10.151 estabelece que as medições no exterior das edificações que contém a fonte, devem ser efetuadas em pontos afastados aproximadamente 1,20 m do piso e, pelo menos 2,0 m do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras como muros, paredes, etc.

As medições em ambientes internos devem ser efetuadas a uma distância de, no mínimo, 1,0 m de quaisquer superfícies como paredes, teto, pisos e móveis.

Os limites de horário para o período diurno e noturno previstos na Tabela 3.22, podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população, porém, o período noturno, não deve terminar antes das 7:00 horas do dia seguinte (se dia útil) e, antes das 9:00 horas, se domingo ou feriado.

Na execução dos projetos de construção ou de reformas de edificações para atividades heterogêneas, o nível de som produzido por uma delas não poderá ultrapassar os níveis estabelecidos pela NBR 10.152 – Níveis de Ruído para Conforto Acústico, da ABNT.

3.6.4. Controle da poluição sonora

Para Mota (2000), o controle da poluição sonora deve ter como objetivo garantir que os níveis de ruído não ultrapassem os limites estabelecidos para os diversos ambientes do homem, sejam externos ou internos. Este controle é realizado das seguintes formas:

I) Controle da Emissão de Ruídos

O controle nas fontes, que visa a reduzir os níveis de emissão de ruídos, é conseguido através de procedimentos tais como:

- a) aperfeiçoamento dos equipamentos, de forma a reduzir o barulho gerado pelos mesmos;
- b) manutenção dos equipamentos: lubrificação, alinhamento de rolamentos e eixos, suportes antivibratórios;
- c) isolamento das fontes de ruídos (ex.: paredes com materiais que impeçam a propagação do som - isolantes acústicas);
- d) regulagem das descargas dos veículos;
- e) disciplinamento dos horários de funcionamento de equipamentos barulhentos.

II) Proteção dos Receptores

São medidas a serem adotadas com vistas a não permitir a exposição das pessoas a ruídos em níveis excessivos:

- a) isolamento de ambientes internos (isolamento acústico);
- b) diminuição do período de exposição ao ruído; redução da jornada de trabalho;
- c) uso de protetores auditivos individuais nos locais de trabalho;
- d) criação de barreiras à propagação dos ruídos.

III) Disciplinamento do Uso e Ocupação do Solo

Uma das medidas mais eficazes de atenuação de ruídos é o afastamento entre a fonte e a área receptora, pois, quanto maior for a distância entre elas, mais elevada será a redução do som.

Segundo a U.S. Environmental Protection Agency – EPA apud Mota (2000), a intensidade do som decresce inversamente com o quadrado da distância da fonte, isto é, cada vez que a distância da fonte de ruído dobra, a pressão do som é reduzida à metade. Esse fenômeno produz um decréscimo de seis dB cada vez que a distância da fonte é dobrada.

Uma medida a ser considerada no disciplinamento do uso e ocupação do solo de uma cidade, é a distribuição das diversas atividades considerando os afastamentos entre as fontes de ruído e os usos sensíveis (residências, hospitais, escolas, bibliotecas, etc.).

O zoneamento de uma área urbana deve ser feito de modo que os usos que resultem na emissão de sons em grande intensidade (áreas industriais, vias de grande tráfego, aeroportos, etc), fiquem adequadamente afastados dos usos sensíveis ao barulho.

Influencia, ainda, na propagação do som, a direção e velocidade dos ventos, o tipo de cobertura do solo, o arranjo das edificações, as barreiras naturais ou artificiais. Barreiras de vegetação têm sido recomendadas como uma forma de reduzir a propagação do som, apresentando melhores atenuações, aquelas que formam barreiras compactas, tipo touceiras.

Por meio da disposição adequada das vias de grande movimento, localizando-as afastadas de áreas residenciais, promove-se a redução dos ruídos dos veículos automotores.

Para diminuir o barulho nas grandes cidades, deve-se promover a melhoria do transporte coletivo e incentivar o seu uso, de forma a reduzir o número de veículos por passageiro, e proibir o tráfego de veículos pesados nas áreas onde os níveis de ruído não devem ser elevados.

3.7. Neutralização de Carbono

Os países desenvolvidos têm sérias dificuldades em reduzir suas emissões de CO₂ devido ao elevado custo. Assim, foi criada uma fórmula alternativa nos grandes centros produtivos: o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), por meio do qual os países desenvolvidos pode optar por financiar ações desta ordem nos países em desenvolvimento,

adquirindo em troca, créditos de carbono, evitando que sua competitividade seja afetada pelos custos de adequação.

Entretanto, compensação não significa o direito de poluir, e sim, a contrapartida da emissão de gases poluentes através do desenvolvimento sustentável, sendo fundamental a mudança no comportamento de todos, visando reduzir a emissão dos gases causadores do efeito estufa.

Além do MDL, existem outros dois mecanismos estabelecidos pelo Protocolo de Kioto: a Implementação Conjunta, realizado entre países desenvolvidos, podendo envolver economias em transição; e, o Mercado de Emissões, somente entre países desenvolvidos, onde um país que tenha reduzido as suas emissões a níveis abaixo da meta pode vender esse “excesso” para outro país, sendo os dois integrantes do Anexo 1 da Convenção.

Este mercado funciona através da comercialização de certificados de emissão de gases do efeito estufa em bolsas (*exchanges*), fundos ou através de *brokers*, onde os países desenvolvidos que tem que cumprir compromissos de redução da emissão desses gases, podem comprar créditos derivados dos mecanismos de flexibilização. Esse processo de compra e venda de créditos se dá a partir de projetos, que podem ser ligados a reflorestamentos, ao desenvolvimento de energias alternativas, eficiência energética, controle de emissões, e outros.

Segundo a Recycle Carbono (2007), a proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial criando um novo atrativo para redução das emissões globais. As empresas que não conseguirem (ou não desejarem) reduzir suas emissões poderão comprar Certificados de Emissões Reduzidas (CER) em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações.

De acordo com a Wikipédia (2007), Créditos de Carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE). Por convenção uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) equivalente corresponde a um crédito de carbono.

Créditos de carbono criam um mercado para a redução de GEE dando um valor monetário à poluição. Acordos internacionais como o Protocolo de Kioto determinam uma cota máxima que países desenvolvidos podem emitir. Os países ou indústrias que não conseguem atingir as metas de reduções de emissões tornam-se compradores de créditos de carbono. Aquelas indústrias que conseguirem diminuir suas emissões abaixo das cotas determinadas podem vender o excedente no mercado nacional ou internacional.

O CO₂ equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global. O potencial de aquecimento global do CO₂ foi estipulado como 1 (um). O potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior que o potencial de CO₂, portanto o CO₂ equivalente do metano é igual a 21. Assim, uma tonelada de metano reduzida corresponde a 21 créditos de carbono.

Potencial de aquecimento global dos GEE:

- CO₂ (dióxido de carbono) = 1;
- CH₄ (metano) = 21;
- N₂O (óxido nitroso) = 310;
- HFCs (hidrofluorcarbonetos) = 140 ~ 11.700;
- PFCs (perfluorcarbonetos) = 6.500 ~ 9.200;
- SF₆ (hexafluoreto de enxofre) = 23.900.

Seqüestro de carbono é um processo de remoção de gás carbônico. Ocorre principalmente em oceanos, florestas e outros organismos que, por meio da fotossíntese, capturam o carbono e lançam oxigênio na atmosfera.

Segundo Carbono Brasil (2007), a média de emissão de CO₂ por ano é igual a: 4,5 toneladas para um carro comum norte americano; 4,5 toneladas para um cidadão global comum; 1,7 toneladas para um cidadão comum brasileiro; 6,2 toneladas para a utilização média de eletricidade de uma casa comum; 21 toneladas para o cidadão comum norte americano; 1,5 milhão de toneladas para uma usina a gás de 500 MW; 6 bilhões de toneladas para os Estados Unidos como um todo; 725 bilhões de toneladas para o planeta como um todo.

3.7.1. Cálculo do fator de emissão de CO₂ por tipo de combustível

As usinas térmicas emitem CO₂ pela queima de combustível fóssil. O fator de emissão de CO₂ por unidade de combustível consumido é calculado com base no poder calorífico dos combustíveis e em fatores de emissão por unidade de energia, conforme a equação:

$$FC_c = CE_c \times FE_c \times OX_c \times 44 / 12 \quad (3.12)$$

Onde:

FC_c = fator de emissão de CO₂ por tipo de combustível

CE_c = conteúdo de energia por unidade de combustível

FE_c = fator de emissão de carbono por quantidade de energia do combustível

OX_c = fator de oxidação do combustível

A tabela 3.23 mostra os valores de conteúdo de energia, os fatores de emissão de carbono e os fatores de oxidação dos combustíveis.

Tabela 3.23 – Valor por combustível

Combustível	Unidade	Conteúdo de energia (TJ/unidade)	Fator de emissão de carbono/combustível (tC/TJ)	Fator de Oxidação
Gás natural	10^6 m^3	36,84	15,30	0,995
Óleo Combustível	$1000 \text{ t} / 10^6 \text{ l}$	40,15	21,10	0,99
Óleo Diesel	$10^6 \text{ l} / 1000 \text{ m}^3$	35,52	20,20	0,99

Fonte: Recicle Carbono (2007)

Aplicando-se a eq. (3.12) para o gás natural, o óleo combustível e o óleo diesel, obtiveram-se os seguintes resultados:

- a) $FC_{gn} = 36,84 \text{ TJ}/10^6 \text{ m}^3 \times 15,30 \text{ tC}/\text{TJ} \times 0,995 \times 44/12 = 2.056,390 \text{ tCO}_2/10^6 \text{ m}^3$;
- b) $FC_{oc} = 40,15 \text{ TJ}/1000 \text{ t} \times 21,10 \text{ tC}/\text{TJ} \times 0,99 \times 44/12 = 3.075,209 \text{ tCO}_2/1000 \text{ t}$;
- c) $FC_{od} = 35,52 \text{ TJ}/10^6 \text{ l} \times 20,20 \text{ tC}/\text{TJ} \times 0,99 \times 44/12 = 2.604,540 \text{ tCO}_2/10^6 \text{ l}$.

3.7.2. Cálculo do fator de emissão de CO_2 por usina termelétrica

O fator de emissão de CO_2 por quantidade de energia gerada por cada termelétrica é função das quantidades de combustível consumido por energia gerada e dos fatores de emissão por tipo de combustível. O fator de emissão é calculado anualmente conforme a equação:

$$FT_{jy} = \frac{\sum_e [CC_{c jy} \times FC_c]}{G_{jy}} \quad (3.13)$$

Onde:

FT_{jy} = fator de emissão de CO_2 por usina termelétrica

$CC_{c jy}$ = valores do consumo anual de combustíveis por usina (fornecidos pelo MME)

FC_c = fator de emissão de CO_2 por tipo de combustível

G_{jy} = valores de geração anual de energia elétrica por usina (consolidados pelo operador nacional do sistema elétrico – ONS)

3.8. Tempo de Retorno

O tempo de retorno é definido como o período necessário para o retorno do investimento realizado.

O PayBack é um método não exato que mede quanto tempo será necessário para que o capital investido inicialmente, retorne para o investidor.

A utilização deste método é bem aceito quando o investidor leva em consideração não a maior lucratividade possível de se obter a partir de certo investimento, mas sim o tempo mínimo possível para a recuperação do capital, em virtude de incertezas, riscos ou do surgimento de possíveis novas oportunidades.

O PB é calculado segundo a equação:

$$PB = \frac{\text{Investimento inicial}}{\sum F_n} \quad (3.14)$$

Onde:

Investimento inicial = custo do investimento inicial em Reais

F_n = fluxo de caixa anual em Reais

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido nas dependências do Núcleo de Hospital Universitário (NHU), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Campo Grande – MS, que utiliza uma caldeira geradora de vapor, do tipo flamotubular com retorno de chama.

A cidade de Campo Grande – MS, localizada na região central do Estado de Mato Grosso do Sul, de acordo com o INMET (2007), apresentou, no período de janeiro de 2006 a outubro de 2007, os seguintes fatores e elementos do clima: temperatura máxima média: 29,79 °C; temperatura mínima média: 18,28 °C; temperatura média: 22,57 °C; e, umidade relativa do ar média: 68%.

As coordenadas geográficas da caldeira, fornecidas pelo GPS de fabricação BRUNTON, modelo Multi Navigator, configurado em sistema Datum SAD 69 são: Latitude de 20° 30' 3,7" Sul; Longitude 54° 37' 8,8" oeste; e, altitude 540m.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), foi instituída nos termos da Lei Federal nº. 6.674, de 05 de julho de 1979, mediante a transformação da então Universidade Estadual de Mato Grosso (UEMT), criada pela Lei Estadual nº. 2.946, de 16 de setembro de 1969.

O NHU, onde está situada a caldeira em estudo, idealizado para dar suporte ao curso de Medicina da então UEMT, foi construído entre o final do ano de 1970 e início de 1971 e, inaugurado em 13 de março de 1971. Por falta de equipamentos, recursos humanos e, financeiros, foi fechado por quatro anos, sendo reaberto em 03 de abril de 1975, permanecendo ativo até hoje.

Com uma área física total de 36.000 m², o NHU, após várias reformas e ampliações, conta com 28.867 m² de área construída, dispõe de 296 leitos, 84 salas de ambulatório, nove salas de cirurgia, quatro salas de centro obstétrico, tendo atendido, no exercício de 2006, cerca de 103.000 consultas (ambulatórios e Pronto Atendimento Médico-PAM), 7.300 internações e 402.000 exames complementares. Tem como finalidade básica dar suporte ao ensino nos cursos de: medicina, enfermagem, farmácia-bioquímica, psicologia e odontologia, dando suporte, ainda, aos mestrados em saúde coletiva e pediatria.

A medição das concentrações dos gases de exaustão gerados na combustão da caldeira foi efetivada por meio do Analisador de Poluentes Atmosféricos marca Testo 350 XL e, os

níveis de ruídos, foram medidos por meio de um Decibelímetro marca Minipa, modelo MSL 1351. Além dos gases de exaustão, foram medidos, ainda, com o Analisador Testo 350 XL, a temperatura ambiente, a temperatura do fluido, o ponto de orvalho, a pressão atmosférica e a umidade relativa do ar. Após, os dados coletados foram comparados com os valores obtidos por Okano (2004) e, com os valores estabelecidos pela legislação vigente.

4.1. Materiais

4.1.1. Caldeira

A caldeira geradora de vapor utilizada pelo NHU, mostrada na Figura 4.1, é do tipo flamotubular com retorno de chama, semi-automática, marca ATA, modelo H-3-14, fabricada em 1983. Está localizada em um espaço de 81 m², denominado “casa de caldeiras”, juntamente com uma segunda caldeira (movida a óleo combustível), usada apenas nas ocasiões em que a caldeira principal encontra-se em manutenção.



Figura 4.1 – Caldeira flamotubular instalada no Hospital Universitário da UFMS – Campo Grande – MS

A Figura 4.2 mostra o local onde está situada a casa de caldeiras dentro do espaço físico do NHU.



Figura 4.2 – Localização da casa de caldeiras do NHU

Até julho de 2005, a referida caldeira utilizava como combustível, o óleo BPF 2A, quando foi convertida à gás natural, conforme Contrato nº 42/2005-PROPLAN/CPE, celebrado entre a UFMS e a Companhia de Gás do Estado de Mato Grosso do Sul, passando a operar definitivamente com este combustível a partir de dezembro/05.

O vapor gerado pela caldeira é utilizado na lavanderia (70% da produção); na nutrição (20% da produção); e, para aquecimento e esterilização (10% da produção).

Apresenta pressão tipo B – pressão de operação superior a 6 kgf.cm^{-2} ; e inferior a 20 kgf.cm^{-2} .

Funciona com seis operadores, por um período de 16 horas/dia (das 6:00 às 22:00 horas), durante 30 dias. Três operadores trabalham no período diurno, sendo dois com carga horária de 12h x 36h, e um com carga horária de 44 horas/semanais. É pré-requisito para contratação no cargo, possuir 2º grau completo e curso para operação e segurança em caldeira, assim como possuir experiência profissional registrada em carteira.

Com uma capacidade de produção de vapor tipo saturado de 2000 kg/h, em uma área de superfície de vaporização de 62 m², possui uma pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) de 10,55 kgf.cm⁻²; uma pressão de trabalho de 8,00 kgf.cm⁻² (classe B); e, uma pressão de prova de 15,82 kgf.cm⁻².

No Quadro 4.1, são apresentadas as características mecânicas da caldeira em estudo.

Quadro 4.1 – Características da caldeira flamotubular do NHU

Sistemas	Características/Medidas
De alimentação de combustível: - combustível utilizado na partida - combustível utilizado durante funcionamento - consumo máximo de combustível - tipo de combustor/queimador - temperatura do gás	Gás natural Gás natural 20.000 m ³ /mês Atomizador Ambiente
De alimentação de ar e exaustão de gases: - tipo de alimentador de ar - temperatura de ar primário - temperatura na base da chama - diâmetro da chaminé - altura da chaminé - soprador de fuligem - equipamento controle de emissão de gases	Ventilador Ambiente 250 °C 0,40 metros 3,5 metros Não Não possui
De alimentação de água - fonte de captação água de alimentação - capacidade do reservatório - altura do reservatório - temperatura de alimentação da água - desaerador - condensado - temperatura do condensado - tratamento da água (dosador c/ bomba d'água)	Poço artesiano 4.000 litros 4 metros 20 °C Não Possui É reaproveitado (50%) 80 °C Possui

Fonte: Manual da caldeira ATA

Possui alarmes de nível de água, sendo que a bomba é ligada e desligada automaticamente, assim como o pressostato de alta/baixa, que liga e desliga o queimador.

O vapor não aproveitado retorna na forma líquida, com temperatura em torno de 80°C, ficando armazenada em um reservatório térmico, localizado logo abaixo do reservatório de água fria, nos fundos da casa de caldeiras. Essa água é utilizada para nova produção de vapor, diminuindo o consumo de combustível e o tempo gasto na geração de vapor.

A água que alimenta a caldeira possui adição de produto químico, sendo a análise da mesma realizada, mensalmente, por uma empresa terceirizada, contratada via processo licitatório, sendo feita descarga de fundo, automática, a cada duas horas, por dez segundos.

As manutenções da caldeira sempre foram realizadas regularmente, entretanto, no período de realização do presente estudo, somente as manutenções corretivas estavam sendo realizadas. A casa de caldeiras possui equipamentos de segurança e a caldeira é inspecionada, anualmente, pelo Ministério do Trabalho.

A UFMS segue a norma ABNT - NR 13, que regulamenta o uso de Caldeiras e Vasos de Pressão.

Em que pese haver passado por uma reforma geral no ano de 2003, a caldeira vinha operando de forma precária durante a realização do presente estudo. Em inspeção periódica de segurança realizada em março de 2007, a empresa responsável encontrou uma série de anomalias, entre as quais, a falta de manutenção em vários itens de segurança e acessórios, recomendando a paralisação da caldeira até a resolução dos problemas apresentados. A caldeira continuou em funcionamento, tendo sido desligada no dia 12/06/07, data da última medição realizada.

4.1.2. Analisador de poluentes atmosféricos

As concentrações dos gases emitidos na combustão pela caldeira a gás natural do NHU, foram medidas por meio do Analisador de Poluentes Atmosféricos da marca TESTO, modelo 350 XL, de fabricação alemã, mostrado na Figura 4.3.



Figura 4.3– Analisador de poluentes atmosféricos da TESTO – 350 XL.

As especificações técnicas do equipamento são fornecidas nos Quadros 4.2 e 4.3.

Quadro 4.2 – Dados técnicos na medição de O₂ e CO do Analisador de Poluentes Atmosféricos TESTO – 350 XL

Tipo de Sonda	Medição de Temperatura	Medição de O ₂	Medição de CO (H ₂ Compensado)	Medição CO (Baixo)
Faixa de medição	-40 a 1200°C	0 a 25 Vol (%)	0 a 10.000 ppm	0 a 500 ppm
Exatidão ± 1 dígito	± 0,5% de v.m. (100 a 1200°C) ± 0,5 °C (-40 a 99,9°C)	± 0,8% de v.f. (0 a 25 Vol%)	± 5% de v.m. (200 a 2000 ppm) ± 10% de v.m. (2001 a 10.000 ppm) ± 5 ppm (0 a 99 ppm)	± 5% de v.m. (40 a 500 ppm) ± 2 ppm (0 a 39,9 ppm)
Resolução	0,1°C (-40 a 1200°C)	0,1% Volume (0 a 25 Vol%)	1 ppm (0 a 10.000 ppm)	0,1 ppm (0 a 500 ppm)
Tempo de resposta	-	20s	40s	40 s

Onde: v.m. – volume máximo.

v.f. – volume fracionado.

Fonte: Manual Testo 350 XL, Testo 454.

Quadro 4.3 – Dados técnicos na medição de CO₂, NO e NO₂ do Analisador de Poluentes Atmosféricos TESTO – 350 XL

Tipo de Sonda	Medição de CO ₂	Medição de NO	Medição de NO (Baixo)	Medição de NO ₂
Faixa de medição	0 a 50 Vol.(%)	0 a 3.000 ppm	0 a 300 ppm	0 a 500 ppm
Exatidão ± 1 dígito	± 0,3 Vol.(%) 1% de v.m. (0 a 25 Vol%) ± 0,5 Vol.(%) 1,5% v.m. (>25 a 50 Vol%)	± 5% de v.m. (100 a 1.999,9 ppm) ± 10% de v.m. (2.000 a 3.000 ppm) ± 5 ppm (0 à 99 ppm)	± 5% de v.m. (40 a 300 ppm) ± 2 ppm (0 a 39,9 ppm)	± 5% de v.m. (100 a 500 ppm) ± 5 ppm (0 a 99,9 ppm)
Resolução	0,01 Vol.(%) (0 a 25 Vol%) 0,1 Vol.(%) (>25 Vol%)	1 ppm (0 a 3.000 ppm)	0,1 ppm (0 a 300 ppm)	0,1 ppm (0 à 500 ppm)
Tempo de resposta	20s	30s	30s	40s

Onde: v.m. – volume máximo.

v.f. – volume fracionado.

Fonte: Manual Testo 350 XL, Testo 454.

Dados técnicos adicionais do Analisador TESTO – 350XL:

- a) memória: 250.000 leituras;
- b) alimentação: 90 à 260 V (47 à 63 Hz) ou Bateria recarregável
- c) corrente: 0,5A (110 VAC) e 0,3A (230 VAC);
- d) cálculo de ponto de orvalho: 0 à 99°C;
- e) pressão máxima positiva: 50 hPa (500 mca);
- f) pressão máxima negativa: 200 hPa (2000 mca);
- g) fluxo da bomba: 0,8 m/s com fluxo monitorado;
- h) carga máxima de poeira: 20 g.m⁻³ de poeira no tubo;
- i) carga máxima de umidade: 70°C (temperatura do ponto de orvalho na entrada);
- j) fatores de diluição para CO: 0, 2, 5, 10, 20, 40;
- k) gás de diluição: ar limpo ou N₂;

- l) exatidão: 2% para leituras maiores que as máximas;
- m) medidas: 305 x 275 x 95 mm;
- n) peso: 3.200 g.

O Analisador de Poluentes Atmosféricos marca Testo, é composto de dois equipamentos em um, Testo 350 XL e Testo 454. Juntos constituem um instrumento de medição para medidas sensíveis em um processo térmico complexo,

O sistema de medição do equipamento Testo 350/454 é flexível, operando com unidades individuais ou combinadas entre si, que podem ser adquiridas separadamente, dependendo do uso que se pretenda.

A Unidade de Controle (Testo 454) é um instrumento portátil de medição em cuja entrada para a sonda podem se conectar quase todas as demais sondas da Testo. Possui visualizador gráfico, sendo que as leituras podem ser impressas, simultaneamente, ou armazenadas na memória interna do equipamento.

Ao equipamento podem ser acopladas uma ampla categoria de sondas, que permitem medir, com precisão, temperatura, umidade, velocidade, turbulência, pressão, rpm, corrente e voltagem. É operado por meio de um teclado e um sistema de menu guiado que depende da sonda utilizada. As funções mais freqüentes se executam diretamente com as teclas de funções.

A Caixa Analisadora Testo 350 XL, mede todos os parâmetros de um processo de combustão (O_2 , CO , CO_2 , NO , NO_2 , NO_x), dependendo dos componentes acoplados (inclusive do tipo de célula adquirida). Os dados medidos são visualizados na Unidade de Controle, por meio da qual se pode acessar e controlar a Caixa Analisadora.

O analisador mede as concentrações dos gases por células eletroquímicas, com exceção de CO_2 e Hidrocarbonetos não-queimados. Para o primeiro, pode ser usada uma célula de infravermelho não dispersivo ou, caso contrário, o que é mais comum, por cálculo, a partir da leitura de oxigênio. Para o segundo, usa-se uma célula catalítica.

Calibração do aparelho

O analisador foi calibrado pelo fabricante, em dezembro de 2006, tendo essa calibração, garantia de dois anos.

4.1.3. Decibelímetro

Para a medida do nível de ruído sonoro emitido pela caldeira, utilizou-se o Decibelímetro marca MINIPA, modelo MSL 1351C, apresentado na Figura 4.4.



Figura 4.4 - Decibelímetro MINIPA, modelo MSL 1351C

O decibelímetro é um instrumento digital portátil, com LCD de quatro dígitos com resolução de 0,1 dB, que opera em conformidade com as normas IEC-651, tipo 2 e, ANSI S1.4 tipo 2. Quanto à segurança, segue a norma EMC (CE).

O equipamento é alimentado por uma bateria de 9V, e trabalha em um ambiente de operação de 0° a 40°, RH < 90%, altitude < 2.000 m; e em um ambiente de armazenamento de -10°C a 60°C, RH < 75%. Possui Display cuja atualização é de 0,5s.

O decibelímetro trabalha nas faixas de 30dB – 80dB (baixa), 50dB – 100dB (média) e 80dB – 130dB (alta), tendo faixa dinâmica de 50dB.

Sua precisão varia em torno de $\pm 1,5$ dB (94dB/1kHz), apresentando duas ponderações equivalentes de nível de pressão sonora, A e C. Trabalha nas faixas de frequência de 31,5Hz a 8kHz, podendo apresentar Resposta Lenta (1s) ou Rápida (125ms).

A função alarme mostra quando a intensidade de ruído medida está abaixo (UNDER) ou acima (OVER) da faixa mensurável. A função máximo/mínimo (MAX/MIN), congela leituras máximas e mínimas, apresentando saídas de sinais AC e DC. A saída AC, com 1V (RMS) no fundo de escala (limite superior de cada faixa), impedância de saída aproximada de 50 Ω e, a saída DC, com 10mV/dB, impedância de saída aproximada 100 Ω . Possui, ainda, microfone de Eletreto de 1/2".

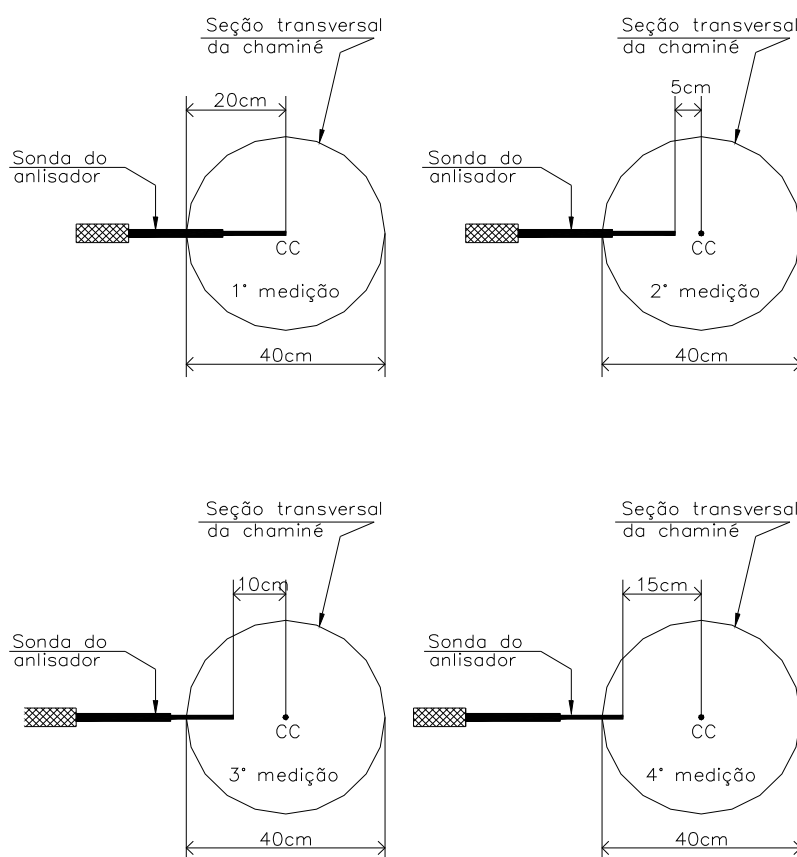
4.2. Métodos

O presente estudo caracteriza-se como pesquisa bibliográfica e de campo, utilizando dados secundários e primários.

4.2.1. Medida da concentração dos poluentes atmosféricos

A identificação da concentração dos poluentes atmosféricos gerados pela caldeira do NHU, movida a gás natural, foi realizada no período de fevereiro a junho do ano de 2007.

Para que os resultados identificados por Okano (2004) quando a caldeira era movida a óleo combustível BPF 2A pudessem ser comparados com os resultados deste estudo, as medições foram realizadas nos mesmos locais e distâncias promovidas, ou seja, no interior da chaminé da caldeira (no centro, a 5 cm do centro, a 10cm do centro e, a 15 cm do centro), conforme mostrado na Figura 4.5; na base da chaminé; e, a 10m da base da chaminé.



Fonte: OKANO (2004)

Figura 4.5 – Detalhe esquemático da seção transversal da chaminé, com o os pontos onde foram medidas as concentrações de poluentes atmosféricos

A chaminé da caldeira, confeccionada em chapa de 6,0mm, com diâmetro de 40 cm, mede 3,5m de altura e possui proteção contra chuva no topo (chapéu chinês). O tubo, acoplado à caldeira, atravessa a parede da casa de caldeiras, na horizontal, a uma altura de 2,50m do piso acabado, saindo para o ambiente na vertical, sendo os gases de exaustão liberados a uma altura de 6,0m do solo.

Para coleta dos poluentes atmosféricos dentro da chaminé, fez-se um orifício de cerca de 10mm de diâmetro na mesma, logo acima da curva de saída na vertical, a uma altura de 3,30m do piso acabado. A escolha do local para introdução da sonda coletora levou em consideração a informação dos operadores da caldeira de que, nessa posição, a concentração dos poluentes seria muito próxima à concentração coletada na boca da chaminé. A coleta não foi realizada na boca da chaminé, em virtude de a mesma estar situada a 6,0m de altura, a dificuldade de acesso e, ainda, a fragilidade das telhas (amianto), que recobrem a casa de caldeiras.

Para medir a concentração dos gases na base da chaminé e, a 10m da chaminé, utilizou-se o mesmo equipamento (Testo 350 XL), com a sonda posicionada a 1,50m de altura do solo. A escolha da altura do posicionamento da sonda, deveu-se ao fato de ser esta a altura utilizada por Okano (2004) em suas medições, corroborada com o fato de a Instrução Técnica para Aplicação da Norma Brasileira NBR 10.151 da CETESB (2000) estabelecer, para medida de ruídos em ambientes externos e internos, o posicionamento do microfone a uma altura entre 1,20m e 1,50m acima do solo/piso.

Diferentemente de Okano (2004), que coletou os dados apenas nos fundos da casa de caldeiras, neste estudo, a concentração dos gases a 10m da chaminé, foi coletada nos quatro quadrantes (norte, sul, leste e oeste), a partir da localização da mesma.

Os resultados apresentados, tanto dentro da chaminé, quanto a 10m da chaminé, correspondem à média aritmética dos valores medidos.

Quando funcionando normalmente, a caldeira, ao atingir a pressão de 8,5 kgf.cm⁻², entra em “stand by”, permanecendo neste estado até que a pressão alcance cerca de 5,5 kgf.cm⁻², quando a mesma volta a ser acionada. Durante as medições, a caldeira não estava atingindo esse estado (“stand by”), pois havia sido programada para operar em fogo baixo, ficando ligada durante todo período de funcionamento. Isso influenciou na escolha dos horários para realização das medições, visto que mesmo em horário de pico (horário de maior consumo de vapor), a geração do vapor não oscilava. Assim, optou-se por realizar duas medições, uma no período da manhã e outra no período da tarde.

A Figura 4.6 mostra os locais onde foram realizadas as medições dos poluentes atmosféricos.

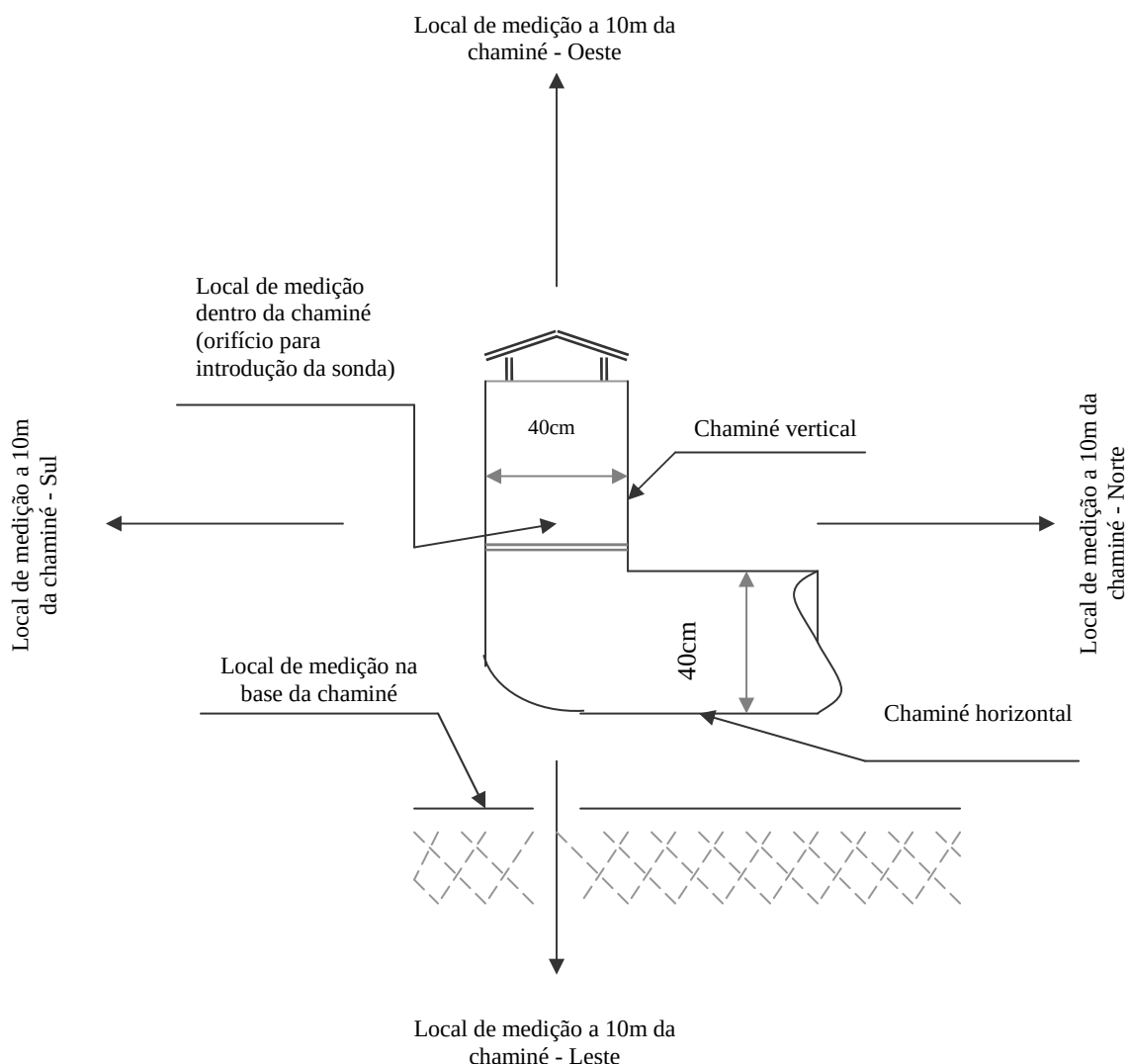


Figura 4.6 – Localização dos pontos de coleta dos poluentes atmosféricos

Para avaliação dos poluentes atmosféricos, foram realizadas trinta medições, sendo 16 no período matutino e, 14 no período vespertino (no interior da chaminé, na base da chaminé e, a 10m da base da chaminé).

4.2.2. Medida do nível de ruído

Quanto ao nível de ruído, foram efetuadas 50 medições no período de dezembro de 2005 a maio de 2006, sendo 24 no período matutino e 26 no período vespertino.

As medições dos níveis de ruídos foram feitas de acordo com o estabelecido pela Instrução Técnica para Aplicação da Norma Brasileira NBR 10.151 – CETESB (2000), no tocante ao instrumento utilizado, que atende a IEC-651. As medições foram feitas na curva A do aparelho, utilizando-se a resposta rápida (FAST) do instrumento de medição (Decibelímetro).

As medidas, tanto externas quanto internas à casa de caldeiras, foram realizadas com o Decibelímetro posicionado a uma altura de cerca de 1,25m do solo/piso. Esta altura foi escolhida, em virtude de atender ao padrão estabelecido pela legislação.

Para que os resultados deste estudo pudessem ser comparados com os resultados identificados por Okano (2004), foram realizadas medições nas distâncias de 1 metro, 2 metros, 4 metros e 8 metros da fonte.

Diferentemente de Okano (2004), que coletou os dados apenas do lado norte (onde fica localizado o queimador), neste estudo, o nível de ruído, em todas as distâncias, foi medido nos quatro quadrantes (norte, sul, leste, oeste) a partir da localização da caldeira. Os resultados apresentados correspondem à média aritmética dos valores identificados.

Para levantamento do nível de ruído a 1m de distância, nos quadrantes leste e oeste foram realizadas medições na frente e fundo da caldeira. A Figura 4.7 mostra os locais de medição dos níveis de ruídos.

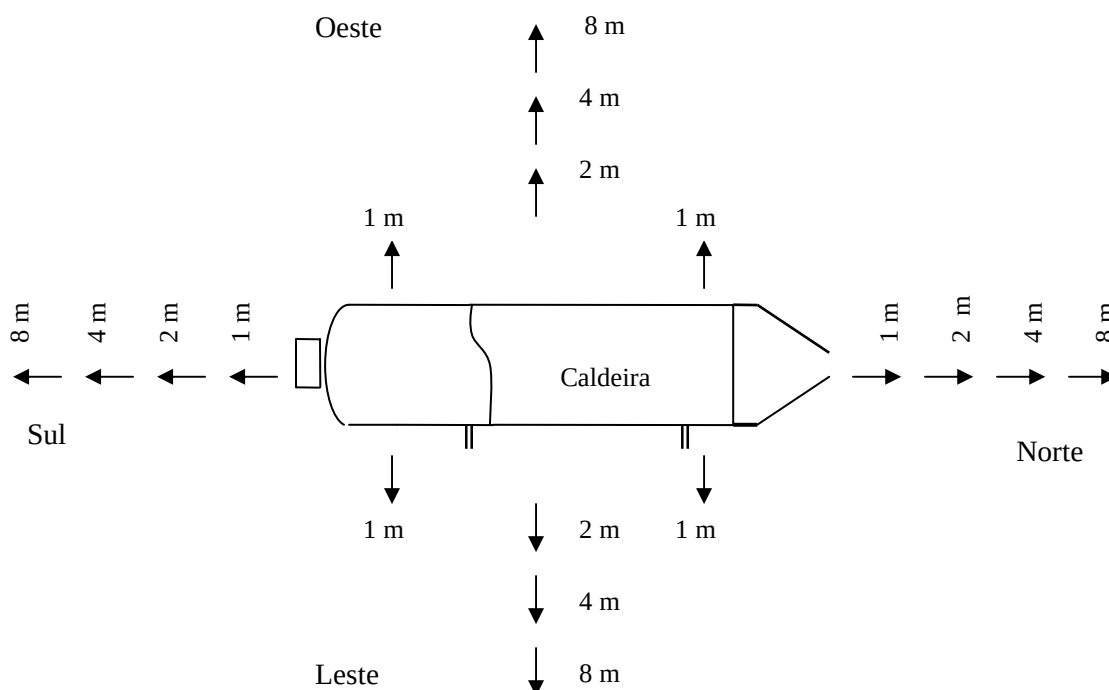


Figura 4.7 – Locais de medição dos níveis de ruídos

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Poluentes Gasosos

O equipamento utilizado (Analisador de Poluentes Atmosféricos Testo 350 XL), além da concentração dos poluentes atmosféricos CO, CO₂, NO, NO₂ e NO_x, identificou, também, a concentração de O₂ e H₂.

Em que pese não ser o foco principal do presente estudo, identificou-se, ainda, a temperatura ambiente, a temperatura do fluido, o ponto de orvalho, a pressão atmosférica e, a umidade relativa do ar.

Para identificar os poluentes atmosféricos gerados pela caldeira a gás natural do NHU, foram realizadas 30 medições, no período compreendido entre fevereiro e junho de 2007.

Os Quadros 5.1, 5.2 e 5.3, apresentam os resultados das medidas das concentrações dos poluentes e das condições atmosféricas no interior da chaminé da caldeira, na base da chaminé da caldeira e, a 10m da base da chaminé da caldeira, respectivamente.

As concentrações de O₂ e H₂ apresentadas nos Quadros 5.1, 5.2 e 5.3, não serão analisadas neste estudo, pois esses elementos não são considerados poluentes.

No interior da chaminé da caldeira (Quadro 5.1), verifica-se que a temperatura dos gases de combustão oscilou, durante praticamente todo o desenvolvimento deste estudo, entre 185°C e 200°C, tendo apresentado, em apenas duas oportunidades, temperatura acima da considerada de referência para Caldeira Ata a gás (240°C), no dia 11/06/07, quando a temperatura atingiu 256,5°C e, no dia 12/06/07, quando a temperatura chegou a 243,3°C. Nessa ocasião a caldeira estava apresentando muitos vazamentos, o que interferiu na temperatura de saída dos gases na chaminé.

Quadro 5.1 – Concentração de poluentes e condições atmosféricas medidas no interior da chaminé da caldeira (média)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	10.02.07	27.03.07	27.03.07	28.03.07	28.03.07	29.03.07	29.03.07	30.03.07	30.03.07	31.03.07	31.03.07	01.04.07	01.04.07	02.04.07	02.04.07	03.04.07	03.04.07	04.04.07	04.04.07	07.05.07	07.05.07	08.05.07	08.05.07	09.05.07	09.05.07	10.05.07	10.05.07	11.06.07	11.06.07	12.06.07
Horário	09:02	08:20	13:54	07:52	13:41	08:20	14:25	07:57	13:28	07:58	13:41	08:27	13:59	08:19	13:35	08:12	13:29	07:43	14:03	07:35	13:25	07:28	13:32	07:30	13:23	07:50	13:32	08:41	14:25	08:13
O ₂ (%)	11,1	11,1	11,0	11,0	10,7	10,9	10,8	10,9	10,8	10,8	10,8	10,9	10,8	11,0	10,8	10,8	10,8	11,0	10,9	11,0	10,7	10,9	11,1	11,0	11,0	11,0	10,9	11,2	11,1	11,2
H ₂ (ppm)	2	2	3	2	11	3	3	3	5	3	4	1	2	3	3	2	2	3	1	1	3	4	2	4	2	2	4	2	1	2
CO (ppm)	3,6	2,3	1,6	1,2	2,0	1,7	1,5	1,9	1,0	1,9	1,5	1,8	1,8	2,1	1,5	1,2	1,6	1,8	2,5	1,7	1,3	1,9	2,1	1,3	1,7	1,8	1,7	1,7	1,5	1,5
CO ₂ (%)	5,6	5,6	5,7	5,6	5,8	5,7	5,7	5,7	5,7	5,8	5,7	5,7	5,8	5,7	5,7	5,8	5,8	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,8	5,8	5,7	5,7	5,7	5,5	5,6	5,6
NO (ppm)	17,0	18,2	23,4	20,3	23,7	23,1	24,4	22,7	25,1	22,1	24,1	22,3	23,4	21,5	23,9	22,8	24,4	21,1	20,3	20,4	22,4	21,5	23,2	22,8	22,5	23,4	23,2	23,3	24,5	23,7
NO ₂ (ppm)	0,1	0,5	0,2	0,4	0,0	0,2	0,4	0,0	0,4	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4
NO _x (ppm)	17,1	18,7	23,6	20,7	23,7	23,3	24,8	22,7	25,5	22,2	24,3	22,7	23,8	21,7	24,3	23,0	24,4	21,2	20,3	20,5	22,6	21,7	23,3	22,8	22,6	23,5	23,4	23,7	24,9	24,1
TF (°C)	194,5	190,1	185,2	200,5	193,0	188,8	189,1	187,8	185,6	191,5	191,5	195,4	189,6	187,4	186,5	195,3	189,7	195,2	188,9	195,7	198,9	194,1	194,9	196,6	202,8	202,1	200,9	256,5	232,9	243,3
TA (°C)	29	29	34	29	34	28	33	29	35	26	31	26	32	27	34	27	36	29	32	23	31	22	32	17	21	18	24	25	29	28
PO (°C)	48,6	48,7	48,8	48,7	49,1	48,9	48,9	48,8	49,0	49,0	49,0	48,9	49,0	48,8	49,0	49,0	49,1	48,8	48,9	48,7	48,9	48,8	49,0	48,5	48,8	48,9	48,9	48,4	48,6	48,5
PA (mm Hg)	950	952	949	953	950	952	947	951	947	952	948	952	949	952	948	951	948	950	948	951	948	950	949	951	952	950	951	955	951	952
UR (%)	68	40	29	46	35	51	34	50	29	64	39	58	37	60	33	63	31	52	41	53	37	51	32	49	34	60	41	45	34	42

Quadro 5.2 – Concentração de poluentes e condições atmosféricas medidas na base da chaminé da caldeira (média)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	10.02.07	27.03.07	27.03.07	28.03.07	28.03.07	29.03.07	29.03.07	30.03.07	30.03.07	31.03.07	31.03.07	01.04.07	01.04.07	02.04.07	02.04.07	03.04.07	03.04.07	04.04.07	04.04.07	07.05.07	07.05.07	08.05.07	08.05.07	09.05.07	09.05.07	10.05.07	10.05.07	11.06.07	11.06.07	12.06.07
Horário	08:43	08:52	13:33	07:46	13:36	07:57	14:43	07:53	13:24	07:54	13:36	08:57	13:55	07:58	13:29	07:41	13:53	07:28	13:45	08:08	14:03	08:10	14:13	08:15	13:55	07:32	13:25	09:17	14:47	08:02
O ₂ (%)	21,1	21,0	21,0	21,0	20,9	21,1	21,0	21,0	21,0	21,1	21,0	21,1	21,0	21,1	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,1	20,9	21,0	20,9	21,0	21,1	21,0	21,0	21,0	21,1
H ₂ (ppm)	4	0	0	0	10	3	0	0	3	3	1	0	0	3	1	0	1	4	0	0	3	0	5	1	1	0	3	0	3	2
CO (ppm)	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,1
NO (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
NO ₂ (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO _x (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2	0,5	0,0	0,4	0,5	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
TF (°C)	28,9	35,4	37,9	29,9	36,6	30,0	40,9	32,0	37,6	28,8	34,3	32,2	32,3	28,9	35,7	27,7	37,8	29,7	32,9	25,1	32,9	24,7	33,3	20,1	24,8	21,2	26,6	31,1	31,4	29,1
TA (°C)	29	29	34	29	34	28	33	29	35	26	31	26	32	27	34	27	36	29	32	23	31	22	32	17	21	18	24	25	29	28
PA (mm Hg)	950	952	949	953	950	952	947	951	947	952	948	952	949	952	948	951	948	950	948	951	948	950	949	951	952	950	951	955	951	952
UR (%)	68	40	29	46	35	51	34	50	29	64	39	58	37	60	33	63	31	52	41	53	37	51	32	49	34	60	41	45	34	42

OBS: A emissão de CO₂ e o PO não foram detectados pelo Analisador Testo 350 XL.

Quadro 5.3 – Concentração de poluentes e condições atmosféricas medidas a 10m da base da chaminé (média)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
DATA	10.02.07	27.03.07	27.03.07	28.03.07	28.03.07	29.03.07	29.03.07	30.03.07	30.03.07	31.03.07	31.03.07	01.04.07	01.04.07	02.04.07	02.04.07	03.04.07	03.04.07	04.04.07	04.04.07	07.05.07	07.05.07	08.05.07	08.05.07	09.05.07	09.05.07	10.05.07	10.05.07	11.06.07	11.06.07	12.06.07
Horário	09:19	09:02	14:23	08:21	13:28	07:36	14:55	08:23	14:00	08:33	14:12	09:15	14:38	08:58	14:09	08:41	14:18	08:50	14:53	08:20	14:31	08:38	14:20	08:25	14:09	08:30	14:15	09:35	15:00	08:40
O ₂ (%)	21,1	21,0	21,0	21,1	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,1	21,0	21,0	20,9	21,0	21,0	21,1	20,9	21,0	21,0	21,1	21,0	20,9	21,0	21,0	21,0	21,0	21,1	21,1	21,0	21,0
H ₂ (ppm)	1	1	0	0	6	1	1	4	0	2	0	3	3	0	1	1	3	0	0	0	1	4	0	3	2	1	0	0	3	3
CO (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0
NO (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO ₂ (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO _x (ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TF (°C)	28,4	33,7	36,4	32,9	33,5	33,0	34,7	32,8	33,5	29,3	33,2	28,7	32,8	30,1	35,2	30,3	35,1	32,5	33,7	28,2	32,8	26,0	33,7	21,9	26,3	23,1	25,7	28,0	34,3	32,0
TA (°C)	30	33	35	32	35	32	35	32	33	29	33	28	32	29	35	30	35	32	33	27	32	25	33	20	25	21	25	27	32	31
PA (mm Hg)	950	952	948	953	950	952	948	951	949	952	950	951	950	951	950	950	948	950	950	951	949	950	950	951	952	950	951	955	952	951
UR (%)	63	31	28	35	38	38	30	42	27	55	34	52	33	57	32	57	28	45	37	48	32	48	30	46	31	56	38	41	32	39

OBS: A emissão de CO₂ e o PO não foram detectados pelo Analisador Testo 350 XL.

A temperatura dos gases de exaustão emitidos pela caldeira utilizando gás natural como combustível diminui, em virtude de que a emissão de radiação de calor da chama do gás é diferente da do óleo combustível, que possui comprimento de onda menor, o que altera significativamente a distribuição da temperatura no equipamento. Assim, considerando que em sistemas de troca de calor a transmissão com gás natural ocorre mais por convecção do que por irradiação, a temperatura final da chama em caldeiras operando com óleo se dá mais elevada, o que influi na diminuição da concentração de NO e NO₂, gases esses produzidos na combustão a altas temperaturas.

Observando-se os Quadros 5.1, 5.2 e 5.3, nota-se que a temperatura ambiente variou de 17°C a 36°C e a pressão atmosférica de 947 mmHg a 955 mmHg. A umidade relativa do ar variou de 27% a 68%. O ponto de orvalho medido no interior da chaminé, variou de 48,4°C a 49,1°C.

As Figuras 5.1 a 5.10 apresentam, respectivamente, as concentrações de CO, CO₂, NO, NO₂ e NO_x, obtidas durante as medições realizadas no interior da chaminé, na base da chaminé e, a 10m da base da chaminé da caldeira.

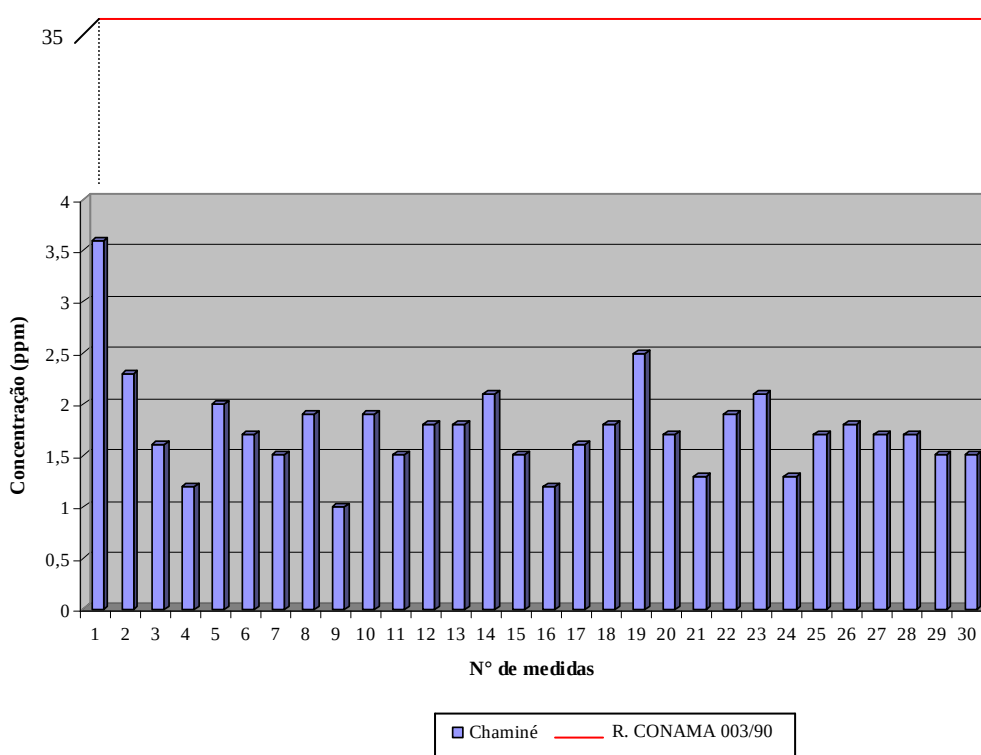


Figura 5.1 – Concentração de CO medida no interior da chaminé da caldeira

Nota-se na Figura 5.1, que a maior concentração de CO foi 3,6 ppm e a menor foi de 1 ppm, ficando abaixo do estipulado pela Resolução CONAMA n° 003/90.

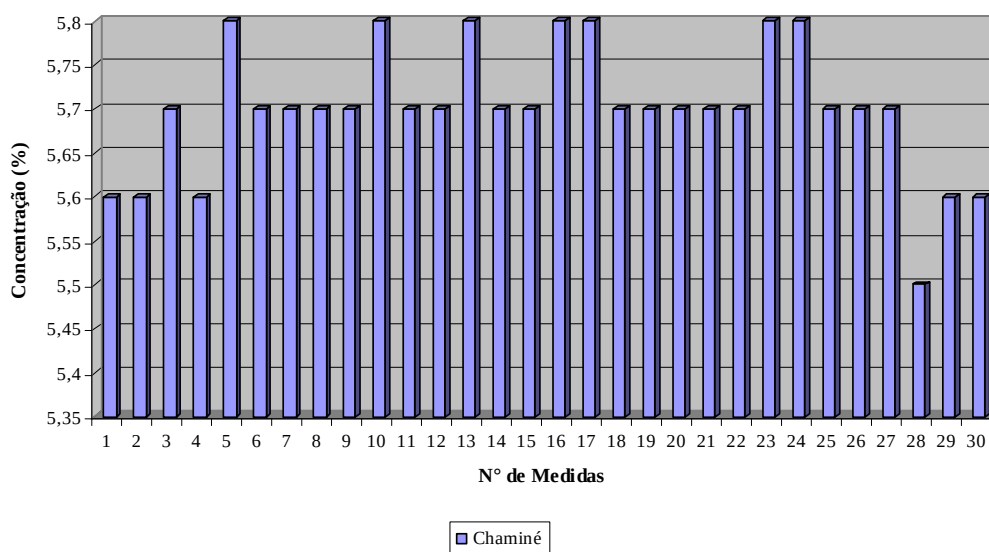


Figura 5.2 – Concentração de CO₂ medida no interior da chaminé da caldeira

Observa-se na Figura 5.2, que a maior concentração de CO₂ foi de 5,8% e a menor foi de 5,5%. A variação entre o maior e o menor valor obtido foi de 0,3%.

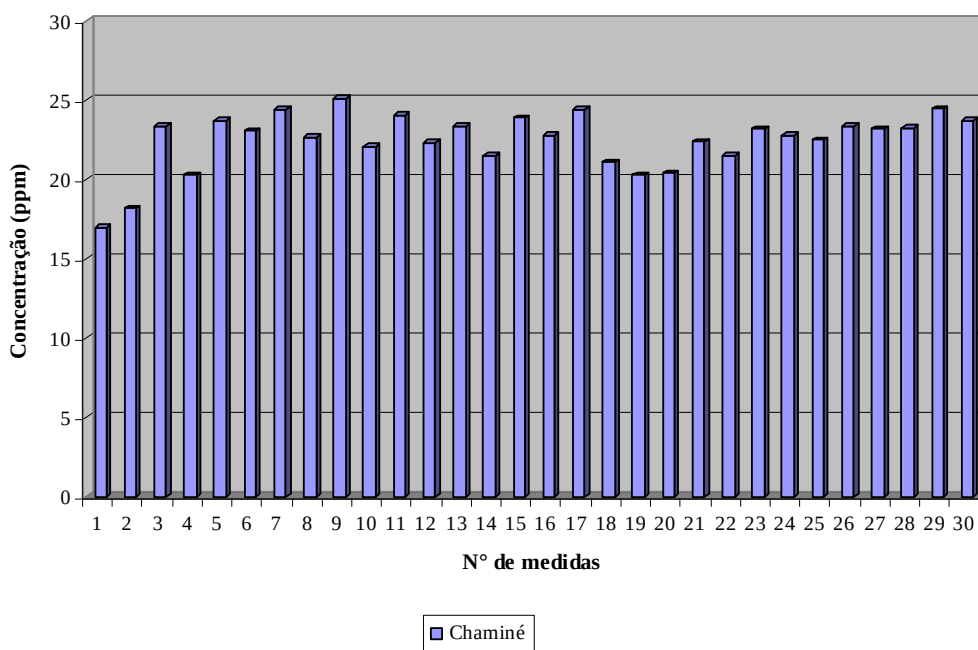


Figura 5.3 – Concentração de NO medida no interior da chaminé da caldeira

A concentração de NO variou entre 17,1 ppm e 25,1 ppm. Das trinta medições realizadas, apenas duas ficaram abaixo de 20 ppm, obtidas nos dias 10/02/2007 e 23/03/2007, respectivamente.

A Figura 5.3 mostra que não houve uma grande variação nos resultados obtidos, considerando-se a queima uniforme do combustível, pois a mistura ar-combustível, com o uso de gás natural, é feita automaticamente, não dependendo dos operadores da caldeira para fazê-lo, como no caso da utilização de óleo combustível.

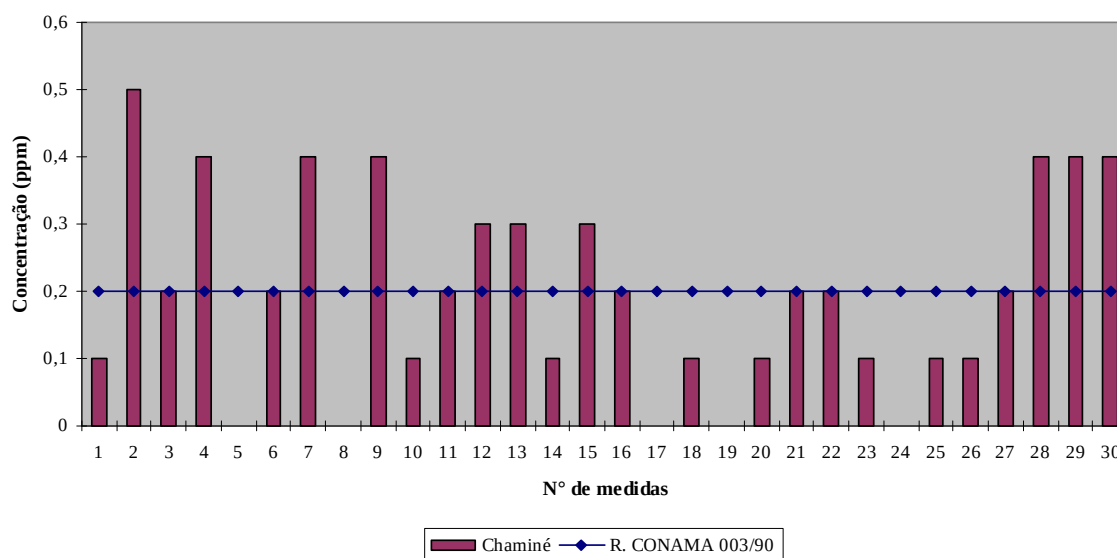


Figura 5.4 – Concentração de NO₂ medida no interior da chaminé da caldeira

A concentração máxima de NO₂ foi de 0,5 ppm e a mínima foi de 0,0 ppm, sendo que esse valor máximo ocorreu em apenas uma oportunidade, no dia 27/03/2007.

Considerando que o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 003/90 é de 0,2 ppm (320 µg/m³), em dez oportunidades o valor medido ultrapassou o estabelecido pela referida legislação.

A Figura 5.5 mostra que os valores máximos e mínimos da concentração de NO_x observada foram, respectivamente, 25,5 ppm e 17,1 ppm.

Considerando que o limite fixado pela Resolução CONAMA nº 382/06 é de 156 ppm (320 mg/Nm³), os valores medidos encontram-se abaixo do estabelecido pela legislação vigente.

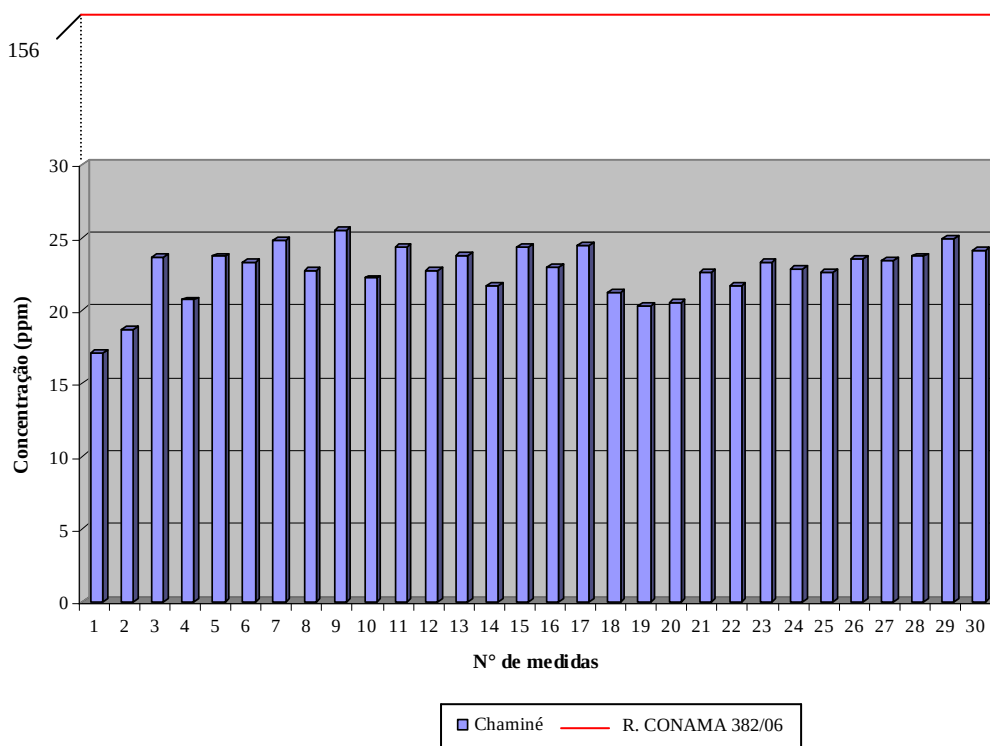


Figura 5.5 – Concentração de NO_x medida no interior da chaminé da caldeira

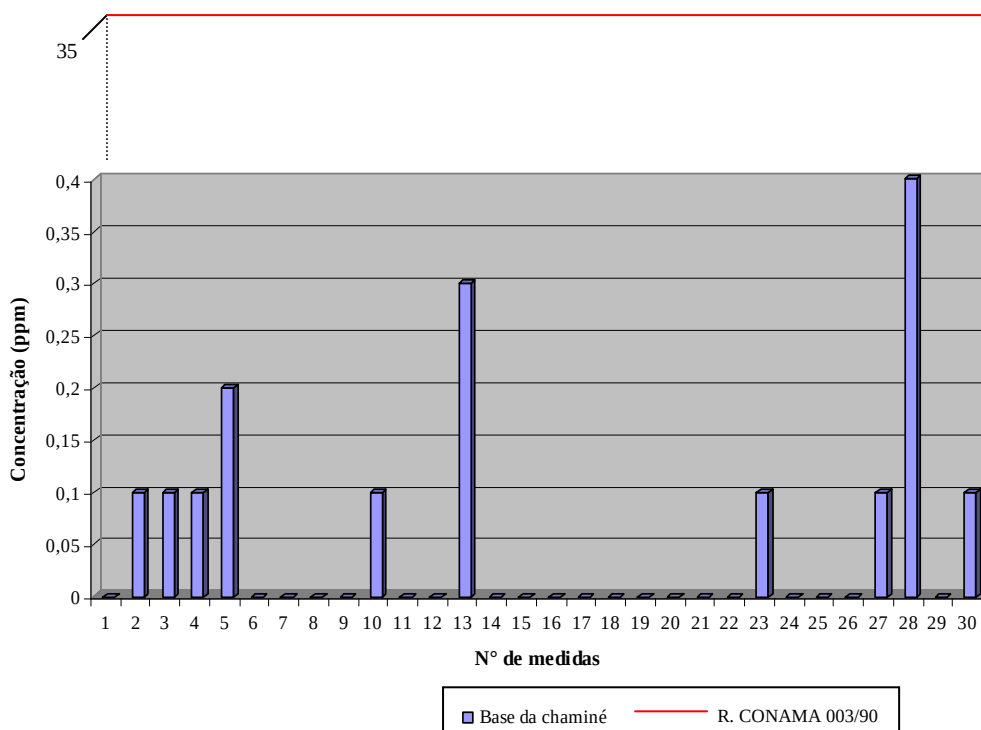


Figura 5.6 – Concentração de CO medida na base da chaminé da caldeira

A concentração máxima de CO observada na base da chaminé foi de 0,4 ppm, ocorrida em 11/06/2007. Das trinta medições realizadas, vinte valores foram iguais a 0,0 ppm.

Analisando-se a Figura 5.6, verifica-se que todas as medidas estão em conformidade com a legislação vigente.

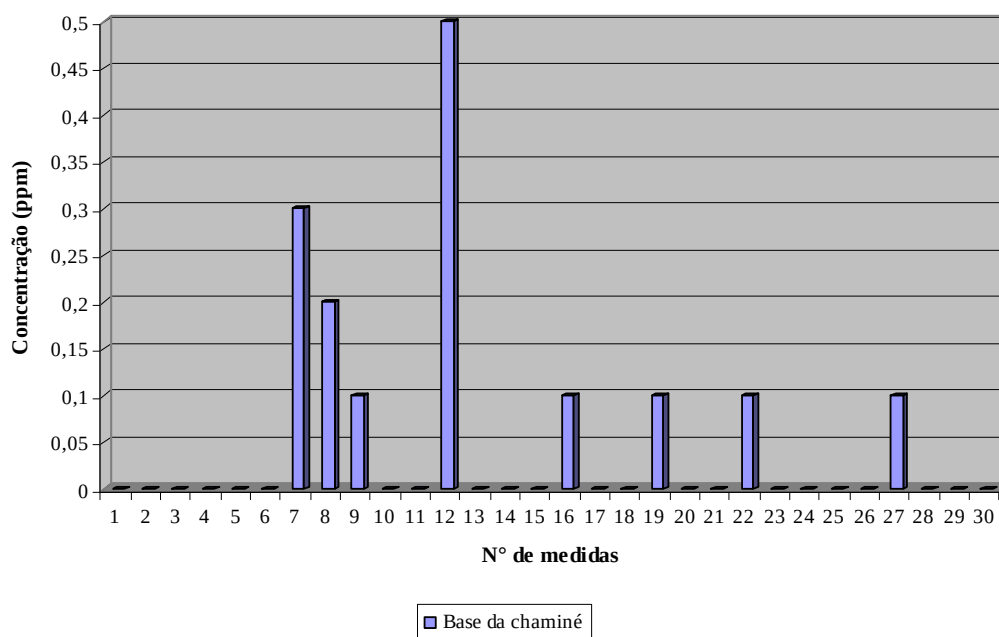


Figura 5.7 – Concentração de NO medida na base da chaminé da caldeira

Por meio da Figura 5.7, nota-se que a concentração máxima de NO foi de 0,5 ppm e a mínima foi de 0,0 ppm, ocorrida em 22 das trinta medições realizadas.

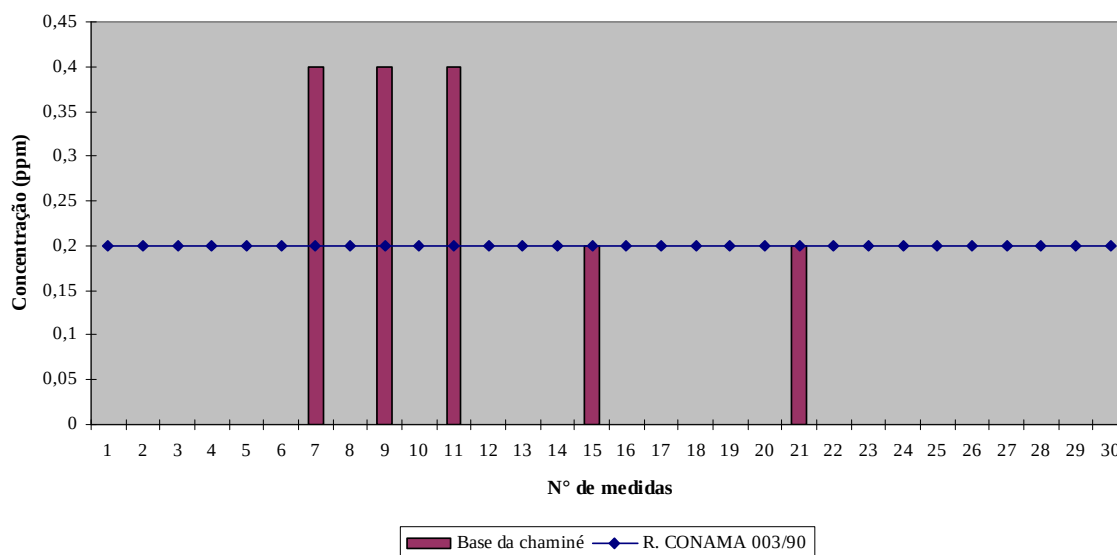


Figura 5.8 – Concentração de NO₂ medida na base da chaminé da caldeira

Verifica-se na Figura 5.8, que a concentração máxima de NO₂ foi de 0,4 ppm e a mínima foi de 0,0 ppm.

Esse valor máximo ocorreu em três oportunidades, ficando acima do estabelecido pela Resolução n° 003/90, que é de 0,2 ppm (320 µg/m³).

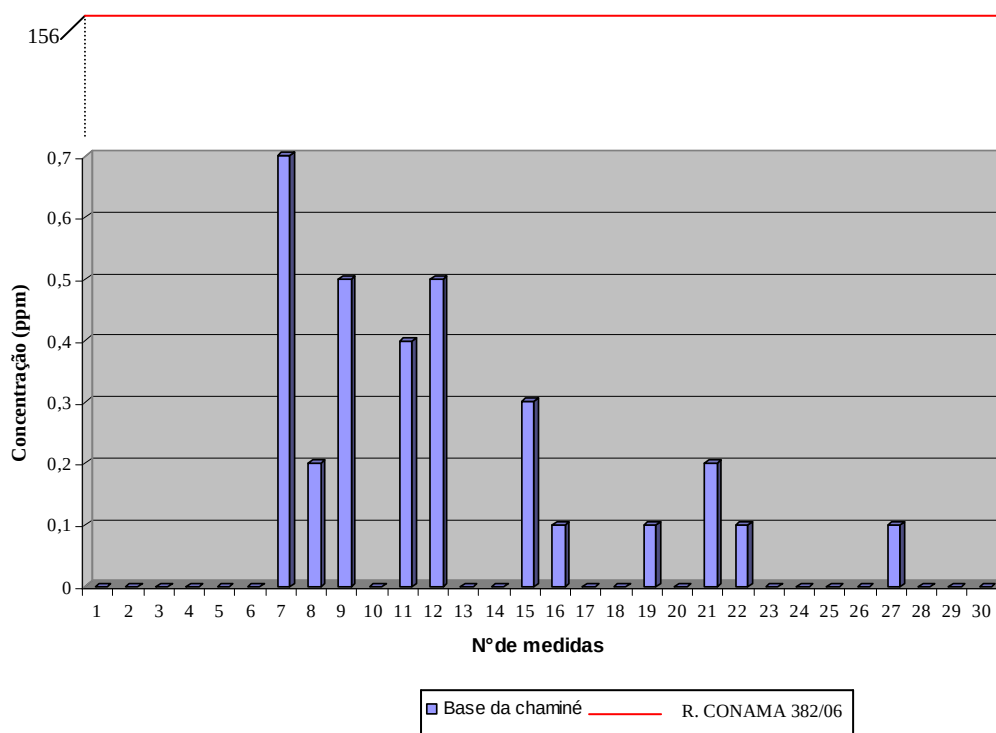


Figura 5.9 – Concentração de NO_x medida na base da chaminé da caldeira

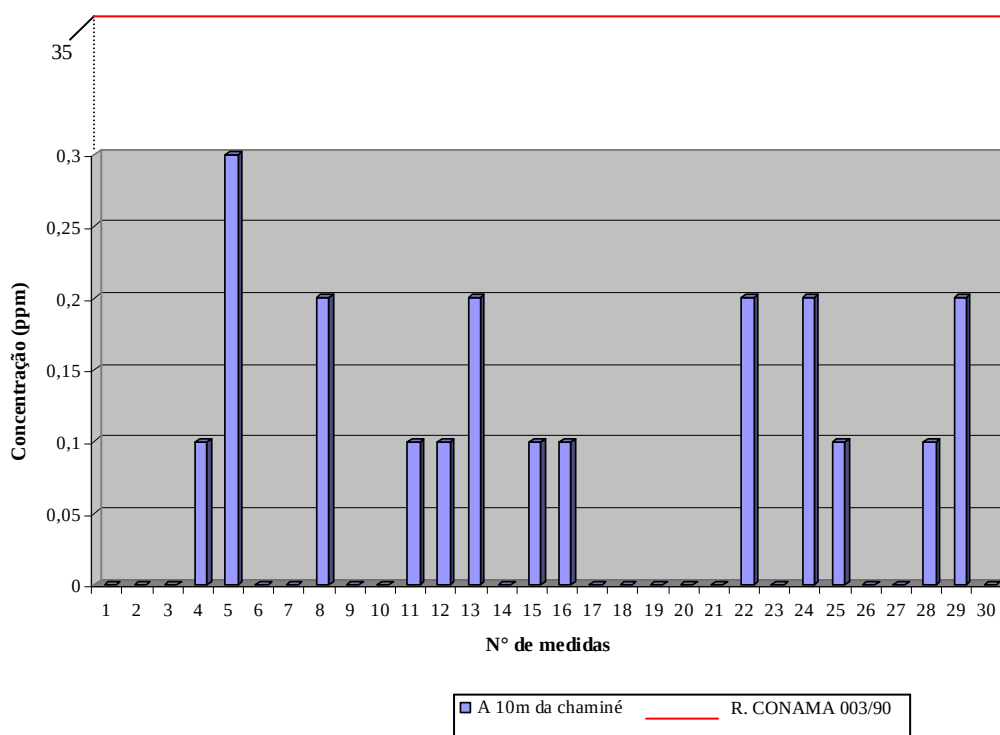


Figura 5.10 – Concentração de CO medida a 10m da chaminé da caldeira

A Figura 5.9 mostra que os valores máximos e mínimos da concentração de NO_x foram, respectivamente, 0,7 ppm, ocorrida em 29/03/07 e, 0,0 ppm observadas em dezenove das trinta medições realizadas.

Os valores obtidos atendem ao estabelecido pela Resolução CONAMA n° 382/06.

Na Figura 5.10, observa-se que o valor máximo de CO obtido a 10m da base da chaminé foi de 0,3 ppm, em 28/03/07 e, o valor mínimo, foi de 0,0 ppm, obtido em dezessete das trinta medições realizadas.

Os valores encontram-se abaixo do estabelecido pela legislação vigente.

5.1.1. Comparação entre os poluentes atmosféricos emitidos pela caldeira operando a gás natural e a óleo BPF 2A, com a literatura/legislação

A seguir, serão avaliadas as concentrações dos poluentes atmosféricos emitidos pela caldeira enquanto operando a gás natural e, após, estas serão comparadas com as concentrações dos poluentes atmosféricos emitidos pela caldeira quando operada a óleo combustível.

Os resultados correspondentes a média aritmética dos níveis de concentração de poluentes lançados pela chaminé da caldeira, obtidas neste estudo, no estudo realizado por Okano (2004) após a reforma da caldeira, bem como os dados da literatura/legislação, estão demonstrados no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Média da concentração de poluentes no interior da chaminé da caldeira

Elementos analisados	Gás natural	Óleo combustível ^a	Literatura/Legislação
CO (ppm)	1,8	46,2	0,12 ^b ; 0,1 ^c ; 9 ^d (8h), 35 ^d (1h); 9 ^f (8h), 35 ^f (1h); 0-9,0 ^g .
CO ₂ (%)	5,7	6,9	0,03 ^c .
NO (ppm)	22,5	310,2	0,00001-0,00005 ^b ; <0,002 ^c .
NO ₂ (ppm)	0,1	0,3	0,0001-0,0005 ^b ; <0,002 ^c ; 0,53 ^d (ma)*; 0,2 ^f ; 0-0,2 ^g .
NO _x (ppm)	22,6	310,5	154 ^e (gás); 156 ^h (gás); 370 ^e (óleo); 779 ^h (óleo).

OBS: * Média anual; ^a Okano (2004); ^b Lora & Teixeira (2001); ^c Mota (2000); ^d EPA-NAAQS (1996);

^e World Bank (1998); ^f Res. CONAMA n° 003/90; ^g CETESB (2003); ^h Res. CONAMA n° 382/06.

Analisando os resultados obtidos no interior da chaminé com a caldeira operando a gás natural, verifica-se que, segundo Lora & Teixeira (2001) e Mota (2000), as médias das concentrações de CO, CO₂, NO e NO₂, estão acima dos limites estabelecidos, caracterizando o ar como poluído ou contaminado. Entretanto, de acordo com a Resolução CONAMA n° 003/90 e a Agência de Proteção Ambiental Americana – EPA-NAAQS (1996), tanto a média da concentração de CO quanto a média da concentração de NO₂, estão em conformidade com os padrões estabelecidos pelos órgãos reguladores ambientais. Comparando-se os resultados encontrados para CO e NO₂, com os valores estabelecidos pela CETESB (2003) para o estado de São Paulo, verifica-se que a qualidade do ar é considerada de boa a regular, atendendo ao padrão CONAMA.

Com relação à média dos níveis de concentração de NO_x lançada pela chaminé, verifica-se que a mesma, segundo a Resolução CONAMA n° 382/06, que fixa o valor limite de NO_x (como NO₂) em 156 ppm (320 mg/Nm³), para processos de geração de calor a partir da combustão externa de gás natural com potência térmica nominal menor que 70 MW e, o Banco de Dados Americano – World Bank (1998), que limita em 154 ppm (125 mg/Nm³) o valor máximo de NO_x lançado por usinas termelétricas convencionais à gás natural, está abaixo do permitido pelas legislações nacional e americana.

Os aumentos na concentração de NO_x são vinculados ao acréscimo de temperatura na queima do combustível, porém, a temperatura medida na chaminé apresentou valores abaixo do normal (deveria estar acima de 200°C, sendo considerada normal, temperatura de até 240°C). Durante as medições, por várias vezes, a válvula de segurança foi acionada, em virtude não do aumento da pressão, o que ocorre quando a mesma atinge entre 9,0 e 9,5 kgf.cm⁻², mas sim, em virtude da temperatura. Nessa ocasião, a caldeira estava funcionando em estado precário, apresentando uma grande quantidade de vazamentos, entre outros problemas, não refletindo, assim, a temperatura medida na chaminé, à temperatura efetiva existente dentro da caldeira. Conforme relato dos operadores da caldeira, por ocasião do acionamento da válvula de segurança, a temperatura medida no termômetro acoplado à caldeira, variava entre 300°C e 310°C.

Nota-se, como era de se esperar, quando da comparação entre a combustão a óleo combustível e a gás natural, que todos os gases de combustão (CO, CO₂, NO, NO₂ e NO_x), sofreram redução.

Comparando os resultados obtidos por Okano (2004), com os resultados deste estudo, verifica-se que a média aritmética da concentração de CO medida no interior da chaminé, teve uma redução de 96,10%, passando de 46,2 ppm para 1,8 ppm. A média de CO encontrada

por Okano (2004), de acordo com a Resolução CONAMA n° 003/90 e a EPA-NAAQS (1996), encontrava-se acima dos limites estipulados pelos órgãos reguladores.

Segundo Okano (2004), a grande variação nos resultados obtidos em seu estudo se deve, provavelmente, a queima não uniforme do combustível, devido a não padronização da mistura ar-combustível, que era realizada de forma diferente por cada um dos cinco operadores da caldeira, além da variação no consumo de vapor solicitado no hospital, por ocasião da medição.

A concentração de CO_2 passou de 6,9% para 5,7%, apresentando uma redução de 17,39% com o uso do gás natural. Mesmo com a diminuição apresentada, segundo Lora & Teixeira (2001) e Mota (2000), tais concentrações caracterizam o ar como poluído, contribuindo para o efeito estufa.

Segundo Berman (2002), com a utilização de gás natural em substituição ao óleo combustível, ocorre uma redução de aproximadamente 32% na concentração de CO_2 .

A concentração de NO medida no interior da chaminé, com o uso do gás natural, passou de 310,2 ppm para 22,5 ppm, correspondendo a uma redução de 92,75%.

O resultado obtido por Okano (2004), classificava o ar como poluído, segundo Lora & Teixeira (2001) e Mota (2000). Segundo Okano (2004), o aumento na produção de NO e NO_x em seu estudo, foi devido ao ganho de 58,5°C na temperatura do gás lançado pela chaminé, vez que a produção de nitrogênio a partir da queima de óleo combustível é proporcional à temperatura de queima do óleo utilizado.

A concentração de NO_2 no interior da chaminé sofreu uma redução de 66,67% com o uso do gás natural, passando de 0,3 ppm para 0,1 ppm. Quando do uso de óleo combustível, a concentração emitida encontrava-se acima da permitida pela Resolução CONAMA n° 003/90 e, segundo a CETESB (2003) o ar era classificado como inadequado, não atendendo ao padrão CONAMA.

A média aritmética da concentração de NO_x lançada pela chaminé da caldeira, diminuiu 92,72% com o uso do gás natural, passando de 310,5 ppm para 22,6 ppm. Segundo a Resolução CONAMA n° 382/06, que fixa o valor limite de NO_x (como NO_2) em 779 ppm (1600 mg/ Nm^3), para processos de geração de calor a partir da combustão externa de óleo combustível com potência térmica nominal menor que 10 MW e, o Banco de Dados Americano World Bank (1998) que limita em 370 ppm (300 mg/ Nm^3) o valor máximo de NO_x lançado por usinas termelétricas convencionais à óleo combustível, o valor obtido por Okano (2004) também estava abaixo do permitido pelas duas legislações.

No Quadro 5.5, mostra-se o resultado deste estudo com relação às médias aritméticas das concentrações de poluentes analisados na base da chaminé da caldeira, as médias das concentrações de poluentes encontradas por Okano (2004), após a reforma da caldeira e, os dados da literatura/legislação vigentes.

Quadro 5.5 – Média da concentração de poluentes na base da chaminé da caldeira

Elementos analisados	Gás natural	Óleo combustível ^a	Literatura/Legislação
CO (ppm)	0,1	0,1	0,12 ^b ; 0,1 ^c ; 9 ^d (8h), 35 ^d (1h); 9 ^f (8h), 35 ^f (1h); 0-9,0 ^g .
NO (ppm)	0,1	14,8	0,00001-0,00005 ^b ; <0,002 ^c .
NO ₂ (ppm)	0,1	-	0,0001-0,0005 ^b ; <0,002 ^c ; 0,53 ^d (ma)*; 0,2 ^f ; 0-0,2 ^g .
NO _x (ppm)	0,1	-	154 ^e (gás); 156 ^h (gás); 370 ^e (óleo); 779 ^h (óleo).

Obs: 1) A emissão de CO₂ e o ponto de orvalho não foram detectados pelo Analisador Testo 350 XL;

2)* Média anual; ^a Okano (2004); ^b Lora & Teixeira (2001); ^c Mota (2000); ^d EPA-NAAQS (1996);

^e World Bank (1998); ^f Res. CONAMA n° 003/90; ^g CETESB (2003); ^h Res. CONAMA n° 382/06.

Analisando os resultados obtidos na base da chaminé com a caldeira operando a gás natural, nota-se que a concentração de CO classifica o ar como limpo e de boa qualidade, de acordo com Lora & Teixeira (2001), Mota (2000) e CETESB (2003), atendendo ao padrão CONAMA. De acordo com a Resolução CONAMA 003/90 e a EPA-NAAQS (1996), a média da concentração de CO medida na base da chaminé, está em conformidade com os valores estipulados por aqueles órgãos reguladores.

A média da concentração obtida para NO₂ classifica o ar como contaminado segundo Lora & Teixeira (2001) e Mota (2000), atendendo, entretanto, aos padrões estabelecidos pela EPA-NAAQS (1996), Resolução CONAMA n° 003/90 e, pela CETESB (2003). A concentração de NO_x atende plenamente ao estabelecido na legislação.

Analisando o Quadro 5.5, com relação às concentrações de poluentes atmosféricos emitidos pela caldeira operando a gás natural e a óleo BPF 2A, verifica-se que o elemento que apresentou variação mais significativa foi o NO, cuja média passou de 14,8 ppm para 0,1 ppm, correspondendo a uma redução de 99,32%. Ainda assim, a concentração de NO classifica o ar como poluído segundo Lora & Teixeira (2001) e Mota (2000), sendo nocivo à saúde e ao bem estar do homem.

Segundo Okano (2004), a concentração de NO obtida em seu estudo, é devido ao acréscimo na produção de nitrogênio, resultado do aumento na temperatura de combustão do óleo utilizado, precipitado na base da caldeira.

Nota-se que as concentrações de NO medidas no interior da chaminé e na base da chaminé (Quadros 5.4 e 5.5), movida tanto a óleo combustível quanto a gás natural, apresenta um percentual de redução semelhante – de 310,2 ppm para 14,8 ppm e, de 22,5 ppm para 0,1 ppm (95,2% e 99,5%, respectivamente), demonstrando que a concentração cai significativamente já na base da chaminé.

Não foi detectada pelo Analisador de Poluentes Atmosféricos Testo 350 XL, a concentração de NO₂ e NO_x nas medições realizadas na base da chaminé quando a mesma operava com combustão a óleo combustível.

No Quadro 5.6, mostra-se o resultado deste estudo com relação às médias das concentrações dos poluentes atmosféricos lançados a 10m da chaminé da caldeira, as médias das concentrações de poluentes encontradas por Okano (2004), após a reforma da caldeira e, os dados da literatura/legislação vigente.

Quadro 5.6 – Média da concentração de poluentes a 10m da base da chaminé da caldeira

Elementos analisados	Gás natural	Óleo combustível ^a	Literatura/Legislação
CO (ppm)	0,1	-	0,12 ^b ; 0,1 ^c ; 9 ^d (8h), 35 ^d (1h); 9 ^f (8h), 35 ^f (1h); 0-9,0 ^g .
NO (ppm)	0,0	1,2	0,00001-0,00005 ^b ; <0,002 ^c .
NO ₂ (ppm)	0,0	-	0,0001-0,0005 ^b ; <0,002 ^c ; 0,53 ^d (ma)*; 0,2 ^f ; 0-0,2 ^g .
NO _x (ppm)	0,0	-	154 ^e (gás); 156 ^h (gás); 370 ^e (óleo); 779 ^h (óleo).

Obs: 1) A emissão de CO₂ e o ponto de orvalho não foram detectados pelo Analisador Testo 350 XL;

2)* Média anual; ^a Okano (2004); ^b Lora & Teixeira (2001); ^c Mota (2000); ^d EPA-NAAQS (1996);

^e World Bank (1998); ^f Res. CONAMA n° 003/90; ^g CETESB (2003); ^h Res. CONAMA n° 382/06.

A média da concentração obtida neste estudo para CO, NO, NO₂ e NO_x, classifica o ar como limpo em todas as legislações vigentes.

Analisando o Quadro 5.6, verifica-se uma diminuição na concentração de NO, com a transformação da caldeira para operar com combustão a gás natural, cuja média passou de 1,2 ppm para 0,0 ppm. A média da concentração obtida por Okano(2004), classificava o ar como poluído, segundo Lora & Teixeira (2001) e Mota (2000).

Segundo Okano (2004), a explicação para a concentração de NO em seu estudo, se deve ao aumento da quantidade de nitrogênio, resultado do acréscimo de temperatura na queima do óleo combustível e má dispersão no ar do poluente gerado pela caldeira.

É importante frisar que, em que pese à média da concentração de CO apresentada por Okano (2004) no interior da chaminé estar acima do fixado pelas legislações vigentes, em

quatorze das trinta medidas realizadas em seu estudo, a concentração ficou abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 003/90 e EPA-NAAQS (1996), ou seja, menor que 35 ppm. O mesmo ocorreu em relação à concentração de NO₂ que, em apenas oito das trinta medidas realizadas, ultrapassou o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 003/90, que é de 0,2 ppm, tendo inclusive sido nulas 21 medidas, isto é, de valor igual a 0,0 ppm.

Para reforçar a constatação de que a opção pelo uso do gás natural na combustão da caldeira é um avanço ambiental, por minimizar a agressão ao meio ambiente, procurou-se resultados de outros trabalhos similares.

Correa (2002), na comparação ambiental efetivada em seu estudo de viabilidade econômica para troca do combustível óleo 2A pelo gás natural encanado via gasoduto Bolívia-Brasil, realizado em duas caldeiras de uma empresa da indústria química do setor de química fina, encontrou os resultados apresentados no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Resultado da combustão do óleo 2A e do gás natural

Unidades medidas	Óleo 2A		Gás natural	
	Caldeira 1	Caldeira 2	Caldeira 1	Caldeira 2
Temperatura chaminé (°C)	291	258	272	260
Temperatura ambiente (°C)	33	30,5	29,5	27,5
O ₂ (%)	3,1	6,1	3,3	7,4
CO ₂ (%)	14,1	11,7	9,9	7,6
CO (ppm)	64	14	0	2
Excesso de ar (%)	16,29	38,58	16,62	5,82
Produção Vapor (ton/h)	8,5	7,2	8,5	7,4
Índice de fumaça	7 e 8	3	0	0

Fonte: Correa (2002)

Scariot (2004), em seu estudo da viabilidade técnica e econômica da substituição do óleo combustível por gás natural, afirma, conforme demonstrado no Quadro 5.8, que a conversão da caldeira para gás reduz significativamente as emissões de poluentes tendo, quando comparado com outros combustíveis, o menor impacto sobre o meio ambiente.

Quadro 5.8 – Poluentes emitidos por caldeiras utilizando combustíveis diversos

Emissão (g/kWh)	Gás natural	Óleo Diesel	Óleo Pesado BPF	Carvão
NO _x	0,22	0,2	0,79	0,78
CO ₂	255	310,5	333	410
Particulados	0	Baixo	Médio	Alto
SO ₂	0	0,59	5,27	5,14
Enxofre	0	0,3% no combustível	2,5% no combustível	2,0% no combustível

Fonte: Scariot (2004)

Karademir (2006), em seu estudo sobre a avaliação do potencial de poluição atmosférica proveniente de combustível em combustão de caldeiras industriais em Kocaeli, Turquia, utilizou o equipamento Testo 350 XL para medir os gases de combustão de 104 caldeiras de 44 plantas industriais, entre 1999-2003, utilizando cinco tipos de combustíveis: gás liquefeito de petróleo-GLP (17 caldeiras), gás natural (44 caldeiras), óleo combustível leve (34 caldeiras), óleo diesel (5 caldeiras) e, madeira (4 caldeiras).

O Quadro 5.9 mostra os fatores de emissão para caldeiras de acordo com o tipo de combustível.

Quadro 5.9 – Fatores de emissão por tipo de combustível na Turquia

Parâmetros	Fator de emissão (mg/kg combustível queimado)		
	Dados das caldeiras		Literatura de Dados
	Variação	Média*	
Caldeiras com GLP			
Material particulado	5-108	35	90-131, Média 120 ^a ;70 ^b ;68 ^c ;125 ^d ;310 ^e
CO	8-1609	225	433-810, Média 621 ^b ; 150 ^d ; 743 ^e
SO ₂	8-1305	83	20-22, Média 21 ^b ; 10 ^c
NO ₂	234-6215	1768	3165-4748, Média 3968 ^b ;1400 ^c ;843 ^d ;4340 ^e
Formaldeído	0,8-48,7	11,2	9-11, Média 10 ^b
Caldeiras com gás natural			
Material particulado	0,8-69	18	40 ^{f,g} ; 145 ^d ; 340 ^e
CO	8-19.757	147	499 ^f ;1607 ^d ; 510 ^g
SO ₂	8-1080	49	13 ^{f,g} ; 11 ^d
NO ₂	1382-20.017	3174	2163 ^f ; 1913 ^d ; 3182 ^g
Formaldeído	1,0-32,9	8,8	1,7 ^f
Caldeiras com óleo combustível leve			
Material particulado	51-2173	407	1580 ^a ; 824 ^f ; 1032 ^c ; 650 ^e
CO	8-2273	462	1129 ^a ; 706 ^f ; 500 ^c
SO ₂	17.907-61.792	36.295	67.710 ^a ; 56.250 ^f ; 42.500 ^c
NO ₂	5251-12.394	6522	4514 ^a ; 6588 ^f ; 6990 ^c
Caldeiras com óleo diesel			
Material particulado	198-409	284	244 ^f ; 293 ^d ; 970 ^c
CO	99-2232	439	1129 ^f ; 733 ^d
SO ₂	3392-8889	5542	9615 ^f ; 24.496 ^d
NO ₂	542-2908	1809	4063 ^f ; 2933 ^d
Formaldeído	4,11-4,14	4,12	79 ^h
Caldeiras com madeira			
Material particulado	649-1731	1172	1580 ^a ; 6600 ^f ; 8036 ^h
CO	3033-237.531	23.995	1129 ^a ; 2000-80.000 ^f ; 12.054 ^h ; 7100 ⁱ
SO ₂	2-2467	30	67.710 ^a ; 10-200 ^f ; 503 ^h
NO ₂	2284-28.731	10.342	4514 ^a ; 660-3600 ^f ; 9844 ^h ;3210 ^j

Fonte: Karademir (2006)

Obs.: * Média geométrica; ^a USEPA (1995); ^b ERI (1998); ^c ECI (2001); ^d ADEQ (2003); ^e Reddy & Venkatamaran (2002); ^f USEPA (1998); ^g LAI (2004); ^h USEPA (2000); ⁱ IPCC (1997); ^j CORINAIR (1992).

Analisando o Quadro 5.9, verifica-se que as caldeiras a gás natural, apresentam médias de emissão muito inferiores aos demais combustíveis.

5.2. Outras comparações entre o óleo combustível e o gás natural

Além da comparação dos resultados identificados neste estudo com os resultados encontrados quando a caldeira operava a óleo combustível e, com a legislação pertinente, estabeleceu-se como objetivo, comparar os custos de aquisição, a estocagem e os pré-requisitos para queima, entre ambos os combustíveis.

Efetuuou-se junto ao setor responsável pela caldeira em estudo, levantamento dos gastos com combustíveis nos anos de 2003 a 2007, assim como o consumo dos mesmos, como demonstrado no Quadro 5.10.

Quadro 5.10 – Demonstrativo do consumo de combustível pela caldeira Ata 14 do NHU

Ano	Combustível					
	Óleo combustível			Gás natural		
	Quantidade (kg)	Valor (R\$/kg)	Valor Total (R\$)	Quantidade (m³)	Valor (R\$/m³)	Valor Total(R\$)
2003	426.026	1,1745	500.388,59	-	-	-
2004	349.751	1,5642	547.091,84	-	-	-
2005 (até maio)	117.545	2,4356	286.290,71	-	-	-
2005 (nov/dez)	-	-	-	21.036	1,3458	28.309,77
2006	-	-	-	236.581	1,4485	342.693,75
2007 (até junho)	-	-	-	120.554	1,4678	176.950,18

Fonte: Seção de Manutenção/NHU

Analisando o Quadro 5.10, nota-se que o valor gasto com a aquisição de gás natural foi muito inferior ao que se gastou com a aquisição de óleo combustível. Considerando-se que no período entre 2003-2007 houve aumento nos preços dos combustíveis, a troca do óleo pelo gás natural torna-se ainda mais vantajosa economicamente para o NHU.

Ao comparar os valores gastos com a aquisição de óleo BPF nos anos 2003 e 2004, com os valores gastos com a aquisição de gás natural no ano de 2006, verifica-se uma redução de R\$ 157.694,84 (Cento e cinquenta e sete mil, seiscentos e noventa e quatro reais, oitenta e quatro centavos) e, R\$ 204.398,09 (Duzentos e quatro mil, trezentos e noventa e oito reais e nove centavos), respectivamente.

Comparando o ano de 2005 com o ano de 2007 (cinco e seis meses de consumo, respectivamente), nota-se que em 2007 pagou-se pelo gás natural, um total de R\$ 109.340,53 (Cento e nove mil, trezentos e quarenta reais, cinquenta e três centavos) a menor que o valor pago pelo óleo combustível BPF, mesmo com a caldeira operando em estado precário. O

rendimento da caldeira não foi melhor, em virtude de que a mesma estava funcionando ininterruptamente e apresentava muitos vazamentos, gerando perdas de eficiência e, conseqüentemente, maior consumo de combustível.

Enquanto operando a óleo combustível, a jornada diária de funcionamento da caldeira era de dezoito horas, totalizando 540 h/mês. Operando a gás natural, a jornada diária foi reduzida para dezesseis horas, totalizando 480 h/mês.

O Quadro 5.11 mostra a média de consumo e o custo mensal da caldeira operando com os dois combustíveis.

Quadro 5.11 – Custo de operação da caldeira do NHU

Ano	Óleo combustível				Gás natural			
	Custo (R\$/mês)	Consumo (Kg/mês)	Consumo (kg/h)	Consumo (kg/vapor)	Custo (R\$/mês)	Consumo (Kg/mês)	Consumo (kg/h)	Consumo (kg/vapor)
2003	41.699,05	35.502	65,74	0,033	-	-	-	-
2004	45.591,00	29.146	53,97	0,027	-	-	-	-
2005*	57.258,14	23.509	43,53	0,022	-	-	-	-
2005**	-	-	-	-	14.155,00	10.518	21,91	0,011
2006	-	-	-	-	28.558,00	19.715	41,07	0,020
2007***	-	-	-	-	29.492,00	20.092	41,86	0,021

Obs.: * Janeiro a maio; ** Novembro e dezembro; *** Janeiro a junho.

O ano de 2005 foi um ano atípico, tendo sido adquirido pela UFMS, três tipos de combustíveis. De janeiro a maio, a caldeira funcionou com óleo combustível BPF 2A. No período de junho a novembro de 2005, a caldeira Ata 14 foi desligada para que fosse realizada a conversão para gás natural, ficando em funcionamento a caldeira sobressalente. Nesse período foram gastos 129.523 litros de óleo diesel, no valor de R\$ 245.674,14 (Duzentos e quarenta e cinco mil, seiscentos e setenta e quatro reais, quatorze centavos). Nos meses de novembro e dezembro a caldeira principal voltou a funcionar, porém já a gás natural.

Assim, a UFMS teve uma despesa de R\$ 560.274,62 (Quinhentos e sessenta mil, duzentos e setenta e quatro reais, sessenta e dois centavos) com a aquisição de combustível para operação de suas caldeiras durante o ano de 2005.

Comparando-se os valores gastos com a aquisição de combustíveis nos anos de 2005 e 2006, nota-se uma redução de R\$ 217.580,87 (Duzentos e dezessete mil, quinhentos e oitenta reais, oitenta e sete centavos).

O investimento para modificação do sistema de alimentação da caldeira, de óleo para gás natural, foi de R\$ 86.500,00 (Oitenta e seis mil e quinhentos reais), pagos em quinze parcelas mensais de R\$ 5.766,66 (Cinco mil, setecentos e sessenta e seis reais, sessenta e seis centavos), no período de novembro de 2005 a janeiro de 2007.

Considerando a economia operacional anual dos exercícios de 2004 e 2005 em relação ao exercício de 2006, de R\$ 204.398,09 (Duzentos e quatro mil, trezentos e noventa e oito reais e nove centavos) e, R\$ 217.580,87 (Duzentos e dezessete mil, quinhentos e oitenta reais e oitenta e sete centavos), respectivamente, verifica-se que, se a UFMS tivesse promovido o investimento em uma única parcela de R\$ 86.500,00 (Oitenta e seis mil e quinhentos reais), o retorno do investimento dar-se-ia em 0,42 e 0,40 anos, conforme demonstrado no Quadro 5.12.

Quadro 5.12 – Retorno do investimento da conversão da caldeira para gás natural

Valor gasto	Custo mensal	Economia/mês		Retorno sem custo de capital	
		R\$	%	Meses	Anos
Óleo combustível (2004)	45.591	17.033	37,36	5,07	0,42
Gás natural (2006)	28.558				
Combustíveis (2005) *	46.690	18.132	38,83	4,77	0,40
Gás natural (2006)	28.558				

Obs.: * óleo combustível, óleo diesel e gás natural.

Considerando a economia mensal gerada com a aquisição de gás natural e, que o investimento foi pago de forma parcelada, conclui-se que a UFMS quitou as parcelas da conversão da caldeira e ainda teve um superávit de R\$ 12.365,34 (Doze mil, trezentos e sessenta e cinco reais, trinta e quatro centavos) mensais.

Levando-se em consideração que o fator de emissão de CO₂ para o óleo combustível é igual a 3075,209 tCO₂/1000t_{oc} e, que o consumo de óleo combustível no ano de 2004 foi de 349.751 kg, conclui-se que a caldeira emitiu, naquele ano, o equivalente a 1075,56 tCO₂.

Considerando que o fator de emissão de CO₂ para o gás natural é igual a 2056,390 tCO₂/10⁶m³_{gn} e, que o consumo de gás natural no ano de 2006 foi de 236.581 m³, verifica-se que a caldeira emitiu, naquele ano, o equivalente a 486,50 tCO₂.

Com a transformação da caldeira a UFMS deixou de emitir 571,06 tCO₂ para a atmosfera, o que equivale a 571 créditos de carbono.

A quantidade de carbono emitida pela caldeira do NHU é ainda minimizada, em virtude de que a casa de caldeiras está localizada ao lado da Reserva Particular de Patrimônio Natural, situada nas dependências da UFMS, com cerca de 50 hectares, cujas árvores auxiliam na captura de carbono e lançamento de oxigênio na atmosfera.

Já no transporte o óleo combustível apresentava desvantagens com relação ao gás natural, pois a entrega era feita em caminhões. A logística de entrega era complicada, necessitando, para confirmação da quantidade de óleo entregue, que o caminhão fosse a um

posto fiscal para pesagem. No momento da entrega, fazia-se necessário o fechamento do pátio para que o óleo fosse descarregado no reservatório.

Antes de sua utilização o óleo também gerava cuidados especiais, visto que o mesmo deveria ser mantido a uma temperatura entre 30°C e 60°C no tanque de armazenagem, com vistas a permitir o fluxo sempre que necessário e, no aquecedor, a uma temperatura de aproximadamente 120°C, para permitir uma boa atomização quando injetado na câmara de combustão. Para manter essa temperatura, fazia-se necessário o emprego de resistências elétricas, o que gerava custos com energia elétrica.

Com a utilização do gás natural todo esse aparato foi desativado e os custos com energia deixaram de ser computados, vez que o gás chega diretamente da rede distribuidora à caldeira pronto para a queima, dispensando transporte, estocagem e gastos com energia para o aquecimento, ou seja, exige apenas ajuste da pressão de queima. Também foram eliminadas as operações de limpeza do sistema ao final de cada turno de trabalho quando o sistema atomizador deveria ser mergulhado em óleo diesel ou querosene.

Tem-se, ainda, a facilidade de que o pagamento do gás natural é efetuado após o consumo, enquanto o óleo combustível era pago a cada carga recebida, ou seja, o produto era pago antes de ser utilizado.

Pelas suas propriedades, o gás natural, mesmo havendo vazamentos eventuais, quando mínimo, tende a se dissipar subindo na vertical, diferentemente do que ocorreria com o óleo combustível, que deixaria marcas onde escoaria, produzindo poluição do solo, fauna e flora existentes nas proximidades.

5.3. Ruídos Sonoros

O levantamento do nível de ruídos emitidos pela Caldeira ATA 14, instalada no NHU, foi realizado no período de dezembro de 2005 a março de 2006.

Foram realizadas 50 medições, com raras exceções, duas vezes ao dia, uma no período da manhã, outra no período da tarde, às distâncias de 1m, 2m, 4m e 8m da fonte, nos quadrantes norte, sul, leste e oeste.

Salienta-se que, além do ruído emitido pela caldeira, ocorria o acionamento da bomba de água, elevando o nível de ruído dentro e fora da casa de caldeiras.

O Quadro 5.13 e a Figura 5.11 mostram a média dos ruídos obtidos durante as medições.

Quadro 5.13 – Medidas do nível de ruído sonoro gerado pela caldeira (dB (A) médio)

Continua																									
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
DATA	26.12.05	28.12.05	29.12.05	30.12.05	30.12.05	18.01.06	18.01.06	19.01.06	19.01.06	20.01.06	20.01.06	21.01.06	21.01.06	22.01.06	22.01.06	23.01.06	23.01.06	24.01.06	24.01.06	06.02.06	06.02.06	07.02.06	07.02.06	08.02.06	08.02.06
	Horário	15:05	16:45	15:45	10:28	14:57	08:55	14:45	08:20	14:15	08:45	14:40	09:15	13:47	08:50	14:45	09:13	14:00	09:40	14:23	09:08	15:15	07:50	16:58	10:08
1 METRO	85,1	83,5	84,6	84,2	84,2	85,0	83,5	84,9	83,5	84,5	83,8	83,8	84,2	84,0	84,1	82,5	85,1	84,2	83,8	84,5	84,7	85,1	84,4	84,6	85,1
2 METROS	80,0	79,7	79,6	80,2	79,6	80,5	80,4	80,4	80,2	80,3	79,6	80,1	81,2	80,6	80,0	80,0	80,5	80,3	80,8	80,5	81,3	80,9	80,9	80,5	79,9
4 METROS	77,5	77,4	78,3	78,9	77,8	77,7	77,7	77,6	77,3	77,6	77,4	77,7	78,2	78,7	78,2	78,3	79,0	78,5	78,3	78,5	79,3	78,4	79,0	78,4	77,9
8 METROS	72,3	72,8	72,2	73,2	72,9	72,2	71,4	72,5	72,4	71,8	72,3	70,9	72,8	73,2	72,9	72,6	72,7	72,5	71,6	73,3	73,3	73,0	73,4	72,6	73,2

Quadro 5.13 – Medidas do nível de ruído sonoro gerado pela caldeira (dB (A) médio)

Conclusão																									
N	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
DATA	09.02.06	09.02.06	10.02.06	10.02.06	11.02.06	11.02.06	12.02.06	12.02.06	13.02.06	13.02.06	02.03.06	02.03.06	03.03.06	03.03.06	04.03.06	04.03.06	05.03.06	05.03.06	06.03.06	07.03.06	07.03.06	08.03.06	08.03.06	09.03.06	09.03.06
Horário	09:15	14:49	09:28	14:50	09:40	15:08	09:23	15:14	08:58	14:55	09:08	13:00	09:14	14:57	08:40	14:42	09:08	14:00	08:35	07:38	14:43	08:53	15:06	08:50	13:08
1 METRO	85,5	84,3	86,0	85,5	84,8	83,7	86,0	84,3	84,2	83,9	84,7	84,0	85,5	84,5	84,6	84,1	84,3	86,4	84,7	85,4	85,9	84,6	85,2	84,3	83,4
2 METROS	81,2	80,6	80,7	80,9	81,1	80,4	81,0	80,3	80,9	80,7	80,9	80,7	80,2	80,4	80,3	80,9	80,7	81,0	81,2	81,5	80,9	81,0	80,2	80,7	80,5
4 METROS	79,3	78,0	77,9	78,9	78,5	78,1	78,4	78,4	79,0	78,3	78,4	78,4	77,9	77,7	78,3	78,4	78,4	79,2	78,4	78,9	78,7	78,6	77,8	77,8	78,2
8 METROS	73,8	72,4	72,9	73,0	72,7	72,6	72,8	73,0	73,2	73,1	73,0	72,7	72,6	72,1	72,7	72,5	73,0	73,2	73,1	73,1	72,2	72,6	72,5	72,2	72,5

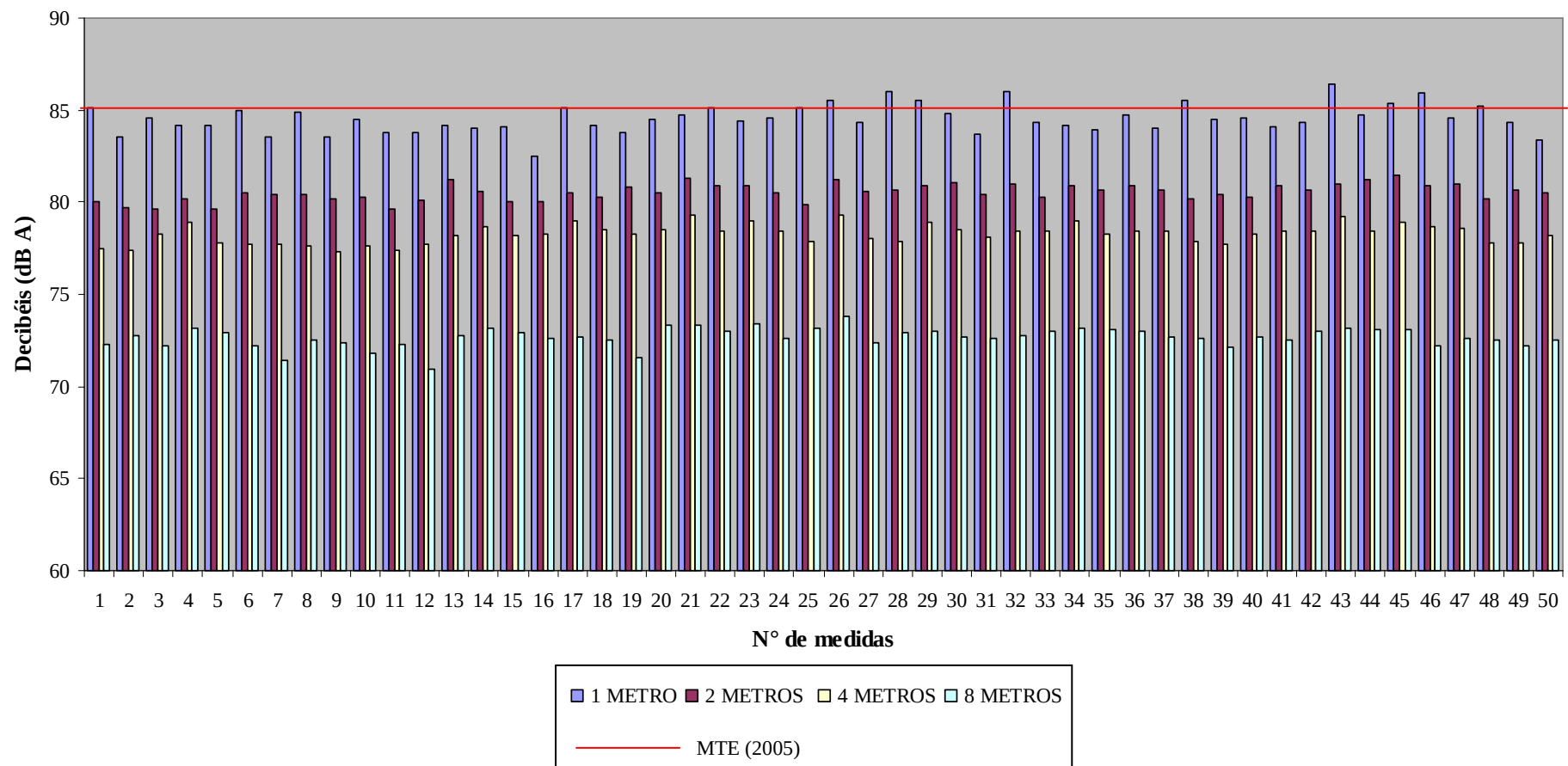


Figura 5.11 – Nível de ruído sonoro gerado pela caldeira (dB A médio)

Analisando o Quadro 5.13 e a Figura 5.11, verifica-se que a 1m da fonte, o nível máximo de ruído registrado foi de 86,4 dB (A) e o mínimo de 82,5 dB (A). Considerando o limite estabelecido pelo MTE (2005), de 85 dB (A) para oito horas de exposição, nota-se que em treze das cinquenta medições realizadas, os valores ficaram acima do limite estabelecido. Enfatiza-se que os operadores da caldeira têm um tempo de exposição bem menor que às 8 horas estabelecidas pela legislação, vez que os mesmos não permanecem o tempo todo dentro da casa de caldeiras, fazendo inserções de cerca de cinco a dez minutos a cada duas horas, o que dá uma média de cerca de duas horas de exposição diária.

O nível de ruído a 2m de distância da fonte variou de 79,6 dB (A) a 81,5 dB (A). A 4m de distância da fonte o nível de ruído variou de 77,3 dB (A) a 79,3 dB (A). A 8m de distância da fonte a variação foi de 70,9 dB (A) a 73,8 dB (A). Comparando os valores medidos com o limite estabelecido pelo MTE (2005), verifica-se que todos os valores encontram-se abaixo do estipulado por aquele órgão.

Acima de 80 dB (A), o som já é considerado incômodo. O ouvido humano só suporta determinado tempo um ruído de intensidade entre 85 dB e 90 dB, sem possíveis distúrbios fisiológicos.

O Quadro 5.14 apresenta a comparação dos resultados correspondentes à média aritmética dos níveis de ruídos sonoros produzidos pela caldeira durante a realização deste estudo, com as médias encontradas por Okano (2004), após a reforma da caldeira.

Quadro 5.14 – Média dos níveis de ruídos emitidos pela caldeira

Distância da fonte	Gás natural dB (A)	Óleo combustível^a dB (A)	Variação dB (A)
1 metro	84,5	86,7	-2,2
2 metros	80,5	81,0	-0,5
4 metros	78,3	76,7	1,6
8 metros	72,7	72,0	0,7

^a Okano (2004)

Considerando que o limite de tolerância para ruídos contínuos e intermitentes estabelecido pelo MTE (2005), para oito horas de exposição contínua é de 85 dB (A), conclui-se que a média aritmética dos níveis de ruídos emitidos pela caldeira do NHU, a 1m de distância da fonte, de 84,5 dB (A), está abaixo do estipulado pelo órgão regulador.

Como a caldeira não foi substituída, mas convertida a gás natural, já era esperado que a atenuação dos ruídos não fosse tão significativa. Este estudo revelou que a troca de combustível, de óleo para gás natural, acarretou uma diminuição de 2,2 dB (A) a 1m de distância da fonte e, de 0,5 dB (A) a 2m de distância da fonte. Segundo os padrões estabelecidos pelo MTE (2005), o limite para seis horas de exposição contínua a ruído sonoro é de 87,0 dB (A). Considerando que os operadores têm uma exposição máxima de 2h diárias, vez que não permanecem o tempo todo na casa de caldeiras, o valor medido por Okano (2004), de 86,7 dB (A), está abaixo do estipulado pelo órgão regulador.

Considerando-se a distância de 8m em relação à de 1m da fonte, verifica-se um aumento de 11,8 dB (A), dando a impressão de que a 1m da fonte o nível de ruído apresenta o dobro da intensidade sentida a 8m. O nível de ruído emitido pela caldeira a 8m, segundo Mota (2000), já tem como consequência início de danos à audição.

As médias aritméticas dos níveis de ruídos registrados neste estudo a 4m e a 8m de distância da fonte apresentaram um acréscimo de 1,6 dB (A) e 0,7 dB (A), respectivamente, em comparação com as médias encontradas por Okano (2004). Possivelmente esta variação resulte do fato de que Okano (2004) trabalhou com medidas apenas no lado norte, enquanto neste estudo, as médias são resultantes das medidas nos quatro quadrantes (norte, sul, leste e oeste), a partir da localização da caldeira. O acionamento da bomba de água que alimenta a caldeira também pode ter influenciado nos resultados apresentados.

De acordo com a NBR 10.152, na área de serviços em um hospital, os níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico devem variar entre 45-55 dB (A). Segundo a NBR 10.151, o nível de critério de avaliação-NCA, para ambientes externos, em dB (A), para área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas, deve ser de 50 dB (A) no período diurno e, 45 dB (A) no período noturno.

Os níveis de ruídos emitidos pela caldeira, tanto operando a óleo combustível como a gás natural, para as distâncias de 1m a 8m da fonte, apresentam níveis bem acima dos estabelecidos pelas duas legislações anteriormente citadas, entretanto, a caldeira fica em uma área afastada dos apartamentos, enfermarias, centros cirúrgicos e laboratórios, sendo que os prédios mais próximos localizam-se a uma distância maior que 10m, o que faz com que o nível de ruído seja bem menor, não causando incômodo às áreas próximas.

A Resolução CONAMA nº 001/90, estabelece que os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela NBR 10.151, são prejudiciais à saúde e ao sossego público.

Considerando o estado precário de funcionamento da caldeira, a mesma foi interditada na última inspeção de segurança, ficando proibida de operar até o conserto das anomalias

detectadas. A caldeira foi desligada em 12/06/2007. Ao se estimar o custo para realização do conserto, verificou-se que o mesmo ultrapassaria 60% do valor de aquisição de uma caldeira nova. Como a caldeira do NHU completará 25 anos no ano de 2008 e, que após esse tempo de uso, a mesma deve passar por uma avaliação rigorosa para determinar sua vida útil remanescente, a direção do NHU optou pela aquisição de uma nova caldeira (gás/óleo), com menor capacidade de produção de vapor (cerca de 1600 kg/h), que já se encontra em processo de licitação. Nesse ínterim, encontra-se em funcionamento uma caldeira ATA 8, com capacidade de produção de vapor de cerca de 1000 kg/h, movida a óleo diesel.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

A utilização de gás natural como combustível para combustão da caldeira proporcionou um melhor rendimento energético, gerando uma minimização dos resíduos e uma melhoria no padrão da qualidade do ar, sendo que as concentrações de poluentes emitidas atendem plenamente as legislações pertinentes.

A principal razão para a baixa contribuição da caldeira em termos de concentração de poluentes emitidos, é a mudança para combustível mais limpo, com baixo teor de enxofre e cinzas, como a troca do óleo combustível BPF 2A pelo gás natural, considerada uma fonte de energia segura, eficiente e econômica.

Este estudo revelou uma minimização da agressão ao meio ambiente e uma diminuição dos custos operacionais, evitando gastos com manutenção, estocagem, limpeza e com a compra de equipamentos anti-poluição, como filtros e lavadores de gás. O abastecimento contínuo evita movimentação e transferência entre reservatórios com diferentes temperaturas no preparo para queima, como ocorre com o óleo combustível.

Analisando o resultado do investimento (conversão da caldeira e aquisição de combustível), constata-se que o NHU tomou uma decisão acertada ao optar pela conversão da caldeira para gás natural.

A troca proporcionou, ainda, uma maior higiene na casa de caldeiras, pela eliminação dos resíduos e vazamentos de óleo, liberando gases de exaustão mais limpos. Isso gerou uma redução na emissão de materiais particulados e fuligem, lançados na atmosfera, melhorando as condições do ar atmosférico no NHU e áreas circunvizinhas, evitando multas e advertências de órgãos ambientais, bem como reclamações dos moradores da região.

Quanto ao nível de ruído emitido pela caldeira, as médias obtidas para as distâncias de 1m a 8m da fonte, estão abaixo do estipulado pelo órgão regulador.

O estudo dos poluentes atmosféricos e ruídos emitidos por uma caldeira flamotubular a gás natural, não foi esgotado com a apresentação deste trabalho, mas certamente, poderá contribuir como objeto de novos estudos e de outros projetos de pesquisa relacionados a emissões de gases poluentes e de ruídos oriundos de geradores de energia a combustíveis fósseis.

A demanda por geração de energia é crescente. Gerar energia suficiente para atender aos diversos usos, com diminuição da agressão ao meio ambiente é o grande desafio da humanidade.

A solução passa pela conscientização e educação do consumidor e pelo desenvolvimento de tecnologias que levem ao aumento da eficiência energética de equipamentos, sistemas e processos.

6.2. Recomendações

Para um melhor rendimento da caldeira e um maior controle da concentração dos poluentes emitidos, deve ser adotado um sistema de controle efetivo da combustão.

O NHU deve manter atualizado e de fácil acesso para consulta, o livro de ocorrências da caldeira, onde deverão ser registradas todas as ocorrências importantes capazes de influir nas condições de segurança da caldeira, bem como informações sobre as inspeções de segurança periódicas e extraordinárias, devidamente assinado pelo profissional habilitado e pelo operador que acompanhou a inspeção.

Promover um maior acompanhamento da execução do contrato de prestação de serviços para tratamento da água da caldeira, visando a remoção dos íons de cálcio e magnésio da água, vez que as paredes externas dos tubos de fogo encontram-se totalmente impregnadas por carbonato de cálcio, o que diminui a sua eficiência (prejudica a troca de calor) gerando, inclusive, aumento no consumo de combustível e enfraquecimento desses tubos.

Promover reciclagem permanente dos operadores da caldeira, por meio de atualização técnica, cursos e palestras, de forma a repassar informações sobre as condições físicas e operacionais dos equipamentos e medidas de segurança, com vistas a uniformizar procedimentos.

Repetir as medições das concentrações de poluentes atmosféricos e de níveis de ruídos, após a instalação da caldeira que está sendo adquirida, quando a mesma estará

operando em condições normais, com vistas a ratificar/retificar os resultados obtidos neste estudo e promover o controle das emissões para fins de tomada de decisões gerenciais.

Aplicar modelos matemáticos a fim de identificar a que distância da caldeira ocorre impacto ambiental devido a emissão dos poluentes gasosos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**. Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. 2000.
2. _____. **NBR 10152**. Fixa os níveis de ruídos compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos. 1987.
3. _____. **NBR 12177-1**. Caldeiras estacionárias a vapor – inspeção de segurança – Parte 1: caldeiras flamotubulares. 1999.
4. _____. **NBR 12177-2**. Caldeiras estacionárias a vapor – inspeção de segurança – Parte 2: caldeiras aquotubulares. 1999.
5. _____. **NBR 12313**. Sistema de combustão – controle e segurança para utilização de gases combustíveis em processos de baixa e alta temperatura. 2000.
6. _____. **NBR 13203**. Caldeiras estacionárias elétricas a vapor – inspeção de segurança. 2000.
7. ALONSO, P.S.R. **O que é gás natural**. Disponível em: <http://www.ctgas.com.br/template02.asp?parametro=93>. Acesso em: 28 de janeiro de 2005.
8. AMBIENTE GLOBAL. **Smog fotoquímico**. Disponível em: <http://ambienteglobal/air/gases.html>. Acesso em 28 de janeiro de 2005.
9. ARRUDA, J.J.A. **História moderna e contemporânea**. 8.ed. São Paulo: Ática, 1977. p.119-135.
10. BARUFI, C.B.; SANTOS, E.M.; REIS, C. **Auto-suficiência energética e desenvolvimento: o comércio de gás natural entre Brasil e Bolívia**. 26p. Disponível em: http://www.usp.br/prolam/downloads/2006_2_6.pdf. Acesso em 02 de setembro de 2007.
11. BERMANN, C. A perspectiva da sociedade brasileira sobre a definição e implementação de uma política energética sustentável – uma avaliação da política oficial. In: **Seminário internacional de fontes alternativas de energia e eficiência energética: opção para uma política energética sustentável no Brasil**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2002. 13p. Disponível em: <http://www.riosvivos.org.br/arquivos/571566216.pdf>. Acesso em 31 de janeiro de 2005.

12. BORELLI, A.B.; NAKA, H.K.; OLIVEIRA, V.C. **Gás natural – transporte e distribuição.** São Paulo, 2001. 7p. Trabalho apresentado como parte da conclusão do curso de Introdução ao Petróleo e Gás Natural. Programa de Pós-graduação do Instituto de Eletrotécnica e Energia – PIPGE-IEE, USP. Disponível em: http://geocities.yahoo.com.br/jbonds_0072001/pagina02.htm. Acesso em 31 de janeiro de 2005.
13. BRAGA, A.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N. Poluição e seus Efeitos na Saúde Humana. In: **Seminário sobre sustentabilidade na geração e uso de energia.** Campinas, SP: UNICAMP, 2002. 20p. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=1039>. Acesso em 26 de janeiro de 2005.
14. BRASIL. Leis, etc. **Lei Federal n ° 6.938, de 31/08/1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Publicada no DOU de 02/09/1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br> Acesso em 25 de janeiro de 2005.
15. _____ **Lei Federal n ° 6.674, de 05/07/1979.** Autoriza o Poder Executivo a instituir a Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Publicada no DOU de 05/07/1979. p. 9.412.
16. _____ Ministério da Educação. **Portaria Ministerial nº. 1.686, de 03/07/2003.** Aprova o Estatuto da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Publicada no DOU de 07/07/2003. Disponível em: <http://ufms.br/inform/estatuto/Estatuto2003.pdf> Acesso em 31 de janeiro de 2005.
17. _____ Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Pró-reitoria de Planejamento. **Relatório de gestão 2002.** Campo Grande, MS: UFMS, 2003. p.27-28. Disponível em: <http://www.ufms.br/index.php?id=25&modo=gestao> Acesso em 05 de maio de 2005.
18. _____ Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Pró-reitoria de Planejamento. **Relatório de gestão 2006.** Campo Grande, MS: UFMS, 2007. p.27-28. Disponível em: <http://www.ufms.br/prpl2610/Relatorio-UFMS-2006.pdd> Acesso em 01 de setembro de 2007.
19. _____ Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 001, de 23/01/1986. Estabelece critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação de avaliação de impacto ambiental (EIA/RIMA).

- Publicada no DOU de 17/02/1986. In: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções CONAMA**: 1984/91. 4.ed. rev. e aum. Brasília: IBAMA, 1992. p.39-44.
20. _____ Resolução CONAMA nº 011, de 18/03/1986. Altera e acrescenta incisos na Resolução nº. 001/86 que institui o RIMA. Publicada no DOU de 02/05/1986. In: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções CONAMA**: 1984/91. 4.ed. rev. e aum. Brasília: IBAMA, 1992. p.56.
 21. _____ Resolução CONAMA nº 005, de 15/06/1989. Institui o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR. Publicada no DOU de 30/08/1989. In: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções CONAMA**: 1984/91. 4.ed. rev. e aum. Brasília: IBAMA, 1992. p.161-165.
 22. _____ Resolução CONAMA nº 001 de 08/03/1990. Estabelece critérios e padrões para emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas. Publicada no DOU de 02/04/1990. In: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções CONAMA**: 1984/91. 4.ed. rev. e aum. Brasília: IBAMA, 1992. p.195-197.
 23. _____ Resolução CONAMA nº 003, de 28/06/1990. Estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar. Publicada no DOU de 22/08/1990. In: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções CONAMA**: 1984/91. 4.ed. rev. e aum. Brasília: IBAMA, 1992. p.199-205.
 24. _____ Resolução CONAMA nº 008, de 06/12/1990. Estabelece limites máximos de emissão de poluentes do ar, previstos no PRONAR. Publicada no DOU de 28/12/1990. In: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções CONAMA**: 1984/91. 4.ed. rev. e aum. Brasília: IBAMA, 1992. p.214-217.
 25. _____ **Resolução CONAMA nº 382, de 26/12/2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Publicada no DOU de 02/01/2007. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> Acesso em 16 de março de 2007.
 26. _____ Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo. **Portaria ANP nº. 104, de 08/07/2002**. Estabelece a especificação do gás natural, de origem nacional ou importada, a ser comercializado em todo o território nacional. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NxT/gateway.d/?f=templates&fn=default.htm&vid=anp.10.1048/en> Acesso em 02 de maio de 2005.

27. _____ Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo. **Boletim mensal do gás natural, referência julho/2007**. 90 p. Disponível em: http://www.anp.gov.br/doc/gas/2007/boletimgas_200707.pdf. Acesso em 10 de outubro de 2007.
28. _____ Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo. **Boletim mensal de produção – Dados estatísticos**. Disponível em: http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Producao_de_Gas_Natural_m3.xls#A53. Acesso em 16 de novembro de 2007.
29. _____ Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético Nacional 2007 - Ano base 2006**. 194 p. Disponível em: http://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007_versao_completa.pdf. Acesso em 16 de novembro de 2007.
30. _____ Ministério do Trabalho e Emprego – MTE. **NR. 13**. Classificação de caldeiras. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Normas/conteudo/nr13/default.asp>. Acesso em 21 de março de 2005.
31. _____ **NR. 15**. Atividades e operações insalubres. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Normas/conteudo/nr15/default.asp>. Acesso em 21 de março 2005.
32. _____ **Portaria nº. 3.214, de 18/06/1978**. Aprova as Normas Regulamentadoras – NR – do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a segurança e medicina do Trabalho. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Portarias/1978/conteudo/port3214.asp>. Acesso em 03 de maio de 2005.
33. _____ Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho. **Portaria nº. 23, de 27/12/1994**. Altera a NR. 13, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Portarias/1994/conteudo/port23.asp>. Acesso em 03 de maio de 2005.
34. CARBONO BRASIL. **Neutralização de carbono**. Disponível em: <http://www.carbonobrasil.com>. Acesso em 29 de dezembro de 2007.
35. CEG – Companhia Distribuidora de Gás do Rio de Janeiro. **Compromissos com o meio-ambiente**. Disponível em: <http://www.ceg.com.br>. Acesso em 22 de dezembro de 2004.

36. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2003.** Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_boletim.asp Acesso em 21 de março de 2005.
37. _____. **Instrução técnica para aplicação da Norma Brasileira NBR 10.151.** Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/Textos/Cetesb-nbr10152.doc>. Acesso em 15 de março de 2007.
38. COELHO, S.T.; PALETTA, C.E.M.; FREITAS, M.A.V. (Ed.). **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica.** Brasília: Dupligráfica, 2000. p.9, 41, 42, 173. il.
39. COMPAGAS – Companhia Paranaense de Gás. **Composição do gás natural - gasoduto Bolívia-Brasil.** Disponível em: <http://www.compagas.com.br> Acesso em 31 de janeiro de 2005.
40. _____. **Gás natural.** Disponível em: <http://www.compagas.com.br/port/ogasnatural.shtml>. Acesso em 31 de janeiro de 2005.
41. CONSERVAÇÃO E GESTÃO DOS RECURSOS PARA O DESENVOLVIMENTO: Proteção da atmosfera. In: **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 1992.** Brasília: Câmara dos Deputados, 1995. Seção II, cap. 9, p.111-122.
42. CORREA, E.L. **A viabilidade econômica do gás natural.** Florianópolis-SC, 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/5581.pdf> Acesso em 25 de janeiro de 2005.
43. CTGAS – Centro de Tecnologia do Gás. **Usos e vantagens do gás natural.** Disponível em: <http://www.ctgas.com.br>. Acesso em 28 de janeiro de 2005.
44. DERISIO, J.C. Apud: LORA, E.S.; TEIXEIRA, F.N. Energia e meio ambiente. In: MARQUES, M.; HADDAD, J.; MARTINS, A.R.S. (Coord.). **Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos.** Itajubá, MG: FUPA, 2001. cap. 2, p.60.
45. ECIENCIA. **Combustão.** Disponível em: <http://www.eciencia.usp.br/exposicao/gepeq/combustao.htm>. Acesso em 09 de março de 2005.
46. EPA-US - US Environmental Protection Agency. Apud: MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000. p.235.

47. ESTEVES, M.; RODRIGUEZ, J.A.; MACIEL, M. **Sistema de intertravamento de segurança.** Resende, 2003. p.40-51. Monografia (Curso de Engenharia Elétrica). Associação Educacional Dom Bosco. Disponível em: <http://www.professores.aedb.br/arlei/AEDB/Pj2003/monografia5.doc>. Acesso em 22 de dezembro de 2004.
48. FONTENELLE, A.; COUTINHO, L. O estado geral da Terra. Revista VEJA. São Paulo, v.37, n.51, p.181-189 e 202-211, 2004.
49. FURTADO, R.C. Apud: COELHO, S.T.; PALETTA, C.E.M., FREITAS, M.A.V. (Ed.). **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica.** Brasília: Dupligráfica, 2000. p.173.
50. GALVÃO FILHO, J.B. Poluição do ar. In: Margulis, S. (Ed.). **Meio ambiente:** aspectos técnicos e econômicos. 2.ed. Brasília: IPEA, 1996. cap. 2, p.35-55.
51. GASENERGIA. **O que é gás natural.** Disponível em: <http://www.gasenergia.com.br/portage/port/gn/oquee.jsp>. Acesso em 31 de janeiro de 2005.
52. GASNET. **O produto.** Disponível em: http://www.gasnet.com.br/gasnet_br/oque_gn/produto_completo.asp. Acesso em 22 de dezembro de 2004.
53. _____. **O gás.** Disponível em: <http://www.gasnet.com.br>. Acesso em 31 de janeiro de 2005.
54. _____. **Informações gerais.** Disponível em: <http://www.gasnet.com.br>. Acesso em 31 de janeiro de 2005.
55. _____. **O combustível.** Disponível em: http://www.gasnet.com.br/gasnet_br/oque_gn/combust_completo.asp. Acesso em 09 de março de 2005.
56. _____. **Produto.** Disponível em: http://www.gasnet.com.br/novo_gasnatural/produto_completo.asp#prod1. Acesso em 07 de setembro de 2007.
57. GEOCITIES. **Triângulo de fogo e combustão.** Disponível em: http://www.geocities.com/g_anjos/combincendiospg1.htm. Acesso em 09 de março de 2005.
58. GOLDEMBERG, J. Apud MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000. p.112.

59. HOSKYN, K.G.; HOSKYN, A.M.; SAROFF, L. Apud: LORA, E.S; TEIXEIRA, F.N. Energia e meio ambiente. In: MARQUES, M.; HADDAD, J.; MARTINS, A.R.S. (Coord.). **Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá, MG: FUPA, 2001. cap. 2, p.45.
60. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <http://inmet.gov.br> Acesso em 10 de novembro de 2007.
61. KARADEMIR, A. **Evaluation of the potential air pollution from fuel combustion in industrial boilers in Kocaeli, Turkey**. Department of Environmental Engineering. University of Kocaeli. Kocaeli, Turkey, 2006. 10p. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V3B-4JDOFV3. Acesso em 30 de outubro de 2007.
62. KING, D. Uma ameaça maior que o terrorismo. **Rev. VEJA**. São Paulo, v. 37, n.51, p.201, 2004.
63. KIRCHHOFF, D. **Avaliação de risco ambiental e o processo de licenciamento: o caso do gasoduto de distribuição gás brasileiro trecho São Carlos – Porto Ferreira**. São Carlos, 2004. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Disponível em http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-09112004-172134/publico/disserta_Dkirchhoff.pdf. Acesso em 26 de janeiro de 2005.
64. LA ROVERE, E.L. Energia e meio ambiente. In: Margulis, S. (Ed.). **Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos**. 2.ed. Brasília: IPEA, 1996. cap. 1, p.11- 33.
65. LORA, E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. Brasília, DF: ANEEL, 2000. p.230-254.
66. LORA, E.S; TEIXEIRA, F.N. Energia e meio ambiente. In: MARQUES, M.; HADDAD, J.; MARTINS, A.R.S. (Coord.). **Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá, MG: FUPA, 2001. cap. 2, p.30-89.
67. MACEDO, I. (Coord.). **Estado da arte e tendências das tecnologias para energia**. Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos – Ciência, Tecnologia e Inovação. 2003. (Relatório técnico).
68. MARCONDES, A. **Um país movido a gás**. Disponível em: <http://tierramerica.net/2004/0126/pacentos.shtml>. Acesso em 31 de janeiro de 2005.
69. MARGULIS, S. (Ed.). **Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos**. 2.ed. Brasília: IPEA, 1996. p.3-9.

70. MARKHAM, A. Apud: LORA, E.E.S; TEIXEIRA, F.N. Energia e meio ambiente. In: MARQUES, M.; HADDAD, J.; MARTINS, A.R.S. (Coord.). **Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá, MG: FUPA, 2001. cap.2, p.43.
71. MARTINS, A.R.S. Caldeiras e fornos. In: MARQUES, M.; HADDAD, J.; MARTINS, A.R.S. (Coord.). **Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá, MG: FUPA, 2001. cap. 9, p.307-337.
72. MATO GROSSO DO SUL (Estado). Leis, etc. Lei nº. 90, de 02/06/1980. Dispõe sobre as alterações do meio ambiente, estabelece normas de proteção ambiental e dá outras providências. In: MORELLI, S.L. (Org.). **Legislação ambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: UFMS, 2000. p.23-29.
73. _____. Decreto nº. 4.625, de 07/06/1988. Regulamenta a Lei nº. 90, de 02 de junho de 1980 e dá outras providências. In: MORELLI, S.L. (Org.). **Legislação ambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: UFMS, 2000. p.169-180.
74. _____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Resolução SEMA/MS nº. 001, de 26/01/1989. Disciplina o serviço estadual de licenciamento de atividades poluidoras e dá outras providências. In: MORELLI, S.L. (Org.). **Legislação ambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: UFMS, 2000. p.331-352.
75. _____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Resolução SEMADES nº. 302, de 20/06/1997. Altera anexos das Resoluções SEMA/MS nºs 001/89 e 009/94, e dá outras providências. In: MORELLI, S.L. (Org.). **Legislação ambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: UFMS, 2000. p.396-408.
76. MINIPA Indústria e Comércio Ltda. **Manual de instruções do decibelímetro MSL 1351C**. Disponível em <http://www.minipa.com.br> Acesso em 10 de maio de 2005.
77. MOTA, S. Impactos ambientais das atividades humanas. In: _____. **Introdução à engenharia ambiental**. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000. cap. 3, p.95-118.
78. _____. O ar. In: _____. **Introdução à engenharia ambiental**. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000. cap. 6, p.205-238.
79. _____. Conservação ambiental. In: _____. **Introdução à engenharia ambiental**. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000. cap. 9, p.361-362.
80. _____. **Urbanização e meio ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.82 - 96.
81. OKANO, S.M. **Avaliação dos poluentes atmosféricos e ruídos emitidos por uma caldeira flamotubular a óleo combustível BPF 2A**. Campo Grande, MS, 2004. 101p.

- Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
82. PEREIRA, N.S.; PEREIRA, J.Z.F. Poluição atmosférica. In: _____ **Terra planeta poluído: engenharia ambiental**. Porto Alegre, RS: Sagra S.A. [entre 1979 e 1981]. v.2, cap. 5, p.7-64.
 83. _____ Poluição sonora. In: PEREIRA, N.S.; PEREIRA, J.Z.F. **Terra planeta poluído: engenharia ambiental**. Porto Alegre, RS: Sagra S.A. [entre 1979 e 1981]. v.2, cap. 6, p.65- 81.
 84. PINHEIRO, A.C.F.B.; MONTEIRO, A.L.F.B.A. O ecossistema do ar – a atmosfera. In: _____ **Ciências do ambiente: ecologia, poluição e impacto ambiental**. São Paulo: Makron, 1992. cap. 5, p.49-55.
 85. _____ A poluição do ar e seu controle. In: PINHEIRO, A.C.F.B.; MONTEIRO, A.L.F.B.A. **Ciências do ambiente: ecologia, poluição e impacto ambiental**. São Paulo: Makron, 1992. cap. 6, p.56-67.
 86. PRATES, C.P.T.; PIEROBON, E.C.; COSTA, R.C.; FIGUEIREDO, V.S. **Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2402.pdf>. Acesso em 03 de setembro de 2007.
 87. RECICLE CARBONO. **Cálculo dos fatores de emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil**. 15p. Disponível em: http://www.reciclecarbono.com.br/index_biblio.htm. Acesso em 29 de dezembro de 2007.
 88. REIS JR., N.C. **Fundamentos principais de controle da poluição do ar**. v.II. p.5. Departamento de Eng. Ambiental, Centro Tecnológico-UFES. 2006. Disponível em: http://www.inf.ufes.br/~neyval/Ger_Emis_Atm/Gerencia_Atm_Mod_II.pdf. Acesso em 30 de outubro de 2007.
 89. ROCHA, M.T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. São Paulo, 2003, 196p. Tese (Doutorado em Ciências, área de concentração: Economia Aplicada). Universidade de São Paulo. Disponível em: http://www.reciclecarbono.com.br/biblio/tese_marcelo.pdf. Acesso em 29 de dezembro de 2007.
 90. ROSSO, C. **Relatório de inspeção de segurança periódico da caldeira ATA nº 7310**. Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Hospital Universitário. 6p. Março de 2007.

91. SÃO PAULO (Estado). Leis, etc. **Decreto nº 8.468, de 08/09/1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº. 997, de 31/05/1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/Dec8468.pdf> Acesso em 04 de maio de 2005.
92. SCARIOT, E.J. **Estudo da viabilidade técnica e econômica da substituição do óleo combustível pelo gás natural em caldeiras**. Campo Grande, MS, 2004, 79p. Monografia (Especialização). Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal.
93. SEWELL, G.H. A importância da poluição do ar. In: _____ **Administração e controle da qualidade ambiental**. Trad. Gildo Magalhães dos Santos Filho. São Paulo: EPU. CETESB, 1978. cap. 8, p.161-178.
94. _____ Controle do ruído. In: SEWELL, G.H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. Trad. Gildo Magalhães dos Santos Filho. São Paulo: EPU, CETESB, 1978. cap. 10, p.199-214:
95. SILVER, C.S.; DEFRIES, R.S. Apud: MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000. p.113-114.
96. SOUZA, P.P. **Fontes de emissões de gases e níveis de poluição atmosférica das empresas que utilizam caldeiras como fonte de energia, nas micro regiões de Campo Grande, Dourados, e Nova Andradina**. Campo Grande, MS, 2001, 98p. Monografia (Especialização em Inovação e Difusão Tecnológica). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
97. TORREIRA, R.P. **Geradores de vapor**. São Paulo: Companhia de Melhoramentos, 1995. p.131-230 e p.361-387
98. VIGÂNNICO, A.S., PEREIRA, A.C., COSTA NETO, B.L., KAWANO, M. (Coord.) **Medição e prevenção da poluição atmosférica**. SENAI, Departamento Nacional. Santos/SP, 1999. p.4-22.