



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**“AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO  
AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA  
ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE  
GERAÇÃO TERMELÉTRICA”**

**Karina Ribeiro Salomon**

**Orientador: Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora**

**Itajubá - MG  
Abril - 2003**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**“AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO  
AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA  
ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE  
GERAÇÃO TERMELÉTRICA”**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Itajubá, para a obtenção de título de Mestre em Engenharia da Energia.

**Itajubá – MG  
Abril - 2003**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao  
meu esposo, Celso e a minha  
filha Giovanna.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por vencer mais uma etapa, ao executar este trabalho.

Aos meus pais, irmãos e familiares.

Agradeço, em especial ao Professor Dr. Electo, quem muito admiro, pela orientação, amizade e confiança que a mim depositou.

Ao Flávio e Felipe pela colaboração e paciência.

Aos meus colegas e amigos do NEST, professores e amigos.

A UNIFEI por contribuir para minha formação.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

A crise energética que o Brasil enfrentou nos últimos anos, fez com que o país, tendo uma matriz energética principalmente hídrica, optasse pela utilização de outras fontes de energia primária a fim de cobrir a sua demanda de eletricidade. Neste contexto, o governo lançou o Programa Prioritário de Termoeletricidade – PPT, visando aumentar a capacidade de geração do país. Nesse programa estava prevista a construção de mais de 40 novas centrais termelétricas, utilizando diferentes tecnologias de geração. A geração termelétrica traz vantagens como o atendimento a requisitos ambientais, já que o gás natural, utilizado pela maior parte das usinas projetadas, é menos poluente que outros combustíveis fósseis. Além disso, as usinas termelétricas serão instaladas próximas aos centros de consumo de energia, demandam menos tempo de construção e podem obter financiamentos com mais facilidade.

Esse trabalho tem como objetivo:

- identificar os diferentes métodos de controle dos poluentes que podem ser emitidos pelas centrais termelétricas;
- comparar emissões típicas de diferentes tecnologias de termogeração com os padrões de emissões vigentes no Brasil e em outros países;
- Comparar as emissões veiculares percapita e de refinarias de petróleo com relação às emissões decorrentes do programa brasileiro de termoeletricidade;
- Avaliar o impacto ambiental de emissões de poluentes através de um novo parâmetro, chamado de Eficiência Ecológica;
- Avaliar o impacto das condicionantes ambientais no consumo específico de água para fins de resfriamento considerando diferentes tecnologias de geração, tipos de torres e localização da central.

A metodologia utilizada para avaliar as emissões gasosas foi através de análises comparativas com os padrões de emissões vigentes no Brasil e no mundo e, os padrões de qualidade do ar de acordo com a Organização Mundial da Saúde. Para o uso da água em sistemas de resfriamentos a análise foi realizada através de um estudo de casos utilizando o software Thermoflex. Os principais resultados obtidos foram: a utilização do gás natural e o uso de métodos de controle de poluentes atingem os padrões internacionais vigentes e aumentam a eficiência ecológica. A cogeração resulta em altas eficiências ecológicas. Regiões com temperatura ambiente menor consomem menos quantidades de água. E, a utilização de torres de resfriamento seca diminui a eficiência das UTE's, principalmente em regiões mais quentes.

## ABSTRACT

The energy crisis that Brazil faced in the past years has made the country, whose energy matrix is mainly based on water resources, opt for the use of other primary sources of energy in order to fulfill the demand of electricity. Within this scenario, the government has launched the “Priority Thermoelectricity Program” – PPT – aiming at increasing the country’s generating capacity. This program forecast the construction of more than 40 thermal plants using different generation technologies. Thermal generation brings advantages such as the fulfillment of environmental requests, once natural gas, which is used by most of the plants, is less polluting than other fossil fuels. In addition, thermal plants will be installed close to energy consuming centers. Their construction time is shorter and it is easier to obtain financial aid.

This study intends to:

- Identify the different methods of controlling pollutants that may be released by thermal plants;
- Compare typical emissions of different thermal generation technologies with the emission standards in force in Brazil and in other countries;
- Per capita vehicle and oil refinery emissions are compared in relation to the emissions coming from the thermoelectricity Brazilian program;
- The environmental impact of polluting emissions is also evaluated in the light of a new parameter called Ecological Efficiency;
- The impact of environmental conditions regarding water specific consumption for cooling considering different generation technologies, types of towers and the location of the plants is also evaluated.

The methodology used to evaluate the gaseous emissions it was through you analyze comparative with the patterns of effective emissions in Brazil and in the world and, the patterns of quality of the air in agreement with the World Organization of the Health. For the use of the water in cooling systems analyzes it was her accomplished through a study of cases using the software Thermoflex. The principal obtained results were: the use of the natural gas and the use of control methods of pollutant reach the effective international patterns and they increase the ecological efficiency. The cogeneration results in discharges ecological efficiencies. Areas with it adapt smaller temperature they consume less amounts of water. And, the use of cooling towers evaporates it reduces the efficiency of power plants, mainly in hotter areas.

## SUMÁRIO

Dedicatória .....	iii
Agradecimento .....	iv
Resumo .....	v
Abstract .....	vi
Sumário .....	vii
Lista de Tabelas .....	x
Lista de Figuras .....	xii
Nomenclatura .....	xviii
INTRODUÇÃO .....	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
Capítulo 1-GERAÇÃO TERMELÉTRICA NO BRASIL .....	4
1.1 –Histórico do Setor Energético .....	4
1.2 Cenário Atual .....	6
Capítulo 2 – MÉTODOS DE CONTROLE DE PLUENTES .....	10
2.1 Óxido de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) .....	10
2.2 Óxido de Enxofre (SO <sub>x</sub> ) .....	16
2.3 Material Particulado .....	20
2.4 Considerações Finais .....	23
Capítulo 3- IMPACTOS AMBIENTAIS .....	24
3.1 Emissões de poluentes .....	24
3.1.1. Poluição Atmosférica .....	24
3.2 Revisão Bibliográfica .....	25
3.2.1 Características dos combustíveis .....	25
3.2.1.1 Carvão betuminoso .....	25
3.2.1.2 Gás natural .....	27
3.2.1.3 Gás liquefeito de petróleo – GLP .....	29
3.2.1.4 Óleos combustíveis .....	30
3.2.1.5 Diesel .....	31
3.2.1.6 Biomassa .....	31
3.2.2 Tecnologias Analisadas .....	33
3.2.2.1 Motor de Combustão Interna....	33
3.2.2.2 Turbina a gás .....	34
3.2.2.3 Turbina a vapor. ....	35
3.2.2.4 BIG-GT – Gaseificação da Biomassa Integrada – Turbina a gás .....	36

3.2.2.5 Ciclo combinado .....	37
3.3 Metodologia .....	38
3.3.1 Padrões de emissões e fatores de emissões.....	38
3.3.2 Emissões atmosféricas típicas durante a geração termelétrica .....	39
3.4. Análise comparativa .....	43
3.4.1 Comparação entre as emissões das CTE's e os Padrões de Emissões ....	43
3.4.2 Emissões veiculares e de refino de petróleo .....	46
3.4.3 Comparação entre as emissões das CTE's e emissões veiculares e de refino de petróleo .....	49
3.5 Poluição das Águas .....	51
3.6 Considerações Finais .....	52
Capítulo 4- EFICIÊNCIA ECOLÓGICA ..	53
4.1 Introdução . .....	53
4.2 Metodologia para o cálculo da eficiência ecológica .....	55
4.3 Eficiência Ecológica .....	58
4.4 Aplicação da metodologia . .....	59
4.5 Considerações finais . .....	64
Capítulo 5- SISTEMAS DE RESFRIAMENTO .	66
5.1 Introdução . .....	66
5.2 Déficit Hídrico . .....	67
5.3 Descrição dos sistemas de resfriamento .....	68
5.3.1 Referências Bibliográficas .....	68
5.3.1.1 Circuito Aberto . .....	68
5.3.1.2 Circuito Fechado .....	68
5.4 Perdas nas torres de resfriamento . .....	72
5.5 Potencial impacto ambiental da torres de resfriamento .....	73
5.6 Considerações econômicas . .....	74
5.7 Estudos de casos . .....	75
5.7.1 Thermoflex . .....	75
5.7.2 Casos ... .....	76
5.7.2.1.CASO 1: REGIÃO DE SÃO PAULO – SP .....	77
5.7.2.2. Resultados e análises .....	77
5.7.2.3 CASO 2: REGIÃO DE PORTO ALEGRE – RS .....	89
5.7.2.4. Resultados e análises . .....	89



5.7.2.5 CASO 3: REGIÃO DO RIO DE JANEIRO – RJ .....	100
5.7.2.6 Resultados e análises . .....	101
5.7.3. Comparação entre os casos em relação aos períodos de verão e inverno . .....	113
5.8 Considerações Finais . .....	115
Capítulo 6- Conclusões. ....	116
Referências Bibliográficas . .....	118
Apêndice 1 Centrais termelétricas simuladas no software Thermoflex .....	122
Apêndice 2 Dados Meteorológicos das Três Cidades em Estudo.....	126
Apêndice 3 Tipos de Torres de rEsfriamento Avaliadas neste Trabalho.....	133
Apêndice 4 Resultados das Simulações.... ..	135

## Lista de Tabelas

Tabela-2.1: Métodos de remoção de NO <sub>x</sub> .....	15
Tabela-2.2: Métodos de dessulfurização de gases .....	19
Tabela 2.3: Tecnologias de remoção de particulados .....	20
Tabela 3.1: Composição química dos combustíveis sólidos durante a evolução desde a madeira até carvão mineral tipo antracito .....	26
Tabela 3.2: Reserva Provada até 2001 de carvão mineral .....	26
Tabela 3.3: Distribuição das reservas e da produção de gás natural do mundo. (ANP, 1999) .....	28
Tabela 3.4: Dados de reservas totais e provadas em cada região do Brasil no ano de 2001 .....	28
Tabela 3.5: Disponibilidade de diferentes tipos de biomassa no Brasil .....	32
Tabela 3.6: Características principais das tecnologias comerciais de geração termelétrica .....	38
Tabela 3.7: Padrões de emissões vigentes para termelétricas na Áustria, Japão (Kucowski et al, 1997) e EUA (EPA, 1995) .....	39
Tabela 3.8: Fatores típicos de emissões de tecnologias de geração termelétrica. (Bluestein J., 2001) .....	40
Tabela 3.9: Fatores de emissões de NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , PM-10 e CO <sub>2</sub> para diferentes tecnologias de geração .....	41
Tabela 3.10: Fatores de emissões para o Bagaço. (EPA) .....	41
Tabela 3.11: Padrões de emissões brasileiros para processos de combustão externa. (Resolução CONAMA 008/90) .....	42
Tabela 3.12: Padrões de Emissões para o bagaço de cana. (Pestelli, 1997) .....	42
Tabela 3.13: Padrões de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2000) .....	42
Tabela 3.14: Novas etapas do PROCONVE para veículo leves	48
Tabela 3.15: Novas etapas do PROCONVE para veículos pesados	48
Tabela 3.16: Fatores de Emissões para veículos a gasolina e refinarias de petróleo (Barros e Ferreira, 1992) .....	49
Tabela 4.1: Padrões de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2000) .....	55

Tabela 4.2: Fator de multiplicação dos gases SO <sub>x</sub> , PM e NO <sub>x</sub> em comparação com CO <sub>2</sub>	56
Tabela 4.3: Características dos combustíveis virtuais .....	58
Tabela 4.4: Características dos combustíveis sólidos e líquidos .....	60
Tabela 4.5: Característica do combustível gasoso .....	60
Tabela 4.6: Eficiências Ecológicas das tecnologias estudadas .....	60
Tabela 5.1: Custo de um Sistema de Resfriamento Úmido.....	74

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Esquema do combustor DLN1 da GE .....	12
Figura 2.2: Esquema do combustor DLN1 da GE .....	12
Figura 2.3: Esquema do combustor DLN1 da GE .....	12
Figura 2.4: Esquema do combustor DLN1 da GE .....	12
Figura 2.5: Esquema da utilização de Requeima do gás .....	14
Figura 2.6: Esquema de um SCR .....	14
Figura 2.7: Esquema de um ciclo combinado utilizando SC .....	15
Figura 2.8: Esquema da utilização de um dessulfurizador úmido .....	17
Figura 2.9: Esquema da utilização de um dessulfurizador semi-seco .....	17
Figura 2.10: Esquema da utilização de dessulfurizadores “Seawater” .....	18
Figura 2.11: Esquema da utilização de um dessulfurizador de amônia .....	18
Figura 2.12: Precipitador Eletrostático .....	22
Figura 2.13: Filtros de Mangas .....	22
Figura 3.1: Esquema de uma instalação de ciclo combinado com MCI e turbina a vapor com controles de NO <sub>x</sub> e SO <sub>x</sub> .....	34
Figura 3.2: Esquema de um ciclo com turbina a gás .....	35
Figura 3.3: Esquema de uma central termelétrica moderna com altos parâmetros operando com carvão mineral .....	36
Figura 3.4: Sistema BIG/GT .....	37
Figura 3.5: Esquema de um ciclo combinado utilizando turbina a gás e turbina a vapor .....	37
Figura 3.6: Comparação entre fatores de emissões típicos para NO <sub>x</sub> e os padrões vigentes para unidades existentes .....	43
Figura 3.7: Comparação entre fatores de emissões típicos para SO <sub>x</sub> e os padrões vigentes para unidades existentes .....	44
Figura 3.8: Comparação entre fatores de emissões típicos para particulados e os padrões vigentes para as unidades existentes .....	45

Figura 3.9: Comparação entre as emissões de NO <sub>x</sub> para o bagaço em ciclos a vapor e BIG-GT e o padrão de emissão .....	45
Figura 3.10: Comparação entre o padrão de emissão e as emissões de particulados utilizando bagaço com e sem controle .....	46
Figura 3.11: Comparação entre as emissões veiculares, refinarias e as usinas do PPT .....	50
Figura 4.1: Relação entre a eficiência ecológica e a eficiência da planta .....	61
Figura 4.2: Relação entre a eficiência ecológica com e sem controle .....	62
Figura 4.3: Relação entre a eficiência ecológica e o indicador de poluição .....	62
Figura 4.4: Eficiência ecológica das tecnologias utilizando biomassa .....	63
Figura 4.5: Vantagens da utilização da cogeração em diferentes tecnologias utilizando biomassa .....	63
Figura 4.6: Vantagens da utilização de TG e MCI em cogeração .....	64
Figura.5.1: Sistema de resfriamento ciclo aberto .....	68
Figura.5.2: Sistema de resfriamento torre seca .....	69
Figura.5.3: Sistema de resfriamento torre úmida .....	70
Figura 5.4: Torre úmida com tiragem natural .....	71
Figura 5.5: Torre úmida com acionamento mecânico (induzido) fluxo contra corrente .....	71
Figura 5.6: Torre úmida com acionamento mecânico (induzido) fluxo cruzado .....	71
Figura 5.7: Torre mista com acionamento mecânico .....	72
Figura 5.8: Consumo específico de água nas torres em função da temperatura do bulbo úmido nas centrais situadas na região de São Paulo – SP .....	78
Figura 5.9: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP .....	79
Figura 5.10: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo .....	79
Figura 5.11: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP .....	80
Figura 5.12: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo .....	80
Figura 5.13: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a	

vapor situada na região de São Paulo – SP .....	81
Figura 5.14: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo .....	81
Figura 5.15: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de São Paulo .....	82
Figura 5.16: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo .....	82
Figura 5.17: Heat rate em função da temperatura do bulbo úmido para a central de ciclo combinado situada na região de São Paulo – SP .....	83
Figura 5.18: Consumo específico de água nas torres em função da umidade relativa do ar para centrais situadas na região de São Paulo – SP .....	83
Figura 5.19: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa do ar para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP .....	84
Figura 5.20: Potência dos ventiladores em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo .....	85
Figura 5.21: Potência gerada em função da umidade relativa do ar para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP .....	85
Figura 5.22: Potência gerada em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo .....	86
Figura 5.23: Eficiência em função da umidade relativa do ar para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP .....	86
Figura 5.24: Eficiência em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo .....	87
Figura 5.25: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de São Paulo .....	87
Figura 5.26: Pressão na saída do condensador em função da da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo .....	88
Figura 5.27: Heat rate em função da umidade relativa para a central de ciclo combinado situada na região de São Paulo – SP .....	88
Figura 5.28: Consumo específico de água em função da temperatura do bulbo úmido nas centrais situadas na região de Porto Alegre – RS .....	90
Figura 5.29: Potência dos ventiladores em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de Porto Alegre – RS .....	90
Figura 5.30: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre – RS ..	91

Figura 5.31: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma planta a vapor situada na região de Porto Alegre - RS .....	91
Figura 5.32 Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre – RS .....	92
Figura 5.33: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de Porto Alegre – RS .....	92
Figura 5.34: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre – RS .....	93
Figura 5.35: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre .....	93
Figura 5.36: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre.	94
Figura 5.37: Heat rate em função da temperatura do bulbo úmido para a central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.....	94
Figura 5.38: Consumo específico de água em função da umidade relativa do ar para as centrais situadas na região de Porto Alegre – RS .....	95
Figura 5.39: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre – RS .....	96
Figura 5.40: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre – RS .....	96
Figura 5.41: Potência gerada em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre – RS .....	97
Figura 5.42: Potência gerada em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre – RS .....	97
Figura 5.43: Eficiência em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre – RS .....	98
Figura 5.44: Eficiência em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre – RS .....	98
Figura 5.45: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre .....	99
Figura 5.46: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre .....	99
Figura 5.47: Heat rate em função da umidade relativa para a central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.....	100

Figura 5.48: Consumo específico de água das torres em função da temperatura do bulbo úmido para centrais situadas na região do Rio de Janeiro – RJ .....	101
Figura 5.49: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	102
Figura 5.50: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ.	102
Figura 5.51: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	103
Figura 5.52: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	103
Figura 5.53: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	104
Figura 5.54: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	104
Figura 5.55: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	105
Figura 5.56: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro - RJ.	105
Figura 5.57: Heat rate em função da temperatura do bulbo úmido para a central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro - RJ.....	106
Figura 5.58: Consumo específico de água nas torres em função da umidade relativa para situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	107
Figura 5.59: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	107
Figura 5.60: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	108
Figura 5.61: Potência gerada em função da umidade relativa para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	108
Figura 5.62: Potência gerada em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	109
Figura 5.63: Eficiência em função da umidade relativa para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	109
Figura 5.64: Eficiência em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado na região do Rio de Janeiro – RJ .....	110
Figura 5.65: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar	



para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	110
Figura 5.66: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ .....	111
Figura 5.67: Heat rate em função da umidade relativa para a central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.....	111
Figura 5.68: Queda da potência em função da temperatura ambiente .....	112
Figura 5.69: Queda da eficiência em função da temperatura ambiente .....	112
Figura 5.70: Consumo específico de água para ambas as centrais utilizando torre úmida com tiragem natural .....	113
Figura 5.72 Consumo específico de água para ambas as centrais utilizando torre úmida com acionamento mecânico.....	113
Figura 5.73 Consumo específico de água para ambas as centrais utilizando torre mista com acionamento mecânico .....	114

## NOMENCLATURA

$\eta$  - eficiência de conversão energética  
 $\varepsilon$  - Eficiência Ecológica  
 $(\text{CO}_2)_e$  –  $\text{CO}_2$  equivalente  
 $\varepsilon_{cr}$  - Eficiência Ecológica Crítica  
 $\Pi_g$  - Indicador de poluição  
 ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica  
 ANFAVEA – Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotivos  
 ANP – Agência Nacional do Petróleo  
 BIG-GT – Biomass integrated gasifier and gas turbine (Gaseificação da Biomassa Integrada com Turbina a gás)  
 BOOS - queimadores fora de serviço  
 C – carbono  
 $\text{C}_2\text{H}_6$  – etano  
 $\text{C}_3\text{H}_8$  – propano  
 $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – iso-butano  
 $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – n-butano  
 $\text{C}_5\text{H}_{12}$  – n-pentano  
 CC – Ciclo Combinado  
 CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – São Paulo  
 $\text{CH}_4$  – metano  
 CO – monóxido de carbono  
 $\text{CO}_2$  – dióxido de carbono  
 Cog. - cogeração  
 Comb. – combustível  
 CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
 CONPET – Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo  
 CTE – Centrais Termelétricas  
 $\text{C}_x\text{H}_x$  – hidrocarbonetos  
 DLN – Dry Low  $\text{NO}_x$  burners (câmara de combustão seca com baixa emissão de  $\text{NO}_x$ )  
 EPA – Environmental Protection Agency  
 ESP – Precipitadores eletrostáticos  
 EUA – Estados Unidos da América  
 FGD – Dessulfurizadores  
 FGR - Recirculação dos gases  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - microgramas por metro cúbico  
 g/ano/habitante – gramas por ano por habitante  
 g/km – grama por kilometro  
 GJ – giga joule  
 GLP – gás liquefeito de petróleo  
 GN – gás natural  
 $\text{H}_2$  – hidrogênio  
 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
 INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
 kg/kg – quilograma por quilograma  
 kg/MJ – quilograma por megajoule  
 kg/t – quilograma por tonelada  
 $\text{kgf}/\text{cm}^2$  – quilograma – força por centímetro quadrado  
 kJ/kg – kilojoule por quilograma  
 $\text{kJ}/\text{Nm}^3$  – kilojoule por Normal Metro Cúbico  
 km/dia – kilometro por dia

kW – kilowatts  
kWh – kilowatt-hora  
LEA - Combustão com baixo excesso de ar  
LNB – Low NO<sub>x</sub> burners (Queimadores com baixa emissão de NO<sub>x</sub>)  
m - metro  
m<sup>3</sup>/h/MW – metro cúbico por hora por megawatt  
m<sup>3</sup>/kWh – metro cúbico por kilowatt-hora  
m<sup>3</sup>/h – metro cúbico por hora  
MAE - Mercado Atacadista de Energia Elétrica  
MCI – motor de combustão interna  
mg/Nm<sup>3</sup> – Miligrama por Normal Metro Cúbico  
MJ/kg – megajoule por kilograma  
MMC - mil metros cúbicos  
MME – Ministério da Minas e Energia  
MP – material particulado  
MW – megawatts  
N<sub>2</sub> – nitrogênio  
Nm<sup>3</sup>/kg – Normal metro cúbico por kilograma  
NO<sub>2</sub> – óxido nitroso  
NO<sub>x</sub> – óxidos de nitrogênio  
O<sub>2</sub> - Oxigênio  
O<sub>3</sub> – ozônio  
OCDE - Organisation for Economic Co-Operation and Development  
OFA - Introdução de ar sobre a chama  
OMS – Organização Mundial da Saúde  
ONS –Operador Nacional do Sistema Elétrico  
PCI - poder calorífico inferior  
PCS - poder calorífico superior  
PPT - Programa Prioritário de Termelétricidade  
Pró-álcool – Programa de Álcool Automotivo Brasileiro  
PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores  
PT - Partículas Totais  
Qi – poder calorífico –(idem PCI)  
S – enxofre  
SO<sub>2</sub> – dióxido de enxofre  
SO<sub>x</sub> – óxidos de enxofre  
SCR – Redução seletiva catalítica  
SNCR – Redução seletiva não catalítica  
t – toneladas  
t/dia – toneladas por dia  
Tbu – temperatura do bulbo úmido  
TCE – 80 - turbina condensação com extração (pressão inicial do vapor 80 bars)  
TG – turbina a gás  
TV – turbina a vapor  
UR – umidade relativa  
VOCs – compostos orgânicos voláteis  
W – água (umidade)  
WHO – World Health Organization  
(Organização Mundial da Saúde)

## **INTRODUÇÃO**

O novo modelo do setor elétrico brasileiro, baseado na competição e regulação do mercado, tem como princípios essenciais à revitalização do setor, a diversificação da matriz energética, a universalização do acesso e a busca por capitais privados. Estes aspectos levam a mudanças na estrutura do mercado. O papel do estado passa de empreendedor para regulador; a quebra do monopólio traz consigo novos agentes como a do produtor independente de energia, o comercializador de energia e o consumidor livre, calcados na desverticalização das atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização. Todos estes aspectos têm sido bastante discutidos a fim de se garantir uma margem de reserva ‘segura’ no país e, dessa forma, manter o crescimento econômico previsto nos planos de governo.

A crise energética que o Brasil enfrentou nos últimos anos, fez com que o país, tendo uma matriz energética principalmente hídrica, optasse pela utilização de outras fontes de energia primária a fim de cobrir a sua demanda de eletricidade. Neste contexto, o governo lançou o Programa Prioritário de Termelétricidade – PPT, visando aumentar a capacidade de geração do país. Nesse programa estava prevista a construção de mais de 40 novas centrais termelétricas, utilizando diferentes tecnologias de geração.

A geração termelétrica permite:

- Garantir a confiabilidade de fornecimento de eletricidade, e redução da dependência de condicionantes climáticas.
- Reduzir as perdas de eletricidade por transporte e distribuição ao colocar as fontes geradoras perto dos grandes centros de consumo.
- Aplicação extensiva da cogeração no setor industrial e terciário.
- Atenuação dos impactos ambientais decorrentes do alagamento de enormes extensões de terra para a construção dos reservatórios das UHE.
- Utilização de combustíveis “nacionais” tais como o carvão mineral e o bagaço de cana.

Países com sistemas hidrotérmicos com predominância da hidroeletricidade, como o caso da Suécia e da Noruega, possuem mais de 30 % da potência instalada, em térmicas. O Brasil deve procurar qual é o mix ótimo de UTE e UHE na sua matriz hidrotérmica.

No capítulo 1, são apresentados um Histórico do Setor Energético no País, bem como um panorama geral do cenário atual do aumento de oferta de energia, com o aumento das centrais térmicas no Brasil.

Os métodos de controle de emissões de poluentes utilizados na geração elétrica são enfocados no capítulo 2. As características e particularidades dos equipamentos serão mostrados neste capítulo onde se faz uma revisão bibliográfica dos diferentes métodos de prevenção e controle da poluição disponíveis no mercado.

Análise comparativa entre fatores de emissão de diferentes tecnologias de geração termelétrica com padrões de emissões vigentes no Brasil e na Áustria, Japão e Estados Unidos, é apresentada no capítulo 3. A análise destes dados serve para avaliar a necessidade de se instalar equipamento(s) de controle de poluição para alguma(s) das tecnologias avaliadas. Posteriormente, o impacto ambiental, referente à emissão de poluentes gasosos pelas térmicas previstas no PPT, é comparado com o impacto das emissões veiculares e do refino de petróleo no Brasil, utilizando como base emissões específicas e emissões percapita. Esta segunda análise tem o intuito de dar uma medida da dimensão da afetação na qualidade do ar com a instalação das centrais termelétricas previstas no PPT.

Um novo parâmetro para se avaliar o impacto ambiental de emissões de poluentes, é apresentado no capítulo 4, a chamada Eficiência Ecológica.

Já no capítulo 5, são apresentados os diferentes tipos de torres de resfriamento que existem, onde foram feitas simulações de duas centrais termelétricas: um a vapor e outro de ciclo combinado, através do software Thermoflex, em três regiões do país: São Paulo – SP, Rio de Janeiro – RJ e Porto Alegre –RS, variando as temperaturas do bulbo úmido e as umidades relativas das cidades citadas, de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET dos últimos 7 anos.

Finalmente, são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, no capítulo 6, bem como as algumas considerações finais e sugestões para novos enfoques de pesquisas adicionais.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Esse trabalho tem como principais objetivos:

- identificar os diferentes métodos de controle de poluentes disponíveis para reduzir emissões nas centrais termelétricas;
- analisar as emissões típicas de diferentes tecnologias de termogeração comparando-as com os padrões de emissões vigentes no Brasil e em outros países;
- comparar as emissões veiculares percapita e de refinarias *de* petróleo com relação às emissões decorrentes do programa brasileiro de termelétricidade;

- avalia-se o impacto ambiental de emissões de poluentes através de um novo parâmetro, chamado de Eficiência Ecológica;
- avaliar também o impacto das condicionantes ambientais, tais como a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar, no consumo específico de água para fins de resfriamento considerando diferentes tecnologias de geração, tipos de torres e localização da central.

## **1 - GERAÇÃO TERMELÉTRICA NO BRASIL**

### **1.1 –Histórico do Setor Energético**

Um breve histórico nos mostra que *“a tecnologia de conversão de calor em trabalho mecânico evoluiu consideravelmente a partir do início do século XX, época em que as máquinas alternativas movidas a vapor utilizavam o carvão como combustível e apresentavam rendimento de apenas 1%. As máquinas grandes, lentas e desconfortáveis foram substituídas por motores de menor tamanho, de maior potência, mais rápidos e eficientes. Esta evolução está ligada a descoberta do petróleo, cujos derivados substituíram o carvão, com vantagens tecnológicas, econômicas e ambientais, viabilizando os motores Diesel e Otto e as turbinas a gás e a vapor. Estas duas turbinas, quando associadas, constituem o ciclo combinado, que apresenta as vantagens de operar com temperatura elevada na entrada da turbina a gás (1200<sup>0</sup>C) e temperatura reduzida na saída da turbina a vapor (35<sup>0</sup>C)”*.(IENO, G. O, 1993). Estes dados de temperatura dependem da turbina a vapor utilizada.

Uma central termelétrica é caracterizada por produzir energia elétrica a partir da energia térmica liberada por reações químicas ou nucleares. Os combustíveis mais utilizados para movimentar direta ou indiretamente os geradores são: óleo Diesel, óleo combustível, gás natural, carvão mineral, resíduos da indústria de açúcar e álcool, etc. No Brasil, os combustíveis mais utilizados são óleo Diesel, carvão e bagaço de cana, o gás natural está começando a se difundir. A disponibilidade deste último tem aumentado consideravelmente com a construção do gasoduto Brasil - Bolívia, que possui uma extensão de 3150 quilômetros de comprimento, e custou US\$ 2 bilhões. Hoje a Bolívia exporta um volume diário de 12 milhões de metros cúbicos de gás ao Brasil. A Bolívia é o país que possui a maior reserva de gás da América do Sul. (EFEI-Energy News 2002)

O Brasil veio sofrendo ao longo dos anos com a defasagem no programa de expansão no setor energético, o que possibilitou o aparecimento de vários problemas ao longo do tempo. Tempo este, em que se poderiam ter sido instalados novas fontes energéticas adicionais.

Nas últimas quatro décadas, o país teve como base energética os sistemas hidrelétricos em estatais, se dividindo entre os governos federais e estaduais. Na década de 80, enquanto o sistema energético internacional evoluía, reunindo concessões regionais de geração, transmissão e distribuição e ampliando a competição na geração, o setor brasileiro se encontrava numa situação difícil devido à sua política econômica e a algumas intervenções na gestão de certas concessionárias. Com os anos a crise foi se ampliando devido à falta de investimento, inexistência

de uma proposta de reformulação no setor e pelo aumento da demanda, em torno de 6% ao ano, empurrados pelo efeito do plano Real. Assim, o governo não pôde arcar sozinho com a sua reestruturação no setor energético e decidiu privatizar alguns setores de distribuição de energia, para aumentar o investimento de capital estrangeiro no país e melhorar o setor. Já no final da década de 90, criaram-se novas leis, decretos, novos órgãos no setor e diversas medidas de modo a viabilizar uma participação cada vez mais expressiva do setor privado, na indústria de energia elétrica do País, sendo necessário algumas modificações na Constituição Federal de 1988, para atrair investimentos internacionais, tudo isto através do Plano Decenal de Expansão, planejado em 1998. Algumas dessas medidas importantes do plano foram: (MME - 2000)

1. *“Lei das Concessões” - Lei nº 8.987/95 -além de criar condições para maior participação de capitais privados, introduziu a competição na construção de novos projetos mediante regulamentação do regime de licitação das concessões, outorgadas anteriormente somente às concessionárias estaduais ou federais.*
2. *Lei nº 9.074/95, que estabelece as bases legais para que os grandes consumidores de energia possam comprar energia livremente; antes, a aquisição era feita obrigatoriamente pela empresa geradora da região.*
3. *Decreto nº 2.003/96 – que regulamenta a figura do produtor independente, peça-chave no novo sistema, além de autorizar a venda da produção excedente do autoprodutor.*
4. *Lei nº 9.427/96 - criação da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, criada pela como órgão regulatório do Setor, inaugurando uma nova etapa do setor elétrico brasileiro.*
5. *Lei nº 9.648/98 - que definiu, dentre outras disposições, o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) e a figura do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que vêm proporcionar um ambiente favorável em direção à livre negociação da energia elétrica. É importante notar que esses atos normativos, que conformam o novo mercado de energia, também estabeleceram limites à concentração de mercado e destacam os interesses dos usuários e consumidores como uma das preocupações básicas da nova estrutura regulatória e viabilizam a expansão do sistema elétrico por intermédio de capitais privados.*

O último plano Decenal de Expansão publicado pelo Ministério das Minas e Energia – MME, Eletrobrás referente ao período 1999/2008, orienta que o desenvolvimento do programa de geração hidrelétrica juntamente com a energia termelétrica, será prioritariamente desenvolvido pela iniciativa privada em empreendimentos de geração e transmissão, em particular na formação de consórcios e nas modalidades de autoprodução e produção independente de energia elétrica, bem como em programas e obras de distribuição. Também apresenta uma proposta consensual das



empresas concessionárias do serviço público de energia elétrica para a expansão da geração, da transmissão e da distribuição de energia elétrica. E finalmente, o referido Plano Decenal representa, não só a consolidação da experiência de planejamento do Setor Elétrico Brasileiro, a ser preservada, mas sobretudo, um instrumento importante rumo às novas características a serem assumidas pelo planejamento setorial, decorrentes do novo cenário institucional traçado a partir da lei de concessões de serviços públicos, passando a sinalizar oportunidades de investimento para o setor privado, que terá papel relevante na expansão do sistema elétrico do País

## 1.2 Cenário Atual

A mudança na matriz energética brasileira fez o Governo lançar o Decreto Federal nº 3.371, de 24 de fevereiro de 2000, o qual cria o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT) que deveria aumentar de 7% para 20% a geração elétrica de origem térmica nos próximos 10 anos. Este Programa também aumentaria a oferta de energia elétrica em mais de 15 mil Megawatts, a partir da implementação até 2003, de dezenas usinas em vários Estados.

O Artigo 1 da Portaria nº 43, de 25 de fevereiro de 2000, do Ministério de Minas e Energia (MME), definiu as tecnologias e combustível a utilizar nas usinas termelétricas que integram o PPT. As usinas integrantes deste programa totalizariam uma potência de 16.419 MW, distribuídas em 11 usinas de cogeração a gás natural (2.450 MW), 30 usinas a gás natural em ciclo combinado (12.785 MW), 2 usinas a gás natural ciclo aberto (84 MW), 4 usinas a carvão (1.100 MW) e ainda 2 usinas com outros combustíveis (xisto e resíduo asfáltico - RASF) (676 MW). Ainda nesta portaria, destacou-se como meta estabelecida para o setor elétrico, implantar um parque gerador termelétrico, de forma a atingir até o ano 2009 um perfil hidrotérmico onde a fração gerada por centrais termelétricas representaria 20 %, aumentando a participação do gás natural na matriz energética nacional de 3 % para cerca de 10 %. Essa mudança traria consigo também o aumento nas emissões atmosféricas, em função da tecnologia adotada e do combustível empregado.

Cerca de 80% do gás natural, seria importado da Bolívia. O acordo firmado entre o presidente da Bolívia, Gonzalo Sanchez de Lozada, e o Presidente Fernando Henrique Cardoso em 1996, seria de que, como o preço poderia sofrer influência da variação cambial, assim seria fixado em valor Real por 12 meses e o supridor arcaria com a diferença entre o preço em Dólar e o preço em Reais. O preço que estaria no contrato daquele ano, seria de US\$ 1,25 por mil metros cúbicos (MMC) de gás natural. Atualmente, com a crise mundial influenciando a variação cambial, o

ministro das Minas e Energia está negociando a redução do preço de compra – venda do gás. (EFEI-Energy News – 2002)

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Industrial – ABEMI, as razões para o incentivo do Parque Térmico a gás natural, são as seguintes:

- Política nacional de diversificação das fontes de energia e redução do risco hidrológico.
- Melhor aproveitamento de investimentos já realizados em produção e transporte de gás, particular os associados ao gasoduto Bolívia – Brasil.
- Uso da geração térmica como âncora para o desenvolvimento de mercados de gás natural no setor industrial.
- Benefício ambiental indireto (substituição de fontes mais poluentes fora do setor elétrico).
- Usinas térmicas têm menor tempo de construção – recurso corretivo no caso de imprevistos no suprimento de energia hidrelétrica.
- Benefícios de maior intercâmbio comercial com a Argentina e Bolívia grandes produtores de gás.

De acordo com a Resolução ANEEL nº 112, de 18 de maio de 1999, a qual estabelece os condicionantes necessários à obtenção de Registro (centrais até 5 MW) ou Autorização (centrais acima de 5 MW) para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas e de outras fontes alternativas de energia, o processo de outorga passou por uma ampla reestruturação que vislumbrou a adoção de critérios mais simplificados e a agilização da emissão do ato sem colocar em risco o fator qualidade. Substituiu-se a antiga e demorada aprovação do projeto por requisitos de habilitação. Com isso as usinas termelétricas passaram a ganhar força no País, principalmente em virtude da evolução tecnológica, do crescimento da malha de gasodutos e da maior facilidade em se adquirir o gás natural, combustível principal desse tipo de unidade geradora, reduzindo assim as limitações do sistema elétrico atual. Mas infelizmente isto não ocorreu. A falta de uma política bem estruturada, afastou alguns investidores que viram algumas dificuldades quanto ao Programa Prioritário de Termelétricidade.

Os principais problemas que impedem o desenvolvimento da termelétricidade no país são:

- Política de preços do gás natural (transporte, compra, venda);
- Preço de venda da energia;
- Regras do Valor Normativo (máximo de custos que as distribuidoras podem repassar para as tarifas);
- Tarifas de transmissão;
- Fontes de financiamentos;
- Problemas de contratos a longo prazo;

- Mecanismos de proteção aos investidores quanto a prejuízos;
- Dificuldades relacionadas a problemas ambientais;
- Maior equilíbrio no despacho da energia produzida por hidrelétricas e termelétrica.

Existem alguns riscos associados à geração termelétrica a gás natural, são eles:

➤ Riscos regulatórios:

- Instabilidade de regras. Ex: preços do MAE (Mercado Atacadista de Energia), 4 mudanças na metodologia em 6 meses (setembro de 2001 a Janeiro de 2002).

➤ Riscos financeiros:

- Garantia do PPA (Risco de Default)
- Garantia do MAE (Inadimplência do mercado)
- Necessidade de mecanismo da HEDGE para indisponibilidade da planta por razões externa.
- Risco cambial (remuneração do capital externo).

➤ Riscos Técnicos: Meio Ambiente

- Suprimento Radial do Gás
- Suprimento de Água.

Segundo, Xisto Vieira, Presidente da Associação Brasileira dos Geradores Termelétricos – ABRAGET, a dependência por condições hidrológicas favoráveis, pode ser um fator de risco, por exemplo, se a quantidade de chuvas não forem suficientes para abastecer os reservatórios, em 2005 poderá haver novos apagões. Para Xisto, tem que se discutir rapidamente a introdução do gás natural na matriz energética brasileira, através da termelétricidade, a fim de reduzir a dependência das condições hidrológicas. (POWER, 2002)

A geração térmica necessária, segundo a ABRAGET, para diminuir futuras ameaças de racionamento, a curto prazo, seria de 15% da capacidade instalada, que é de 74 mil MW, e a longo prazo de 20-25%, o que significaria até 15 mil MW. A situação atual do PPT, após 3 anos de sua criação mostra, através de um levantamento da ABRAGET, que de 39 projetos (15.599 MW) de usinas previstas para o PPT, 10 foram concluídos com 2.484 MW de potência disponível e previsão total de 4.021 MW; 16 suspensos (5.147 MW); sete estão com o cronograma em atraso (4041 MW) e seis tem tido andamento normal (2.390 MW). (POWER, 2002)

A atual Ministra de Minas e Energia, Dilma Rousseff, declarou que se deve haver um planejamento de longo prazo pelo fato de o sistema ser integrado, melhorando as expectativas do setor.

A ABRAGET (Associação Brasileira dos Geradores Termelétricos) luta através do Ministério de Minas e Energia, pela criação de um grupo de trabalho, a fim de analisar e tentar solucionar os principais problemas das termelétricas no Brasil, para que esta , complemente a

geração hidrelétrica. O grupo seria coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e Eletrobrás, tendo a ABRAGET e o Operador Nacional de Sistemas (ONS) como participantes.

Solucionando o problema do PPT, o cenário energético brasileiro será de novas e grandes perspectivas para os próximos anos. Isso trará uma certa tranquilidade para o mercado de energia, que já observa um excesso de eletricidade no país, pois o consumo atual está um pouco abaixo daquele existente no período anterior ao racionamento e com os investimentos no setor, com as novas térmicas, será garantida uma maior oferta de energia.

## **2 MÉTODOS DE CONTROLE DE POLUENTES**

Independente do combustível utilizado a maioria dos métodos de controle de emissões são semelhantes. A seguir estão, em separado, cada tipo de poluente e seu método de controle respectivo:

### **2.2 Revisão bibliográfica**

#### **2.2.1 Óxido de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>):**

A formação de NO<sub>x</sub> pode ser classificada de acordo com os mecanismos de formação, da seguinte maneira:

- A partir do nitrogênio do ar, produzindo NO<sub>x</sub> “térmico” e NO<sub>x</sub> “rápidos”; e
- a partir do nitrogênio do combustível, que produz NO<sub>x</sub> “do combustível”.

Estes mecanismos dependem de alguns fatores:

- Temperatura do núcleo da chama;
- Conteúdo de nitrogênio no combustível;
- Parâmetros do processo na fornalha.

O NO<sub>x</sub> pode aumentar ou diminuir da seguinte forma:

- Aumentar:
  - com a relação ar/combustível ou com a temperatura da queima;
  - com a temperatura do ar na entrada do combustor;
  - com o acréscimo do tempo de residência dos gases na zona da chama.
- Diminuir:
  - com o aumento da injeção de água e/ou vapor na câmara de combustão.

Métodos Pré-combustão: são fundamentados nos seguintes segmentos:

- Redução da temperatura máxima da combustão;
- Redução do teor de oxigênio na zona primária da chama realizando-se a combustão em várias etapas.

Abaixo estão os principais métodos de remoção de NO<sub>x</sub> :

**Injeção de água e/ou vapor:** A injeção de água e/ou vapor é feito no interior da câmara de combustão da turbina a gás, reduzindo assim a emissão de  $\text{NO}_x$  e aumentando a potência. Para isso é necessária uma fonte de água altamente pura ou uma caldeira no caso do vapor. Fundamenta-se na diminuição da temperatura e concentração de oxigênio no núcleo da chama. Pode alcançar eficiências de 80% (Siemens power journal online, 2001, EPA). As conseqüências da injeção de água e/ou vapor são:

- Diminuição da eficiência termodinâmica.
- Aumento da instabilidade da chama.
- Extinção da chama dependendo da quantidade de água injetada.
- Aumento das emissões de CO dependendo da quantidade de água.

**Combustão por etapas:** *este método consiste da introdução, na zona da combustão primária, de uma quantidade de ar menor que a tecnicamente necessária (definida pelo coeficiente de excesso de ar). Na realidade na fornalha não se observa combustão incompleta, já que o ar restante é injetado por bocais localizados acima dos queimadores se observando, então, uma zona de combustão secundária, o que explica o nome que recebe o método de controle das emissões de  $\text{NO}_x$ . Como conseqüência, se observa a diminuição da temperatura máxima da chama, assim como a diminuição da concentração de oxigênio nesta região. A complementação da combustão na segunda etapa acontece à temperatura menor que a primeira etapa e, por isso, praticamente, não há formação de  $\text{NO}_x$  (LORA, 2002).*

**Recirculação dos gases (FGR):** uma parte do gás é reinjetado na zona primária de combustão. Este método reduz a concentração de oxigênio na zona da combustão primária, reduzindo assim a emissão de  $\text{NO}_x$ . Pode alcançar de 40 a 60% de eficiência (EPA).

**DLN (Dry Low- $\text{NO}_x$  Burners):** o princípio desta tecnologia é diluir a mistura de combustível em quantidade suficiente de ar antes do início do processo de combustão. Essa mistura reduzirá a temperatura da chama, diminuindo assim a quantidade de  $\text{NO}_x$  formado. A pré-mistura com baixo excesso de ar (queima pobre) diminui a temperatura da chama e aumenta o tempo de residência no combustor. Uma dificuldade é obter uma pré-mistura homogênea antes do queimador. Uma melhoria seria um queimador piloto para uma maior potência, aumentando a estabilidade do sistema, a faixa de operação do sistema e modular a taxa de ar/combustível de maneira diferenciada. As figuras 2.1, 2.2, 2.3, e 2.4 apresentam alguns esquemas do combustor DLN1 da GE. Pode alcançar 99% de eficiência (Siemens power journal online, 2001/ PAVRI, 2001).

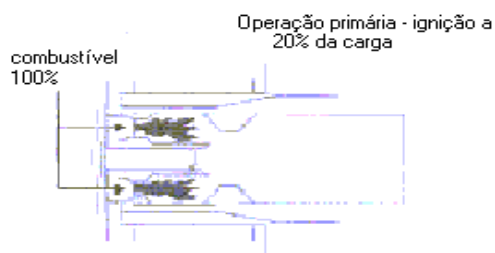


Figura 2.1: Esquema do combustor DLN1 da GE (modo primário utilizado durante a ignição, aceleração e baixa e média cargas).

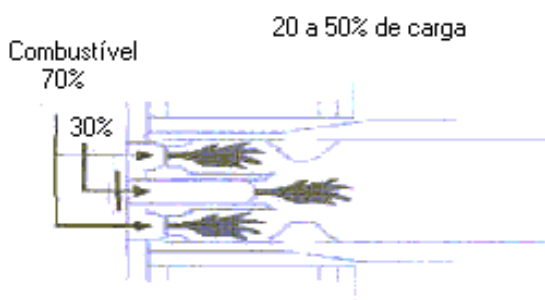


Figura 2.2: Esquema do combustor DLN1 da GE (modo secundário – opera na transição do modo fraco-fraco para o pré-misturado).

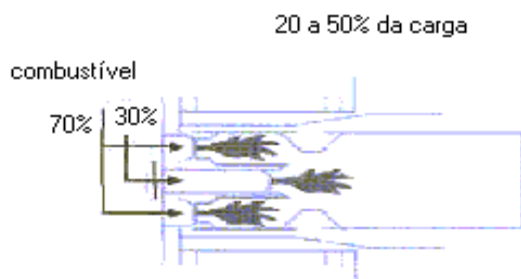


Figura 2.3: Esquema do combustor DLN1 da GE (modo fraco – opera com cargas intermediárias entre duas temperaturas de referência).

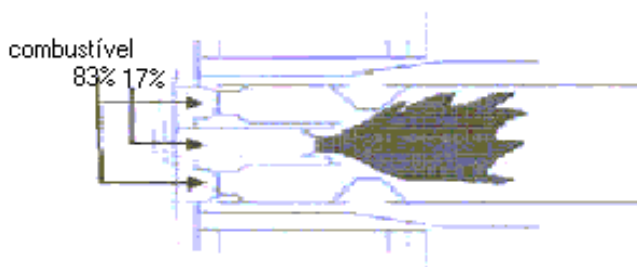


Figura 2.4: Esquema do combustor DLN1 da GE (modo pré-mistura- operação na temperatura de projeto, ou próximo a ela).

**Conversão de combustível:** consiste simplesmente em substituir o combustível (óleo, carvão) por gás natural, reduzindo assim a emissão de  $\text{NO}_x$ . Pode alcançar 40% de eficiência (Siemens power journal online, 2001).

**LNB (queimadores com baixa emissão de  $\text{NO}_x$ ):** *Fundamenta-se na diminuição da concentração de oxigênio na seção inicial da chama, onde acontece a ignição e combustão dos voláteis. Nos queimadores com baixa emissão de  $\text{NO}_x$  a seqüência de uma região rica em combustível e uma pobre é obtida por meios aerodinâmicos, diferentemente da combustão por etapas, onde utiliza-se a injeção de combustível e de ar por locais diferentes da fornalha. Em essência, o queimador com baixa emissão de  $\text{NO}_x$ , permite organizar a combustão por etapas no volume da fornalha localizado frente a boca do queimador* (LORA, 2002).

Outros métodos pré-combustão e respectivas eficiências são (Cooper et al):

**Queimadores fora de serviço (BOOS), 10 - 20%;**

**Combustão com baixo excesso de ar (LEA), 10 – 20%:** limita a quantidade de nitrogênio na combustão. O excesso de ar deve estar presente para assegurar um bom uso do combustível e prevenir a formação de fumaça (EPA).

**Introdução de ar sobre a chama (OFA), 20 – 30%:** baseia-se no controle da relação ar/combustível. Demonstram efetivas reduções de  $\text{NO}_x$  nas caldeiras. Reduz a temperatura de pico na combustão, reduz o tempo de residência do gás na zona de alta temperatura e promove uma relação ar/combustível rica na zona primária da chama (EPA).

**Requeima do gás** (combustão conjunta de gás natural e carvão mineral, figura 2.5), 50 – 60%: A caldeira é modificada onde a queima (requeima) do combustível (gás natural, carvão ou óleo) é injetado na região superior da fornalha para converter o  $\text{NO}_x$  formado na zona primária de combustão em nitrogênio molecular e água. O processo de combustão é completo quando sobre a zona da requeima é injetado ar fresco para completar a oxidação diminuindo os hidrocarbonetos e CO (monóxidos de carbono) (EPA).



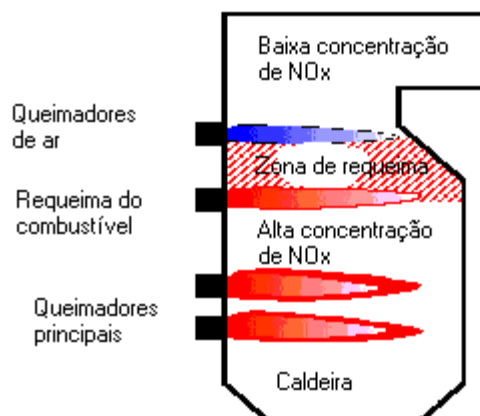
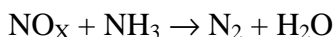


Figura 2.5: Esquema da utilização de Requeima do gás.

Os métodos pós-combustão são:

**Redução Catalítica Seletiva (SCR):** Tecnologia baseada no fato de que o  $\text{NO}_x$  pode ser convertido em água e nitrogênio, através da adição de amônia na presença de um catalisador. Alcançam 90% de eficiência. As figuras 2.6 e 2.7 apresentam esquemas da utilização de um SCR. O custo médio de remoção de  $\text{NO}_x$  para uma caldeira com capacidade de 1000 MMBtu, utilizando carvão como combustível será de U\$ 1682/ton de  $\text{NO}_x$  removido. A reação química que ocorre é a seguinte:



Os problemas associados a SCR são:

- Dependência da temperatura (315 a 400°C).
- Emissão de amônia: emissão por não reação ou vazamentos.
- Combustível com enxofre: formação de sais de amônio (Bisulfato de amônio e sulfato de amônio).
- Disposição final do catalisador: materiais típicos de SCR contêm metais pesados com óxidos de vanádio e/ou titânio.

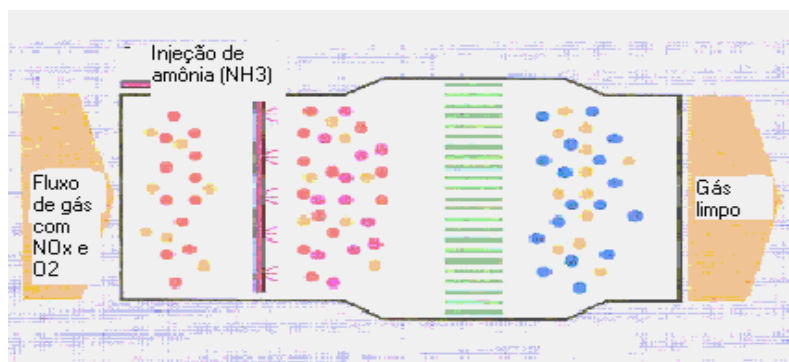


Figura 2.6: Esquema de um SCR.

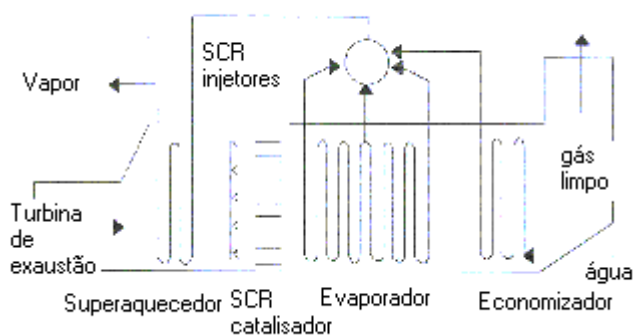


Figura 2.7 Esquema de um ciclo combinado utilizando SCR.

**Redução não catalítica seletiva (SNCR):** Redução do  $\text{NO}_x$  até  $\text{N}_2$  por injeção de amônia ou uréia sem a utilização de catalisadores, reduzindo assim o  $\text{NO}_x$  à água e nitrogênio. Sua utilização depende da temperatura dos reagentes, mistura do reagente no gás, tempo de residência do reagente, relação reagente para  $\text{NO}_x$ , e a quantidade de enxofre no combustível podendo causar formações de sais de amônio. Pode alcançar eficiências de 75%. Mas sua eficiência típica é de 40-50%. Quando utilizado em conjunto com LNB possui 65% de eficiência. Um exemplo de custo de investimento de um SNCR para uma caldeira de capacidade 2374 MMBtu/h com 40% de remoção de  $\text{NO}_x$ , será de U\$ 950/MMBtu (EPA).

**Sistema SCONO<sub>x</sub><sup>TM</sup>:** controle a emissão de CO e  $\text{NO}_x$  oxidando-os e absorvendo  $\text{NO}_2$  na superfície do catalisador. Os dois princípios fundamentais são:

- Ciclo de Oxidação e Absorção – é a oxidação do CO em  $\text{CO}_2$  e do NO em  $\text{NO}_2$ . O  $\text{NO}_2$  é absorvido pelo catalisador formando nitritos e nitratos e o  $\text{CO}_2$  é eliminado pela chaminé.
- Ciclo de Regeneração: os gases de regeneração passam através do oxigênio, reagindo com o nitrato e formando vapor de água e nitrogênio.

A tabela 2.1 apresenta diferentes métodos de controle de  $\text{NO}_x$ , relacionando alguns custos.

Tabela 2.1 – Métodos de remoção de  $\text{NO}_x$ .

Combustível	Tecnologias	Métodos de controle de $\text{NO}_x$	Eficiências (%)	Custos	
				\$/ton ( $\text{NO}_x$ removido)	cents/kWh <sup>d</sup>
Carvão	Caldeiras	LNB	35 – 55	nd	nd
		LEA	10 – 20	nd	nd
		OFA	20 – 30	nd	nd
		SNCR	25 – 40	-	0,323 <sup>b</sup>
		SCR	75 – 86	1.682 <sup>a</sup>	-
		Requeima do gás	50 – 60	nd	nd
		Combustão por etapas	40 - 60	nd	nd

Gás natural	Caldeiras turbinas a gás motores de combustão interna Células a combustível	Combustão por etapas	70 – 90	371 <sup>e</sup>	0,146 <sup>e</sup>
		injeção de água e/ou vapor	80	476 <sup>e</sup>	0,152 <sup>e</sup>
		SCR	80 – 90	1.938 <sup>e</sup>	0,117 <sup>e</sup>
		SNCR	25 – 40 <sup>c</sup> - 75	nd	nd
		SCONO <sub>x</sub>	40 – 85	6.938 <sup>e</sup>	0,289 <sup>e</sup>
		LNB	90	nd	nd
		DNL	60 - 99	122 <sup>e</sup>	0,054 <sup>e</sup>
		Requeima do gás	60	nd	nd
		FGR	20	nd	nd
		BOOS	30	nd	nd
		OFA		nd	nd
Óleo combustível, Diesel	Motores de combustão interna caldeiras	Combustão por etapas	70 – 90	nd	nd
		LNB	35 - 55	nd	nd
		SCR	75 - 85	nd	nd
		SNCR	25 - 40	nd	nd
		OFA	20 - 30	nd	nd
		FGR	40 - 50	nd	nd

a- Caldeira com capacidade 1000 MMBtu.

b- Caldeira com capacidade 2374 MMBtu/h.

c- Caldeiras.

d- cents/kWh baseado em 8000 horas de trabalho.

e- Dados de custos dos métodos de controle para turbina a gás estacionária.(Onsite Sycom – Energy Corporation)

Fonte: EPA/ Onsite Sycom – Energy Corporation, 1999.

## 2.2 2 Óxido de Enxofre (SO<sub>x</sub>):

Os métodos de controle de SO<sub>x</sub> são os dessulfurizadores de gases, os principais dessulfurizadores de gás são:

- **Dessulfurizadores de gases seco (Dry flue gas desulfurization)** = envolve pulverizações com uma mistura (seca) altamente atomizada um reagente alcalino (cal fraco – CaO e Ca (OH)) dentro do fluxo de gás quente para absorver SO<sub>2</sub>. A alta temperatura evapora-se a água e um coletor remove os restos de pó com SO<sub>2</sub> absorvido. Este equipamento é posicionado antes do coletor de cinzas. São mais utilizados em caldeiras industriais pequenas. Possui custos de investimentos e manutenção baixos. Alta taxa de reciclagem dos produtos utilizados. Reduz o consumo de energia. Não requer pré-coletor. Pode utilizar reagentes com baixa reatividade. Pode alcançar eficiências de 90 a 95% (EPA/ ALSTOM POWER).

**Dessulfurizadores de gases úmidos (Wet flue gas desulfurization):** a mistura de um líquido alcalino (calcário CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), é introduzido no fluxo do gás, figura 2.8. Resulta em perdas de geração. O lavador que utiliza calcário é amplamente usado em caldeiras a carvão, são

sistemas regenerados para absorver os produtos e recuperar os reagentes. Antigamente era produzido para a venda de gesso, enxofre e ácido sulfúrico. Os resíduos devem ser tratados e depositados conforme o regulamento dos resíduos de lixo. Pode alcançar até 98% de eficiência utilizando diversos tipos de combustível (EPA/ ALSTOM POWER).

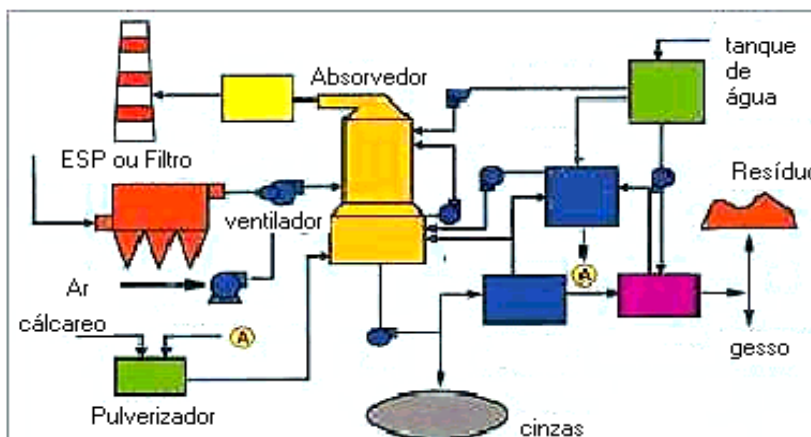


Figura 2.8: Esquema da utilização de um dessulfurizador úmido. (ALSTOM POWER)

**Dessulfurizadores de gases semi-secos (Semi-Dry flue gas desulfurization):** introduz-se no fluxo do gás uma mistura fraca de reagentes alcalinos (cal), figura 2.9. Ideal para unidades de pequeno porte e para grandes centrais operando em períodos curtos. Consome baixas quantidades de água e energia. Não há perdas de água minimizando o impacto ambiental (EPA/ ALSTOM POWER).

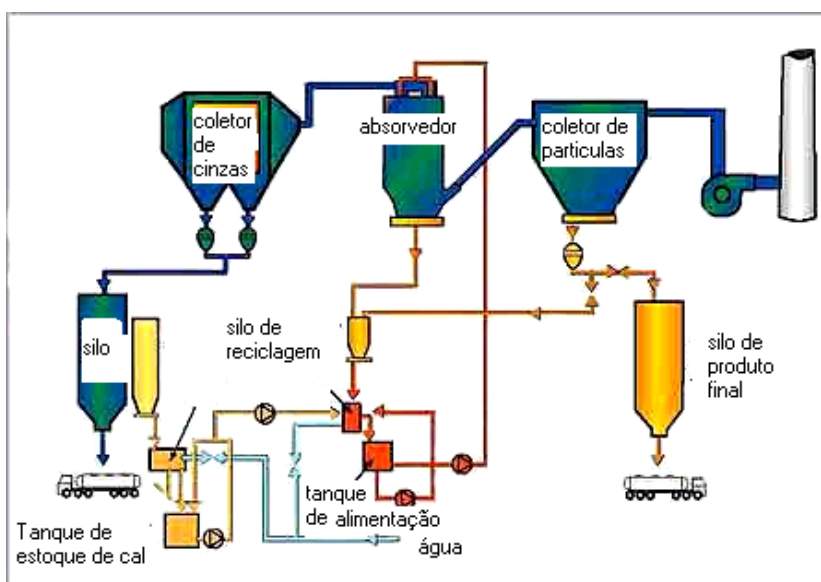


Figura 2.9: Esquema da utilização de um dessulfurizador semi-seco (ALSTOM POWER).

**Dessulfurizadores de gases “Seawater” (Seawater flue gas desulfurization):** o fluxo de gás passa por um ventilador auxiliar onde o pó será coletado, figura 2.10. A temperatura do fluxo de

gás é reduzida num trocador de calor antes de entrar no absorvedor. No absorvedor, o SO<sub>x</sub> é transferido do gás para a água do mar. Após isto o gás limpo é reaquecido antes de retornar ao sistema, e a água do mar com SO<sub>x</sub> é tratada para eliminar os íons-sulfatos antes de ser descartado. Pode alcançar eficiências de até 99% (ALSTOM POWER).

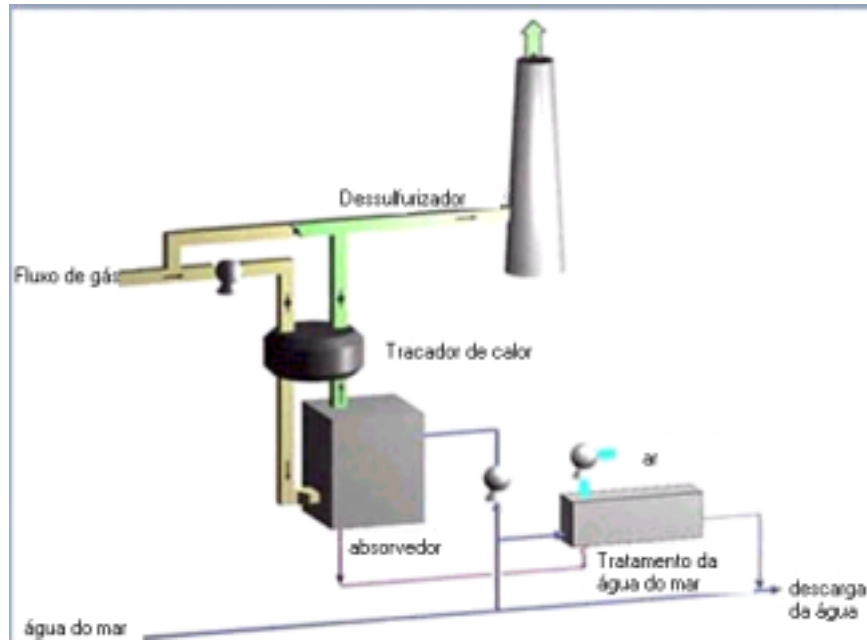


Figura 2.10: Esquema da utilização de dessulfurizadores “Seawater” (ALSTOM POWER).

**Dessulfurizadores de gases que utilizam amônia (Ammonia flue gas desulfurization):** o fluxo de gás é tratado em torres absorvedoras que diluem o sulfato de amônio e água. O ar é injetado no tanque absorvedor para formar uma solução de ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). A solução é enviada para um processo de secagem e cristalização produzindo assim um fertilizante. O fluxo de gás é levado para um precipitador eletrostático úmido para remover algumas impurezas que são formadas no absorvedor. O esquema é apresentado na figura 2.11. Pode atingir uma eficiência de 98% (ALSTOM POWER).

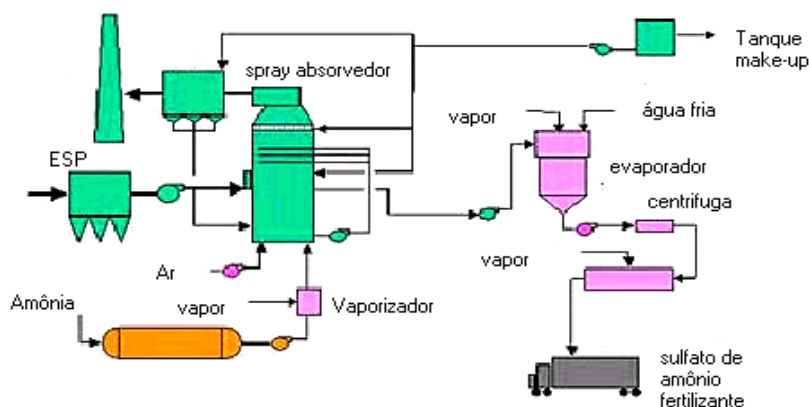


Figura 2.11: Esquema da utilização de um dessulfurizador de amônia (ALSTOM POWER).

**Combustível com baixo teor de enxofre (Low-sulfur fuel):** a emissão é reduzida pela utilização de um combustível, no caso óleo e carvão contendo baixos teores de enxofre em sua composição química. Pode se utilizar uma mistura de combustível com altos e baixos teores de enxofre. Esta prática é efetiva quando se encontra uma combinação específica dos combustíveis, tendo assim uma conversão na combustão acima de 95%, e o restante de enxofre não convertido vira cinzas. (EPA)

**Spray Dryers Absorbers (SDA):** podem ser secos ou semi-secos. Os SDA's ficam posicionados antes dos coletores de material particulados. Uma mistura atomizada ou aquosa de  $\text{CaSO}_3/\text{CaSO}_4$  é lançada contra o gás quente dentro da torre de absorção. Em contato com o gás o  $\text{SO}_2$  é absorvido pelo  $\text{CaSO}_3/\text{CaSO}_4$ . Depois as cinzas serão coletadas. A diferença entre este e os dessulfurizadores de gases seco (dry flue gas desulfurization) está no reagente usado (EPA)

**Injeção a seco:** consiste na adição de reagentes secos [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{Na}_2(\text{CO}_3)$ ] no fluxo de gases. Este reagente pode ser injetado dentro da zona de combustão. A reação produz particulados que serão posteriormente coletados. (EPA)

A tabela (2.2) apresenta os métodos de dessulfurização dos gases e suas eficiências utilizando carvão.

Tabela-2.2: Métodos de dessulfurização de gases

Tecnologia de controle	Processo	Eficiências	Custos <sup>b</sup>
Dessulfurização Úmida	Cal/rocha calcária	80-95%	US\$ 165/kW
	Carbonato de sódio	80-98%	US\$ 302/kW
	Hidro/óxido de magnésio	80-95%	
	Alcalino de ciclo duplo	90-96%	
Secador spray	Hidróxido de cálcio	70-90%	US\$ 125/kW
Injeção a seco	Carbonato de cálcio	50-70%	US\$ 80/kW
Tubo Injetor	Injeta solvente juntamente com spray de água dentro dos tubos	25-50%	- <sup>a</sup>

a- Dados não encontrados.

b- Custo de investimento.

Fontes: EPA e LORA, 2002.

O método mais utilizado hoje é a dessulfurização por calcário devido à alta eficiência, nos últimos anos observa-se a tendência de redução do custo do processo de dessulfurização úmida. No Brasil, nas usinas a carvão não se utilizam dessulfurizadores (FGD) sendo que o controle das emissões de  $\text{SO}_x$  é realizado mediante o controle do teor de enxofre no combustível.

### 2.2.3 Material Particulado

Os equipamentos mais utilizados para separar particulados serão apresentados a seguir. Como base para a seleção de um equipamento para uma aplicação específica devem ser considerados os seguintes parâmetros: custo do investimento, eficiência, consumo de energia natureza físico-química dos particulados e periculosidade (explosões). A tabela 2.3 apresenta alguns dados para seleção dos equipamentos para remoção de particulados.

Tabela 2.3 Tecnologias de remoção de particulados (LORA, 2001)

Equipamento	Dimensão das partículas	Eficiência global	Temperatura máxima do gás (°C)	Custo de investimento <sup>a</sup>	Custo de operação	Consumo de potência média	Investimento total (U\$) <sup>b</sup>
Ciclones	> 10	85	500	1	1	1	
Torres de nebulização	> 3	95	200 – 250	2	2 – 3	0,3	
Lavadores Venturi	> 0,3 – 1,0	99	200 – 250	2 – 3	3 – 4	3 – 4	
Filtros de mangas	> 0,5 – 1,0	99	200 – 250	8 – 10	2 – 3	0,8	569.000 <sup>c</sup>
Precipitador eletrostático	> 0,001	99	500	10 - 15	1 - 2	0,3	1.840.000 <sup>d</sup>

a- ciclones = 1

b- custo direto (custo do equipamento + custo direto da instalação: fundação, elétrica, hidráulica, etc) + custos indiretos (engenharia, construção, etc). (EPA)

c-carvão/ Fluxo de gás=50.000 m<sup>3</sup> (acfm)/ T=162,77 °C/ Diâmetro das partículas = 7 µm/ 8.640 h/ano – 360 dias.

d- carvão/ Fluxo do gás= 50 m<sup>3</sup> (kacfm)/ T=167,77°C/ Diâmetro das partículas= 7 µm/ 8.640 h/ano – 360 dias.

A seguir veremos algumas propriedades particulares de cada equipamento:

**Separadores ciclônicos:** podem ser instalados separadamente, em série ou em grupos (multiciclones). Parte do princípio da ação da força centrífuga sobre as partículas em movimento num fluxo rotativo. Podem se classificar em: ciclones com fluxo axial, ciclones com entrada tangencial e fluxo em retorno e ciclones de entrada axial e fluxo em retorno. Sua eficiência é maior para partículas menores que 5 microns. (LORA, 2002).

⇒ Vantagens:

- Baixo custo;
- Operação a altas temperaturas;
- Baixo custo de manutenção (sem partes móveis);

⇒ Desvantagens:

- Baixa eficiência para partículas menores de 5-10 microns;
- Alto custo de operação (queda de pressão).

**Separadores úmidos (lavadores de gás ou scrubbers):** consistem na lavagem do gás com água, onde na maioria das vezes ela é nebulizada formando pequenas gotas. A eficiência do lavador depende do tamanho e distribuição das partículas, pressão do gás e na vazão e grau de nebulização da água que faz a limpeza dos gases (relação ar/água), podem chegar de 95 a 99% para partículas menores. Podem ser classificados em três grandes grupos, de acordo com THEODORE E BUONICORE (1998): torres de nebulização, instalações de leito empacotado e lavadores venturi. Controla também a emissão de SO<sub>2</sub> na queima do carvão.

⇒ Vantagens:

- resfriamento dos gases;
- Variada eficiência de remoção;
- Podem tratar particulados inflamáveis e explosivos;
- Absorção e remoção de particulados no mesmo equipamento;
- Neutralização de gases e particulados corrosivos.

⇒ Desvantagens:

- Corrosão;
- Poluição secundária (um efluente líquido a tratar);
- Contaminação das partículas (não recicláveis).

**Precipitadores eletrostáticos (ESP)** – figura 2.12: aplicável a vários tipos de tecnologias de combustão, principalmente utilizando carvão. Consiste na utilização de forças elétricas que movimentam as partículas no fluxo do gás levando-as até eletrodos coletores, garantindo assim uma alta eficiência podendo chegar a 99,5%. Os parâmetros de operação que influenciam o ESP são resistividade das cinzas, tamanho e distribuição das partículas. Os tipos de precipitadores mais difundidos são os seguintes: de placa e arame, de placas planas e, úmido. (LORA, 2002)

⇒ Vantagens:

- Alta eficiência;
- Separação de materiais secos e úmidos;
- Pode utilizar grandes volumes de gases com uma pequena queda de pressão;
- Ampla faixa de temperatura de operação;
- Baixo custo de operação.

⇒ Desvantagens:

- Alto custo de investimento;
- Não controla emissões de gases;
- Pouca flexibilidade;



- È afetado pela resistividade das cinzas;
- Ocupa um espaço grande.



Figura 2.12: Precipitador Eletrostático (ALSTOM POWER).

**Filtros manga:** consiste em uma filtragem do gás “sujo” através de tecidos, onde após algum tempo forma-se uma camada de particulados permanente no tecido chamado “cake” que constitui o meio filtrante, com isso podem chegar a 99,9% de eficiência (LORA, 2002). Os parâmetros que afetam o filtro manga são: relação ar-tecido, pressão de operação, seqüência e intervalo entre limpezas, método de limpeza e, ainda a seleção do pano devendo levar em consideração a temperatura de operação do pano e as características do gás. (Figura 2.13)

⇒ Vantagens:

- Alta eficiência;
- Pode separar uma grande variedade de particulados;
- Projeto modular;
- Baixa queda de pressão.

⇒ Desvantagens:

- Ocupa uma área considerável;
- Danos às mangas por alta temperatura e gases corrosivos;
- Perigo de fogo e explosão;
- As mangas não operam em condições úmidas.



Figura 2.13: Filtros de Mangas (ALSTOM POWER).

## **2.3 Considerações Finais**

Este capítulo apresentou um resumo dos principais métodos de controle de emissão de poluentes que existem no mercado.

Nas centrais termelétricas do Brasil, geralmente, utilizam-se somente precipitadores eletrostáticos.

Existem vários outros métodos de controle em estudo, visando o desenvolvimento de novos equipamentos eficientes com preços mais acessíveis.

### **3 - IMPACTOS AMBIENTAIS**

#### **3.1 Emissões de poluentes**

Podemos dizer que os impactos mais importantes de uma central termelétrica (CTE), referem-se as emissões de poluentes gasosos na atmosfera e ao uso da água de resfriamento para a condensação do vapor. Outras afetações a considerar são os despejos de águas oleosas e contaminadas com demais reagentes químicos, o ruído, as emissões eletromagnéticas e cinzas.

##### **3.1.1. Poluição Atmosférica**

Os combustíveis fósseis utilizados nas termelétricas, geram durante a sua combustão diferentes tipos de poluentes que, além de diversos impactos sobre a biota, podem agravar problemas globais como a chuva ácida e o efeito estufa. Os principais poluentes gerados pela termelétricidade são:

1. Óxidos de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ): gerados por todos os tipos de CTE, é produto mais acentuado durante queima do gás natural em turbinas a gás devido a altas temperaturas na câmara de combustão, e também por emissões veiculares. São gases tóxicos sofrem reações químicas e fotoquímicas na atmosfera promovendo a formação do ozônio troposférico e também compostos que contribuem à formação de chuva ácida e do efeito estufa. Seu efeito sobre a saúde causa danos ao sistema respiratório fazendo com que o indivíduo fique sujeito a infecções das vias respiratórias e dos pulmões.

2. Óxido de Enxofre ( $\text{SO}_x$ ): a emissão de  $\text{SO}_x$  depende da quantidade de enxofre contido no combustível, é produzido durante a combustão, principalmente nas centrais termelétricas a óleo e a carvão. Pode causar lesões do aparelho muco-ciliar, uma defesa importante do organismo, provocando traqueobronquite crônica e predisposição a injeções respiratórias, como por exemplo, broncopneumonias.

**Material Particulado:** Considera-se como material particulado qualquer substância, que existe como líquido ou sólido na atmosfera e tem dimensões microscópicas ou submicroscópicas (exceto a água pura), porém maiores que as dimensões moleculares (LORA, 2000). Nas centrais termelétricas

a carvão mineral, ocorrem emissões de particulados de diferentes características (dimensões e densidade das partículas, concentração, etc). A emissão de particulados de diâmetro menores que 2,5 microns, além de causar algum efeito ambiental causa também vários danos à saúde pois essas partículas inaláveis chegam a profundidade dos pulmões, provocando sérios efeitos como: agravamento de asma, tosse, dificuldade de respirar, bronquites até a morte prematura em crianças devido a exposição por longos períodos. Reduz a visibilidade quando em altas concentrações; auxilia na formação da chuva ácida, esgota os nutrientes do solo e danifica monumentos e estátuas.

3. Monóxido de Carbono (CO): Produto da combustão do carvão e dos derivados do petróleo. É tóxico, prejudica a oxigenação dos tecidos, é um asfixiante sistêmico. É o mais abundante na atmosfera. A emissão veicular de acordo com a OCDE (1991) era cerca de  $200 \cdot 10^6$  t/ano e poderá crescer em até 20% nos próximos 30 anos se sérias providências não forem tomadas.

4. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>): Resultado da queima completa do Carbono que faz parte da composição do combustível, é o principal gás de Efeito Estufa. Componente natural do ar, sua composição média na atmosfera é 360.000 ppb (LORA, 2002).

## **3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.2.1 Características dos combustíveis**

Os combustíveis podem ser classificados conforme sua origem ou seu estado físico.

Sólido – Carvão mineral, carvão vegetal, xisto, turfa, lenha.

Líquido - Gasolina, querosene, Diesel, óleos combustíveis.

Gasosos – Gás natural, GLP, biogás, gás pobre da gaseificação da biomassa.

A seguir veremos as características dos combustíveis fósseis mais utilizados:

#### **3.2.1.1 Carvão betuminoso**

O carvão é a parte celulósica da vegetação, transformada pelo tempo, pressão, bactérias e outros agentes anaeróbicos, em uma massa carbonosa. Sucessivas formações de florestas podem ter

ocorrido ao longo de milhares de anos em uma mesma região, e, então, camadas de carvões diferentes serão encontradas. Em outra parte do mesmo território, a fermentação bacteriana encontrou as condições ideais de desenvolvimento em uma floresta soterrada a pouca profundidade, e, então, serão encontrados carvões altamente carbonizados, aflorando a céu aberto. Em outras palavras: o processo químico de carbonização reduz-se a uma prévia maceração dos vegetais sob a água das selvas pantanosas, seguidas de uma fermentação anaeróbica em meio hídrico, dos hidratos de carbono, do qual são formados hidrogênio, oxigênio e metano. Existem diversos tipos de carvão mineral, eles diferem um do outro em função do PCS e PCI (poder calorífico superior e inferior), da porcentagem de carbono, teor de cinzas e enxofre, etc. Os principais tipos de carvão estão apresentados na tabela (3.1) e são mostrados também como ocorre a evolução da composição elementar, desde a matéria vegetal até o tipo mais evoluído do carvão mineral que é o antracito, quase carbono puro:

Tabela 3.1: Composição química dos combustíveis sólidos durante a evolução desde a madeira até carvão mineral tipo antracito. (NEIVA, 1987)

Tipo	Percentagem de O <sub>2</sub>	Percentagem de H <sub>2</sub>	Percentagem de C
Madeira	49,4	6,2	44,4
Turfa	40,0	6,0	54 - 60
Linhito	25,0	5,0	65 - 75
Hulha	15,0	4,5	75 a 85
Antracito	3,0	2,0	95,0

⇒ Reservas Mundiais

As principais reservas de carvão mineral encontram-se localizadas no hemisfério norte A tabela (3.2) apresenta a produção mundial bem como as reservas de carvão no mundo.

Tabela 3.2. Reservas Provadas até 2001 de carvão mineral.

Países	Antracito e betuminoso	Sub-betuminoso e lignito	Total*	Percentagem do Total
América do Norte	120222	137561	257783	26.2 %
América do Sul e Central	7738	14014	21752	2.2 %
Europa	47515	77883	125396	12.7 %
EX União Soviética	97362	132613	229975	23.4 %
África e Oriente Médio	56881	196	57077	5.8 %
Ásia Pacífico	189347	103124	292471	29.7 %
<b>TOTAL</b>	<b>519062</b>	<b>465391</b>	<b>984453</b>	<b>100.0 %</b>

\*-milhões de toneladas/ Fonte: World Energy Council / BP Amoco 2002.

### ⇒ Reservas do Brasil

No Brasil, as principais reservas de carvão mineral estão situadas nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, em ordem decrescente, São Paulo é a menor. De acordo com o Programa Prioritário de Termelétricidade – PPT, deveriam ser instaladas 4 usinas térmicas a carvão: uma no Paraná gerando 100 MW, outra em Santa Catarina gerando 400 MW e mais duas no Rio Grande do Sul gerando 600 MW.

### ⇒ Emissões

As emissões derivadas da queima do carvão dependem da sua composição (teor de cinzas, quantidade de enxofre, etc), tipo e capacidade da caldeira e do método de controle utilizado. Os principais poluentes são: material particulado (PM), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>). Também são emitidos CO, CO<sub>2</sub> (monóxido de carbono e Dióxido de carbono) e outros compostos orgânicos que geralmente são emitidos em quantidades inferiores de acordo com a operação da caldeira. A EPA vem desenvolvendo estudos para verificar a quantidade de mercúrio (Hg) emitido na queima do carvão. A emissão de mercúrio calculada para combustão do carvão baseado nos diferentes tipos de carvão (média aritmética dos PCI e diferentes categorias de carvão), sem a utilização de controle são as seguintes: betuminoso e 0.007 g/GJ, subbetuminoso 0.0045 g/GJ, antracito 0.0076 g/GJ e lignito 0.009g/GJ. Testes realizados para remover Hg tiveram os seguintes resultados: o uso de multiciclones não diminuiu a quantidade de mercúrio, 55% remoção utilizando ESP e eficiências de 50 – 90% utilizando lavadores de gás (EPA, 2001).

### **3.2.1.2 Gás natural**

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que, à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. Na natureza, ele é encontrado acumulado em rochas porosas no subsolo, freqüentemente acompanhado por petróleo, constituindo um reservatório. O gás natural é dividido em duas categorias: associado e não-associado. Gás associado é aquele que, no reservatório, está dissolvido no óleo ou sob a forma de uma camada de gás. Neste caso, a produção de gás é determinada basicamente pela produção de óleo. Gás não-associado é aquele que, no reservatório, está livre ou em presença de quantidades muito pequenas de óleo. Nesse caso só se justifica comercialmente produzir o gás. Do ponto de vista ambiental a utilização do gás natural é bem mais conveniente, pois o teor de enxofre no gás, quando contém, é muito pequeno e emite

baixas quantidades de material particulado. Economicamente seu uso é mais viável pois pode ser utilizado em máquinas térmicas de alta eficiência. A expansão do uso do gás natural também é importante desde o ponto de vista da redução das emissões específicas de CO<sub>2</sub> devido ao seu menor conteúdo de carbono e às maiores eficiências das CTE de ciclo combinado, que utilizam somente gás natural como combustível.

⇒ Reservas de Gás Natural

Como o petróleo está disseminado, praticamente por todos os continentes, também o gás natural, está espalhado pelo mundo, em todas as regiões sedimentares, mesmo naquelas em que não encontramos o petróleo, pois ele se originou de matéria orgânica em decomposição, nos lagos, pântanos e oceanos.

As maiores reservas estão na Rússia conforme mostra a tabela (3.3):

Tabela 3.3. Distribuição das reservas e da produção de gás natural do mundo.

Países	Reservas mundiais provadas – GN*	
	10 <sup>12</sup> .m <sup>3</sup>	%
América Latina e Caribe	7.16	4.6
África	11.18	7.2
Oriente Médio	55.91	36.1
Antiga União Soviética	56.14	36.2
América do Norte	7.55	4.9
Ásia/Oceania	12.27	7.9
Europa	4.86	3.1
Total	155.08	100

\*- até final de 2001.

Fonte: World Energy Council / BP Amoco 2002.

A tabela (3.4) apresenta dados das reservas nacionais fornecidos pela ANP em terra e mar.

Tabela 3.4. Dados de reservas totais e provadas em cada região do Brasil no ano de 2001.

TM	UNIDADE DA FEDERAÇÃO	GÁS NATURAL	
		RESERVA PROVADA	RESERVA TOTAL
		31/12/01	31/12/01
		(milhões de m3)	(milhões de m3)
TERRA	AMAZONAS	44.549	75.324
	R.G.NORTE	3.918	4.110
	ALAGOAS	5.766	8.875
	SERGIPE	864	1.001
	BAHIA	19.774	28.396
	ESPÍRITO SANTO	2.288	2.588
	PARANÁ	0	756
	Sub-Total Terra	77.159	121.049

MAR	CEARÁ	1.186	1.239
	R.G.NORTE	15.930	15.113
	ALAGOAS	1.154	1.280
	SERGIPE	4.132	6.373
	BAHIA	193	5.207
	ESPÍRITO SANTO	9.499	16.642
	RIO DE JANEIRO	106.246	159.425
	SÃO PAULO	4.273	4.273
	PARANÁ	68	1.771
	Sub-Total Mar	142.682	211.323
	Total Nacional	219.841	332.373

Fonte: Superintendência de Desenvolvimento de Produção - SDP/ANP 2001.

### ⇒ Emissões

Os poluentes emitidos pelo uso do gás natural são óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido e dióxido de carbono (CO e CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), compostos orgânicos voláteis (VOCs), e quantidades desprezíveis de material particulado (PM) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

#### 3.2.1.3 Gás liquefeito de petróleo – GLP

O gás liquefeito de petróleo – GLP é constituído de propano, propileno, butano e butileno, tem como uso principal o doméstico. O GLP pode ser separado das frações mais leves de petróleo ou das mais pesadas de gás natural. À pressão atmosférica e temperaturas normalmente encontradas no ambiente, é um produto gasoso, inflamável, inodoro e asfíxiante, quando aspirado em altas concentrações. Apresenta - se na forma líquida quando submetido a uma pressão na faixa de 3 a 15 MPa à temperatura ambiente. Por isso o seu nome - gás liquefeito de petróleo - e a sua grande aplicabilidade como combustível, devido à facilidade de armazenamento e transporte do gás, a partir do seu engarrafamento. Para alertar possíveis vazamentos adicionam-se compostos a base de enxofre que causam um odor característico. Estão disponíveis no mercado os principais componentes do mesmo em graus de pureza variados, quais sejam:

- **propano especial**- com concentração mínima de 90% em volume de propano e máxima de 5% de propeno;
- **propano comercial**- com concentração típica de 90% em volume de propano;
- **butano comercial**- com concentração típica de 90% em volume de butano.



⇒ Emissões

O GLP é considerado um gás limpo, pois emite menores quantidades de poluentes do que os outros combustíveis fósseis, são eles: óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), e compostos orgânicos e ainda em pequenas quantidades dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e material particulado (PM). A quantidade de  $\text{SO}_2$  emitido é diretamente proporcional ao teor de enxofre no combustível. Os principais fatores que afetam as emissões são o tipo e ajuste dos queimadores e parâmetros de operação da caldeira. O projeto incorreto, bloqueia e obstrui a passagem do ar fazendo com que haja uma insuficiência de ar tornando a combustão incompleta emitindo aldeídos, CO, hidrocarbonetos e outros compostos orgânicos. A emissão de  $\text{NO}_x$  está em função da temperatura, excesso de ar, qualidade da mistura ar-combustível e do tempo de residência na zona de combustão.

### 3.2.1.4 Óleos combustíveis

Originam-se de frações residuais das unidades de destilação e de outros processos entre os quais está a desasfaltação. Outros componentes, denominados diluentes, são misturados ao resíduo para ajustar a viscosidade dos diferentes tipos de óleos. São óleos residuais de alta viscosidade, obtidos do refino do petróleo ou através da mistura de destilados pesados com óleos residuais de refinaria. Sua utilização está voltada mais para as indústrias, em equipamentos que geram calor – fornos, caldeiras e secadores, ou indiretamente em equipamentos destinados a produzir trabalho a partir de uma fonte térmica. São manuseados geralmente aquecidos. Devem ser homogêneos, livres de ácidos inorgânicos e isentos, tanto quanto possível, de partículas sólidas ou fibrosas, partículas estas que determinam a frequência necessária da limpeza ou troca dos filtros de combustíveis. No Brasil, em decorrência do custo e impactos ambientais os óleos combustíveis estão sendo substituídos pelo gás natural.

⇒ Emissões

As emissões originadas na combustão dos óleos combustíveis dependem da qualidade e características do óleo utilizado, tipo e capacidade das caldeiras. Pois as características de combustão para óleos destilados e residuais são distintas podendo produzir significativas diferenças em suas emissões. Podem emitir  $\text{NO}_x$  (óxidos de nitrogênio), PM (material particulado),  $\text{SO}_2$  (dióxido de enxofre), CO e  $\text{CO}_2$  (óxidos de Carbono), compostos orgânicos voláteis e semi-

voláteis. Porém quando utilizados métodos de controle para esses poluentes reduz bastante a quantidade emitida.

### 3.2.1.5 Diesel

No processo de refinação do petróleo, o óleo diesel é obtido através de destilação atmosférica. É um hidrocarboneto de série parafínica, intermediário, de fórmula geral  $C_{12}H_{16}$ . É utilizado em motores de combustão interna em diversas finalidades, inclusive a termogeração. É um combustível versátil podendo ser usado em vários tipos de motores de combustão interna. O consumo brasileiro de óleo diesel é atribuído basicamente ao setor de transportes, que representa cerca de 80% desse mercado, dos quais 94% são destinados ao transporte rodoviário. O Diesel brasileiro quando comparado com o Americano e o Europeu contém maiores teores de enxofre em sua composição, podendo chegar a oito vezes mais.

#### ⇒ Emissões

Os principais poluentes na utilização do Diesel são:  $NO_x$  (óxido de nitrogênio), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) estes em maiores quantidades, além de  $SO_x$  (óxidos de enxofre) e material particulado (PM).

### 3.2.1.6 Biomassa

A biomassa no Brasil, tendo em vista a disponibilidade deste recurso, poderia chegar a ser considerada um dos combustíveis mais utilizados. Esta matéria vegetal contém energia química obtida da radiação solar que é liberada na combustão. A sua utilização pioneira, como fonte de calor para a cocção de alimentos e para a produção artesanal de carvão vegetal, com tecnologia rudimentar, consumia a lenha coletada em áreas que foram sendo desmatadas desde o início da colonização (século XVI) (NEIVA, 1987). Dessa forma, a exploração era feita de forma predatória. Cabe destacar que havia mesmo uma economia de subsistência, que não trazia grandes prejuízos em termos de perda de áreas florestadas no país. Mas com o início dos ciclos econômicos que se seguiram acentuou-se o desmatamento no país, fomentando-se a prática de substituição das florestas nativas por culturas agrícolas, pastos, mineração, etc.

O processo de industrialização, a modernização da agricultura e a urbanização acelerada do país forçaram uma demanda por formas de energia mais eficientes e de fácil transporte (eletricidade e petróleo) em substituição à biomassa, que não apresentava tais características. O grande incentivo à produção e uso da biomassa veio na década de 70, com o chamado primeiro choque do petróleo: o Brasil adotou uma política de substituição dos seus derivados, através da introdução de um programa de estímulo à fabricação de álcool etílico carburante: o Proálcool, em 1975. Esse programa teve grande sucesso, sendo o primeiro país do mundo a substituir em larga escala o petróleo na indústria automobilística, chegando a fabricar mais da metade da produção nacional de carros somente movidos a álcool. Hoje, o Proálcool encontra-se abandonado, devido à queda de preço do petróleo e ao aumento da produção dos carros a gasolina que melhoraram sua eficiência energética, a falta de vontade política de prosseguir com o projeto, o alto custo dos subsídios e em 98, produziram-se somente 1000 carros a álcool e existem algumas iniciativas no governo atual visando reativar o PROALCOOL. Atualmente, observa-se uma recuperação do PROALCOOL, sendo que a produção de novos carros a álcool já atingiu cerca de 30.000 unidades por ano. A produção de carros bi-combustíveis (híbridos) deve alavancar o uso deste combustível. A tabela (3.5) apresenta os diferentes tipos de biomassa existentes no Brasil.

⇒ Emissões

As emissões dependem do resíduo utilizado, mas o principal poluente emitido é o material particulado. Também são emitidos NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio) e CO<sub>2</sub> (dióxidos de carbono. Quando a combustão é incompleta além desses poluentes também aparecem SO<sub>x</sub> (óxidos de enxofre) e compostos orgânicos voláteis (COVs) (EPA, 2001).

Tabela 3.5 Disponibilidade de diferentes tipos de biomassa no Brasil (Site CENBIO, 2002).

Região	Biomassa – Produção (ano)			
	Cana-de-açúcar (t) (1999/00)	Lenha (t) (1995)	Carvão vegetal (t) (1995)	Óleos vegetais <sup>d</sup> (t) (1998)
Norte	521,34	10.900,39 <sup>a</sup>	93,24 <sup>a</sup>	1651,37
Nordeste	42.495,38	44960,97 <sup>b</sup>	12,73 <sup>b</sup>	2815,61
Centro-Oeste	22398,10	6608,24 <sup>b</sup>	0,90 <sup>b</sup>	18981,3
Sudeste	165.380,09	21179,21 <sup>b</sup>	2915,25 <sup>b</sup>	3799,87
Sul	24.351,05	15284,76 <sup>c</sup>	180,7 <sup>b</sup>	29397,04

a- nativa /b- nativa e reflorestamento / c- reflorestamento

d- óleos vegetais (abacate, algodão, amendoim, mamona, milho, soja, coco, dendê, urucum)

### 3.2.2 Tecnologias Analisadas

A seguir será apresentada uma breve explicação sobre as tecnologias que foram avaliadas neste trabalho:

#### 3.2.2.1 Motor de Combustão Interna

Os motores de combustão interna (figura 3.1) são extensamente usados, sua finalidade é produzir trabalho pela força de expansão resultante da queima da mistura de ar com combustível, no interior de cilindros fechados, como todo equipamento térmico transforma a energia química do combustível em trabalho mecânico. São máquinas simples e robusta. Os MCI do tipo alternativo são divididos em motores de ignição por centelha ou Otto e de ignição por compressão ou Diesel. Podem ser de dois ou quatro tempos. Nos motores de ciclo Otto, a mistura ar/combustível é admitida na câmara de combustão e inflamada por meio de uma vela de ignição. Já nos motores Diesel (ciclo Diesel), o ar admitido na câmara de combustão e comprimido até uma pressão suficiente para que ocorra a combustão espontânea quando o combustível for injetado. Para geração de eletricidade os motores são divididos em quatro grupos: motores Diesel, motores de ignição por centelhas tradicionais ou a gás, motores duplo combustível e motores gás-Diesel. Os motores Diesel dominam o mercado para potências até 5 MW e para sistemas de emergência ('back-up') e 'Standby' pois possuem menor custo de geração, ou seja, os motores de ignição por centelha possuem custos iniciais menores, mas um custo de combustível maior (LISS, 1999).

As principais características desses sistemas são:

- São utilizados para demandas elétricas de pequeno a médio porte, de centenas de kW até dezenas de MW.
- Podem utilizar diversos tipos de combustíveis líquidos ou gasosos tais como óleo diesel, óleo pesado, gás natural, biogás ou ainda uma mistura deles. Isso é bastante vantajoso, pois o sistema torna-se muito flexível.
- A relação energia térmica / energia mecânica é menor que os outros acionadores primários, o que em alguns casos pode ser interessante.
- A eficiência dos motores de combustão interna não é tão sensível às condições ambientais locais (temperatura, pressão e umidade) quanto são as turbinas a gás.

- As instalações são modulares e flexíveis, com isto o tempo de construção de um central é curto e a entrada em operação (start-up) é rápida. além de serem apropriados para as condições de partidas e paradas diárias.
- Possui alta relação potência/peso.
- Requerem manutenções mais frequentes.

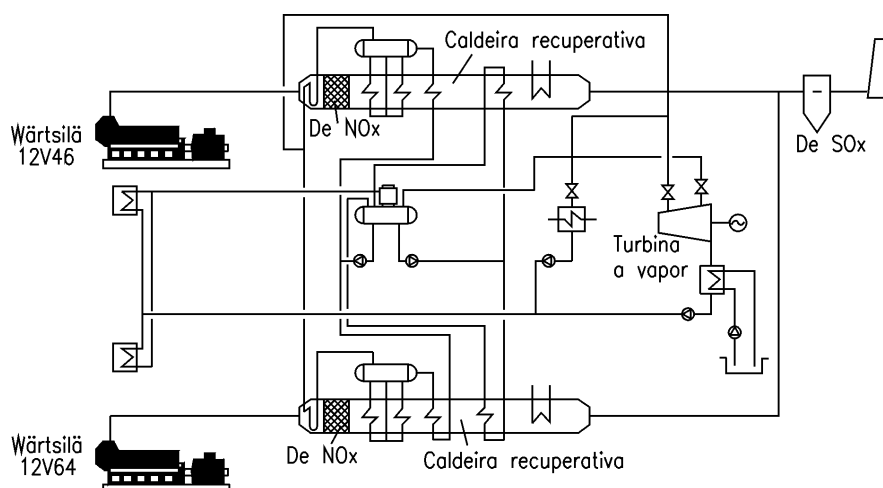


Figura 3.1: Esquema de uma instalação de ciclo combinado com MCI e turbina a vapor com controles de NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> (Power Master, “References”)

### 3.2.2.2 Turbina a gás

O ciclo da turbina a gás é chamado de ciclo Brayton (figura 3.2), funciona da seguinte maneira: o ar atmosférico (fluido de trabalho) é continuamente comprimido pelo compressor, passando para a câmara de combustão onde recebe energia do combustível, aumentando sua temperatura. Os gases da combustão se expandem através da turbina e descarregam na atmosfera. Parte do trabalho desenvolvido pela turbina é usado para acionar o compressor, o restante deste trabalho é utilizado para acionar um gerador ou gerador elétrico ou um dispositivo mecânico. Os fatores que afetam o desempenho das turbinas a gás são: eficiência dos componentes, a temperatura de entrada na turbina e o tipo de câmara de combustão. Existem dois tipos de câmaras de combustão: pressão constante ou a volume constante. A primeira denomina o ciclo da turbina a gás de ciclo a pressão constante, e a segunda, ciclo a volume constante.

Este é o Ciclo Brayton simples e aberto e tem rendimento térmico de 35% podendo chegar a 42% (COELHO, 2000). Para a cogeração este ciclo é implementado com a adição de uma caldeira de recuperação de calor. Neste caso os gases de exaustão da turbina vão para a caldeira, de modo a

gerar vapor, onde será utilizado no processo industrial ou para o acionamento de uma turbina a vapor (ciclo combinado).

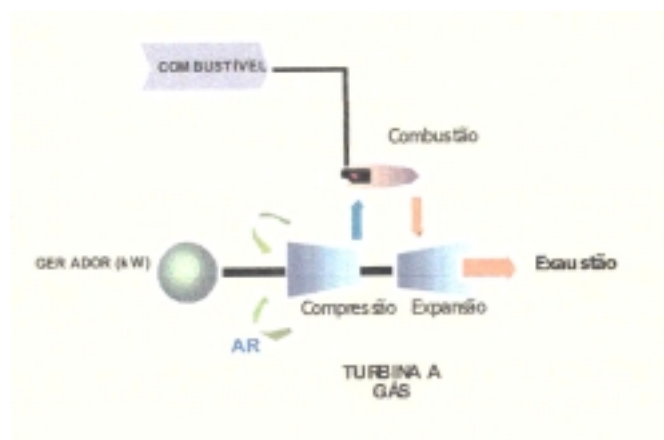


Figura 3.2: Esquema de um ciclo com turbina a gás.

### 3.2.2.3 Turbina a vapor

È utilizado o calor da combustão de combustíveis para geração de vapor de uma caldeira ou gerador de vapor. Portanto a energia térmica acumulada em forma de vapor pode ser utilizada em processos industriais, aquecimento, geração de energia acionando uma turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico. O rendimento térmico máximo é de aproximadamente 30 – 35% (1/3 da energia do combustível pode ser convertido em energia térmica). A figura 3.3 apresenta um ciclo a vapor.

A turbina a vapor como elemento motor é mais simples que a turbina a gás, é uma tecnologia mais conhecida e dominada, existindo uma grande variedade de tipos e modelos adequados a cada aplicação. Em função das exigências de vapor e de energia elétrica requerida no processo ou do consumidor associado, as turbinas a vapor podem ser:

- Turbinas a vapor de contrapressão
- Turbinas a vapor de condensação e extração.

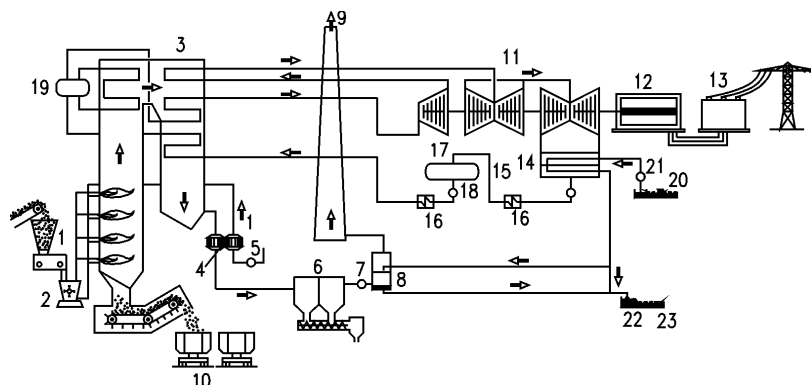


Figura 3.3: Esquema de uma central termelétrica moderna com altos parâmetros operando com carvão mineral (CTE Java Power na Indonésia). Cortesia da Siemens Westinghouse.

- 1- Silo de carvão, 2- Moinho de carvão, 3- Gerador de vapor, 4- Aquecedor de ar, 5- Soprador, 6- Precipitador eletrostático, 7-Exaustor, 8- Dessulfurizador de gases, 9- Chaminé, 10- Equipamento para o manuseio de cinzas, 11- Turbinas a vapor, 12- Gerador, 13- Transformador do gerador, 14- Condensador, 15- Bomba de condensado, 16- Aquecedor regenerativo, 17- Tanque de água de alimentação, 18- Bomba de alimentação, 19- Tubulão da caldeira, 20- Unidade de limpeza da água de resfriamento, 21- Bomba de água de resfriamento, 22- Poço de selagem, 23- Canal de saída.

### 3.2.2.4 BIG-GT – Gaseificação da Biomassa Integrada – Turbina a gás

Nestes sistemas, figura 3.4, a biomassa é gaseificada e o gás combustível produzido, uma vez limpo de alcatrão, cinzas, metais alcalinos, etc, é injetado na câmara de combustão da turbina a gás (BEENACKERS e MANIATIS, 1996). Segundo NOGUEIRA et al, há ainda a necessidade de se resolver alguns problemas como:

- Limpeza do gás quente obtido no gaseificador, a fim de removerem-se os particulados, alcatrão, metais alcalinos e outros compostos que podem afetar a operação da turbina a gás.
- As turbinas a gás são projetadas para operar com gás natural, que possui um poder calorífico várias vezes maior que o poder calorífico do gás produto da gaseificação da biomassa. Assim, a turbina a gás necessita de modificações construtivas na câmara de combustão, a fim de operar com maior volume de gás.
- Nos gaseificadores pressurizados a alimentação da biomassa pode apresentar dificuldades.
- Deve-se propiciar a existência de plantas piloto para resolver os problemas térmicos ainda existentes.

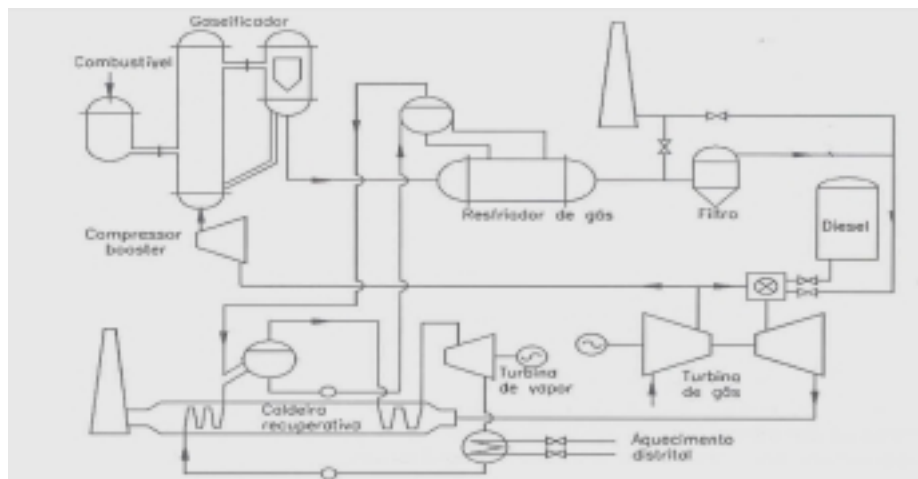


Figura 3.4: Sistema BIG/GT (Planta de Varnamo na Suécia – Processo Bioflow). (Nogueira, 2000)

### 3.2.2.5 Ciclo combinado

A operação em cascata energética de duas ou mais máquinas térmicas é chamado de ciclo combinado. São consideradas instalações que possuem circuitos abertos (ciclo Brayton) com circuitos fechados, onde duas substâncias de trabalho estão envolvidas. Por exemplo, o combustível é queimado com ar em um circuito aberto (turbina a gás) e a água/vapor é usada em um circuito fechado (ciclo Rankine). Pode-se utilizar duas turbinas a gás, um MCI com uma turbina a vapor e outras diversas combinações. Na geração de eletricidade através de ciclos combinados gás-vapor (Brayton-Rankine), os gases de exaustão da turbina a gás tem uma temperatura alta, entre 450 e 550°C ou mais, podendo ser utilizados numa caldeira de recuperação de calor gerando vapor para acionar a turbina a vapor, aumentando assim sua eficiência (figura3.5) (COELHO, 2000).

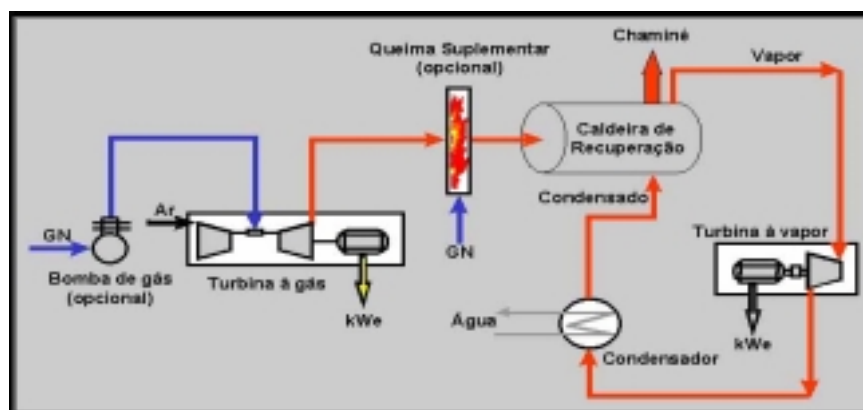


Figura 3.5: Esquema de um ciclo combinado utilizando turbina a gás e turbina a vapor.

Na tabela (3.6) a seguir, estão algumas características das principais tecnologias de geração termelétrica.



Tabela 3.6: Características principais das tecnologias comerciais de geração termelétrica

Tecnologias		Custo de Instalação (US\$/kW)	Eficiência Média (%)	Custo de O&M (US\$/MWh)	Tipo de combustível
MCI	Diesel	350 - 500	36 – 43 <sup>b</sup>	0,005 - 0,010	Diesel
	Otto	600 - 1.000	28 – 42 <sup>b</sup>	0,007 - 0,015	Diesel
Turbina a gás		650 - 900	21 – 40 <sup>b</sup>	0,003 - 0,008	Gás Natural
Ciclo a vapor		2330	36	0,045 <sup>a</sup>	Carvão mineral
Ciclo combinado gás - vapor		1229	49	0,028 <sup>a</sup>	Gás natural
<b>Tecnologias avançadas</b>					
Célula a combustível		1.900 - 3.500	35 – 54 <sup>b</sup>	0,005 - 0,010	Hidrogênio (podendo utilizar GLP e GN)
Sistemas híbridos <sup>c</sup>		-	75 <sup>d</sup>	- <sup>e</sup>	Hidrogênio, GN, GLP
Motor Stirling		2000 - 5000	30 - 40 (PCI)	0,005 - 0,010	Preferencialmente gás natural, mas com grande flexibilidade
Ciclos combinados com gaseificação		2840	43	0,062	Carvão pulverizado
Ciclo avançados com Turbina a gás		986	37	0,017	Gás natural

a- custo fixo / b-PCS

c-Direct Fuel Cell/Turbine Ultra Efficiency System -/ d- aproximadamente 100 MW

e- Custo da Energia - para um custo de combustível de 5,0 US\$/MMBTU o custo da energia será de 5,5 cents/kWh.

Fonte: FuelCell Energy, Inc, 2000./ (adaptado de GRI 03/1999; EDUCOGEN, 2001).

### 3.3 Metodologia

Foram realizadas comparações entre os padrões de emissões e os fatores de emissões, conforme veremos a seguir.

#### 3.3.1 Padrões de emissões e fatores de emissões - Metodologia

A queima de óleo combustível, carvão e gás natural, nas termelétricas para a produção de energia é considerada a maior fonte de emissões de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub> e particulados, os que estão diretamente relacionados com a qualidade e com o tipo de combustível empregado. A fim de estabelecer limites no impacto ambiental das termelétricas são estabelecidos padrões de emissão (tabela 3.7) de obrigatório cumprimento para unidades em operação e projeto. O padrão de emissão indica quanto se permite ser emitido, e constituem padrões e leis. O fator de emissão define as quantidades de poluentes realmente emitidos por unidade de combustível ou de produto. Utilizam-se para caracterizar o impacto ambiental de uma tecnologia dada. Neste trabalho utilizam-se os

padrões vigentes no Brasil, bem como na Áustria, Japão e Estados Unidos. A utilização de dados internacionais deve-se a que os padrões de emissão de NO<sub>x</sub> no Brasil são inexistentes, e para os outros poluentes são um tanto conservadores, sendo assim utiliza-se, para fins de comparação, os padrões dos países mencionados neste trabalho, uma vez que estes são mais rigorosos.

Tabela 3.7. Padrões de emissões vigentes para termelétricas na Áustria, Japão (Kucowski et al, 1997) e EUA (EPA, 1995).

País	Combustível	Novas unidades					Unidades existentes			
		SO <sub>x</sub>		NO <sub>x</sub>		MP	SO <sub>x</sub>		NO <sub>x</sub>	
		mg/Nm <sup>3</sup>	g/GJ	mg/Nm <sup>3</sup>	g/GJ	g/GJ	mg/Nm <sup>3</sup>	g/GJ	mg/Nm <sup>3</sup>	g/GJ
Áustria	sólido	200	85	200	85	-	200	85	200	85
	líquido	200	75	150	55	-	200	75	150	55
	gasoso	-	-	150	45	-	-	-	150	45
Japão	sólido	233	95	411	175	-	644	240	200-400	85-170
	líquido	233	80	267	100	-	644	240	130-180	50-65
	gasoso	-	65	123	35	-	644	240	60-130	20-40
EUA	sólido	nd	<sup>(b)</sup>	nd	260 <sup>(a)</sup>	13	nd	nd	nd	nd
	líquido	nd	86	nd	130	13	nd	nd	nd	nd
	gasoso	nd	86	nd	86	13	nd	nd	nd	nd

(a) - carvão betuminoso; (b) Mínimo 70 % remoção; nd - não disponível.

### 3.3.2 Emissões atmosféricas típicas durante a geração termelétrica

Os valores de fatores de emissões utilizados neste trabalho são apresentados na Tabela (3.8) e (3.9), conforme as diferentes tecnologias selecionadas. Com a desregulamentação do setor elétrico brasileiro e a efetiva possibilidade de venda de excedentes elétricos à rede, a cogeração, utilizando o bagaço de cana-de-açúcar, vem aumentando a sua participação na produção de energia elétrica na matriz energética, o seu considerável potencial técnico é considerado da ordem de 4.000 MW (Eletrobrás, 1999). Sendo assim, apresenta-se na Tabela (3.8) os fatores de emissões para o bagaço, utilizando a combustão e ciclos a vapor, e também a gaseificação através da tecnologia BIG-GT (ciclo combinado com gaseificação do bagaço e turbina a gás). A Tabela (3.10) apresenta os padrões de emissões para NO<sub>x</sub> e MP, vigentes no Brasil, enquanto que na Tabela (3.11) constam os padrões de emissões para o setor sucroalcooleiro. Os padrões de emissões brasileiros ainda são considerados conservadores por não incluírem normas para a emissão de NO<sub>x</sub> e ainda por terem valores muito altos para MP e SO<sub>x</sub> se comparados com padrões internacionais.

Os dados considerados para converter unidades (tabela 3.8), quando necessário, foram os seguintes: eficiências de geração: ciclo combinado, 58 %; motor de combustão interna, 38 %; turbina a gás ciclo aberto, 36 %; ciclo a vapor 41 %. O poder calorífico inferior (PCI) dos

combustíveis avaliados: gás natural, 41.000 kJ/Nm<sup>3</sup>; carvão mineral CE 4500 (Santa Catarina), 18.873 kJ/kg; óleo Diesel, 38.000 kJ/kg. Para as tecnologias de remoção de poluentes mais utilizadas, considerou-se as eficiências de 85 % para redução seletiva catalítica (SRC); 99,2 % para precipitador eletrostático (ESP); 50 % para queimadores com baixa emissão de NO<sub>x</sub> (LNB), sendo que a eficiência deste método depende do tipo de combustível utilizado; 90 % de eficiência de remoção para o sistema de dessulfurização do gás (FGD). (Mais informações sobre os métodos de controle de poluentes estão no capítulo 2).

Tabela 3.8. Fatores típicos de emissões de tecnologias de geração termelétrica. (Bluestein J., 2001)

Tecnologia	Combustível	Método de controle <sup>a</sup>	NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		CO <sub>2</sub>		MP	
			g/GJ	g/MWh	g/GJ	g/MWh	g/GJ	g/MWh	g/GJ	g/MWh
Ciclo combinado (sem queima suplementa)	Gás natural	Sem <sup>d</sup>	86,08	534.29	0,29	180.00	56.705,58	351965.67	2,92	18.12
		SCR	12,91	80.13	0,29	180.00	56.705,58	351965.67	2,92	18.12
		DLN <sup>e</sup>	0,49-1,23	3.04 – 7.63	0,29	180.00	56.705,58	351965.67	2,92	18.12
Motor de combustão interna	Óleo Diesel <sup>c</sup>	sem	1.043,70	9887.68	173,92	1647.66	68.558,72	649503.66	37,34	353.75
		SCR	156,56	1483.20	173,92	1647.66	68.558,72	649503.66	37,34	353.75
		FGD	1.043,70	9887.68	17,39	164.75	68.558,72	649503.66	37,34	353.75
		ESP	1.043,70	9887.68	173,92	1647.66	68.558,72	649503.66	0,30	2.84
		SCR/ESP	156,56	1483.20	173,92	1647.66	68.558,72	68.558,72	0,30	2.84
Turbina a gás	Gás Natural	Sem <sup>d</sup>	53,43	860.80	0,32	3.20	58.101,55	581015.50	3,17	31.70
		SCR	8.01	129.10	0,32	3.20	58.101,55	581015.50	3,17	31.70
		DLN	0,49-1,23	4.90 – 12.30	0,32	3.20	58.101,55	581015.50	3,17	31.70
Turbina a vapor	Carvão mineral <sup>b</sup>	sem	528,74	4642.60	913,28	8019.04	2.113.573,66	18558207.75	55,28	485.39
		LNB	264,37	2321.30	913,28	8019.04	2.113.573,66	18558207.75	55,28	485.39
		ESP	528,74	4642.60	913,28	8019.04	2.113.573,66	18558207.75	0,44	3.86
		FGD	528,74	4642.60	91,33	801.92	2.113.573,66	18558207.75	55,28	485.39
		LNB/ESP/FGD	264,37	2321.30	91,33	801.92	2.113.573,66	18558207.75	0,44	3.86

a- Eficiências médias típicas dos métodos de controle são: SRC (redução seletiva catalítica) = 85%; DLN (câmara de combustão seca com baixa emissão de NO<sub>x</sub>) e LNB (queimador com baixa emissão de NO<sub>x</sub>) = 50 %; ESP (precipitador eletrostático) = 99,2%, FGD (flue gas desulfurization) = 90%. (Lora, 2000);

b- Carvão mineral CE 4500 (Santa Catarina): teor de enxofre = 2,01 %; teor de cinzas = 42,98 %; PCI = 18.873 kJ/kg (Gerasul, 2000);

c- Tomou-se como base o Diesel internacional, cujo teor de enxofre é de 0,05 % (JOHNSON et all, 1994), e cujo valor é menor do que o brasileiro. Nos motores Diesel não estacionário, normalmente não se utilizam métodos de controle, mas quando a sua utilização é feita numa central termelétrica é necessário considerar métodos de controle. O teor de enxofre no Diesel brasileiro chega a ser até 8 vezes maior do que o Diesel dos EUA;

d- EPA, 1995;

e- Chalfinv, J., Shorr, M.,1999.

A tabela (3.9) seguinte apresenta fatores de emissões para tecnologias avançadas.

Tabela 3.9: Fatores de emissões de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM-10 e CO<sub>2</sub> para diferentes tecnologias de geração.

Tecnologia	η (%)	NO <sub>x</sub>		SO <sub>x</sub>		CO <sub>2</sub>		PM-10	
		g/GJ	g/MWh	g/GJ	g/MWh	g/GJ	g/MWh	g/GJ	g/MWh
Célula combustível de óxido sólido	42	0.30	4.54	0.26	2.27	50300.94	430912.78	0,00	0,00
Célula combustível de ácido fosfórico	37	1.55	13.61	0.26	2.72	50300.94	488972.61	0,00	0,00
MCI a gás queima pobre ('lean burn') sem controle	36	94.58	997.90	0.26	2.72	50300.94	502580.38	-	13.61
MCI a gás queima rica ('rich burn') com catalisador de 3 vias	29	25.80	226.80	0.26	3.18	50300.94	624143.14	-	13.61
MCI Diesel sem controle	38	563.20	9888.31	21.71	205.93	68357.69	649544.32	-	353.80
MCI Diesel com redução seletiva catalítica	38	262.25	2131.88	21.71	205.93	68357.69	649544.32	-	353.80
Microturbina	25	12.9	199.58	21.71	3.63	50300.94	723933.47	2.84	40.82
Turbinas a gás pequenas	27	38.69	521.63	0.26	3.63	50300.94	677667.05	2.84	36.29
Turbinas a gás médias	30	21.50	276.69	0.26	3.18	50300.94	601971.11	2.84	31.75
Turbinas a gás grandes - ciclo combinado	51	4.30	27.22	0.26	1.81	50300.94	351987.7	2.84	18.14
Turbinas a gás grandes	31	21.50	267.62	0.26	3.18	50300.94	581051.86	2.84	31.75
Turbina a gás ciclo simples - sistemas avançados	35	12.90	145.15	0.26	2.72	50300.94	523445.63	2.84	31.75
1998 Average Coal Boiler	33	0	2540.12	0	6078.14	0	959347.93	0,00	136.08
1998 Average Fossil	33	0	2295.18	0	5261.67	0	921246.16	0,00	122.47
1998 Average PowerGen	47	0	1555.82	0	3583.38	0	638658.10	0,00	86.18

Fonte: Weston, F., Seidman, N., L., James, C., "Model Regulations for the Output of Specified Air Emissions from Smaller-Scale Electric Generation Resources" The Regulatory Assistance Project, 2001

Tabela 3.10. Fatores de emissões para o Bagaço. (EPA)

Tecnologia	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	PM [g/GJ]			
	g/GJ	g/GJ	g/GJ	Sem controle	Ciclone	Lavador de gás	Precipitador eletrostático
Combustão	80	<sup>a</sup>	104.000	3192	159,6	53,2	26,6
BIG - GT	90-100	10	-	-	-	-	-

a- As emissões de SO<sub>x</sub> foram consideradas nulas, devido ao baixo teor de enxofre no bagaço de cana.

Tabela 3.11. Padrões de emissões brasileiros para processos de combustão externa. (Resolução CONAMA 008/90)

	Até 70 MW		Acima de 70 MW	
	PT [g/GJ]	SO <sub>2</sub> [g/GJ]	PT [g/GJ]	SO <sub>2</sub> [g/GJ]
Classe I	28,7	477,7	(1)	(1)
Classes II e III	83,6 (2)	1.194,2	28,7 (2)	477,7
	358,3 (3)	1.194,2	191,1 (3)	477,7

(1) - Não serão permitidas instalações de novas fontes fixas deste porte, nesta área; (2) - refere-se a óleo combustível; (3) - refere-se a carvão mineral; PT - Partículas Totais.

Tabela 3.12. Padrões de Emissões para o bagaço de cana. (Pestelli, 1997)

Poluente [g/GJ]	NO <sub>x</sub> <sup>a</sup>	PM
Bagaço	70,75	63,84

a- Devido a ausência de dados de padrões de emissão de NO<sub>x</sub> para o bagaço, adotou-se padrões referentes à biomassa em geral vigentes na Holanda (Rabou e Jansen, 2001).

Entre os combustíveis possíveis de serem utilizados em uma termelétrica, o gás natural é aquele que apresenta as maiores vantagens, tanto técnicas quanto ambientais. Sua especificação técnica permite maior eficiência dos equipamentos de geração, quando comparada a outros combustíveis, ou seja, sólidos ou líquidos.

A tabela (3.13) mostra os padrões de qualidade do ar sugeridos pela Organização Mundial da Saúde. Estes padrões publicados no ano 2000 consideram os dados mais recentes existentes em relação com o efeito dos poluentes sobre a saúde humana, na base de estudos epidemiológicos.

Tabela 3.13. Padrões de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2000)

Poluente	Padrões	Comentários
NO <sub>x</sub>	1 hora: 200 µg/m <sup>3</sup> Ano: 40 µg/m <sup>3</sup>	Concentração mínima que afeta a doentes de asma em 30-110 minutos de exposição: 565 µg/m <sup>3</sup> . Efeitos respiratórios em crianças durante exposição por longo tempo: 50-75 µg/m <sup>3</sup> . Concentração natural no ar limpo: 1 – 9 µg/m <sup>3</sup> . Valor médio anual nas cidades: 20 –90 µg/m <sup>3</sup> .
SO <sub>x</sub>	1 hora: 125 µg/m <sup>3</sup> Ano: 50 µg/m <sup>3</sup>	Concentração mínima que afeta a doentes de asma em 10 minutos de exposição: 500 µg/m <sup>3</sup> . Concentração mínima de efeito adverso durante exposição por longo tempo: 100 µg/m <sup>3</sup> . Concentração natural no ar limpo: 1 – 9µg/m <sup>3</sup> . Valor médio anual nas cidades: 20 –40 µg/m <sup>3</sup>

Particulados	Não reportados	A informação disponível não permite fazer um julgamento das concentrações abaixo das quais nenhum efeito poderia ser esperado.
Ozônio	8 horas: 120 µg/m <sup>3</sup>	Concentração mínima que afeta a doentes de asma várias horas de exposição: 280-340µg/m <sup>3</sup> . Efeitos respiratórios em crianças durante exposição por tempo curto: 100 µg/m <sup>3</sup> Concentração natural no ar limpo: 40 – 70 µg/m <sup>3</sup> . Valor médio anual nas cidades: 300 µg/m <sup>3</sup> .

### 3.4. Análise comparativa - Resultados

#### 3.4.1 Comparação entre as emissões das CTE's e os Padrões de Emissões.

As Figuras (3.6), (3.7) e (3.8) a seguir, apresentam as comparações realizadas entre os fatores de emissão das diferentes tecnologias avaliadas na tabela (3.6), com os padrões de emissão vigentes no Brasil, Áustria, Japão e EUA para unidades existentes.

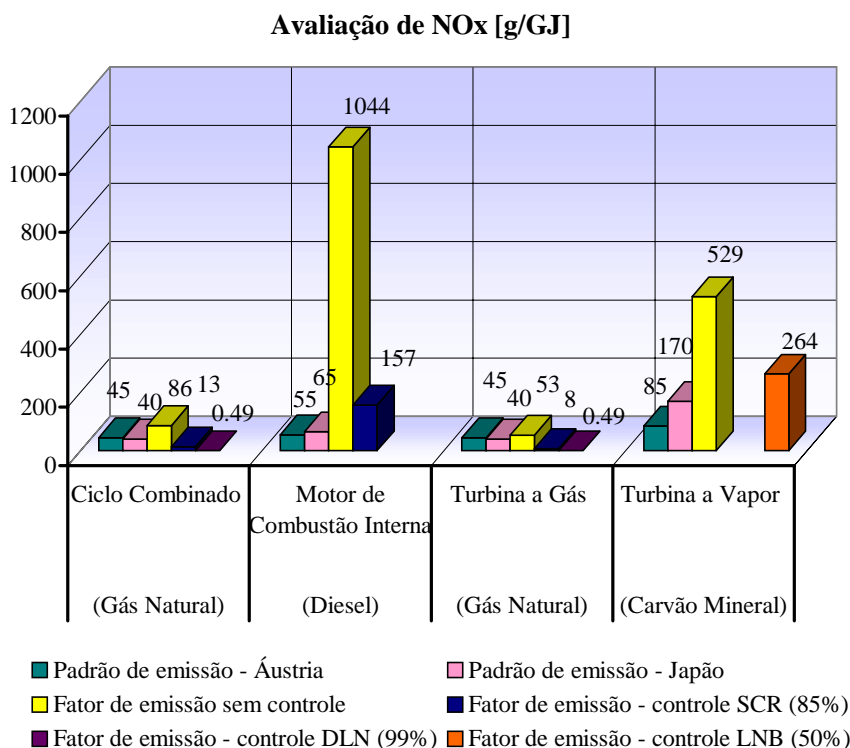


Figura 3.6. Comparação entre fatores de emissões típicos para NO<sub>x</sub> e os padrões vigentes para unidades existentes.

Analisando-se a Figura (3.6), nota-se que todas as quatro tecnologias de geração, quando não empregam sistemas de remoção de NO<sub>x</sub>, ultrapassam os valores adotados na Áustria e no Japão, correspondendo as situações mais difíceis as centrais com motores de combustão interna e com turbinas a vapor. Para as centrais a gás, seja em ciclo combinado ou ciclo aberto, empregando métodos de controle (SCR ou LNB), os valores das emissões ficam abaixo dos limites e nos casos dos motores de combustão interna e das centrais a vapor, mesmo empregando as tecnologias de remoção adotadas, os níveis de emissão ainda permanecem acima dos permissíveis.

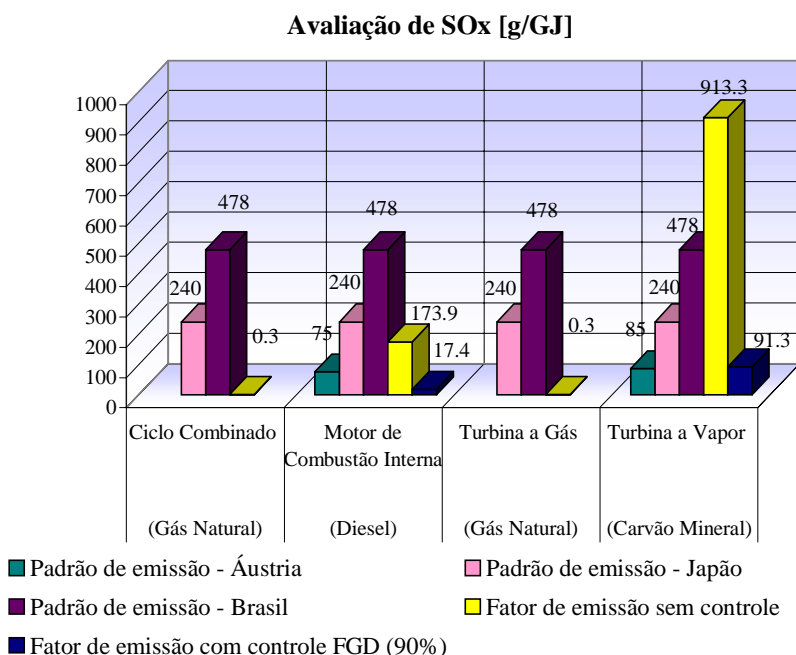


Figura 3.7. Comparação entre fatores de emissões típicos para SO<sub>x</sub> e os padrões vigentes para unidades existentes.

Já, analisando-se a Figura (3.7), nota-se que, para as centrais a gás, devido ao baixo teor de enxofre no gás natural, as emissões de SO<sub>x</sub> ficam muito abaixo dos limites estabelecidos. Para as centrais empregando motores de combustão interna, quando não se utilizam sistemas de controle, as concentrações emitidas ultrapassam os padrões da Áustria e quando se empregam dessulfurizadores, atendem aos padrões de todos os países. No caso das centrais a vapor utilizando carvão mineral, quando não se utilizam tecnologias de controle de SO<sub>x</sub>, as emissões ultrapassam os padrões de emissão de todos os países considerados, enquanto que, com o emprego de dessulfurizadores, somente ultrapassam os padrões da Áustria.

**Avaliação de particulados [g/GJ]**

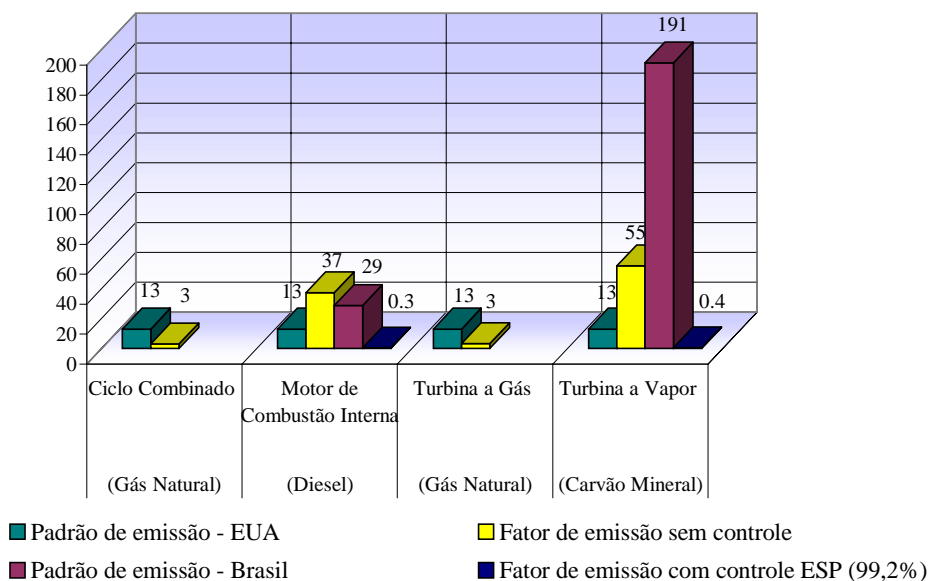


Figura 3.8. Comparação entre fatores de emissões típicos para particulados e os padrões vigentes para as unidades existentes.

No caso dos particulados, Figura (3.8), também não existem problemas com as centrais a gás. No caso das centrais com motores, na condição sem controle, os limites de emissão para o Brasil e os EUA são ultrapassados e, quando se empregam sistemas de remoção das partículas, estes valores tornam-se aceitáveis. Para as centrais a vapor, mesmo operando sem controle, atingem os valores limites dos padrões nacionais vigentes.

**Emissões de NOx [g/GJ]**

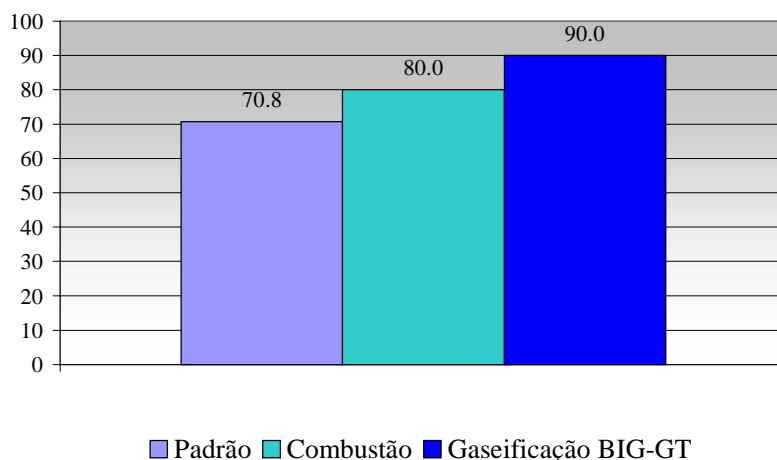


Figura 3.9. Comparação entre as emissões de NOx para o bagaço em ciclos a vapor e BIG-GT e o padrão de emissão.



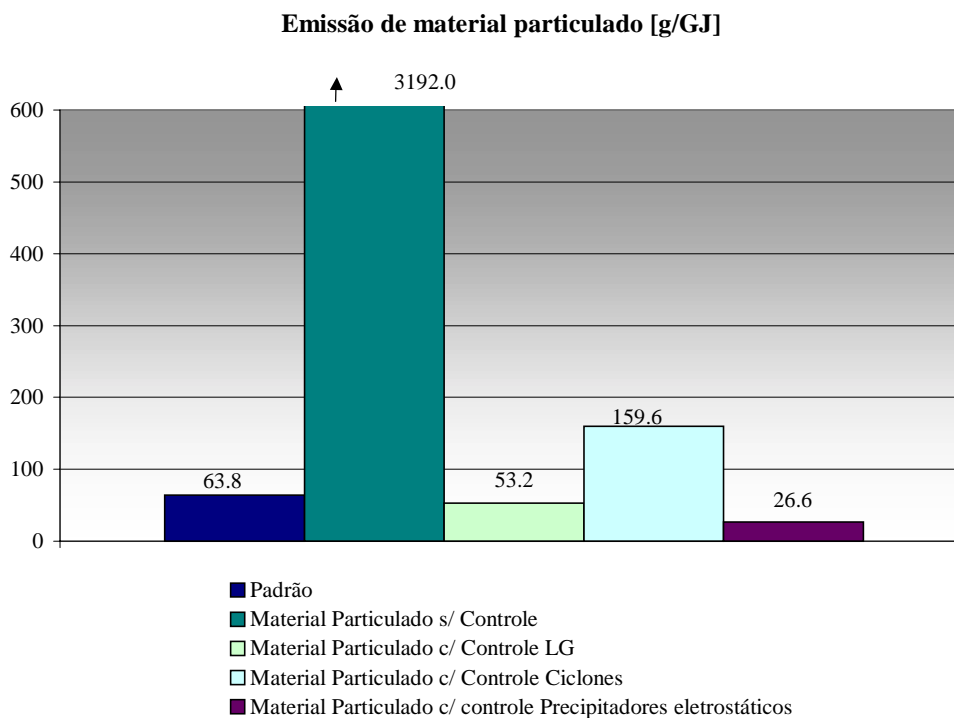


Figura 3.10. Comparação entre o padrão de emissão e as emissões de particulados utilizando bagaço com e sem controle.

Nas Figuras (3.9) e (3.10) são mostradas, respectivamente, as emissões específicas de  $\text{NO}_x$  e particulado para o bagaço de cana, sendo que na primeira avaliam-se as duas diferentes tecnologias de geração já mencionadas, enquanto que na segunda figura apenas a tecnologia de combustão foi considerada. Nota-se no caso dos óxidos de nitrogênio que ambas as tecnologias ultrapassam os limites de emissão, enquanto que, no caso de material particulado, somente com o emprego de lavadores de gás ou precipitadores eletrostáticos consegue-se atingir os padrões de emissão.

### 3.4.2 Emissões veiculares e de refino de petróleo

O Anuário Estatístico da Indústria Automobilística - ANFAVEA, 2000, estima que no ano de 1999, a frota brasileira de veículos leves era de 14.903.000 automóveis. Deve-se salientar que a idade da frota, a quantidade de veículos circulantes e o percurso médio percorrido são fatores que influenciam na quantidade de poluentes emitidos. Programas de controle de emissão veicular são estabelecidos em todo mundo. No Brasil é realizado pelo o PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, determinado pelo CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente e instituído em 1986. A última Resolução do CONAMA n° 315, de 29 de outubro de 2002, considerando que a emissão de poluentes por veículos automotores contribui

significativamente para a deterioração da qualidade ambiental, especialmente nos centros urbanos, instituí novas etapas para o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, em caráter nacional, para serem atendidas nas homologações dos veículos automotores novos, nacionais e importados, leves e pesados, destinados exclusivamente ao mercado interno brasileiro, com os seguintes objetivos:

*I - reduzir os níveis de emissão de poluentes pelo escapamento e por evaporação, visando o atendimento aos padrões nacionais de qualidade ambiental vigentes;*

*II - promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia de projeto e fabricação, como também em métodos e equipamentos para o controle de emissão de poluentes;*

*III - promover a adequação dos combustíveis automotivos comercializados, para que resultem em produtos menos agressivos ao meio ambiente e à saúde pública, e que permitam a adoção de tecnologias automotivas necessárias ao atendimento do exigido por esta Resolução.*

Atualmente, discutem-se juntamente com as montadoras e os refinadores de petróleo, os avanços do PROCONVE, para o estabelecimento de novas etapas do controle de veículos automotores. O cronograma de implantação, com limites progressivamente mais restritivos, em suas diversas fases, está previsto até 2009, tabelas (3.14) e (3.15). Embora a frota de veículos tenha aumentado surpreendentemente nos últimos anos, as ações do PROCONVE já mostram resultados no que diz respeito à qualidade do ar. Um exemplo disto, é que a qualidade do ar não tem sido prejudicada e os períodos de inverno mais recentes passaram sem a ocorrência de episódios críticos de poluição do ar causados por fontes móveis. Vencido este primeiro desafio, a atenção está voltada ao segmento emergente das motocicletas e veículos similares, cuja frota vem crescendo de forma notável nos últimos anos e seu perfil de utilização, predominante no segmento econômico de prestação de serviços de entregas em regiões urbanas. Sendo assim, tornou-se necessário o estabelecimento de um programa específico para o controle das emissões desses veículos o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motocicletas e Veículos Similares - PROMOT tendo em vista os elevados fatores de emissão dos mesmos em relação aos dos automóveis novos. Esta proposta foi baseada nas legislações vigentes na Europa, principalmente na Diretiva das Comunidades Européias n.º 97/24/EC, sendo os primeiros limites de emissão propostos para vigorar a partir de 01 de janeiro de 2003, (limites EURO I) considerando que o atual estágio tecnológico da indústria nacional possibilita o atendimento desta meta de controle. A necessidade de transferir sistemas de controle utilizados no exterior, para os veículos nacionais prevê a partir de janeiro de 2006, uma redução significativa nas emissões (limites EURO II). Com isso está em curso a

implantação e montagem de um novo laboratório de emissões veiculares que permitirá à CETESB ensaiar motocicletas, veículos e motores dos ciclos Otto e Diesel, movidos a etanol, gasolina e suas misturas, óleo diesel e gás, para pesquisa e homologação de veículos motores comercializados no Brasil.

Tabela 3.14 Novas etapas do PROCONVE para veículo leves (Site CONAMA/PROCONVE, 2002).

Data	Tipo de Veículo	Emissão de Poluentes (g/km)							
		CO <sup>a</sup>	THC <sup>b</sup>	NMHC <sup>c</sup>	NO <sub>x</sub>		HCO <sup>d</sup>	MP	CO <sup>e</sup>
					Otto	Diesel			
01/01/2007	Leves passageiro	2,0	0,30	0,16	0,25	0,60	0,003	0,05	0,50% vol
01/01/2009	Leves passageiro	2,0	0,30	0,05	0,12	0,25	0,02	0,05	0,50% vol
01/01/2007	Leves comerciais <sup>f</sup>	2,0	0,30	0,16	0,25	0,60	0,03	0,08	0,50% vol
01/01/2009	Leves comerciais <sup>f</sup>	2,0	0,30	0,05	0,12	0,25	0,02	0,05	0,50% vol
01/01/2007	Leves comerciais <sup>g</sup>	2,7	0,50	0,20	0,43	1,00	0,06	0,10	0,50% vol
01/01/2009	Leves comerciais <sup>g</sup>	2,7	0,50	0,06	0,25	0,43	0,04	0,06	0,50% vol

a- monóxido de carbono / b- hidrocarbonetos totais (somente para veículos a gás natural) / c- hidrocarbonetos não metano / d- aldeídos (somente para motores ciclo Otto, exceto gás natural) / e- teor de CO em marcha lenta somente para motores do ciclo Otto / f- leves comerciais com massa do veículo para ensaio menor ou igual a 1700kg. / g - leves comerciais com massa do veículo para ensaio maior que 1700kg.

Tabela 3.15 Novas etapas do PROCONVE para veículos pesados. (Site CONAMA/PROCONVE, 2002)

Data	Tipo de Veículo	Emissão de Poluentes (g/kWh)			
		CO	THC	NO <sub>x</sub>	MP
01/01/2004	ônibus urbano	2,1	0,66	5,0	0,10 ou 0,13 <sup>a</sup>
01/01/2005	Micro-ônibus	2,1	0,66	5,0	0,10 ou 0,13 <sup>a</sup>
01/01/2005	Veículo pesados <sup>a</sup>	2,1	0,66	5,0	0,10 ou 0,13 <sup>a</sup>
01/01/2009	Veículo pesados <sup>c</sup>	1,5	0,46	3,5	0,02

a- Veículos pesados exceto ônibus e micro –ônibus, para 40% da produção anual, por fabricante ou importador.  
 b- Para 100% da produção anual, por fabricante ou importados.

A Tabela (3.16) apresenta os fatores de emissão para veículos, considerando as emissões médias de carros fabricados durante nos período 1990 a 2000.

Uma atividade industrial com um considerado nível de emissão de poluentes atmosférico é a indústria de refino de petróleo. Para este setor, considerou-se os fatores de emissão conforme a Tabela (3.16).

Tabela 3.16. Fatores de Emissão para veículos a gasolina e refinarias de petróleo. (Barros e Ferreira, 1992)

Poluente	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
Veículos leves [g/km] <sup>(a)</sup>	0.62 <sup>d</sup>	nd	178,7 <sup>c</sup>
Refinarias de petróleo[kg/t] <sup>(b)</sup>	0,3	1,3	0,8

- a- grama de poluente por quilometro rodado;
- b- b- quilograma de poluente por tonelada de petróleo processado;
- c- c- dados de emissão de CO<sub>2</sub> para veículos fabricados de 1980 a 1995.
- d- Dados do PROCONVE.

### 3.4.3 Comparação entre as emissões das CTE's e emissões veiculares e de refino de petróleo – (Metodologia e Resultados)

Como uma maneira de se avaliar a dimensão do impacto do Programa Prioritário de Termelétricas PPT sobre o meio ambiente no país, em termos globais, resulta interessante comparar este com o impacto causado por outras grandes fontes poluidoras, tais como os veículos automotivos e as refinarias de petróleo utilizando como indicador o valor das emissões percapita dos diferentes poluentes. Para o cálculo das emissões do PPT foi considerada uma potência total de 16.419 MW, conforme descrito anteriormente. As eficiências consideradas para cada ciclo são: usinas de cogeração a gás natural, 80 % (com método de controle DLN); ciclo combinado, 58% (com método de controle DLN); usinas a gás natural TG - ciclo aberto, 36 % (com método de controle DLN) e usinas a carvão, 41 % (com método de controle ESP). A Figura (3.11) apresenta estas comparações, em g/ano/habitante, ou seja, o valor das emissões anuais totais percapita. Para tanto, a população brasileira considerada foi de 173400812 (IBGE/2001) e a quilometragem média diária de veículos de 35.5 Km/dia (ALVIM, 2000). Já para se calcular as emissões referentes às refinarias, considerou-se uma produção média diária de 240.241 t/dia de petróleo (BELO, 2000). O fluxograma abaixo apresenta como foram calculadas as emissões totais percapita para os veículos e as refinarias de petróleo.

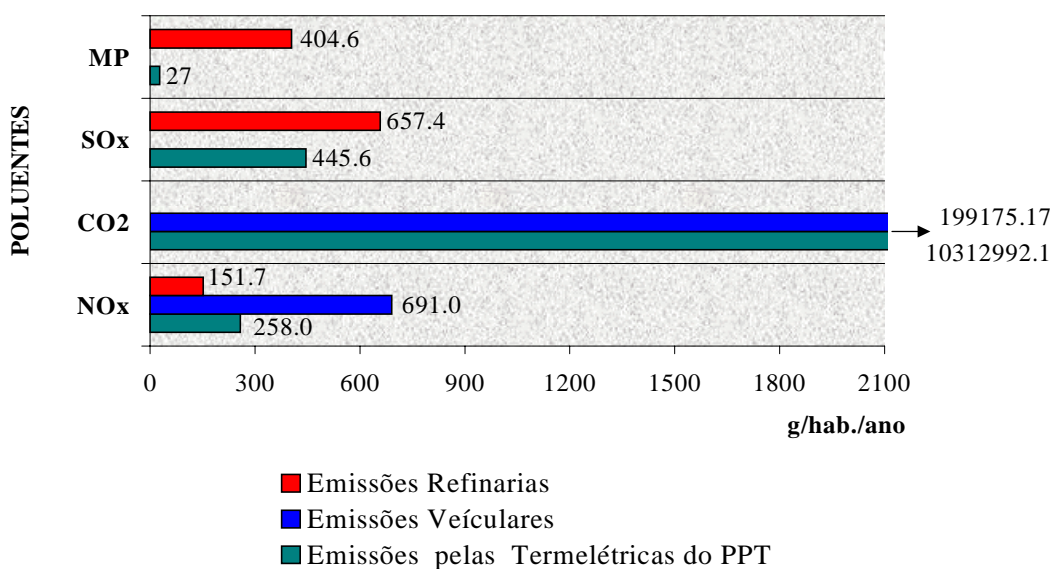
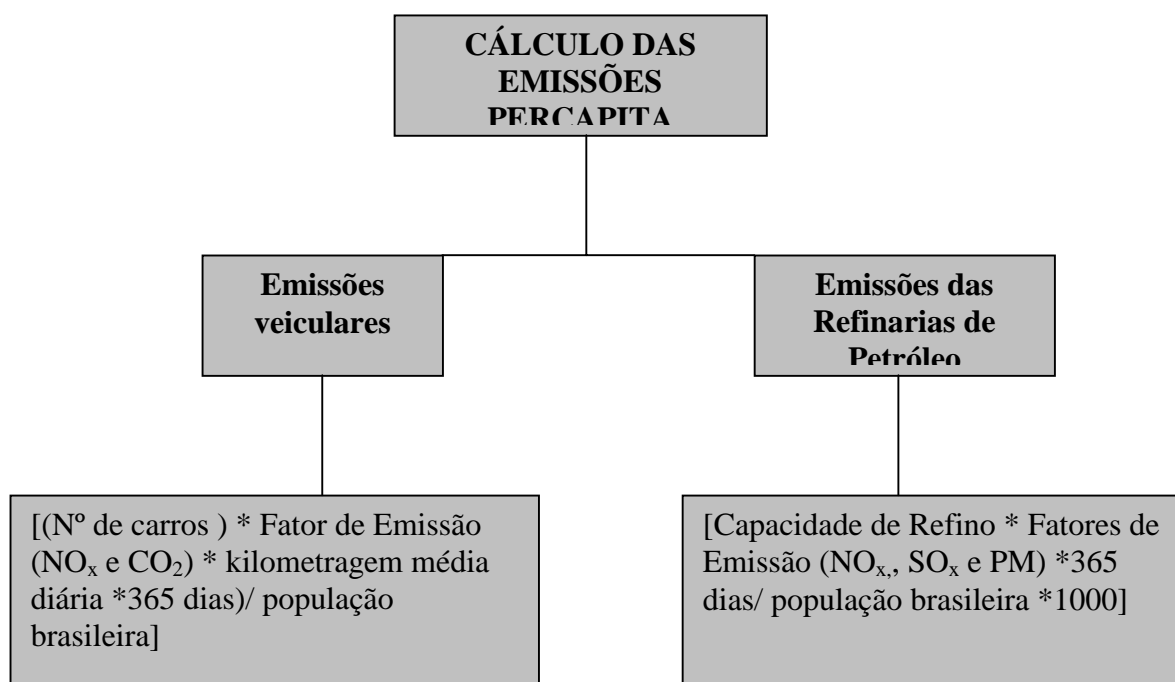


Figura 3.11. Comparação entre as emissões veiculares, refinarias e as usinas do PPT.

Finalmente, analisando-se a Figura (3.11), conclui-se que as emissões percapita de material particulado geradas pelas térmicas do PPT são muito menores que as correspondentes às refinarias. Para o caso das emissões percapita de SO<sub>x</sub> também as termelétricas do PPT apresentam valores menores que as correspondentes às refinarias. No caso de óxidos de nitrogênio NO<sub>x</sub> fica evidente

que as emissões percapita correspondentes aos veículos automotivos são maiores do que as correspondentes às centrais termelétricas e refinarias. Por outro lado, embora a emissão global de CO<sub>2</sub> pelas centrais termelétricas sejam maiores do que a emissão veicular, deve-se salientar que o valor específico das mesmas, por kWh gerado para as usinas de ciclo combinado com gás natural, é menor do que para qualquer outra tecnologia que utilizam combustíveis fósseis.

### 3.5 Poluição das Águas

As águas residuais geradas nas centrais termelétricas são provenientes, basicamente, dos seguintes processos:

- água de resfriamento que provoca a poluição térmica dos reservatórios de água;
- águas residuais dos sistemas de tratamento de água;
- águas contaminadas com resíduos de petróleo;
- água da limpeza das superfícies dos geradores de vapor que queimam óleo combustível;
- soluções descartadas logo após a limpeza química dos equipamentos térmicos e da sua conservação;
- água do sistema de remoção de cinzas, quando se utiliza lavadores de gás, nas centrais termelétricas que utilizam combustíveis sólidos;
- águas residuais domésticas;
- águas de chuva.

No entanto, existem métodos para o tratamento destes resíduos líquidos que consistem em selecionar a tecnologia adequada depois de realizar testes de, por exemplo, separabilidade, determinar a granulometria das gotículas de óleo, etc.

Diferentes tecnologias de geração se caracterizam por consumos específicos diferentes de água (m<sup>3</sup>/kWh). Ao mesmo tempo uma mesma tecnologia pode utilizar diferentes sistemas de resfriamento: torre úmida, seca e mista (mais detalhes capítulo 5). É preciso assinalar que existe uma dependência clara entre o tipo de sistema de condensação e resfriamento selecionado e a eficiência da usina.

### **3.6 Considerações Finais**

Embora tenha sido utilizada uma análise global das emissões das centrais termelétricas que se deseja construir no Brasil, este trabalho deixa claro que os Padrões de Emissão brasileiros ainda são muito conservadores. Primeiro por não contemplar os óxidos de nitrogênio e segundo por apresentar limites de emissão muito superiores aos empregados internacionalmente, o que pode levar a conclusões erradas com relação à aceitabilidade dos impactos ambientais de empreendimentos energéticos, como é o caso dos vários motores estacionários para geração de eletricidade.

No caso das centrais termelétricas contidas no PPT, aquelas que utilizam o gás natural são de fato as que apresentam os menores impactos, mas necessitam de sistemas de redução de emissão para atingirem os padrões internacionais.

Considerando que tanto as centrais termelétricas, como as refinarias de petróleo, geralmente, se localizam perto dos centros de carga, onde a concentração populacional coincide com um denso tráfego veicular, a comparação das emissões entre as mesmas é oportuna e permitem concluir que as térmicas apresentam um impacto percapita menor.

## 4 - EFICIÊNCIA ECOLÓGICA

### 4.1 Introdução

Vimos no capítulo 3, que a geração termelétrica, bem como outras atividades industriais tais como química, petroquímica, etc, estão acompanhados da emissão de poluentes prejudiciais a saúde humana, aos animais e as plantas. As emissões de óxidos de carbono (CO e CO<sub>2</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) estão diretamente relacionados com o efeito estufa, já os óxidos de enxofre (SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub> chamados de SO<sub>x</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) o tem como efeito negativo a sua contribuição para o aparecimento da chuva ácida.

O aquecimento global, devido ao acréscimo na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, aumentou a preocupação mundial em reduzir essas emissões principalmente nos países desenvolvidos, que são os maiores poluidores. Assim, em dezembro de 1997, 38 países assinaram o Protocolo de Kyoto, no qual países industrializados reduziram suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012. Esse compromisso, com vinculação legal, prometeu produzir uma reversão da tendência histórica de crescimento das emissões iniciadas nesses países. Passaram-se alguns anos, alguns países ratificaram o acordo, outros estão em processo de ratificação e os Estados Unidos decidiu não ratificar o protocolo sendo o país que mais emite CO<sub>2</sub>. Após o protocolo de Kyoto vieram outros acordos, entre eles a Convenção de Bonn realizada em julho de 2001 que foi uma marca política nas, até então, lentas negociações internacionais sobre o Protocolo de Kyoto. Os Ministros de aproximadamente 180 nações fecharam um acordo, o qual incluiu regras e procedimentos relevantes para a implementação da Convenção, nos países em desenvolvimento (financiamento, transferência tecnológica, capacitação, adaptação aos impactos de mudanças climáticas) e nos "mecanismos" de Kyoto (comércio de emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo). Em sua íntegra, o Acordo criou as bases fundamentais para que os países possam ratificar e implementar o Protocolo e para a negociação de emissões ainda mais reduzidas no futuro pacote de financiamento incluiu compromissos pelos EUA, Nova Zelândia e Suíça para fornecer US\$140 milhões por ano até 2005 aos países em desenvolvimento, havendo uma nova análise em 2008. Entre os principais pontos da Convenção de Bonn consta o seguinte: (site WWF, 2002)

- Oferecer tratamento preferencial para a energia renovável limpa sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo;



- Solicitar aos países industrializados que restrinjam a promoção de energia nuclear em países em desenvolvimento. Há que se ressaltar que os governos disseram "não" à energia nuclear como uma forma aceitável de reduzir a poluição por emissão de carbono;
- Definir regras específicas para o comércio de emissões;
- Estabelecer um regime de cumprimento que inclua conseqüências não-opcionais e vigentes para os países que não atingem as suas metas.

Outro acordo importante foi a conferência de Marrakesh em outubro de 2001 que teve o objetivo de resolver os assuntos pendentes de Bonn e concluir a conversão do Acordo em um texto formal e legal das Nações Unidas. Tudo isso foi cumprido com sucesso e acordado em consenso. Em tese, o acordo de Marrakesh deveria ter rompido quaisquer barreiras ainda existentes em relação à ratificação do Protocolo de Kyoto. Isso vale, em particular, para os casos do Japão, da Rússia e do Canadá, os quais conseguiram garantir a inclusão dos elementos que eles declararam serem cruciais para ratificarem o Protocolo. Considerando, portanto, que as regras são completas, os países têm uma visão clara de o que é exigido pelo Protocolo em todos os níveis.

Visando reduzir as emissões de gases poluentes em centrais termelétricas, utilizam-se métodos de controle e equipamentos mais eficientes, vistos no capítulo 2. Uma atenção particular para o CO<sub>2</sub>, é que o aumento de sua concentração resulta num aumento da temperatura da terra, mas ele não é tóxico e é inevitável sua emissão em altas concentrações durante o processo de combustão, mas não existem métodos de controle para a emissão CO<sub>2</sub>.

Este capítulo tem como objetivo avaliar o impacto ambiental, resultante da queima de combustíveis fósseis e a sua conversão em eletricidade nas UTE's. Propõe-se considerar a emissão de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, e NO<sub>x</sub>, de maneira integral e tendo como referência os padrões de qualidade do ar internacionais vigentes, utilizando o parâmetro eficiência ecologia (ε). O parâmetro eficiência ecológica foi proposto pelas cientistas romenas CARDU E BAICA, 1999. No nosso trabalho amplia-se a abrangência e o campo de aplicação do mesmo, considerando:

- O efeito das emissões de material particulado não inclusos na proposta original.
- As emissões de NO<sub>x</sub> são consideradas utilizando fatores de emissão para diferentes combinações entre tecnologia de conversão e combustível. Isto permite ter em conta o efeito de parâmetros de operação tais como temperatura da chama e excesso de ar na taxa de emissão de NO<sub>x</sub>.
- A aplicação do parâmetro eficiência ecológica realizado inicialmente para ciclos a vapor que utilizam carvão mineral, foi estendido para centrais de ciclo combinado com gás natural, motores de combustão interna e ciclos convencionais e avançados que utilizam biomassa como combustível.

Esta eficiência ( $\epsilon$ ) avalia de uma forma geral os impactos ambientais causados pelas emissões em centrais termelétricas, resultante da combustão tomando como referência 1 kg de combustível.

## 4.2 Metodologia para o cálculo da eficiência ecológica

Como referência durante a análise, são consideradas as concentrações máximas permissíveis dessas substâncias tóxicas no ar. Para análise, tomaremos como padrão de qualidade do ar o da Organização Mundial da Saúde (2000) apresentados na tabela (4.1), valores de emissão de poluentes para os quais não é possível detectar nenhum efeito sobre a saúde humana. O CO<sub>2</sub> não possui padrões de emissão, mas por ter efeito negativo sobre o clima, alguns países, tem implementado as chamadas taxas de carbono que penalizam quem emite altas concentrações de CO<sub>2</sub> e estimulam as reduções, estabelecendo assim um limite máximo para sua emissão. Com esses padrões e considerando a concentração máxima permissível para CO<sub>2</sub>, que é de a 10000 mg/m<sup>3</sup> (CÂRDU et al, 1999), acharemos os coeficientes para o cálculo da concentração de um poluente “integral” hipotético denominado “Dióxido de Carbono Equivalente” (CO<sub>2</sub>)<sub>e</sub>, tabela (4.2). Segundo (CÂRDU E BAICA, 1999) para se calcular esse coeficiente, dividi-se o valor da concentração máxima permissível para o CO<sub>2</sub> pelos padrões de qualidade do ar correspondentes ao NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e PM. O padrão nacional de qualidade do ar, para material particulado (PM), segundo a Resolução do CONAMA, nº 3, de 28/06/90, é de 150 µg/m<sup>3</sup>. As tecnologias e combustíveis avaliados foram os seguintes: ciclo combinado (turbina a gás/turbina a vapor) - gás natural, motor de combustão interna - óleo diesel, turbina a gás ciclo aberto - gás natural, ciclo a vapor (caldeira/turbina a vapor) - carvão mineral (betuminoso) e ciclo a vapor (TCE – 80 e BIG/GT) - bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 4.1. Padrões de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2000)

Poluente	Padrões	Comentários
NO <sub>x</sub>	1 hora: 200 µg/m <sup>3</sup> Ano: 40 µg/m <sup>3</sup>	Concentração mínima que afeta a doentes de asma em 30-110 minutos de exposição: 565 µg/m <sup>3</sup> . Efeitos respiratórios em crianças durante exposição por longo tempo: 50-75 µg/m <sup>3</sup> . Concentração natural no ar limpo: 1 – 9 µg/m <sup>3</sup> . Valor médio anual nas cidades: 20 –90 µg/m <sup>3</sup> .
SO <sub>x</sub>	1 hora: 125 µg/m <sup>3</sup> Ano: 50 µg/m <sup>3</sup>	Concentração mínima que afeta a doentes de asma em 10 minutos de exposição: 500 µg/m <sup>3</sup> . Concentração mínima de efeito adverso durante exposição por longo tempo: 100 µg/m <sup>3</sup> . Concentração natural no ar limpo: 1 – 9 µg/m <sup>3</sup> . Valor médio anual nas cidades: 20 –40 µg/m <sup>3</sup> .

Tabela 4.2: Fator de multiplicação dos gases SO<sub>x</sub>, PM e NO<sub>x</sub> em comparação com CO<sub>2</sub>.

OMS	Limite máximo aceitável				Fator de multiplicação		
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	PM
	10000	125	200	150	80	50	67

\*- CO<sub>2</sub>/SO<sub>x</sub> e CO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>.

Assim a expressão para (CO<sub>2</sub>)<sub>e</sub> será:

$$(CO_2)_e = (CO_2) + 80 * (SO_x) + 50 * (NO_x) + 67 * (PM) \quad (4.1)$$

Da equação acima, temos que o óxido de enxofre equivalente em (CO<sub>2</sub>) é (SO<sub>x</sub>)<sub>e</sub> = 80\*(SO<sub>x</sub>), isto é, a concentração equivalente de SO<sub>x</sub> de igual impacto ambiental que um kg de CO<sub>2</sub>, e assim para os outros poluentes, o óxido de nitrogênio equivalente em (CO<sub>2</sub>) será (NO<sub>x</sub>)<sub>e</sub> = 50\*(NO<sub>x</sub>) e o material particulado equivalente em (CO<sub>2</sub>) será (PM)<sub>e</sub> = 67\*(PM). O melhor combustível, do ponto de vista ecológico, é aquele que apresenta menor quantidade de carbono equivalente obtido como resultado da queima do mesmo. Para quantificar o impacto ambiental da queima de um combustível, definiu-se o “indicador de poluição” (Πg) que pode ser calculado como:

$$\Pi g = (CO_2)_e / Qi \quad (4.2)$$

onde (CO<sub>2</sub>)<sub>e</sub> é expresso em kg/kg<sub>comb</sub> (kg de CO<sub>2</sub> por kg de combustível), Qi é o PCI (poder calorífico do combustível) expresso em MJ/kg e Πg (indicador de poluição) é expresso em kg/MJ, onde kg refere-se a massa de (CO<sub>2</sub>)<sub>e</sub>.

Primeiramente calculamos os volumes de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, (SO<sub>x</sub>)<sub>e</sub>, (NO<sub>x</sub>)<sub>e</sub>, (PM)<sub>e</sub> emitidos durante a combustão de 1 kg de combustível, e conseqüentemente o volume (CO<sub>2</sub>)<sub>e</sub>, conforme a equação (1), partimos da composição química do combustível em estudo, e calculamos o volume de gases gerados. Todas as concentrações devem ser expressas em kg/kg de combustível ou kg/kg<sub>comb</sub>. Para esses cálculos foram utilizadas as equações:

- Para combustíveis sólidos e líquidos tem-se:

$$V^o_a = 0,0889*(C^t + 0,375*S^t) + 0,265*H^t - 0,0333*O^t, Nm^3/kg \quad (4.3)$$

$$V^o_g = V^o_{RO2} + V^o_{N2} + V^o_{H2O} \quad (4.4)$$

Onde:

$$V_{RO2} = V^{\circ}_{CO2} + V^{\circ}_{SO2} = 0,01866*(C^t + 0,375*S^t), \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (4.5)$$

$$V^{\circ}_{CO2} = 1,866*C^t/100 \quad (4.6)$$

$$V^{\circ}_{SO2} = 0,7*S^t/100 \quad (4.7)$$

O volume teórico de nitrogênio é calculado como:

$$V^{\circ}_{N2} = 0,79*V^{\circ}_a + 0,008*N^t \quad (4.8)$$

O volume teórico de vapor de água é calculado como:

$$V^{\circ}_{H2O} = 0,111*H^t + 0,0124*W^t + 0,0161*V^{\circ}_a, \text{ Nm}^3/\text{kg} \quad (4.9)$$

- Para combustíveis gasosos:

$$V^{\circ}_a = 0,0476*[0,5*(CO+H_2) + 1,5*H_2S - O_2 + \Sigma(m+n/4)*C_mH_n - O_2], \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \quad (4.10)$$

$$V^{\circ}_g = V_{RO2} + V^{\circ}_{N2} + V^{\circ}_{H2O}, \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \quad (4.11)$$

Onde:

$$V_{RO2} = V^{\circ}_{CO2} + V^{\circ}_{SO2} = 0,01*(CO_2 + CO + H_2S + \Sigma m*C_mH_n), \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \quad (4.12)$$

O volume teórico de nitrogênio é calculado como:

$$V^{\circ}_{N2} = 0,79*V^{\circ}_a + 0,01*N_2, \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \quad (4.13)$$

O volume teórico do vapor de água é calculado como:

$$V^{\circ}_{H2O} = 0,01*(H_2 + H_2S + \Sigma n/2*C_mH_n + 0,124*W_g^* + 3,27*V^{\circ}_a), \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \quad (4.14)$$

Onde para  $W_g$  pode-se assumir o valor de 10 g/m<sup>3</sup>.

O volume real dos gases (Nm<sup>3</sup>/kg ou Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) pode ser calculado para todos os combustíveis, como:

$$V_g = V^{\circ}_g + 1,0161*(\alpha - 1)*V^{\circ}_a \quad (4.15)$$

Onde:

O valor de  $\alpha$  pode ser, segundo Beaton e Silva, 1991:

Combustíveis sólidos: 1,15 – 1,3

Combustíveis líquidos: 1,02 – 1,10

Combustíveis gasosos: 1,05 – 1,10.

Feito estes cálculos, podemos definir os volumes de CO<sub>2</sub> e SO<sub>x</sub>, multiplicando pelas densidades respectivas para chegarmos a unidade desejada. (densidade CO<sub>2</sub> = 1,977 kg/m<sup>3</sup> e densidade de SO<sub>x</sub> = 2,86 kg/m<sup>3</sup>). O conteúdo de NO<sub>x</sub> no fluxo de gás por kg de combustível depende de vários fatores, por exemplo da temperatura de combustão e do excesso de ar. E, para calcular o valor de NO<sub>x</sub> consideramos os valores dos fatores de emissão de diferentes tecnologias

levando em conta o tipo de combustível que está sendo utilizado, ao contrário da metodologia adotada pela referencia, que considera como quantidade de NO<sub>x</sub> no gás, o limite máximo aceitável de emissão (padrão de emissão) multiplicado pelo volume do gás.

Para calcular a quantidade de material particulado no gás tomamos como base o teor de cinzas dos combustíveis.

As eficiências de remoção são  $\sigma_s$ ,  $\sigma_n$  e  $\sigma_{PM}$  para CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e PM, respectivamente, quando utilizamos métodos de controle de poluentes. O (CO<sub>2</sub>)<sub>e</sub> será determinado pela equação (4.16):

$$(CO_2)_e = CO_2 + 80*(1-\sigma_s)*SO_x + 50*(1-\sigma_n)*NO_x + 67*(1-\sigma_{PM})*PM \quad (4.16)$$

O segundo passo é encontrar o valor do “Indicador de poluição”,  $\Pi_g$ . Para comparar os diferentes combustíveis e poder ter pontos de referência dos valores de  $\Pi_g$ , utilizam-se dois combustíveis virtuais, um deles muito limpo (hidrogênio puro) com um  $\Pi_g = 0$  e o outro extremamente poluidor (enxofre puro) com um valor de  $\Pi_g = 134$  kg/MJ. É evidente que tecnologias avançadas com alta eficiência, requerem de menor quantidade de combustível, para gerar cada kWh de eletricidade. Isto faz com que as emissões específicas de poluentes sejam menores. Assim vemos que o desenvolvimento tecnológico ligado a maiores eficiências de conversão constitui um fator determinante na redução dos impactos ambientais da geração termelétrica. A tabela (4.3) apresenta as características destes combustíveis:

Tabela 4.3: Características dos combustíveis virtuais.(Cardu, M.,Baica, M., 1999).

Combustível	S%	(CO <sub>2</sub> )% (kg/kgf)	Q <sub>i</sub> (MJ/kgf)	Π <sub>g</sub> (kg/MJ)
Enxofre	100	1400	10.45	134
Hidrogênio	-	0	10.742	0

### 4.3 Eficiência Ecológica

A Eficiência ecológica é um indicador que permite avaliar o impacto ambiental das emissões gasosas de uma UTE, a partir da comparação das emissões de poluentes integradas hipoteticamente (emissões equivalente de CO<sub>2</sub>, que depende da composição do combustível, da tecnologia utilizada e da eficiência dos sistemas controle da poluição) com padrões de qualidade do ar. Considera-se também a eficiência de conversão como um fator determinante sobre as emissões específicas.

$$\varepsilon = f(\Pi_g, \eta)$$

A eficiência ecológica, ( $\varepsilon$ ), é calculada através da equação (4.17):

$$\varepsilon = \left\{ \left[ \frac{0.204 \cdot \eta}{\eta + \Pi_g} \right] \cdot \ln(135 - \Pi_g) \right\}^{0.5} \quad (4.17) \text{ (CARDU e BAICA, 1999)}$$

$\varepsilon$  integra num só coeficiente os aspectos que definem a intensidade do impacto ambiental de uma UTE: a composição do combustível, a tecnologia de combustão, o indicador de poluição e a eficiência de conversão.

O valor de  $\varepsilon$  é diretamente proporcional a eficiência da central termelétrica, e é inversamente proporcional ao valor de  $\Pi_g$ , e varia entre 0 e 1, de forma semelhante à eficiência da central termelétrica. É considerada uma situação insatisfatória, do ponto de vista ecológico, quando  $\varepsilon=0$ , e  $\varepsilon=1$  indica uma situação ideal. Os valores de  $\varepsilon$  seguem as condições abaixo:

- Para  $\Pi_g = 0$  kg/MJ (no caso, hidrogênio),  $\varepsilon = 1$  para todos os valores de  $\eta$ ;
- Para  $\Pi_g = 134$  kg/MJ (enxofre),  $\varepsilon = 0$  para todos os valores de  $\eta$ ;
- Para  $0 \text{ kg/MJ} < \Pi_g < 134 \text{ kg/MJ}$  (outros combustíveis fósseis),  $0 < \varepsilon < 1$  para todos os valores de  $\eta$ .

#### 4.4 Aplicação da metodologia

Para determinar os valores correspondentes aos tipos de termelétricas a serem instaladas no Brasil, vamos avaliar os diferentes combustíveis com suas respectivas tecnologias de geração, vistas no capítulo 2. As características dos combustíveis são apresentadas nas tabelas (4.4) e (4.5), bem como o indicador de poluição, o dióxido de carbono equivalente e o poder calorífico inferior. Deve-se ressaltar, quando se faz o uso sustentável da biomassa (bagaço de cana) as emissões líquidas de  $\text{CO}_2$  são quase consideradas nulas.

Tabela 4.4: Características dos combustíveis sólidos e líquidos (Cortez, L.A B, 1997; Garcia R., 2002; Nogueira, L.AH, 2202).

Comb.	Tecnologia	$\eta$	Composição Química (%)							$\Pi_g^a$ (kg/MJ)	$(CO_2)_e$ (kg/kg)	$Q_i$ (MJ/kg)
			C	S	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Cinzas	W			
Diesel	Motor de combustão Interna	38	85.7	0.85	12.7	0.6 <sup>b</sup>	0.1 <sup>c</sup>	0.02	0.05	0.105	4.00	38
Carvão – CE4500	Turbina a vapor	41	46.29	2.01	3.06	4.09	0.95	42.98	10	0.124	2.33	19
Biomassa	(BIG/GT) <sup>d</sup>	34	44.8	0.01	5.35	39.5	0.38	11.27	33	0.0065	0.0818	12.6
Biomassa	(TCE-80) <sup>e</sup>	25	44.8	0.01	5.35	39.5	0.38	11.27	50	0.0139	0.117	8.4
Biomassa	(BIG/GT) <sup>g</sup>	70	44.8	0.01	5.35	39.5	0.38	11.27	33	0.0065	0.0818	12.6
Biomassa	(TCE-80) <sup>g</sup>	33	44.8	0.01	5.35	39.5	0.38	11.27	50	0.0139	0.117	8.4
Biomassa	(TCP-20) <sup>f,g</sup>	28	44.8	0.01	5.35	39.5	0.38	11.27	50	0.016	0.141	8.4

- a- Os valores de  $(CO_2)_e$  foram considerados com métodos de controle.
- b- Assumiu-se a quantidade de O<sub>2</sub> no diesel como sendo: 100 -  $\Sigma$ (de todos os outros elementos).
- c- Valor de N<sub>2</sub> para óleo combustível internacional. [8]
- d- BIG/GT – Sistema integrado de gaseificação e turbinas a gás. Geração de eletricidade
- e- TCE-80 - turbina condensação com extração (pressão inicial do vapor 80 bars) – Geração de eletricidade
- f- TCP-20 – turbina de contrapressão (pressão inicial do vapor 20 bars)
- g- cogeração

Tabela 4.5: Característica do combustível gasoso (Garcia R., 2002).

Comb.	Tecnologia	$\eta$	Composição Química (%)								$(CO_2)_e$ kg/kg	$\Pi_g$ kg/MJ	$Q_i$ MJ/kg
			CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>			
GN	Ciclo combinado	58	91.8	5.58	0.97	0.03	0.02	0,1	0.8	1.42	0.45	0.007	68.11
GN	Ciclo aberto– TG	36	91.8	5.58	0.97	0.03	0.02	0,1	0.8	1.42	0.44	0.006	68.11

A partir dos dados da tabela acima, podemos calcular a eficiência ecológica para os combustíveis e tecnologias considerados (tabela 4.7). É chamado de “Valor Crítico de Eficiência Ecológica”  $\epsilon = 0.5$ , sendo o mínimo admissível do ponto de vista ecológico (CARDU et al). Para se chegar a este valor, partiu-se da idéia de que se utiliza como combustível de baixa qualidade, um tipo de carvão com baixo poder calorífico e alto teor de enxofre para o qual a eficiência ecológica seria em torno de aproximadamente 0.5. A utilização do mesmo não seria recomendada como consequência do grande impacto do ambiental da sua combustão, devido à alta emissão de gases poluentes. Assim teremos na figura (4.1) a relação entre  $\epsilon$  e  $\eta$ .

Tabela 4.6: Eficiência Ecológica das tecnologias estudadas.

Tecnologias	CC	TG	MCI	CV carvão	BIG/GT	CV (TCE-80)	BIG/GT (cog.)	CV (TCE-80) (cog.)	CV (TCE-20) (cog.)
$\epsilon$ sem controle	0.991	0.988	0.688	0.431	0.601	0.466	0.734	0.518	0.487
$\epsilon$ com controle	0.995	0.991	0.885	0.877	0.991	0.974	0.996	0.980	0.971

As tecnologias de controle consideradas para o cálculo da eficiência ecológica foram as seguintes (EPA, 2001):

- Ciclo combinado – Dry Low NO<sub>x</sub> Burners (DLN) – 90%.
- Turbina a gás – ciclo aberto – Dry Low NO<sub>x</sub> Burners (DLN) – 90%.
- Motor de combustão interna – FDG (flue gas desulfurization) – 95% / SCR – 85% / ESP (precipitador eletrostático) - 99%.
- Turbina a vapor – Low NO<sub>x</sub> Burners (LNB) + NSCR (Redução catalítica não seletiva) – 65% / FDG – 95% / ESP – 99%.
- TCE – 80 – NSCR (50%) / ESP – 99%.
- BIG/GT – DLNB - 90%.
- TCP-20 – ESP – 99%.

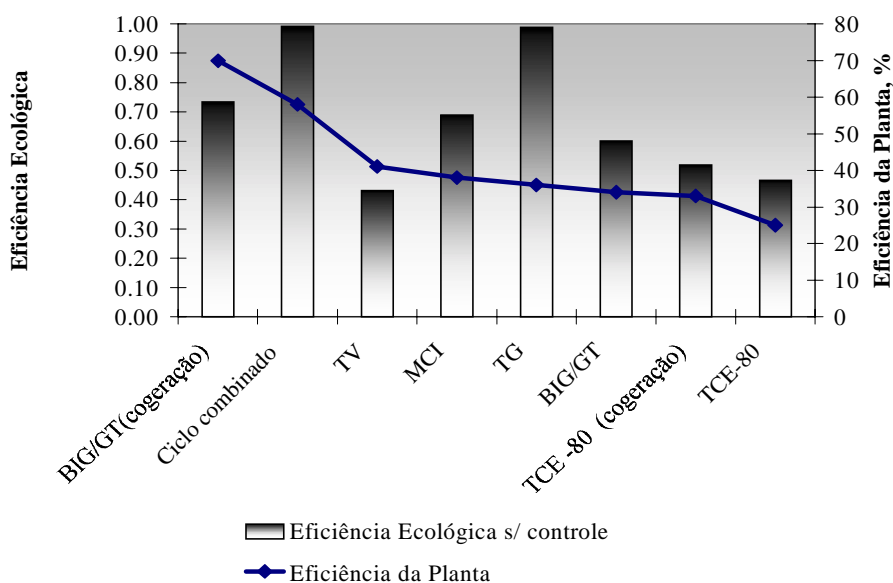


Figura 4.1: Relação entre a eficiência ecológica e a eficiência da planta.

A figura 4.2 apresenta uma comparação entre as eficiências ecológicas com métodos de remoção de controle e sem métodos. E a figura 4.3 nos mostra uma relação entre o indicador de poluição e a eficiência ecológica.



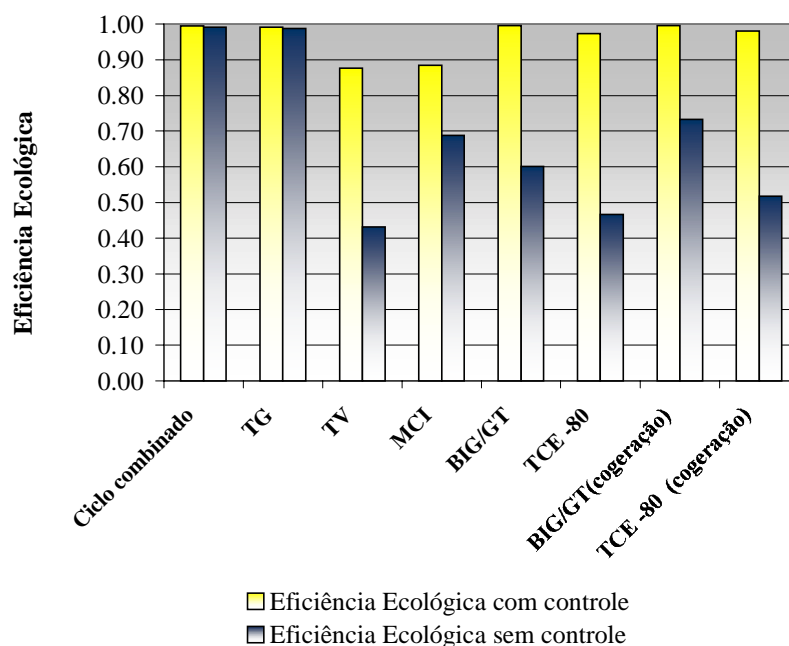


Figura 4.2: Relação entre a eficiência ecológica com e sem controle.

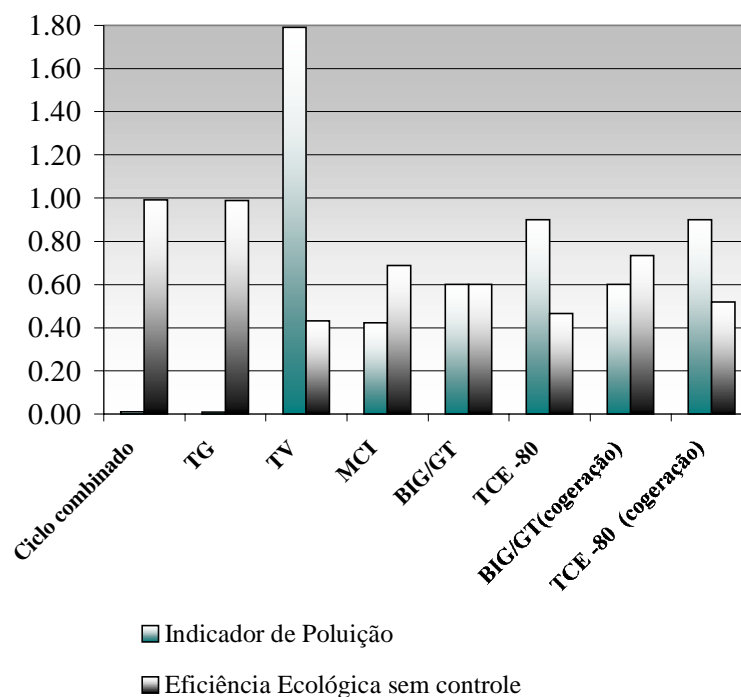


Figura 4.3: Relação entre a eficiência ecológica e o indicador de poluição.

Analisando a figura 4.1, nota-se que geralmente maiores eficiências das centrais indicam maiores eficiências ecológicas. Já na figura 4.2, vemos que a implementação de tecnologias de controle de poluentes permite obter um acréscimo considerável na eficiência ecológica. E, a figura

4.3, nos mostra que valores altos do indicador de poluição geralmente se correspondem com valores baixos de eficiência ecológica sem controle.

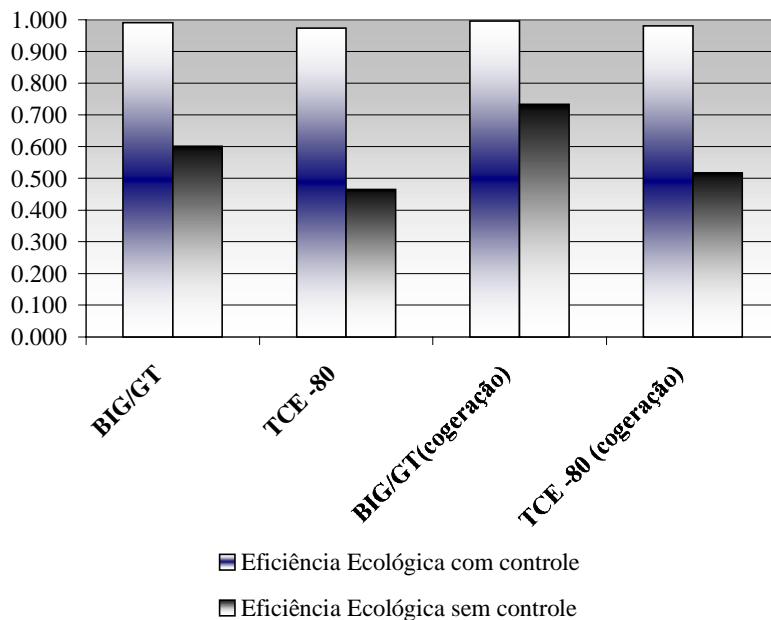


Figura 4.4 Eficiência ecológica das tecnologias utilizando biomassa.

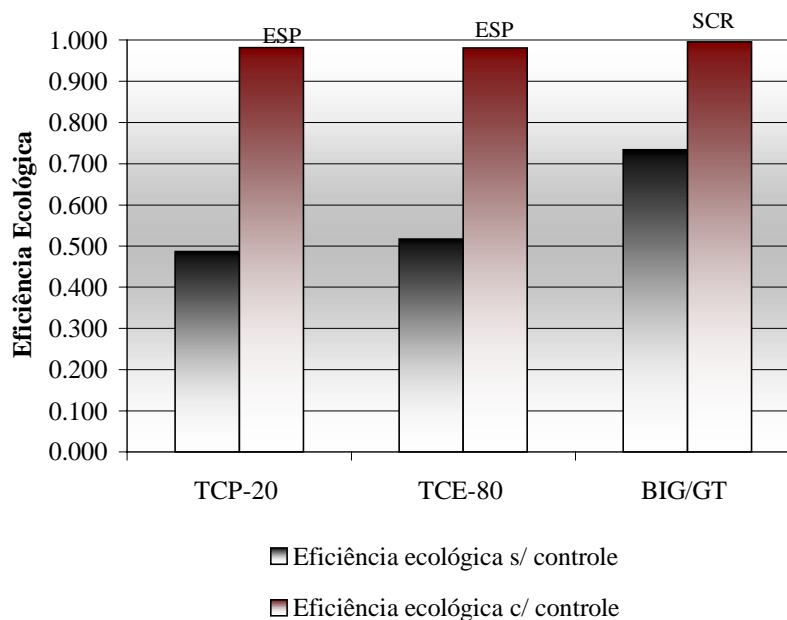


Figura 4.5: Vantagens da utilização da cogeração em diferentes tecnologias utilizando biomassa.

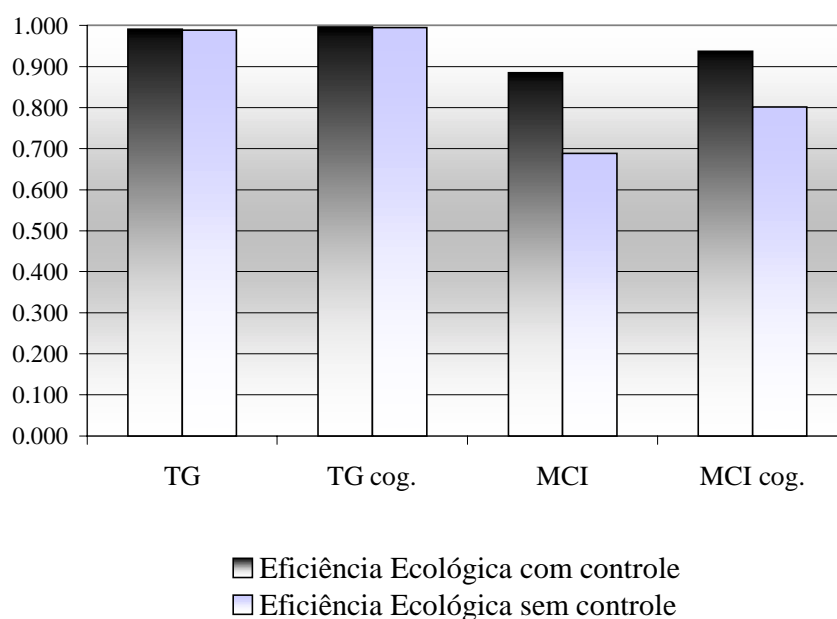


Figura 4.6 – Vantagens da utilização de TG e MCI em cogeração

Analisando, a figura 4.4, claramente vemos que a utilização de métodos de controle de poluentes gasosos aumenta consideravelmente as eficiências ecológicas das tecnologias que utilizam a biomassa. A figura 4.5 nos mostra as vantagens da utilização da cogeração, pois resultam em eficiências ecológicas maiores, principalmente quando se utilizam métodos de controle de poluentes gasosos. O mesmo ocorre analisando a figura 4.6, evidenciando que o uso de métodos de controle juntamente com altas eficiências de geração, no caso cogeração, resultam em eficiências ecológicas altas.

## 4.5 Considerações finais

Pela metodologia descrita acima, podemos avaliar o impacto ambiental de centrais termelétricas de uma forma integral. Assim pode-se concluir que:

- pode-se alcançar altas eficiências ecológicas utilizando tecnologias avançadas de conversão de energia com alta eficiência, e gás natural como combustível.
- A utilização de métodos de remoção de poluentes gasosos permitem incrementar consideravelmente a eficiência ecológica.

- Para os padrões de qualidade do ar adotados neste trabalho, vimos que a utilização do gás natural aliado a tecnologias avançadas como o CC é uma das melhores opções do ponto de vista ecológico.
- As centrais termelétricas em ciclo a vapor que utilizam carvão mineral sem tecnologias de controle não atingem o valor crítico de eficiência ecológica.
- No Brasil as CTE a carvão só utilizam como tecnologias de controle precipitadores eletrostáticos, e as emissões de  $SO_x$  e  $NO_x$  não são submetidos a nenhum tipo de controle. Para este uso o valor da eficiência ecológica seria de 0.707.
- O uso do bagaço de cana para a cogeração em instalações de ciclo a vapor e altos parâmetros (8,0 MPa) e instalações BIG/GT se caracteriza por valores da eficiência ecológica de 0.974 e 0.991, respectivamente, considerando só a geração de eletricidade. Se considerarmos eficiências do sistema em cogeração estes passam para 0.980 e 0.996, respectivamente, evidenciando as vantagens desta tecnologia.
- A cogeração pode ter uma contribuição considerável no acréscimo da eficiência energética em instalações de geração termelétrica.

## **5 - SISTEMAS DE RESFRIAMENTO**

### **5.1 Introdução**

A preocupação com a escassez de água e com a descarga de água à altas temperaturas, fez com que fossem desenvolvidos equipamentos, as chamadas torres de resfriamento, para economizar e reutilizar águas, em centrais termelétricas e processos industriais em geral.

Nas torres de resfriamento acontece a troca térmica entre a água e o ar, sendo o calor dissipado para o ar ambiente. O ar flui diretamente através da água, por evaporação e convecção, ocorrendo assim, o resfriamento da água que sai dos condensadores nas centrais térmicas e outros processos industriais. O propósito do sistema de resfriamento é diminuir a temperatura da água antes da mesma retornar ao circuito original. A eficiência do processo depende da redução da temperatura da água de circulação. A regulação das plumas (produzido pelo ar saturado) e as condições e temperatura de descarga da água em reservas originais como lagos, rios, etc, atualmente estão regulamentadas de acordo com leis ambientais.

Em casos de sérias limitações com a disponibilidade de água, previne-se o uso da mesma, e são utilizados condensadores resfriados a ar.

De acordo com a Hamon, uma companhia Européia, especializada em Sistemas de Resfriamento, com mais de 90 anos de experiência no mercado, as torres de resfriamento são projetadas para suportar grandes velocidades de ventos, pode ter estruturas de ferro, madeira, concreto, devem ter projetos especiais para regiões onde ocorrem abalos sísmicos e para condições de neve. Os padrões de tamanho das torres de resfriamento com fluxo contra correntes são as seguintes: para a Europa e Ásia tamanhos de 8x8 m a 16x14 metros, e para os Estados Unidos são de 18x18 a 36x30 metros. As torres podem operar com uma ampla faixa de temperatura da água de entrada e saída entre 50°C e 5°C. Com um fluxo de água variando entre 50 a 50.000 m<sup>3</sup>/h (Catálogo da HAMON, 2002).

## 5.2 Déficit Hídrico

Embora a água seja o componente mais abundante da natureza, somente 2,59% da quantidade total desta água é potável, os outros 97,41% são águas salgadas. O aumento populacional ocorrido nas últimas décadas, as atividades industriais e o uso da terra para fins de cultivos, acarretaram um sério problema de escassez de água no mundo. A poluição da água é um outro fator muito importante que contribuiu para a falta da mesma. O Brasil não está longe desses problemas, apesar de estar numa posição privilegiada perante os outros países quanto ao seu volume global de recursos hídricos. O problema de escassez no Brasil se deve ao fato do crescimento populacional ocorrer em determinadas regiões e a degradação da qualidade da água, principalmente em regiões de uso agropecuário intenso (SETTI, A.A, 2000). A falta de água e a contaminação da mesma, já ocorrem em grandes centros industriais e populacionais do país. Visando isto, a ANA – Agência Nacional das Águas implementou a Política Nacional dos Recursos Hídricos que de acordo com a Lei 9.433/97, de 8 de Janeiro de 1997, autoriza a cobrança do uso dos recursos hídricos com os seguintes objetivos (SILVA, 2000):

- I- reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação do seu real valor;
- II- incentivar a racionalização do uso da água;
- III- obter recursos financeiros para financiamento dos programas e intervenções contemplados nos Planos de Recursos Hídricos.

A constituição Federal através da Lei 7.990, de 28/12/89, que hoje está contida na Lei 9.433/97, prevê: “A compensação financeira pela utilização de recursos hídricos para fins de energia elétrica, será de 6 % sobre o valor da energia produzida, a ser paga pelos concessionários do serviço de energia elétrica aos Estados , Distrito Federal e Municípios, em cujos territórios se localizarem a instalações destinadas à produção de energia elétrica, ou que tenham áreas invadidas por águas dos respectivos reservatórios”. Esta cobrança pelo uso dos recursos hídricos, baseia-se no princípio “usuário - poluidor – pagador” pressupondo a conscientização da população, promovendo a internalização dos custos de proteção do meio ambiente e o uso dos instrumentos econômicos (SILVA, 2000).

Um dos problemas principais geralmente apresentados durante a aprovação da Licença ambiental para uma central termelétrica são os enormes requerimentos de água para resfriamento, fator complicado em regiões com escassez de água, como o sudeste do Brasil. Isto faz necessário um estudo das tecnologias possíveis de ser utilizados no sistema de resfriamento e seus indicadores principais em função do tipo de tecnologia de geração e das condições climáticas no local de instalação da UTE.

## 5.3 Descrição dos sistemas de resfriamento

### 5.3.1 Revisão Bibliográfica

#### 5.3.1.1 Circuito Aberto – Resfriamento através de reservatórios, lagos ou rios (fig.5.1):

Utiliza água de fontes próximas, em altas vazões, a qual após absorver o calor latente do vapor, é devolvida ao corpo de água em temperatura acima daquela em que a água foi captada. O calor é dissipado para atmosfera pelo processo natural de convecção, evaporação e radiação. O resfriamento ocorre lentamente.

Nos últimos anos alguns países, estabeleceram-se normas e regulamentos para o controle da qualidade da água, tornado quase impossível construções de novos sistemas de resfriamento aberto. A dependência da água é um fator limitante para instalações desse tipo de sistema sendo necessárias áreas com grandes quantidades de água disponíveis (HANNA, 1975).

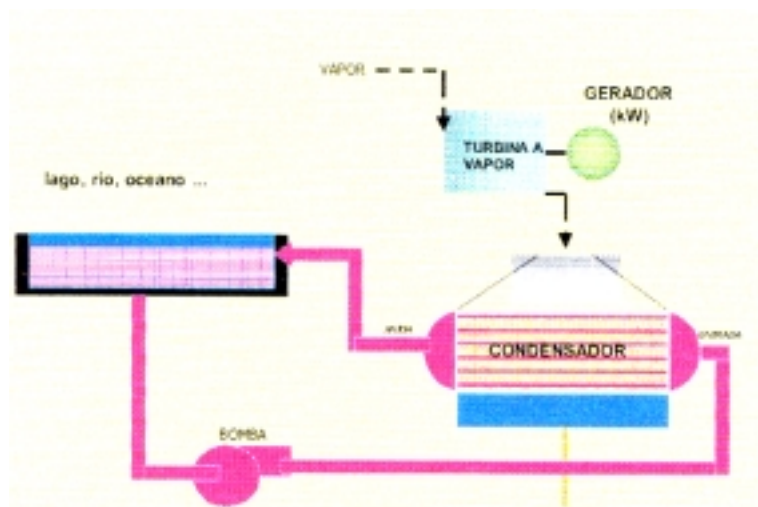


Figura.5.1. Sistema de resfriamento ciclo aberto.

#### 5.3.1.2 Circuito Fechado: os sistemas fechados podem ser:

##### A. Torres Secas:

O sistema de resfriamento seco, figura (5.2) pode ser classificado conforme a relação entre os fluxos de ar e de água em:

- Fluxo cruzado
- Fluxo contra corrente.

A principal diferença entre os três tipos é a quantidade de calor transferido. O sistema seco também pode ser classificado de acordo com os tipos de condensadores usados. São eles:

- Sistema Direto
- Sistema Indireto

No sistema direto a transferência de calor é feita, simplesmente, pela passagem do vapor por tubos entre o quais flui o ar, condensando assim esse vapor. No sistema indireto, o vapor quente que sai da turbina passa por um condensador convencional, vai para uma torre de resfriamento onde se condensa trocando calor com a atmosfera por condução ou convecção. Ao contrário da torre úmida não há evaporação na torre seca. Assim não há necessidade de reposição da água. Os tipos de acionamentos podem ser: mecânico (com ventiladores) ou natural (sem ventiladores). As torres secas têm a desvantagem de que em períodos quentes podem ocorrer altas pressões de condensação (LI, 1985).

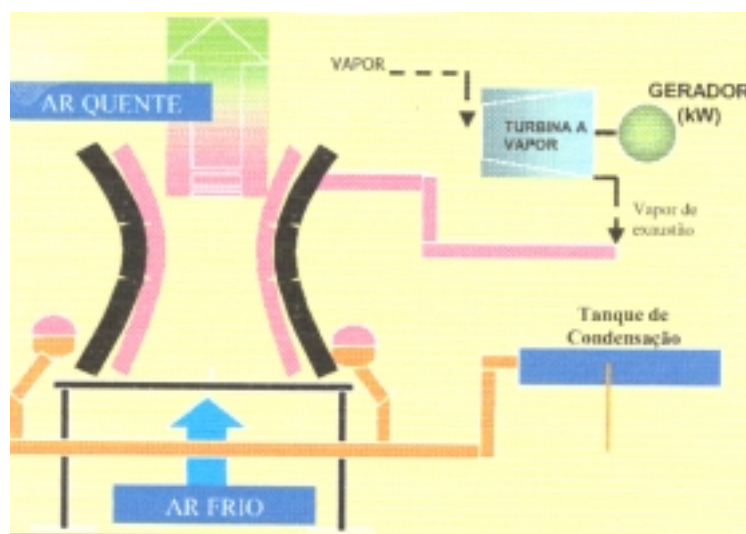


Figura.5.2. Sistema de resfriamento torre seca.

## B. Torres Úmidas (Evaporativas)

As torres úmidas, figura (5.3) podem ser com acionamento mecânico ou natural. Ambos utilizam principalmente o contato direto entre a água e o ar, fazendo com que uma fração da água se evapore absorvendo calor e ocorra o resfriamento. A água de resfriamento do condensador é continuamente distribuída para um dispositivo de nebulização, onde acontece o fracionamento desta



água em gotículas. O ar no interior da torre movimenta-se no sentido contrário. A transferência de calor da água para o ar é feita por convecção e evaporação (parcial). A área de contato onde irá ocorrer o encontro entre a água e o ar, com o maior tempo de residência possível para que ocorra o resfriamento, é chamado de enchimento e pode distribuir a água em forma de gotas ou por um filme turbilhonado. Os componentes básicos desta torre são: enchimento, ventiladores, sistemas de distribuição de água e coletores de água. Nas torres evaporativas o efeito de resfriamento é consequência da evaporação de uma parte da água durante o contato da mesma com o ar. A temperatura da água fria depende da temperatura de bulbo úmido e da carga da unidade energética, que determina a carga de vapor a ser dissipada. A temperatura de bulbo úmido é o parâmetro de operação mais importante das torres úmidas e significa a temperatura de saturação até a qual o ar pode ser resfriado. A temperatura da água de resfriamento deve estar próxima de 25° C (LI, 1985).

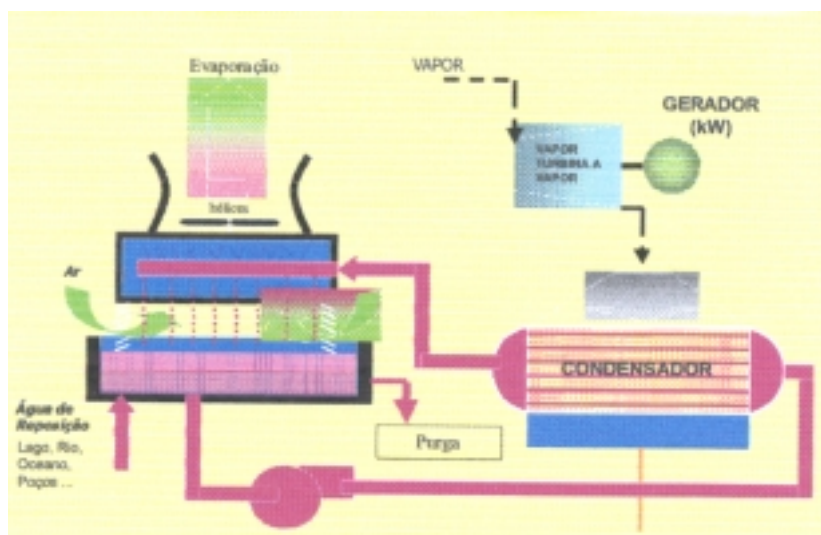


Figura 5.3. Sistema de resfriamento torre úmida.

### B.1. Características de uma torre úmida com tiragem natural:

As torres úmidas com tiragem natural, figura (5.4), possuem uma enorme chaminé hiperbólica. O resfriamento se dá através da diferença de temperatura do ar úmido aquecido na torre e o ar ambiente. Os fluxos são classificados em:

- Fluxo cruzado: é perpendicular a queda da água.
- Contra fluxo (contra corrente): em direção a queda da água.

A grande estrutura deve ser projetada para resistir tempestades de ventos e abalos sísmicos (HANNA, 1975).

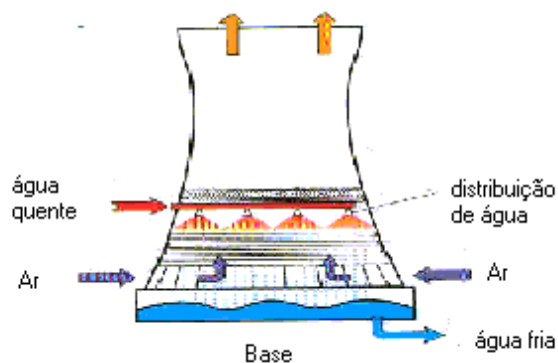


Figura 5.4: Torre úmida com tiragem natural

## B.2. Características de uma torre úmida com acionamento mecânico

Neste tipo de torre são utilizados ventiladores para garantir o fluxo de ar através da torre, figura (5.5 e 5.6). O processo de transferência de calor ocorre de forma semelhante ao da torre com tiragem natural. Não são necessárias estruturas muito grandes podendo atingir uma altura de 30 metros. As torres com acionamento mecânico podem ser de fluxo cruzado ou contra corrente tendo corrente induzida, ou seja, os ventiladores ficam localizados no topo da torre próximo a saída (HANNA, 1975).

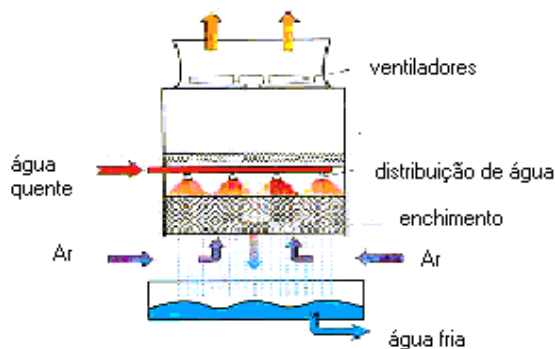


Figura 5.5: Torre úmida com acionamento mecânico (induzido) fluxo contra corrente.

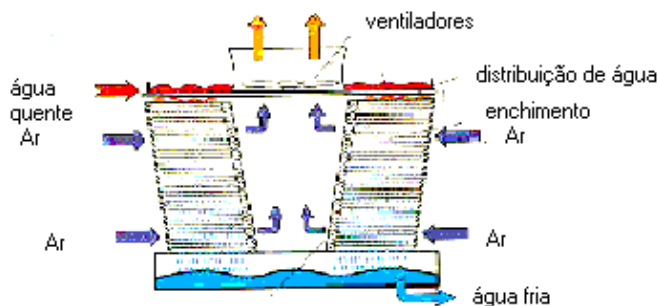


Figura 5.6: Torre úmida com acionamento mecânico (induzido) fluxo cruzado.

### C. Torre Mista (Úmida e Seca)

Consiste em uma nova geração de torres de resfriamento, que permite o controle do impacto ambiental relativo a fumaça (pluma) e a conservação da água. É a combinação de um sistema úmido com um seco. É possível devido as diferentes características de cada torre, onde uma pode suprir as necessidades da outra. Um exemplo disso, é que em dias quentes, quando a temperatura ambiente é muito alta utiliza-se somente o sistema úmido, pois a água que sai do condensador não poderá ser devidamente resfriada num sistema seco (Figura 5.7) (HANNA, 1975).

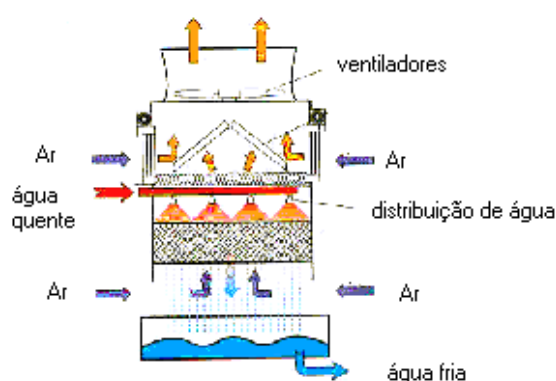


Figura 5.7: Torre mista com acionamento mecânico.

## 5.4 Perdas de água nas torres de resfriamento

As perdas ocorrem principalmente por evaporação, arraste e purga. O total das perdas nas torres chega á aproximadamente 5% da água circulada. As torres que consomem água, como visto anteriormente são: as torres úmidas e mistas. A evaporação é inevitável quando ocorre o contato entre água e o ar. As perdas por arraste podem ser reduzidas através de eliminadores de gotas. A água de purga, chamada de *BLOWDOWN*, é necessária pois com a evaporação da água, ocorre alta concentração de sais no restante da água, podendo causar graves problemas como, corrosão , incrustação, e outros (LI, 1985). E, finalmente, a perda total de água (evaporação, arraste e purga) será a quantidade de água a ser reposta no sistema e é chamada de *MAKEUP*.

## 5.5 Potencial impacto ambiental da torres de resfriamento

### Efeitos Atmosféricos:

- Fumaça visível: redução da visibilidade, nevoeiro:
- Congelamento: potencial perigo para o transporte e acúmulo de gelo sob estruturas, cabos metálicos próximas ao local.
- Deposição: potencial dano a biota, corrosão e contaminação de solos e água próximos ao local.
- Formação de nuvens: tempestades locais.
- Precipitação e aumento de neves (em locais propensos): possíveis tempestades e perturbações próximas às comunidades e estradas.

### Efeitos Hidrológicos

-Consumo de água: potencial esgotamento de fontes das águas superficiais, de águas subterrâneas e degradação da qualidade da água.

-Descarga da água: potencial contaminação das águas superficiais e subterrâneas, potencial aumento da salinidade do solo e aumento da temperatura próximo ao ponto de descarga, e possíveis infiltrações. Danos para as comunidades aquáticas devido as turbulências e forças.

### Efeitos Locais

- Impacto visual (estético);
- Níveis de ruídos.

Deve-se considerar dois fatores relacionados ao local:

1. Região onde se instalará a torre: industrial, residencial, floresta, montanhosa, áreas úmidas, desertos, etc.
2. Característica do terreno: permeabilidade do solo, probabilidade de ocorrências de sismos, etc.

## 5.6 Considerações econômicas

Os custos das torres de resfriamento podem ser divididos segundo alguns elementos principais, são eles:

- Investimento: inclui os custos dos componentes principais dos sistemas como: condensador, tubulações para circulação da água, bombas para circulação e descarga da água, sistemas de entrada e saída de água. Estes custos são afetados pelo tamanho do sistema, condições atmosféricas e balanço entre performance e investimento;
- Custos de operação e manutenção: são associados à capacidade de geração, incluindo combustível, folha de pagamento de funcionários, reposição de peças, etc;
- Taxas, impostos e juros;

Tomaremos como exemplo, o custo de um sistema de resfriamento úmido para uma central a vapor de 170 MW.

Tabela 5.1: Custo de um Sistema de Resfriamento Úmido (MAULBETSCH, 2002).

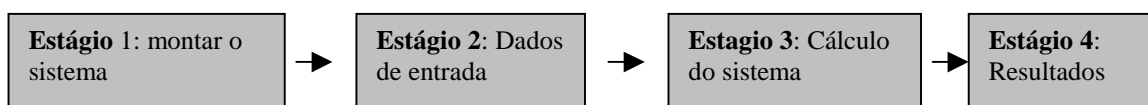
<b>Custo de um Sistema de Resfriamento Úmido para uma central de Ciclo a Vapor de 170 MW</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Custo</b>
Torre de Resfriamento Úmida	1,377,000
Condensador de vapor de superfície	1,486,000
Torre Básica	165,500
Elétricas e controles	125,000
Sistema de circulação de água	170,000
Estrutura para entrada e suprimento de água	70,000
Tratamento de água/ Descarga blowdown	35,000
Equipamentos Auxiliares para resfriamento	170,000
<b>TOTAL</b>	<b>3,600,000</b>

## 5.7 Estudos de casos

### 5.7.1 Software utilizado

Existem vários programas utilizados para simular e projetar plantas térmicas. A empresa THERMOFLOW. Inc dedica-se a fabricação destes softwares. Incluídos nos pacotes THERMOFLOW estão outros programas computacionais. São eles: GT PRO, GT MASTER, GASCAN+, PDE E PEACE (para instalações com turbinas a gás, incluindo ciclos combinados); STEAM PRO E STEAM MASTER (instalações com turbinas a vapor); RE-MASTER (aplicações de repotenciação); RECIPRO (aplicações de cogeração); THERMOFLEX (sistemas térmicos em geral) e QT PRO (modelagem de sistemas térmicos para engenheiros profissionais). Neste caso, utilizamos o THERMOFLEX, desenvolvido em 1995, ainda mais completo dentro desta mesma linha de programas de simulação para sistemas térmicos. Este, possui a vantagem de ter uma ampla biblioteca com dados dos componentes e propriedades dos fluídos, permitindo trabalhar com turbinas a gás, turbinas a vapor, termelétricas de ciclo combinado ou de ciclo a vapor convencional, sistemas de gaseificação, desalinização, refrigeração e outros sistemas térmicos convencionais ou inovadores e é compatível com outros programas do pacote THERMOFLOW.

Diversos tipos de simulações e balanços de calor podem ser projetados no THERMOFLEX. O programa é em inglês bem como seu manual. Pode ser trabalhado em diferentes unidades de medidas. A filosofia do programa é basicamente construir um modelo gráfico, editando os dados de cada componente utilizado, calculando seu ciclo e saindo com resultados, conforme o fluxograma abaixo:



Entre todos os estágios existem as seguintes transições:

**Transição 1-2:** Através do comando *Check Drawing* ele confere todos os componentes e seus conectores.

**Transição 2-3:** Através do comando *Check Inputs* ele confere os dados de entradas dos componentes.

**Transição 3-4:** Esta transição confere se os cálculos, se são inconsistentes ou sugere correções. Comando *Computation Messages, Warnings & Errors*.

Alguns requerimentos de software/hardware para utilização do THERMOFLEX são:

1. Processador Pentium;
2. Microsoft Windows 95, 98, Me, NT ou 2000;
3. Espaço de 150 Megabytes;
4. Mínimo de RAM: 64 MB com Windows 95/98 e 128 MB com Windows 200/NT;
5. Resolução mínima recomendada de 768 X 1024 (funciona também com a resolução convencional de 600 X 800).

### 5.7.2 Casos

Com a utilização do software “THERMOFLEX” avaliou-se três casos distintos envolvendo o estudo de sistemas de resfriamento em dois tipos de centrais térmicas.

O consumo de água no sistema de arrefecimento está em função de diferentes fatores, entre eles, equipamentos que compõem o próprio sistema e as condições climáticas do local onde é, ou será, instalada central. Atendendo esta problemática, objetivou-se estudar a influencia da temperatura do bulbo úmido e da umidade relativa do ar no desempenho dos principais tipos de torres de resfriamento. A análise foi realizada para duas configurações de centrais com condensador: uma central de ciclo combinado que opera com gás natural (composição do gás: 97.3% metano e 2.7 dióxido de carbono – GN padrão do software), e outra de ciclo a vapor que opera a carvão, ambas com capacidade semelhante de geração (600 MW). (Os esquemas térmicos das centrais virão no apêndice 1).

Para ambas as centrais térmicas, foi analisado o desempenho de cinco tipos diferentes de torres de resfriamento, para as condições climáticas de três zonas geográficas diferentes do Brasil: São Paulo – SP, Rio de Janeiro –RJ e Porto Alegre – RS, levando-se em consideração as temperaturas: mínimas, máximas e médias, e a umidade relativa do ar das regiões citadas dos últimos sete anos, segundo dados do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia desde os anos de 1995 a 2001. (Os dados meteorológicos completos serão apresentados nas tabelas do apêndice 2).

### **5.7.2.1.CASO 1: REGIÃO DE SÃO PAULO – SP:**

Dados do local:

Latitude: 23° 37'

Longitude: 46° 39'

Altitude: 802 m

Período: 1995 – 2001

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

Analisaremos a seguir centrais termelétricas de ciclo combinado e de ciclo a vapor com localização prevista nesta região. Os tipos de sistemas de resfriamento em estudo são: (apêndice 3)

1. Sistema de Resfriamento: Torre úmida com acionamento mecânico;
2. Sistema de Resfriamento: Torre úmida com tiragem natural;
3. Sistema de Resfriamento: Torre seca com acionamento mecânico;
4. Sistema de Resfriamento: Torre seca com tiragem natural;
5. Sistema de Resfriamento: Torre úmida e seca com acionamento mecânico.

### **5.7.2.2. Resultados e análises**

Para estas condições acima, serão apresentados diversos gráficos para as seguintes análises: consumo específico médio de água, potência dos ventiladores, eficiência da central, potência gerada e pressão no condensador, conforme os indicadores utilizados na avaliação dos resultados, sendo eles: a temperatura do bulbo úmido e a umidade relativa do ar. Os dados utilizados estão no apêndice 4.

A - EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO (UR média=73.7%)

#### **A.1 – Consumo específico de água**



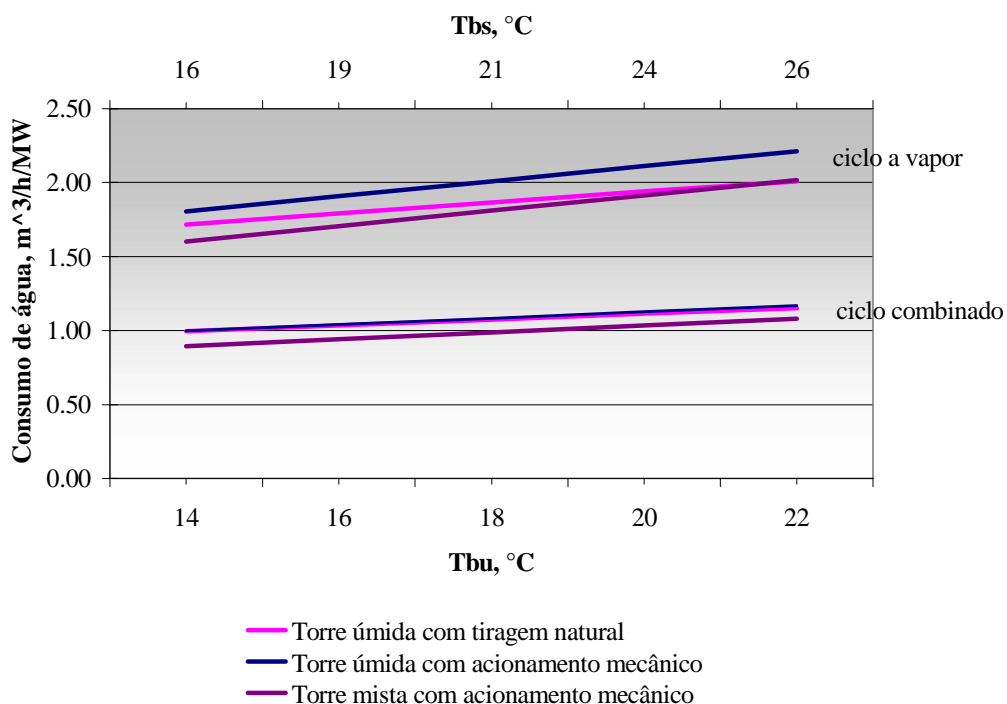


Figura 5.8: Consumo específico de água nas torres em função da temperatura do bulbo úmido nas centrais situadas na região de São Paulo – SP.

**Comentários:** O consumo específico de água em ambos os ciclos vai aumentando devido à elevação da temperatura ambiente. As centrais de ciclo combinado, mais eficientes, consomem menos água que a central a vapor, isto tem como consequência uma menor potência do ciclo a vapor, único usuário da água de resfriamento. O comportamento das torres se assemelha nas duas centrais sendo que a torre mista consome menor quantidade de água e a torre úmida com acionamento mecânico consome mais água.

## A 2. Potência dos Ventiladores

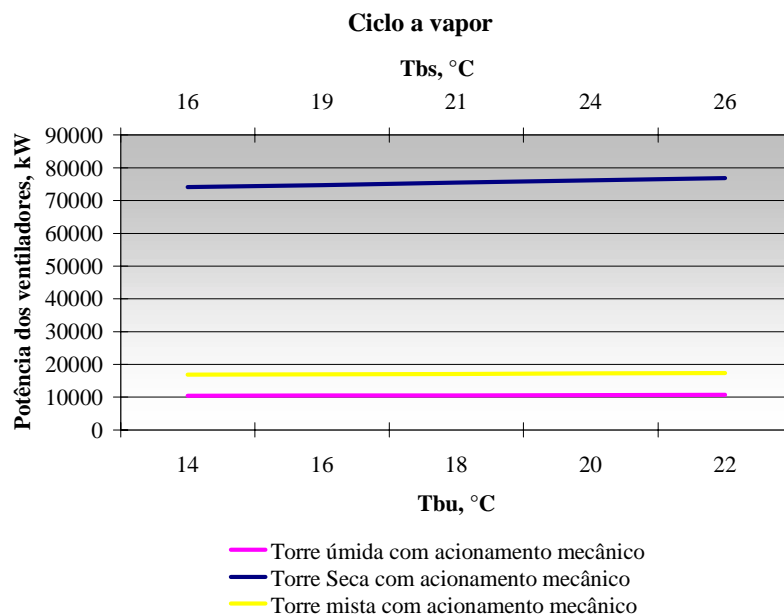


Figura 5.9: Potência dos ventiladores das torres em função da Temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP.

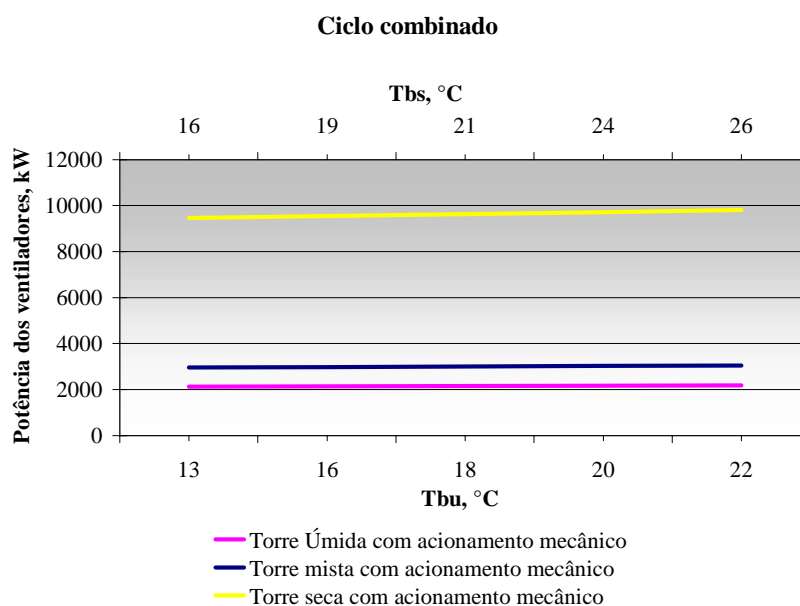


Figura 5.10: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo.

**Comentários:** Nos dois casos, a potência dos ventiladores, em função da temperatura do bulbo úmido, sofre uma pequena variação, pois em altas temperaturas a rotação do ventilador é maior. Claramente, se observa que a torre seca com acionamento mecânico gasta-se uma quantidade bem maior de energia.

A 3. Potência gerada na central

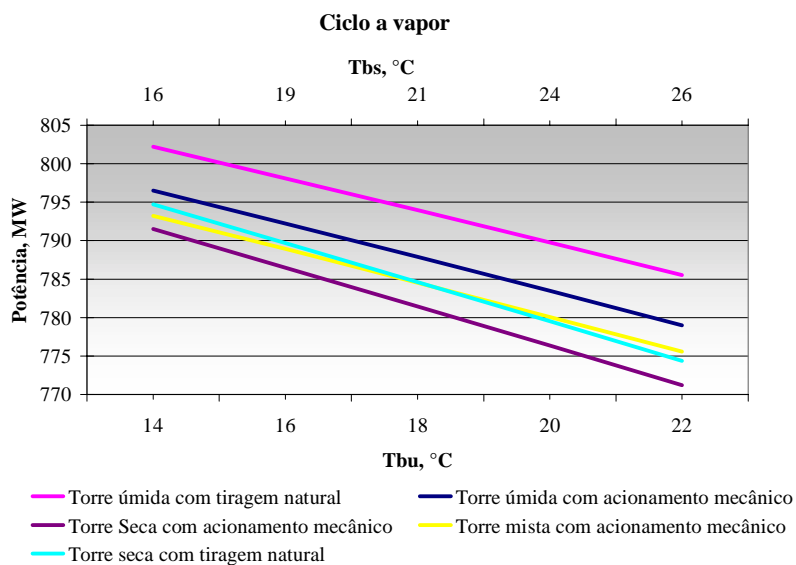


Figura 5.11: Potência gerada em função da Temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP.

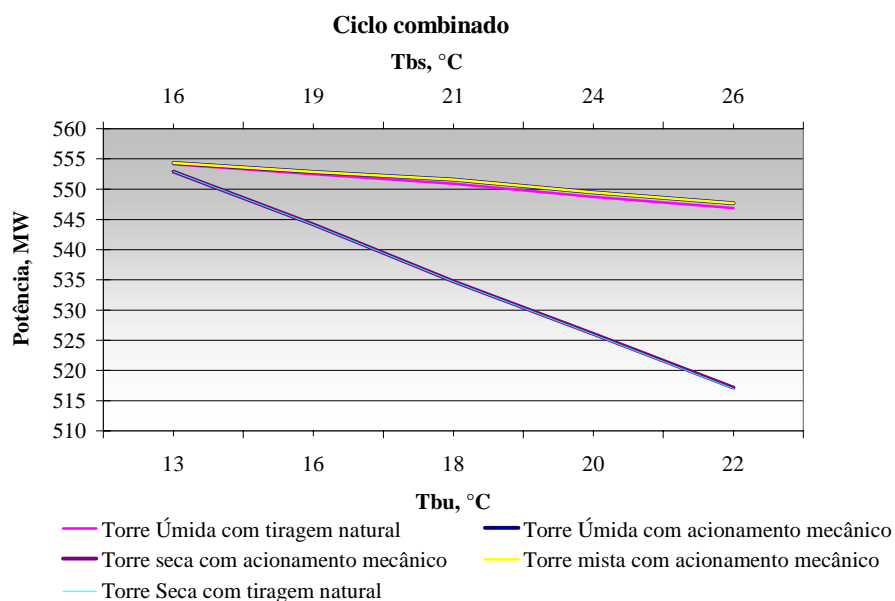


Figura 5.12: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo.

**Comentários:** Observa-se nas figuras, a redução na potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido, sendo as torres úmidas as que contribuem para gerar mais potência em ambas as centrais, devido à obtenção de menores valores de pressão no condensador (maior salto entálpico na turbina). Para as torres secas observa-se uma queda muito mais acentuada da potência, com o acréscimo da temperatura ambiente.

A 4. Eficiência da central

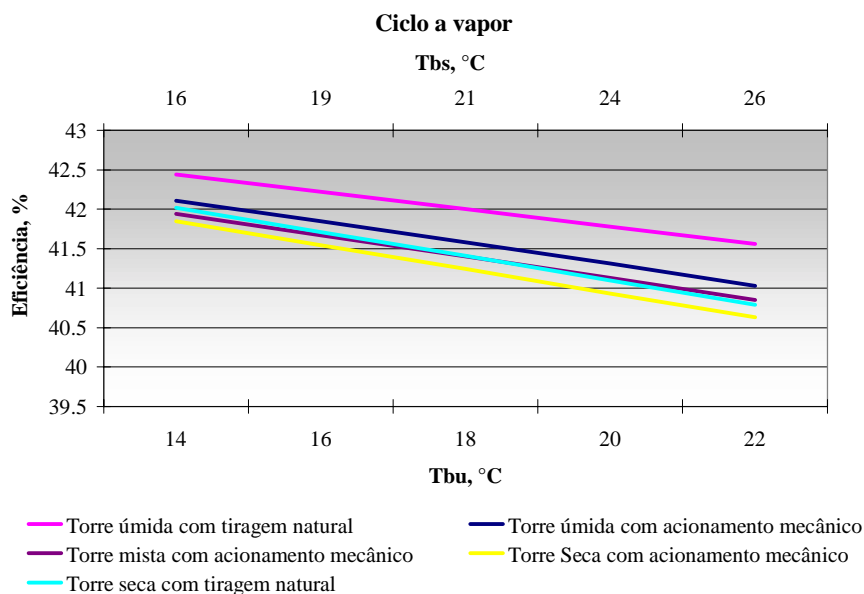


Figura 5.13: Eficiência em função da Temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP.

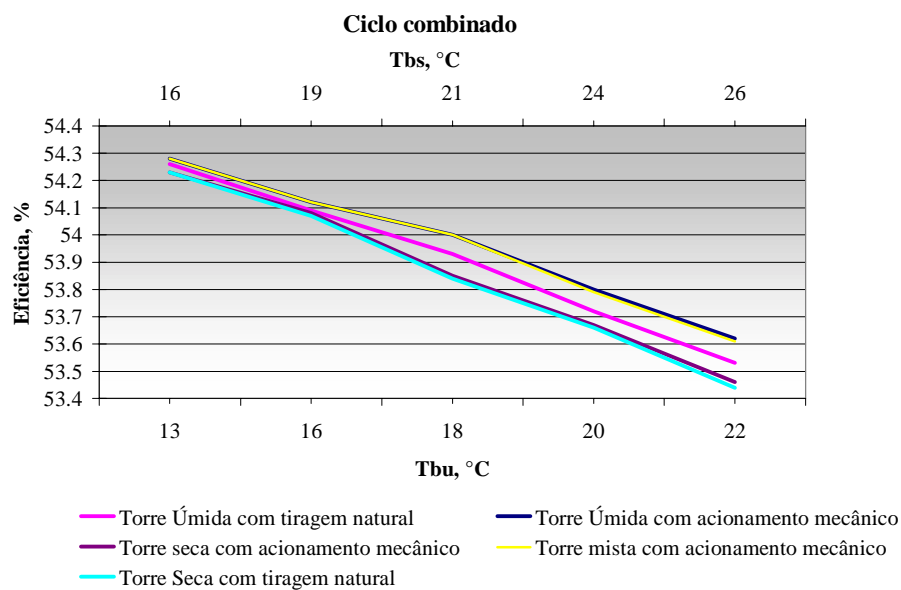


Figura 5.14: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo.

**Comentários:** O ciclo a vapor atinge a sua maior eficiência utilizando a torre úmida natural, não possui ventiladores para auxiliar no resfriamento da água. Já a central de ciclo combinado, mais eficiente do que a central a vapor, tem um melhor rendimento a maiores temperaturas utilizando torres úmidas e mistas com acionamento mecânico, isto devido ao aumento da temperatura ambiente que afeta o desempenho da turbina a gás.

A 5. Pressão no condensador

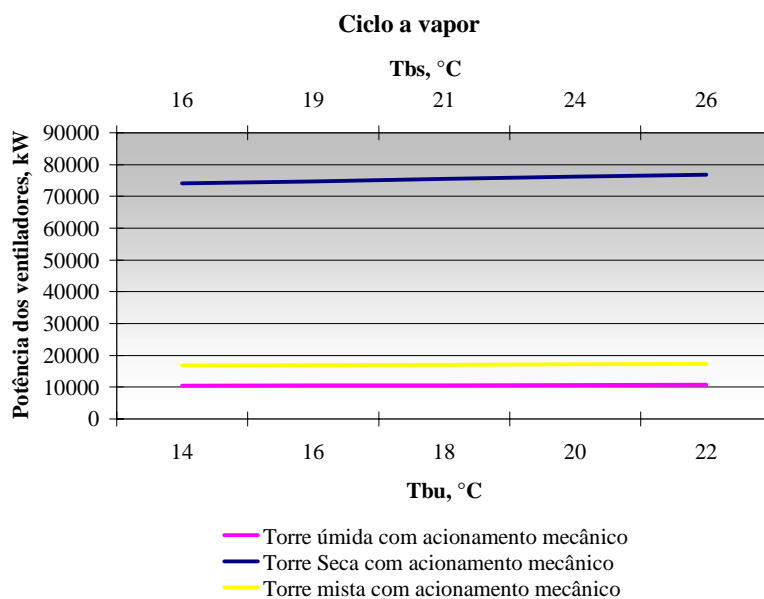


Figura 5.15: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de São Paulo.

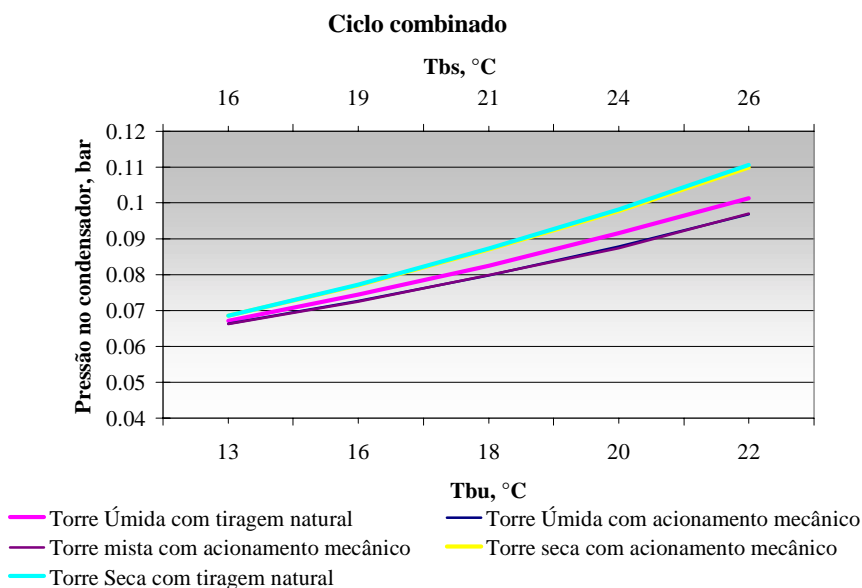


Figura 5.16: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo.

**Comentários:** Para ambas as centrais, as torres secas apresentam as maiores pressões na saída do condensador em função do aumento da temperatura do bulbo úmido. As maiores faixas de pressões são apresentadas pela central de ciclo combinado.

A 6. Heat rate

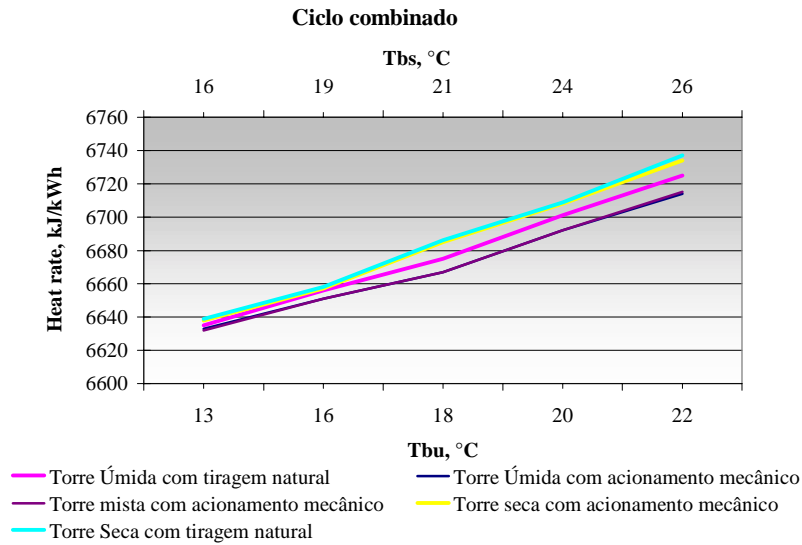


Figura 5.17: Heat rate em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo – SP.

**Comentários:** Quando analisamos o heat rate, observamos que as condicionantes ambientais afetam somente as centrais de ciclo combinado. Para estas, observamos que ocorre um aumento do heat rate devido o acréscimo da temperatura e que as torres secas aquelas que apresentam maior consumo de combustível.

**B - EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (Tbs média=20 °C)**

B.1. Consumo específico de água

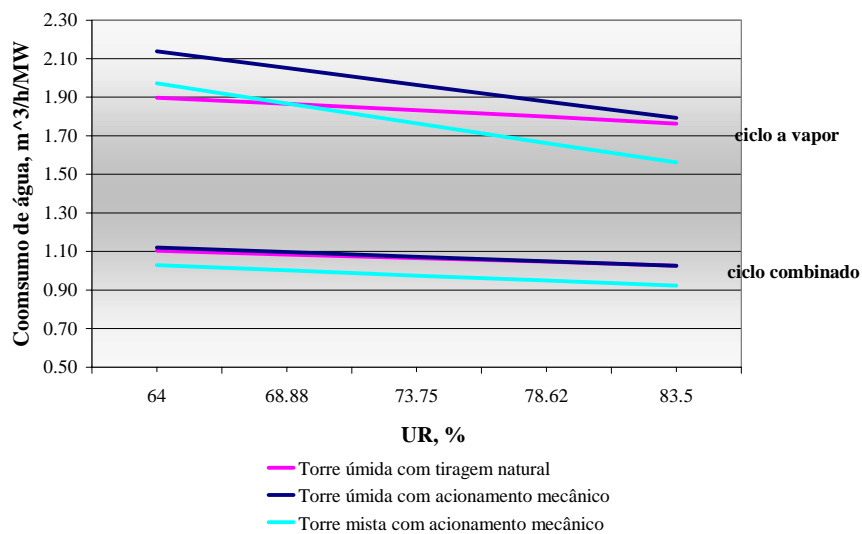


Figura 5.18: Consumo específico de água nas torres em função da umidade relativa do ar para centrais situadas na região de São Paulo – SP.

**Comentários:** Fica claro que o aumento da umidade relativa afeta o desempenho das torres, diminuindo o consumo específico de água. Analisando as torres úmidas, nota-se que elas consomem mais água com o aumento da umidade relativa do ar. No caso do ciclo a vapor, a torre úmida com acionamento mecânico tem uma queda mais acentuada do que a torre úmida com tiragem natural. A tendência desta torre com acionamento mecânico, é diminuir ainda mais seu consumo com o aumento da umidade, pois haverá um menor efeito da evaporação da água em consequência do ar está mais saturado de umidade, diminuindo assim as perdas por evaporação. As torres mistas são as que consomem menor quantidade de água em ambas as centrais.

### B.2. Potência dos ventiladores

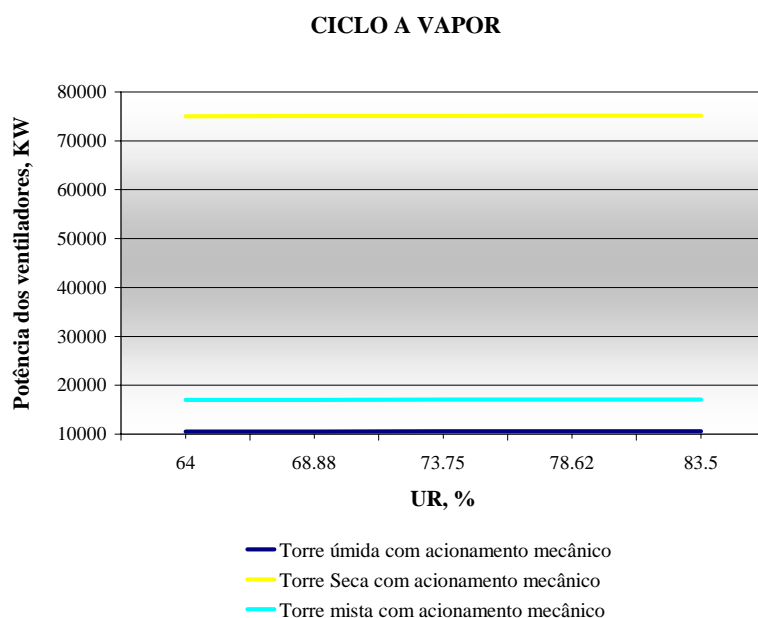


Figura 5.19: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa do ar para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP.

**CICLO COMBINADO**

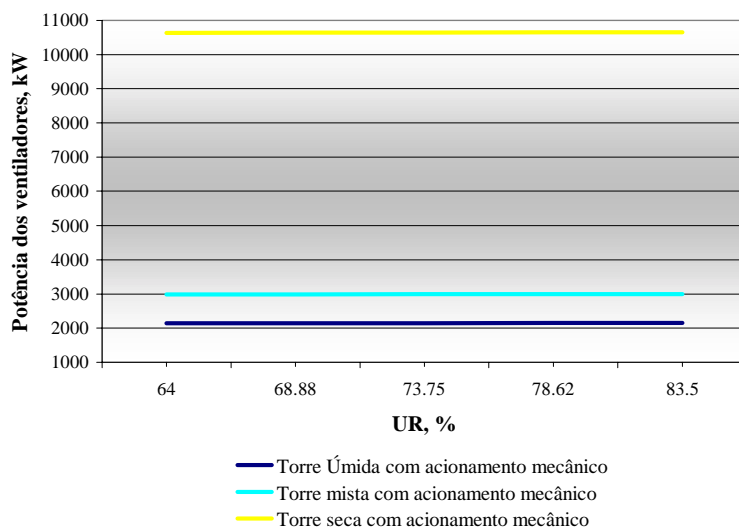


Figura 5.20: Potência dos ventiladores em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo.

**Comentários:** A umidade relativa do ar, assim como a temperatura do bulbo úmido, altera muito pouco a potência dos ventiladores das torres, sendo interessante mostrar a diferenças no consumo de energia das torres com acionamento mecânico. Porém, claramente a central de ciclo a vapor apresenta maiores consumos de energia em relação ao ciclo combinado.

B.3. Potência gerada na central

**CICLO A VAPOR**

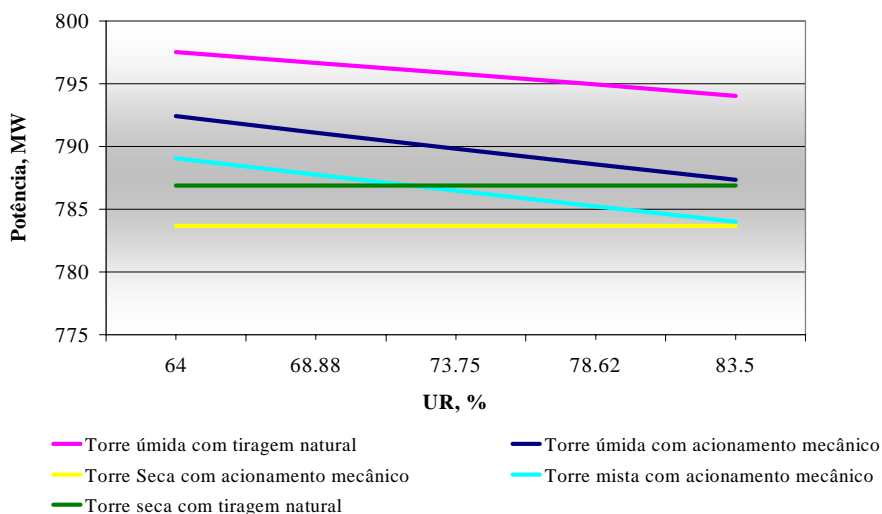


Figura 5.21: Potência gerada em função da umidade relativa do ar para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP.



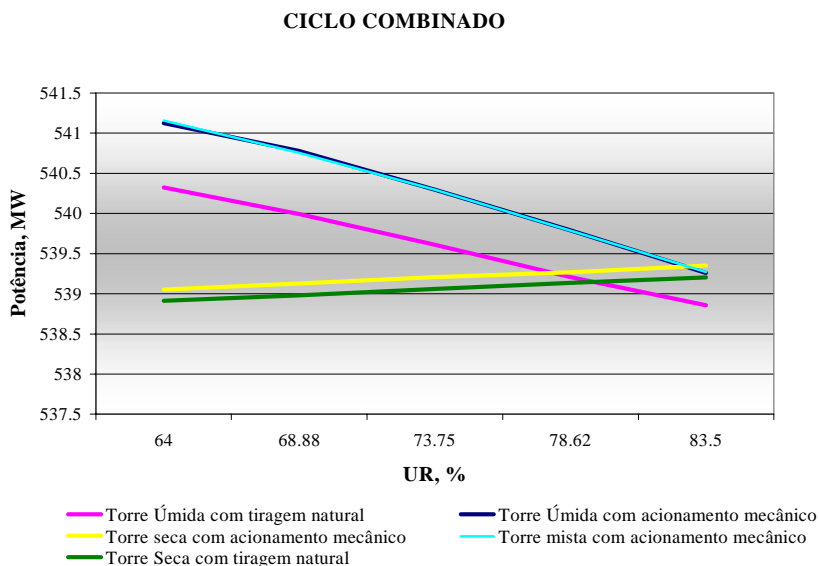


Figura 5.22: Potência gerada em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo.

**Comentários:** Para central de ciclo a vapor, as torres úmidas são as que contribuem para uma maior potência na central, sendo que na central de ciclo combinado as torres mista e úmida com acionamento mecânico são as que apresentam melhores desempenhos. O interessante notar é o desempenho das torres secas para ambos os casos. Nota-se uma pequena aumento na potência da central de ciclo combinado com aumento da umidade relativa do ar, sendo que para o ciclo a vapor não ocorreu alteração.

**B4. Eficiência da central:**

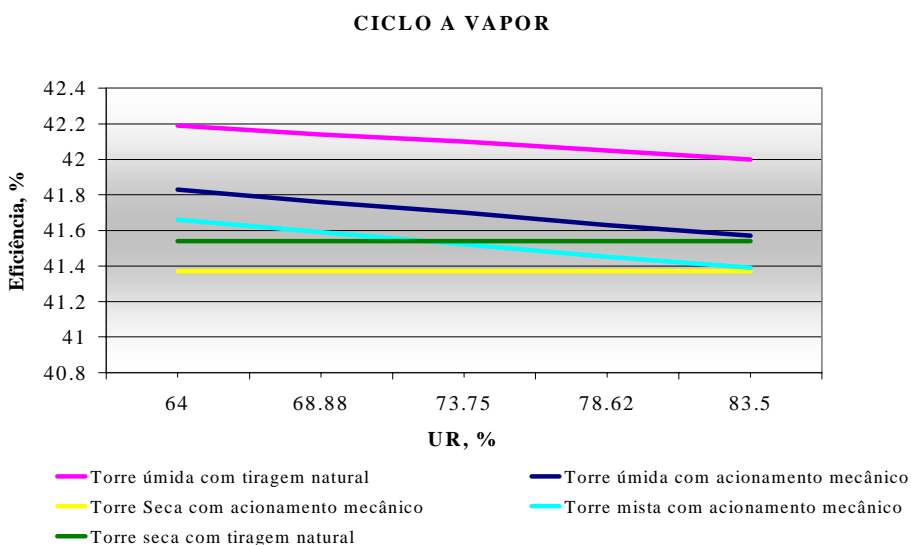


Figura 5.23: Eficiência em função da umidade relativa do ar para uma central a vapor situada na região de São Paulo – SP.

CICLO COMBINADO

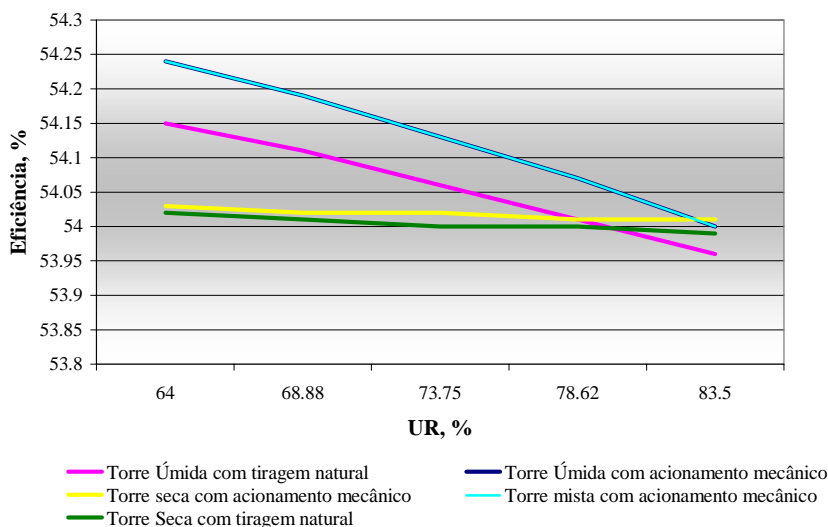


Figura 5.24: Eficiência em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo.

**Comentários:** A eficiência de ambos os ciclos também é reduzida com o aumento da umidade relativa. As torres úmida e mista com acionamento mecânico dão ao ciclo combinado maiores eficiências, enquanto no ciclo a vapor a torre úmida com tiragem natural é a que proporciona maiores eficiências em toda variação da umidade relativa do ar.

B.5. Pressão no condensador:

CICLO A VAPOR

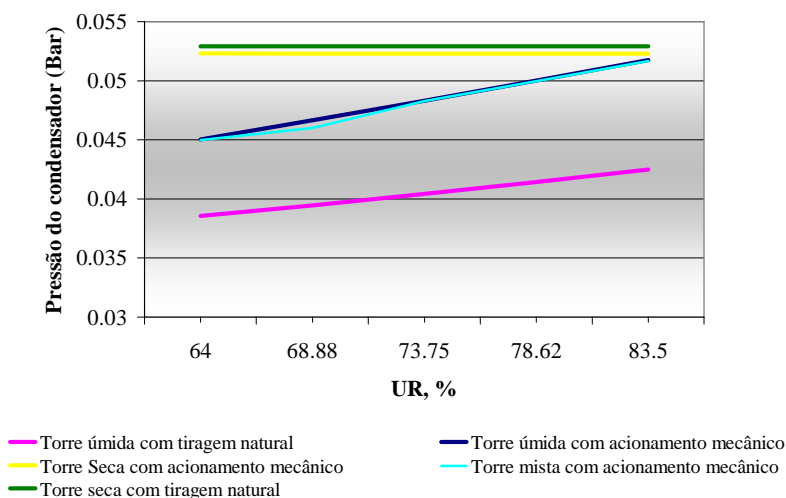


Figura 5.25: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região de São Paulo.

CICLO COMBINADO

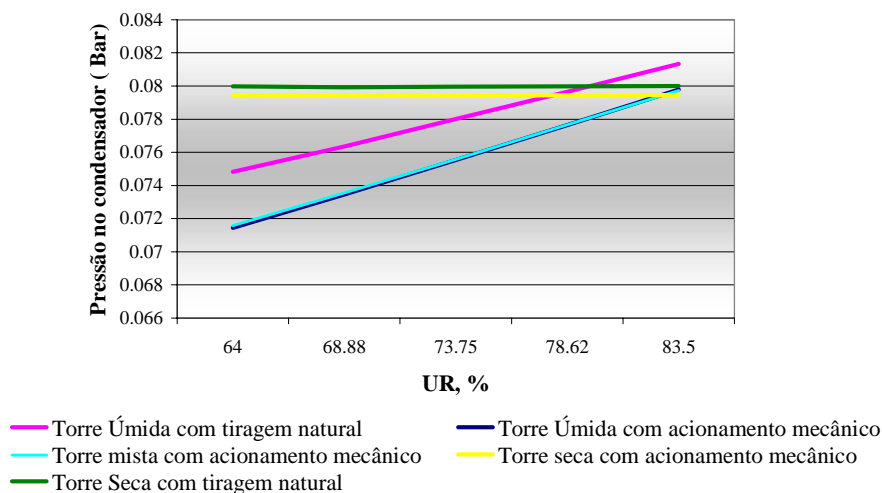


Figura 5.26: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo.

**Comentários:** Para ambas as centrais, as torre secas apresentam pequena variação de pressão em relação ao aumento da umidade. Sendo ciclo combinado a central que apresenta maiores faixas de pressão em função da umidade relativa do ar.

B.6. Heat rate

CICLO COMBINADO

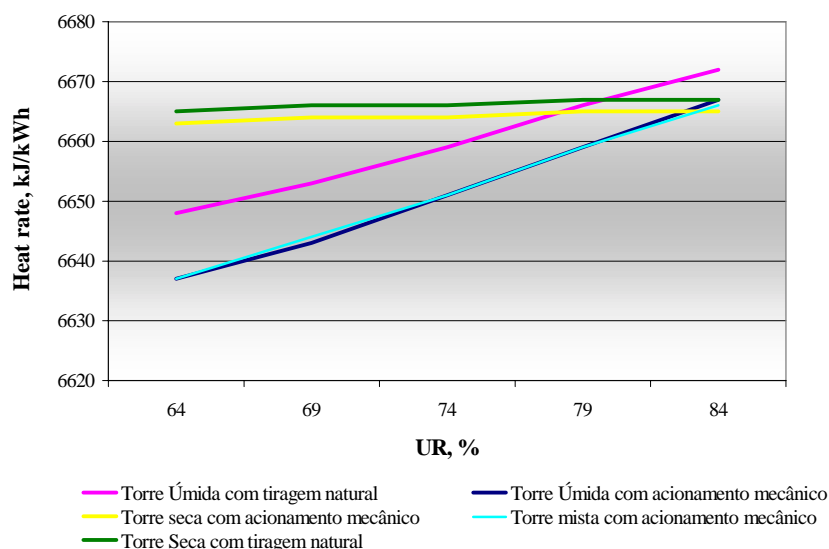


Figura 5.27: Heat rate em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado situada na região de São Paulo – SP.

**Comentários:** Analisando o heat rate em função da umidade relativa para os ciclos combinados, vemos que ocorre um aumento de consumo de combustível em relação ao aumento da umidade, mas que esse aumento para as torres secas é bem menor do que para as torres úmidas e mistas. Ainda assim, a torre seca continua consumindo mais combustível.

### 5.7.2.3. CASO 2: REGIÃO DE PORTO ALEGRE - RS:

Dados do local:

Latitude:	30° 00'
Longitude:	51° 11'
Altitude:	4 m
Período:	1995 – 2001
Fonte:	INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

Foram analisadas térmicas de ciclo a vapor e de ciclo combinado com os seguintes sistemas de resfriamento (as plantas com os diferentes tipos de sistemas de resfriamento virão no apêndice 2):

1. Sistema de Resfriamento: Torre úmida com acionamento mecânico;
2. Sistema de Resfriamento: Torre úmida com tiragem natural;
3. Sistema de Resfriamento: Torre seca com acionamento mecânico;
4. Sistema de Resfriamento: Torre seca com tiragem natural;
5. Sistema de Resfriamento: Torre úmida e seca com acionamento mecânico.

### 5.7.2.4. Resultados e análises

Dados as condições acima, analisaremos os gráficos a seguir, para os mesmos parâmetros, também em função da temperatura do bulbo úmido e da umidade relativa:

A - EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO (UR=78%)

#### A 1. Consumo específico de água

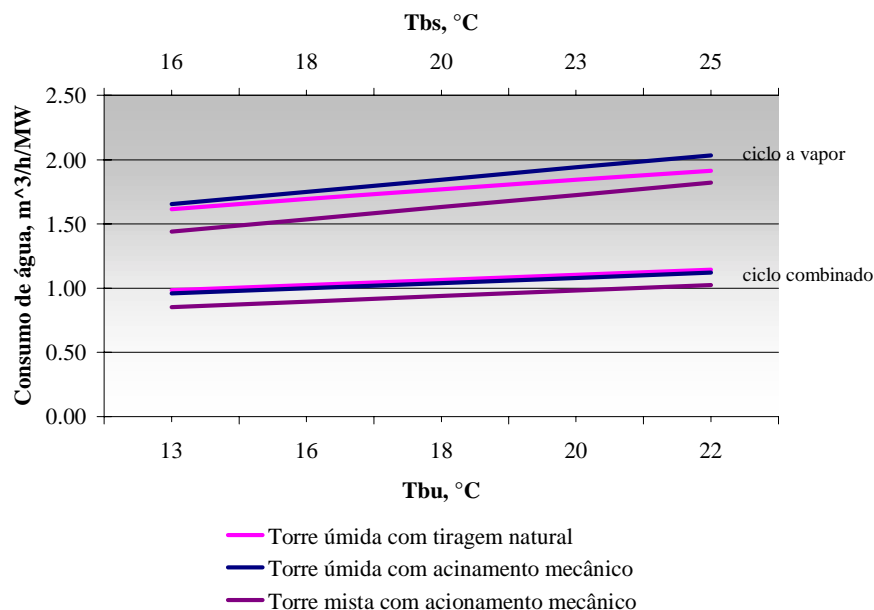


Figura 5.28: Consumo específico de água em função da temperatura do bulbo úmido nas centrais situadas na região de Porto Alegre - RS.

**Comentários:** Os comportamentos das torres nas centrais de ciclo a vapor se diferenciam uma das outras com aumento da temperatura do bulbo úmido, ao passo de que nas centrais de ciclo combinado as torres úmidas consomem praticamente a mesmas quantidade de água. As torres mistas em ambos os casos tem um consumo específico de água menor.

A 2. Potência dos ventiladores:

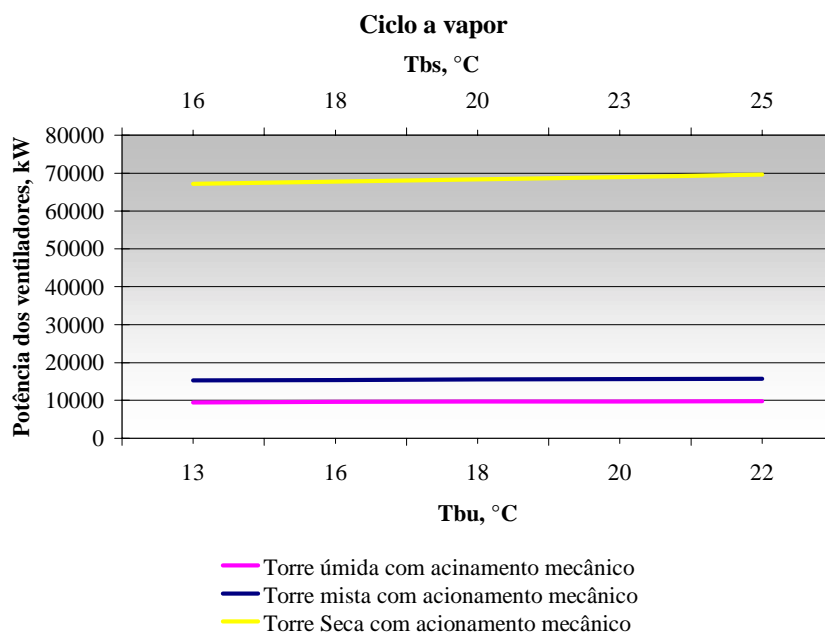


Figura 5.29: Potência dos ventiladores em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de Porto Alegre - RS.

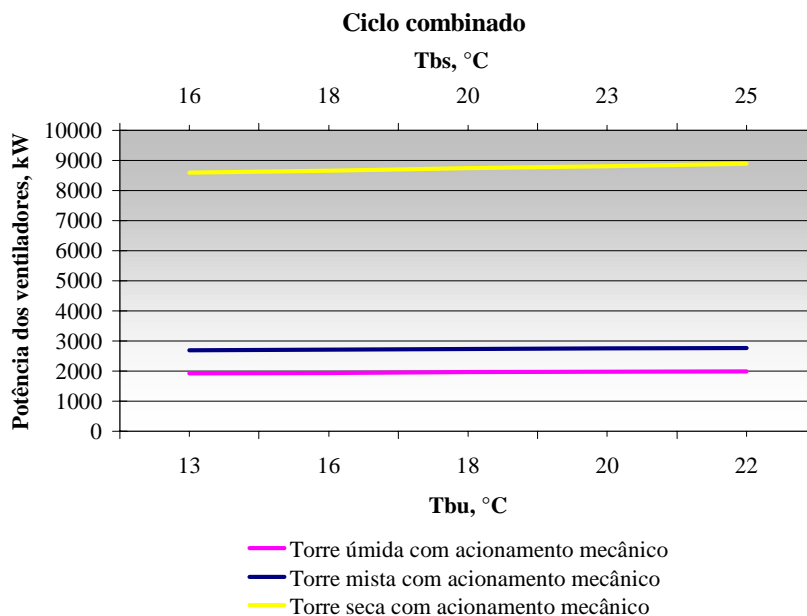


Figura 5.30: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.

**Comentários:** Para as condições de Porto Alegre, a temperatura do bulbo úmido também não influencia muito no consumo dos ventiladores. É importante observar que a planta a vapor consome muito mais energia, no acionamento dos ventiladores, do que a planta de ciclo combinado.

A.3. Potência gerada:

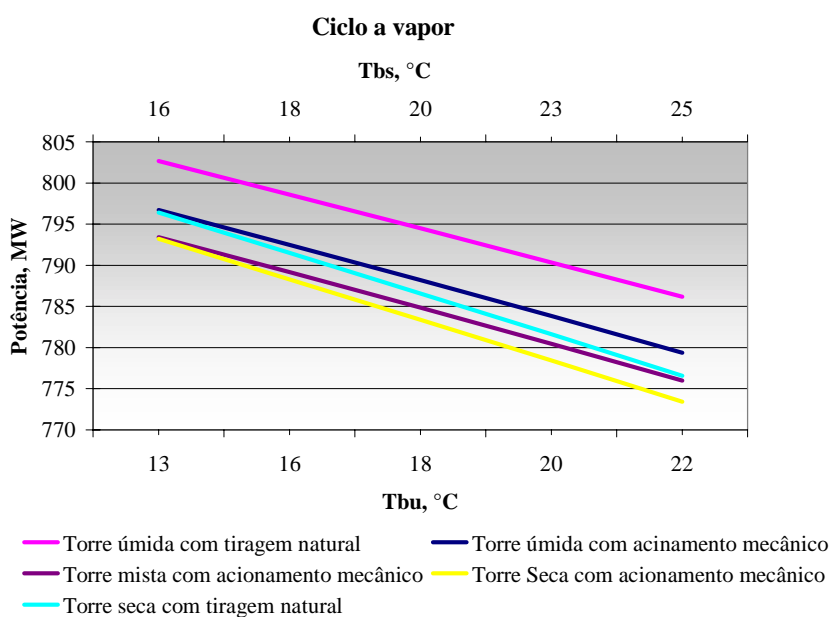


Figura 5.31: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma planta a vapor situada na região de Porto Alegre - RS.

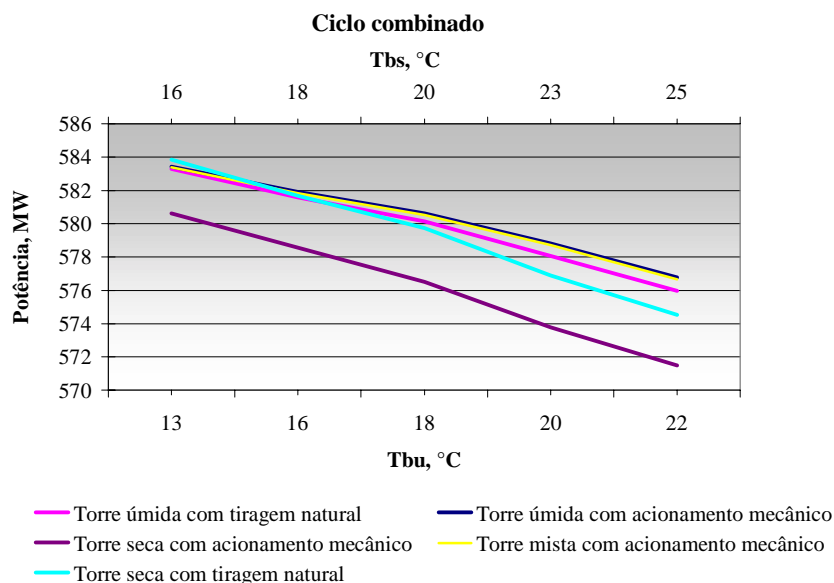


Figura 5.32: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.

**Comentários:** A potência gerada reduz consideravelmente com o aumento da temperatura do bulbo úmido. Para as duas centrais a torre seca com acionamento mecânico é a que proporciona menor potência gerada. Na central de ciclo combinado o desempenho das torres, com exceção da torre seca com acionamento mecânico, se assemelha com temperaturas na faixa de 13°C, sendo que a medida que a temperatura vai aumentando os desempenhos vão se distinguindo um do outro.

#### A.4. Eficiência da central

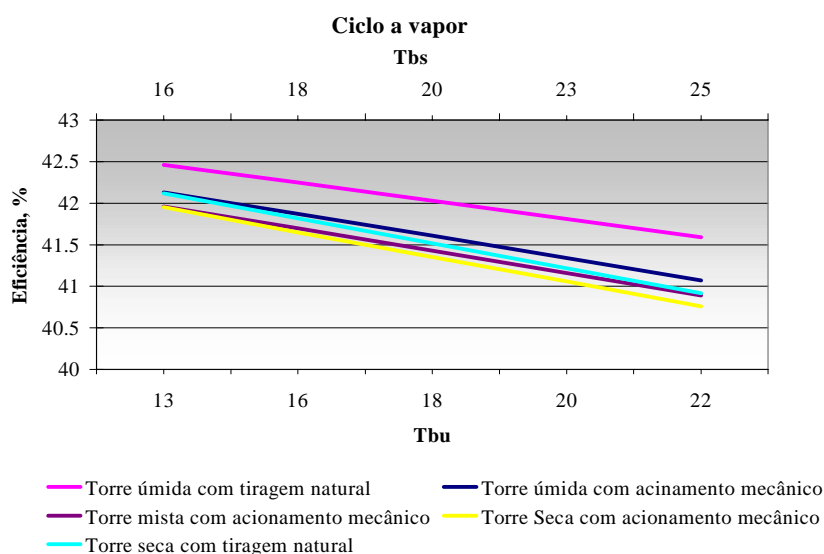


Figura 5.33: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central a vapor situada na região de Porto Alegre - RS.

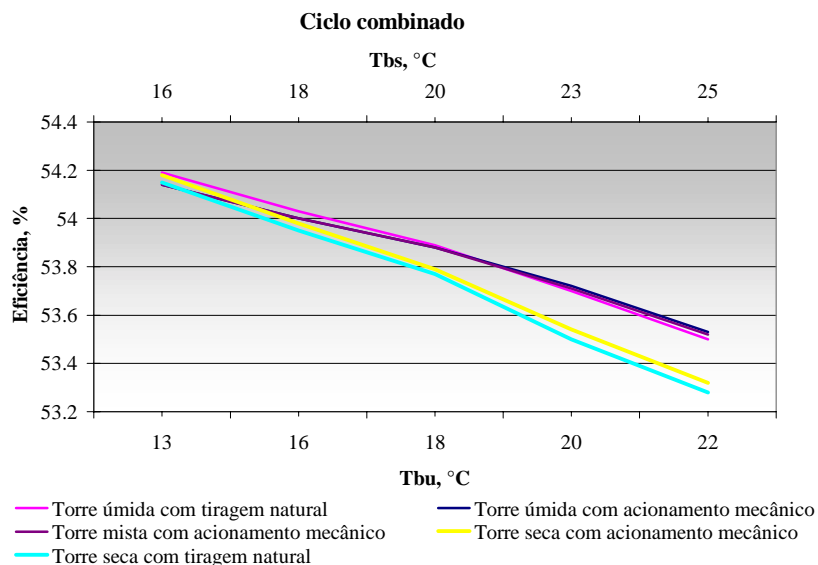


Figura 5.34: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.

**Comentários:** As temperaturas mais amenas são as que proporcionam melhores eficiências. As torres secas são as que apresentam menores eficiências para ambas as centrais. Nas centrais a vapor há uma distinção no desempenho das torres quanto a eficiência em função da temperatura ambiente, já nas centrais de ciclo combinado ocorrem pequenas variações entre os tipos de torres, tendo seus desempenhos mais semelhantes.

A 5. Pressão no condensador:

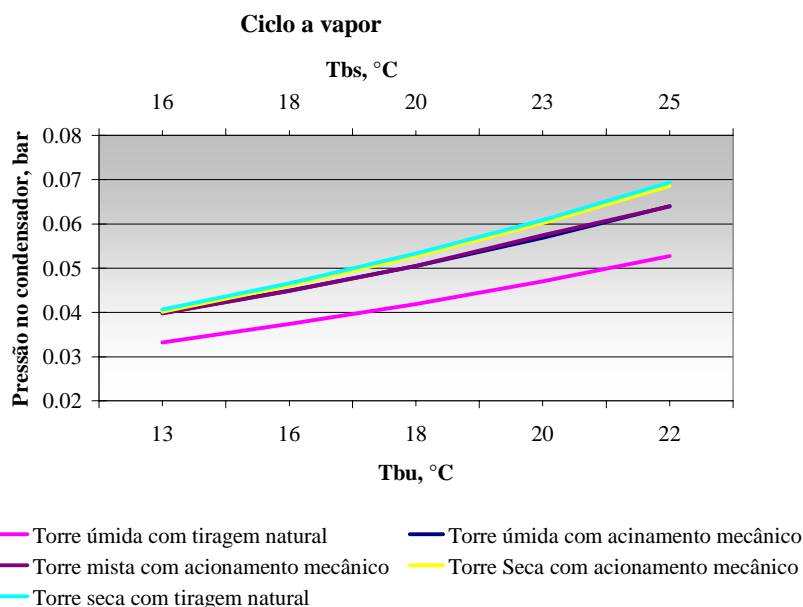


Figura 5.35: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre.



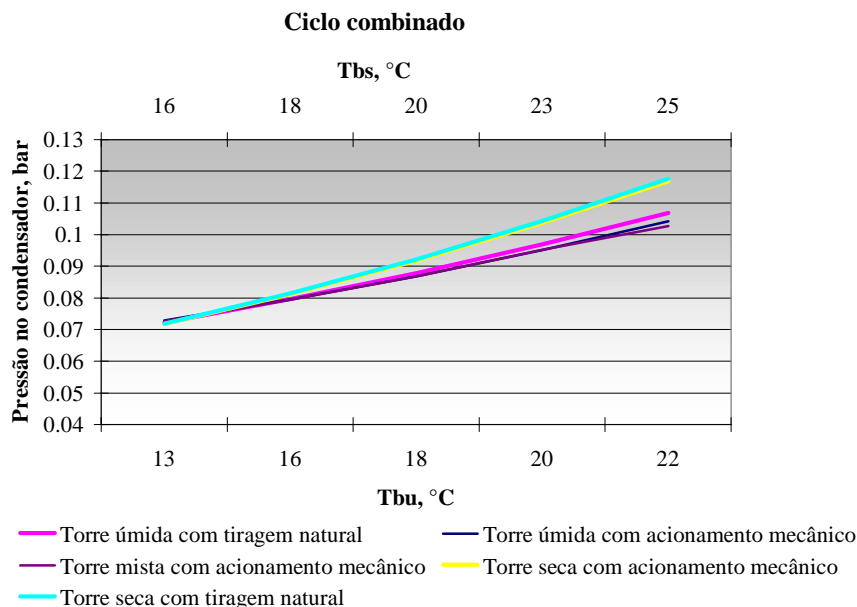


Figura 5.36: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre.

**Comentários:** Os desempenhos das torres para esta região não diferem da região anterior quanto ao aumento da temperatura do bulbo úmido, apresentado também maiores pressões nas torres secas.

### A 6. Heat rate

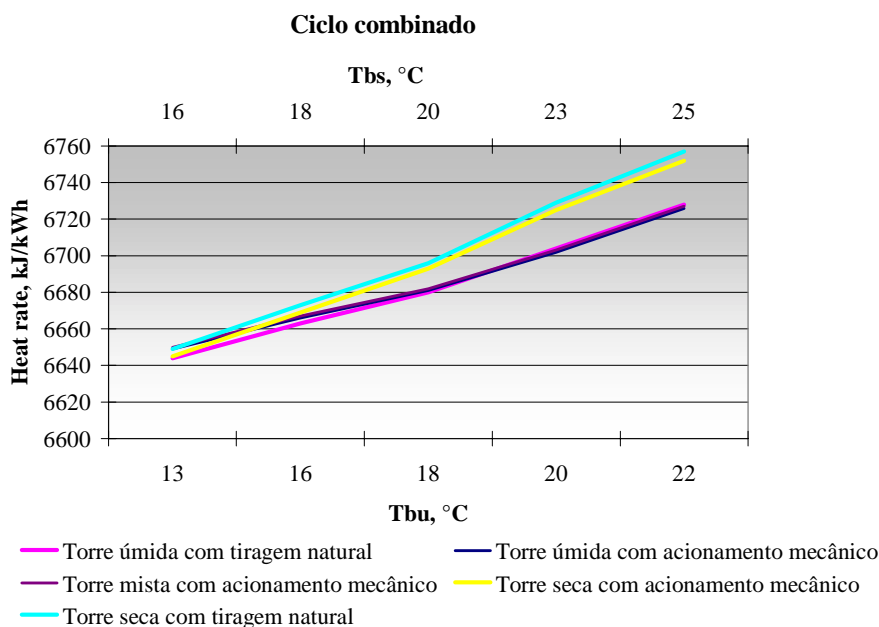


Figura 5.37: Heat rate em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre – RS.

**Comentários:** Para a região de Porto Alegre o desempenho das torres não difere em relação a região de São Paulo. Sendo as torres úmidas e mista as que apresentam melhores desempenhos.

B. EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (Tbs média = 19.5 °C)

B.1. Consumo específico de água

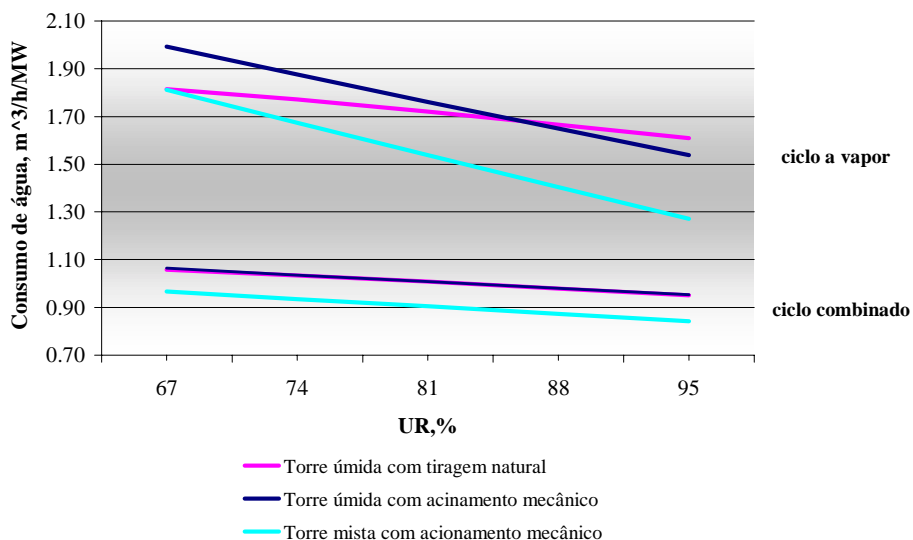


Figura 5.38: Consumo específico de água em função da umidade relativa do ar para as centrais situadas na região de Porto Alegre - RS.

**Comentários:** Altas umidades reduzem bastante o consumo. As plantas de ciclo combinado consomem menores quantidades de água. Analisando o ciclo a vapor, nota-se que com o aumento da umidade relativa do ar as torres úmidas com acionamento mecânico diminuem seu consumo de água pelas mesmas razões apresentadas na figura 17, diminuindo perdas por evaporação, pelo fato de que o ar está mais saturado de umidade e também neste caso reduzindo as perdas por arraste (dos ventiladores). As torres mistas são as consomem menor quantidade de água.

**B.2. Potência dos ventiladores**

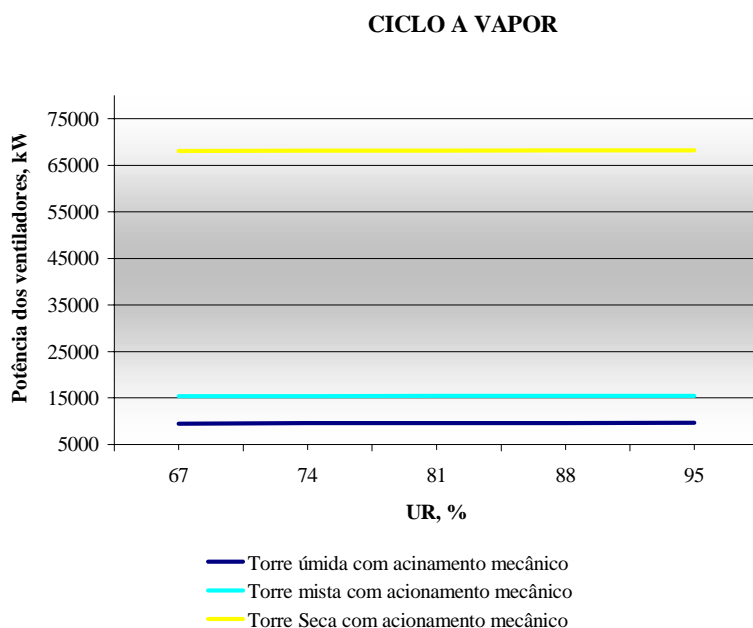


Figura 5.39: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre - RS.

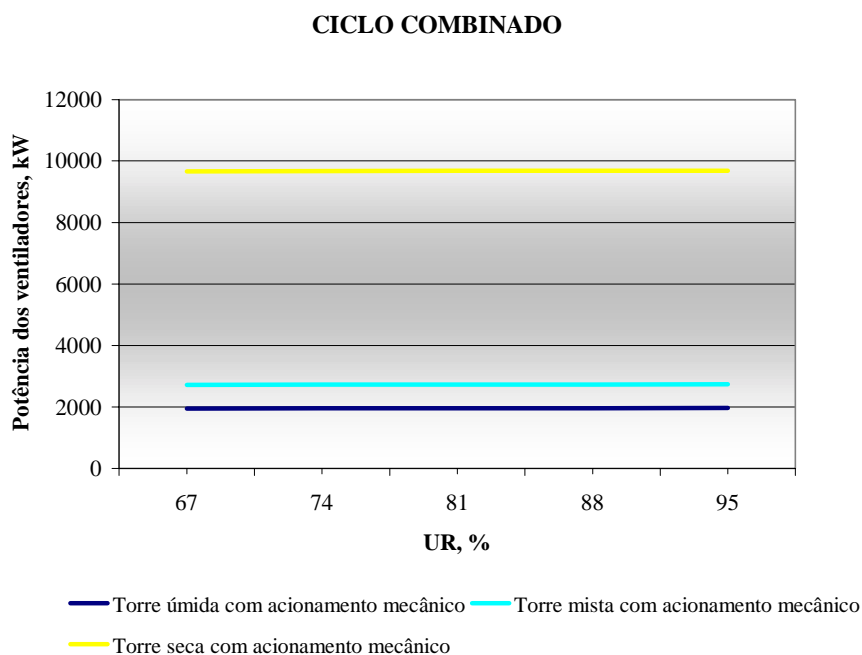


Figura 5.40: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.

**Comentários:** O consumo dos ventiladores nesta região é menor do que para região anterior. A torre seca com acionamento mecânico do ciclo a vapor tem maior potência.

**B.3. Potência gerada na central**

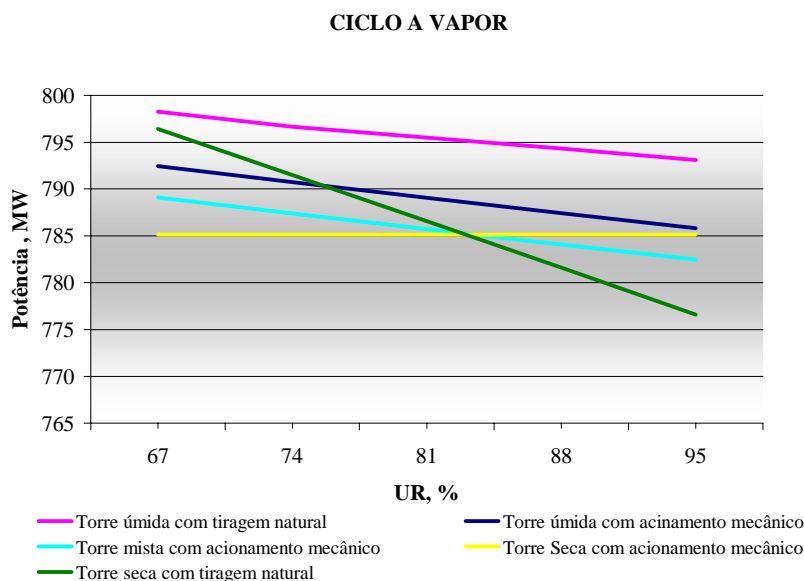


Figura 5.41: Potência gerada em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre - RS.

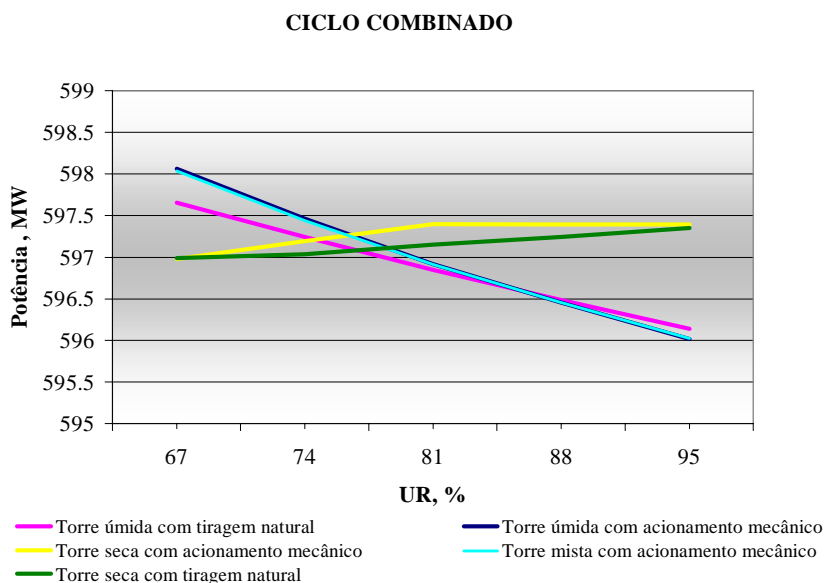


Figura 5.42: Potência gerada em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.

**Comentários:** Na central a vapor ocorre uma queda considerável da potência quando se utiliza torre seca com tiragem natural, sendo que a torre úmida com tiragem natural apresenta maior potência. Nas torres secas, da central de ciclo combinado, as potências se elevam a medida que a umidade relativa do ar aumenta.

**B.4. Eficiência da planta:**

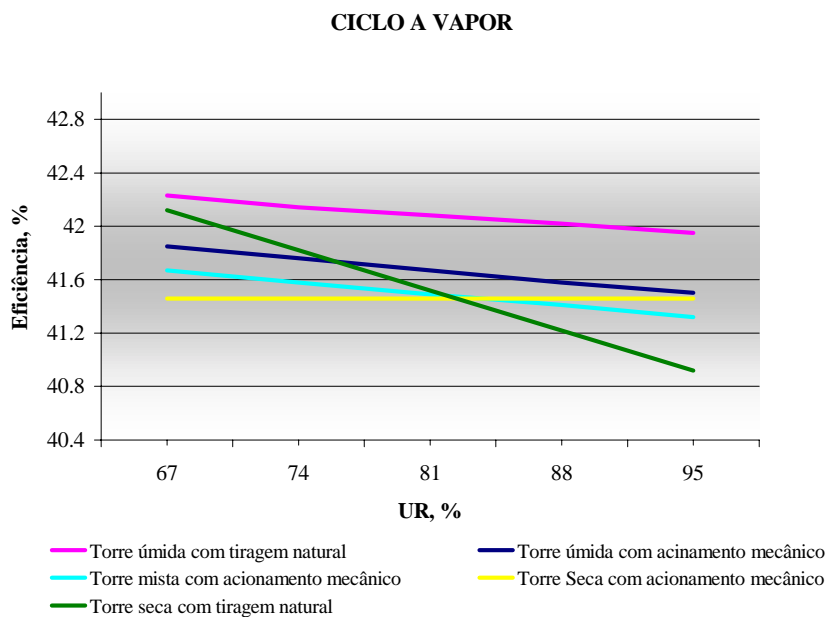


Figura 5.43: Eficiência em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre - RS.

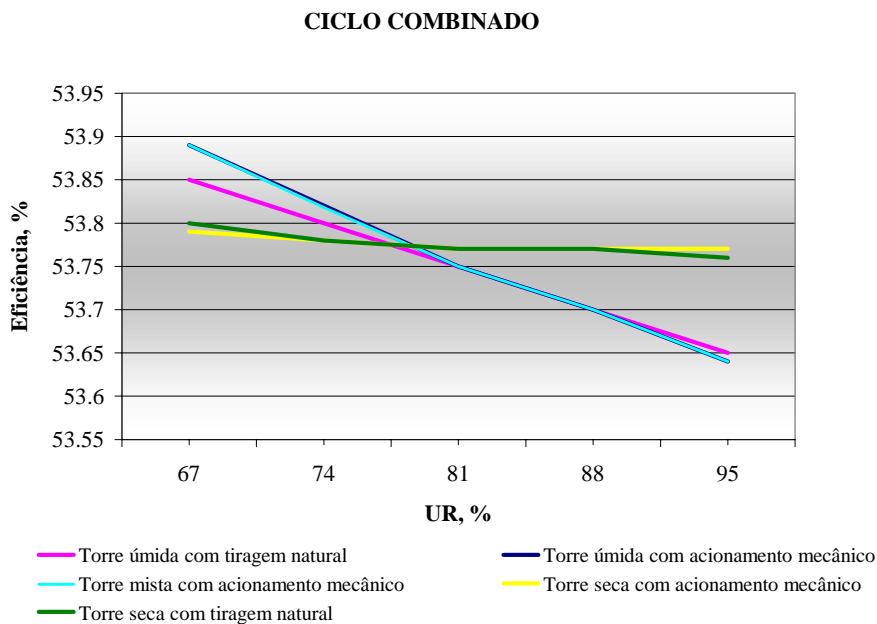


Figura 5.44: Eficiência em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre - RS.

**Comentários:** O desempenho das torres em relação à eficiência é semelhante às figuras anteriores (38 e 39). Sendo que as torres secas apresentam maiores eficiências quando a umidade do ar é alta para o ciclo combinado.

**B.5. Pressão no condensador**

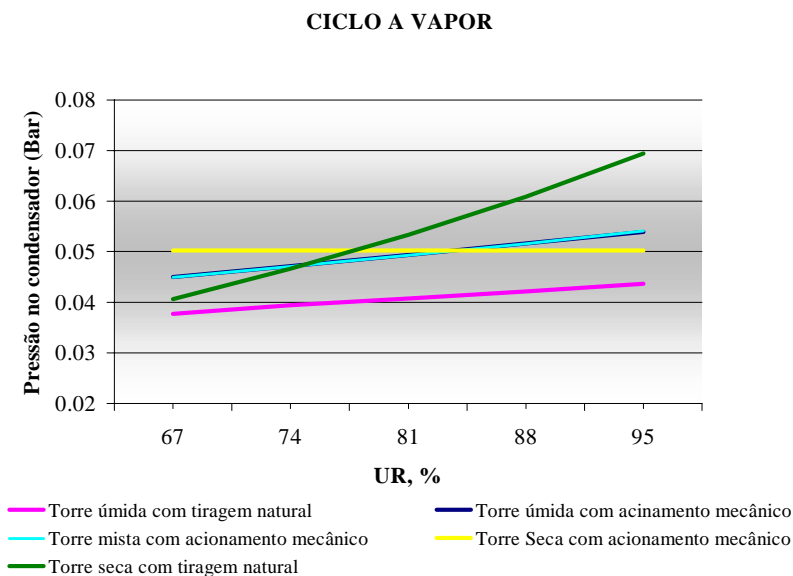


Figura 5.45: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região de Porto Alegre.

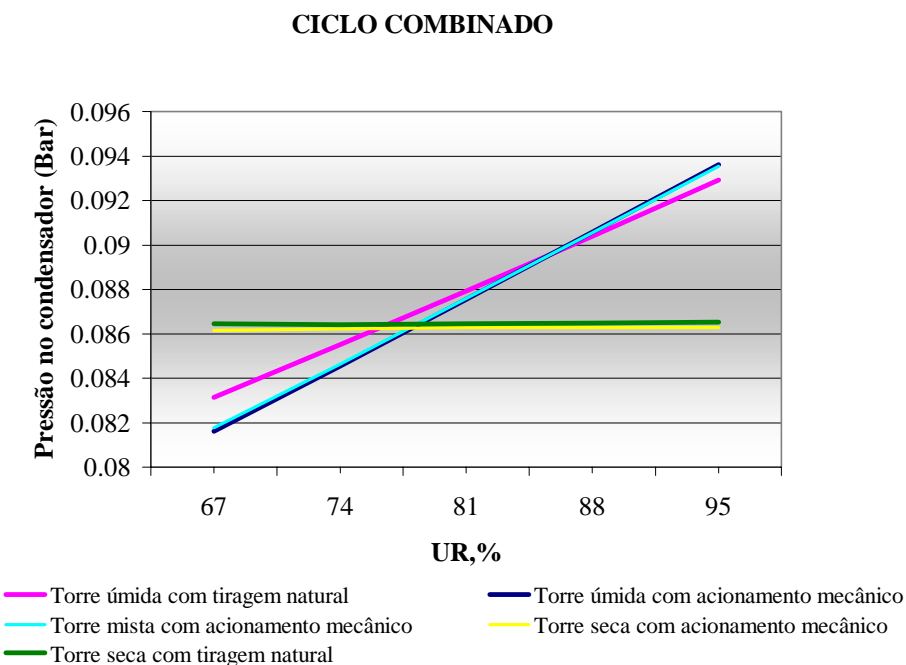


Figura 5.46: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre.

**Comentários:** Para o ciclo a vapor a torre seca com acionamento mecânico não foi influenciada pelo aumento da umidade relativa e o maior aumento na pressão ocorreu na torre seca com tiragem natural. Para a central de ciclo combinado a torre úmida com tiragem natural é a que tem maior pressão na saída do condensador em função da umidade, sendo que as torres secas não tiveram variação.

### B.6. Heat rate

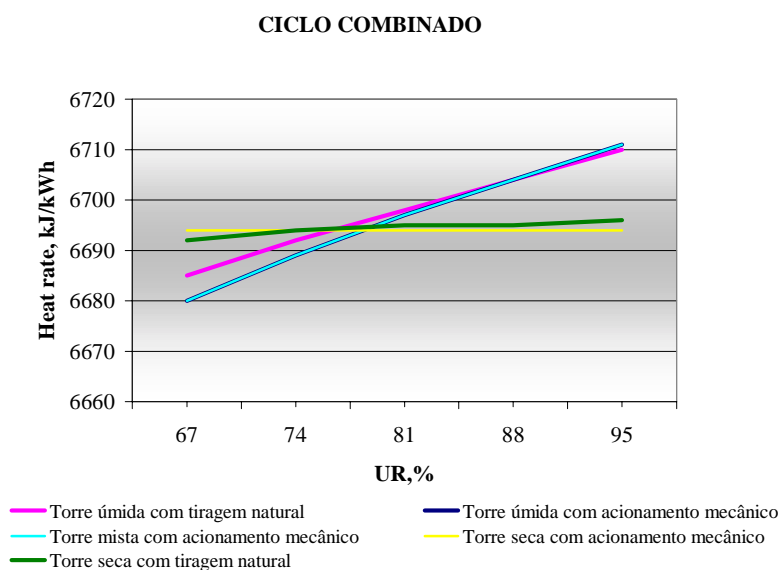


Figura 5.47: Heat rate em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado situada na região de Porto Alegre – RS.

**Comentários:** O aumento da umidade relativa aumenta pouco o heat rate para as torres secas. Mas é interessante notar que os desempenhos das torres úmidas e mistas devido ao aumento da umidade são afetados aumentando o consumo de combustível.

### 5.7.2.5 CASO 3: REGIÃO DO RIO DE JANEIRO - RJ:

Dados do local:

Latitude: 22° 50'

Longitude: 43° 15'

Altitude: 5 m

Período: 1995 – 2001

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

Também para esta região foram analisadas plantas a vapor e de ciclo combinado com os mesmos tipos de sistemas de resfriamento (apêndice 3):

1. Sistema de Resfriamento: Torre úmida com acionamento mecânico;
2. Sistema de Resfriamento: Torre úmida com tiragem natural;
3. Sistema de Resfriamento: Torre seca com acionamento mecânico;
4. Sistema de Resfriamento: Torre seca com tiragem natural;
5. Sistema de Resfriamento: Torre úmida e seca com acionamento mecânico.

### 5.7.2.6 Resultados e análises

Dados as condições acima, analisaremos os gráficos a seguir, conforme os anteriores, seguindo os mesmos parâmetros considerados.

#### A - EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO (UR média = 77.6%)

##### A 1. Consumo específico de água

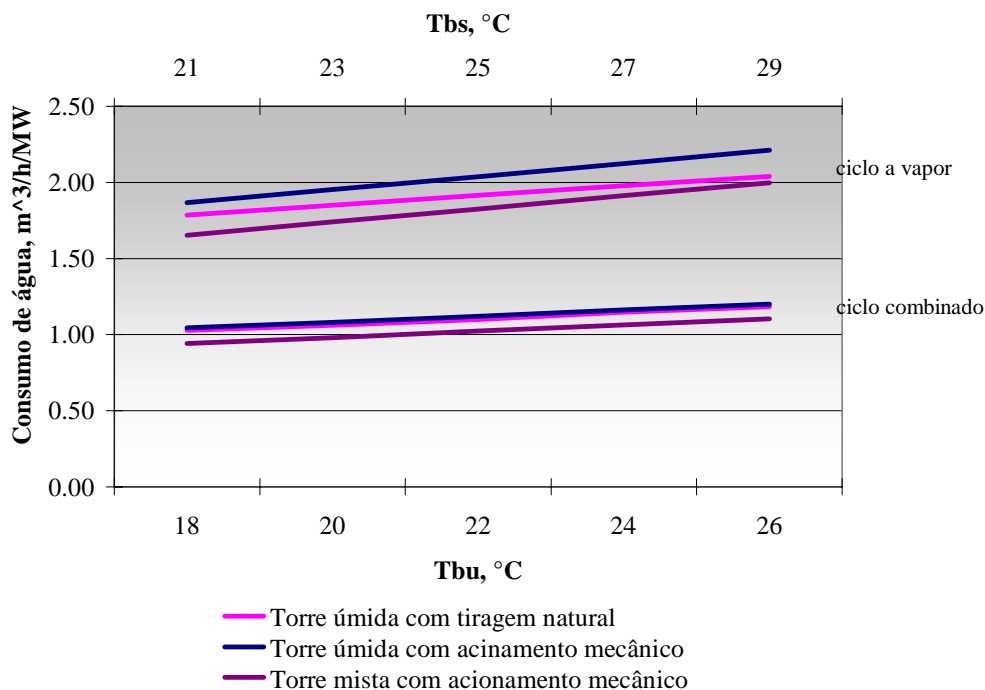


Figura 5.48: Consumo específico de água das torres em função da temperatura do bulbo úmido para centrais situadas na região do Rio de Janeiro – RJ.



**Comentários:** O consumo específico de água devido ao aumento da temperatura ambiente para esta região, é maior do que para as outras regiões, não diferenciando a performance das torres.

A 2. Potência dos ventiladores

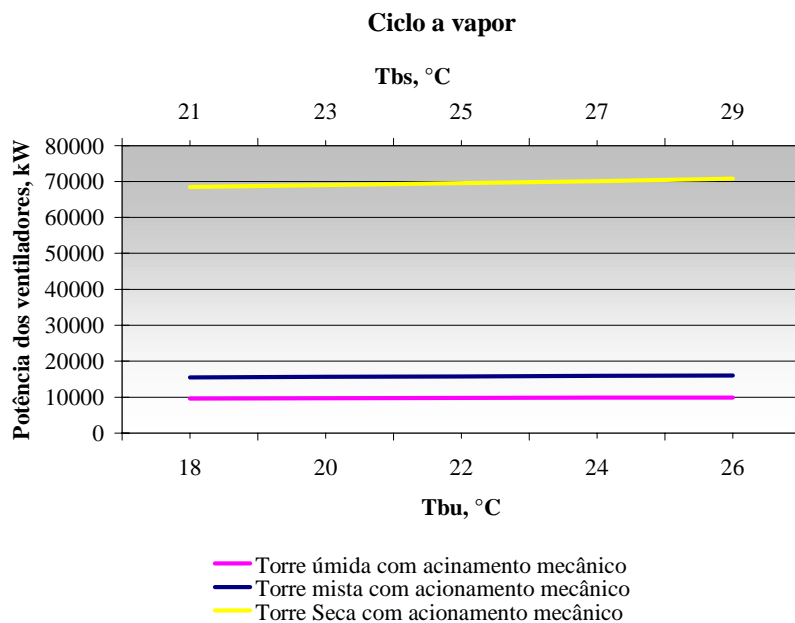


Figura 5.49: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

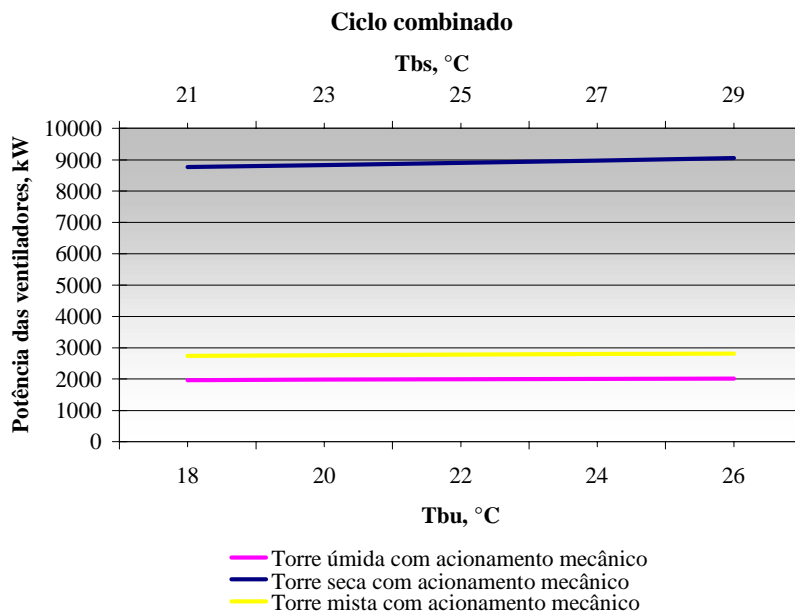


Figura 5.50: Potência dos ventiladores das torres em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

**Comentários:** A potência dos ventiladores, também sofre uma pequena variação, em função da temperatura do bulbo úmido, conforme as outras regiões. Sendo o ciclo a vapor o maior consumidor de energia.

#### A 4. Potência gerada

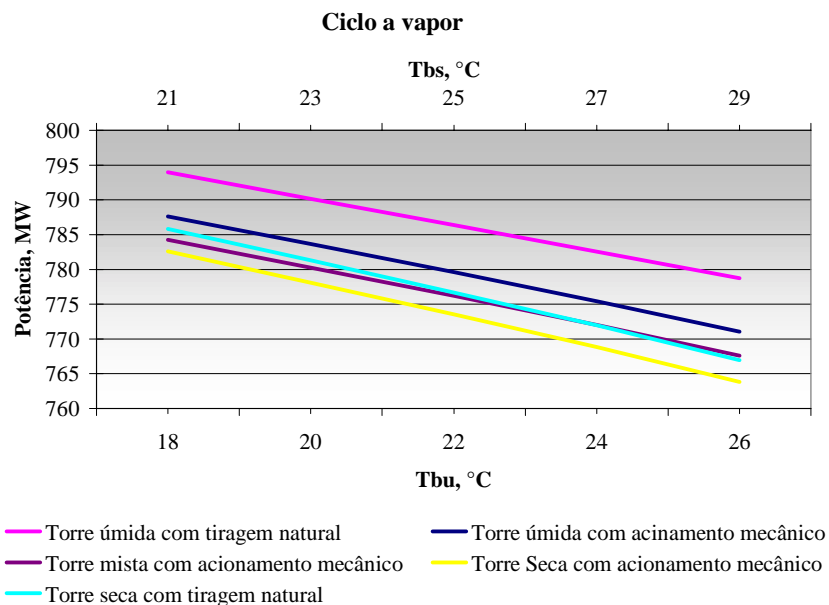


Figura 5.51: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

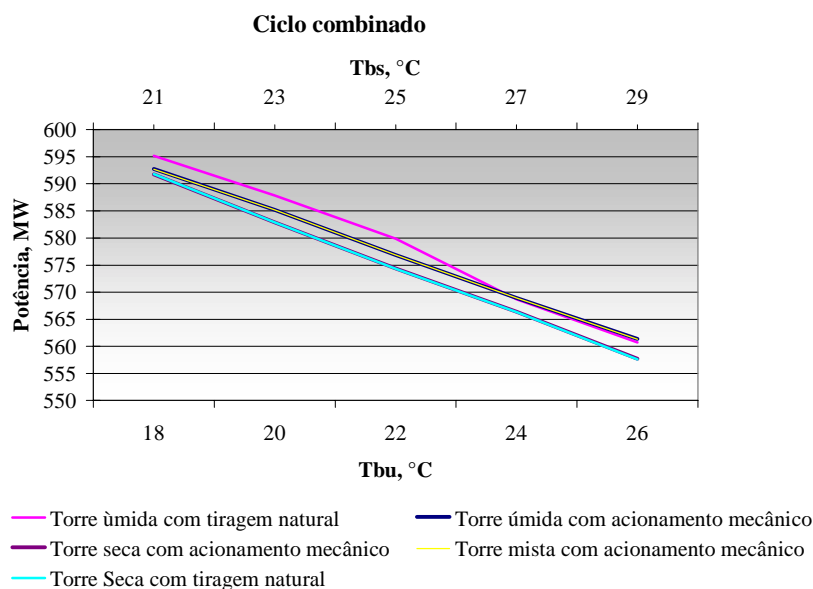


Figura 5.52: Potência gerada em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

**Comentários:** A potência gerada na região em estudo é menor para a central a vapor em relação às outras duas regiões analisadas, por ser um local com temperaturas mais elevadas. Mas, as centrais de ciclo combinado situada nesta região produzem mais potência do que as localizadas em São Paulo e menos do que as que se localizam no sul. As torres úmidas com tiragem natural as que apresentam melhores desempenho.

A 4. Eficiência da central:

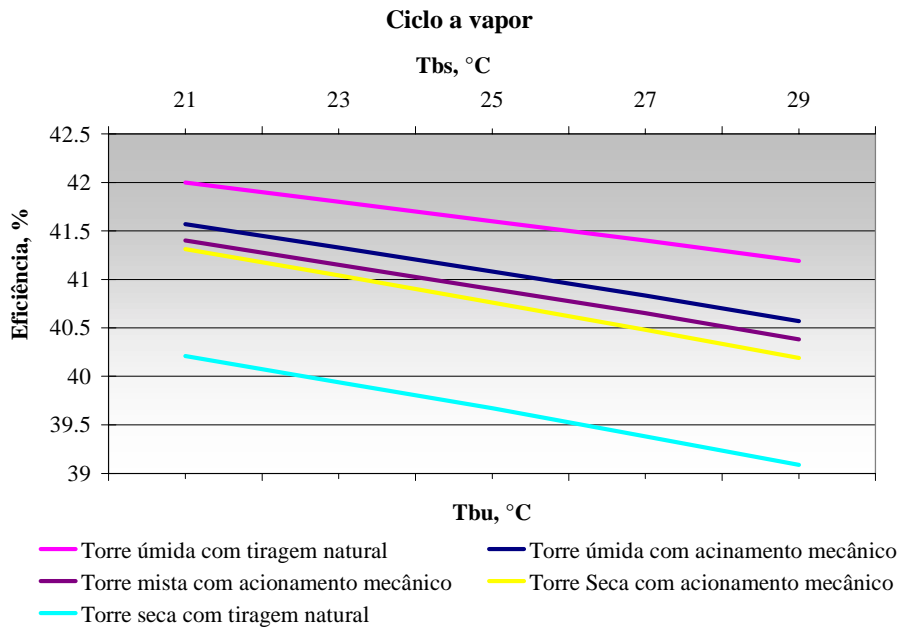


Figura 5.53: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

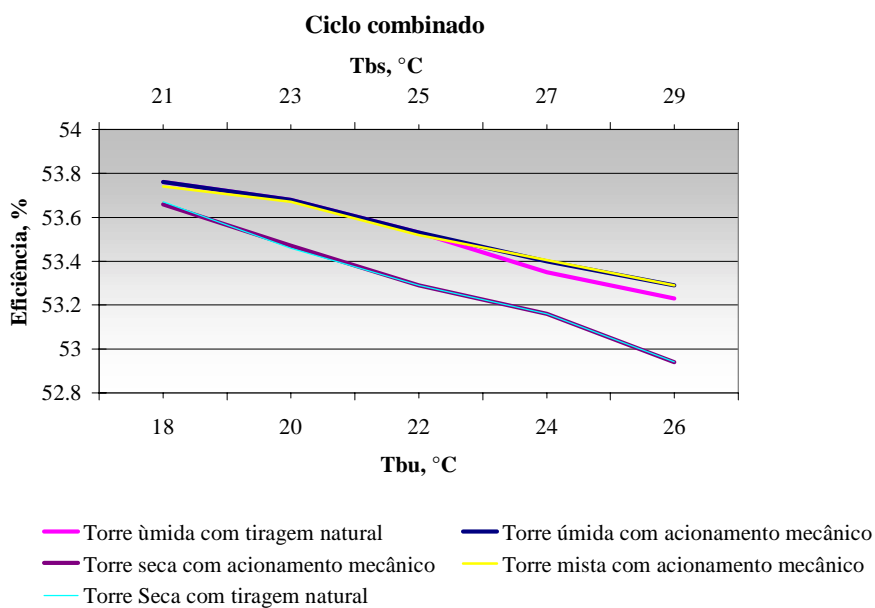


Figura 5.54: Eficiência em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

**Comentários:** As eficiências em ambas as plantas são menores para esta região devido a maiores temperaturas ambientes. A central de ciclo combinado sofre mais com altas temperaturas ambientes por utilizarem turbinas a gás, cujo desempenho é afetado por estas condições. Conforme figuras anteriores as torres úmidas com tiragem natural são as mais eficientes.

A 5. Pressão no condensador:

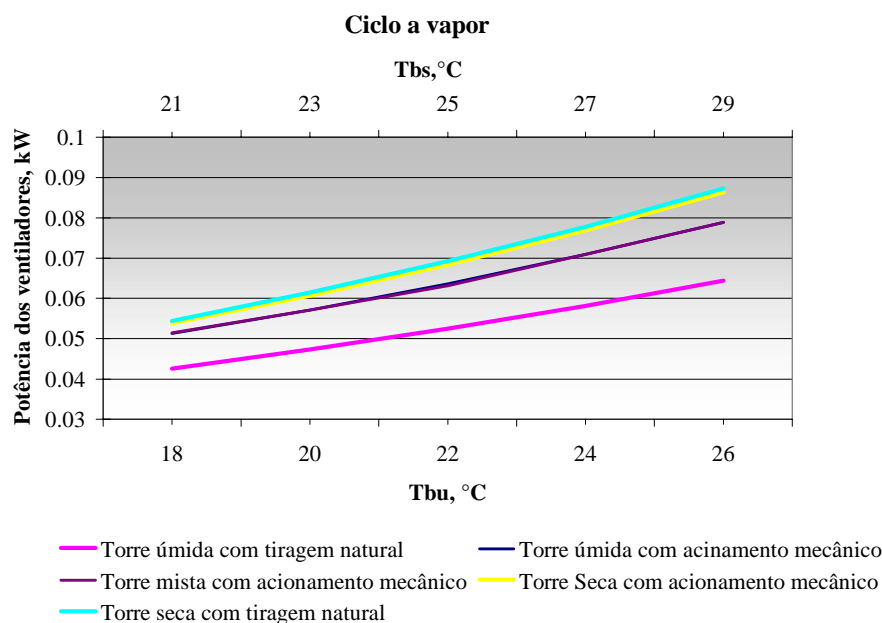


Figura 5.55: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro.

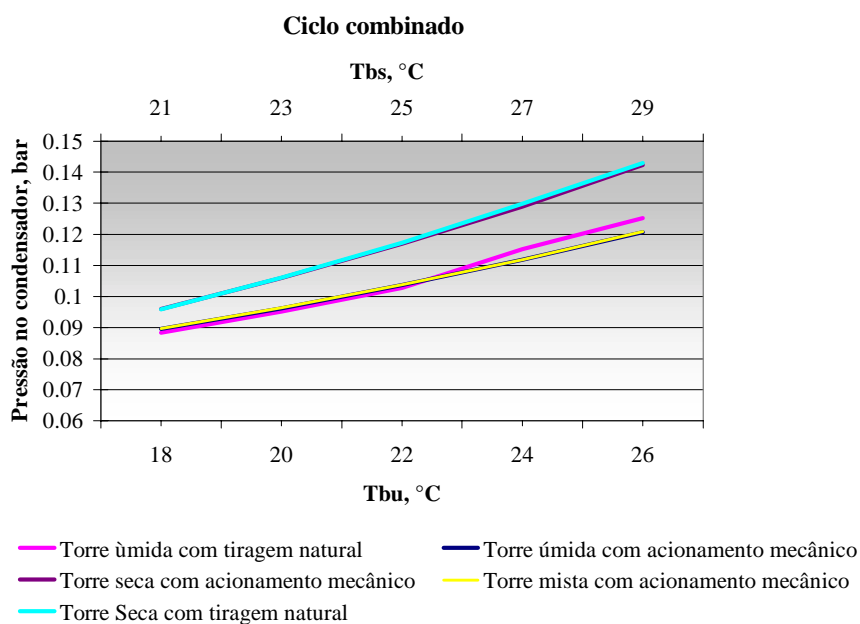


Figura 5.56: Pressão na saída do condensador em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro.

**Comentários:** As torres secas apresentam a maior pressão na saída do condensador para as duas centrais em estudo. O ciclo combinado apresenta maiores pressões.

A6. Heat rate

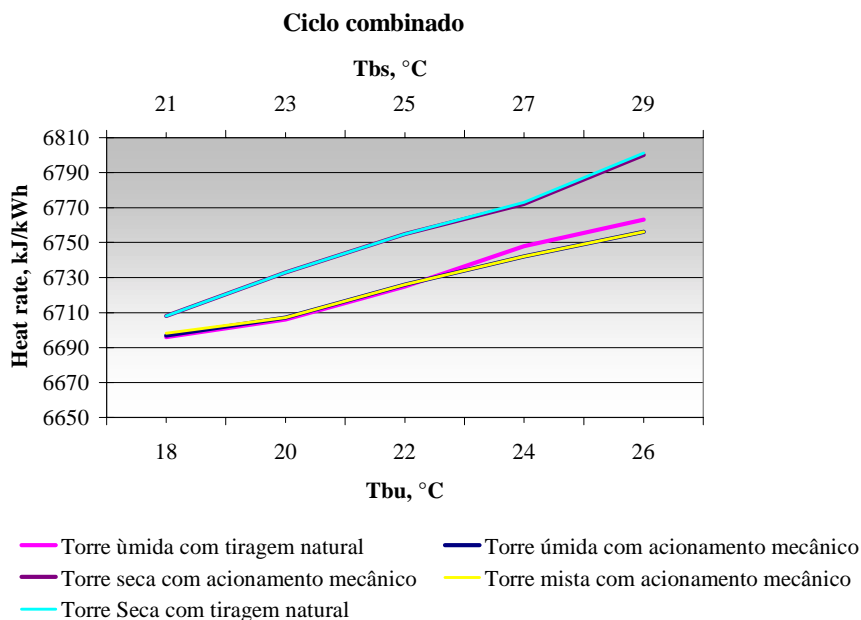


Figura 5.57: Heat rate em função da temperatura do bulbo úmido para uma central de ciclo combinado situada na região de Rio de Janeiro – RJ.

**Comentários:** O mesmo ocorre para a região do Rio de Janeiro quando analisamos o heat rate em função da temperatura. As torres secas consomem mais combustível.

**B. EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (Tbs média= 24 °C)**

B.1. Consumo de específico de água

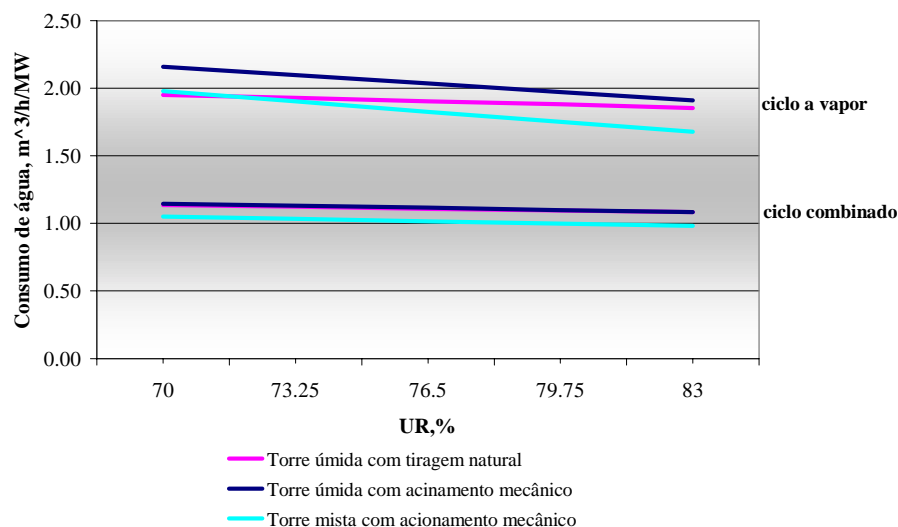


Figura 5.58: Consumo específico de água nas torres em função da umidade relativa para as centrais situadas na região do Rio de Janeiro – RJ.

**Comentários:** O ciclo a vapor continua consumindo mais água. Para esta região o consumo de água é maior em relação às outras regiões em questão. Mas efeito da umidade relativa é o mesmo analisado na figura 35.

B.2. Potência dos ventiladores:

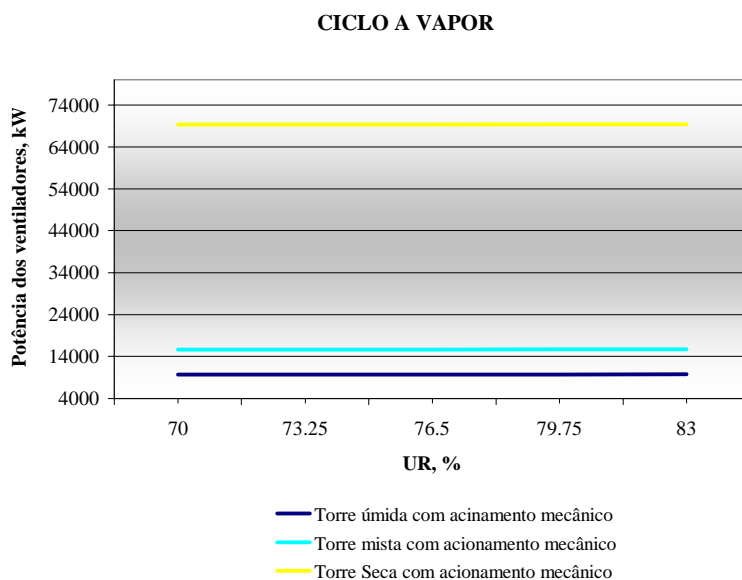


Figura 5.59: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

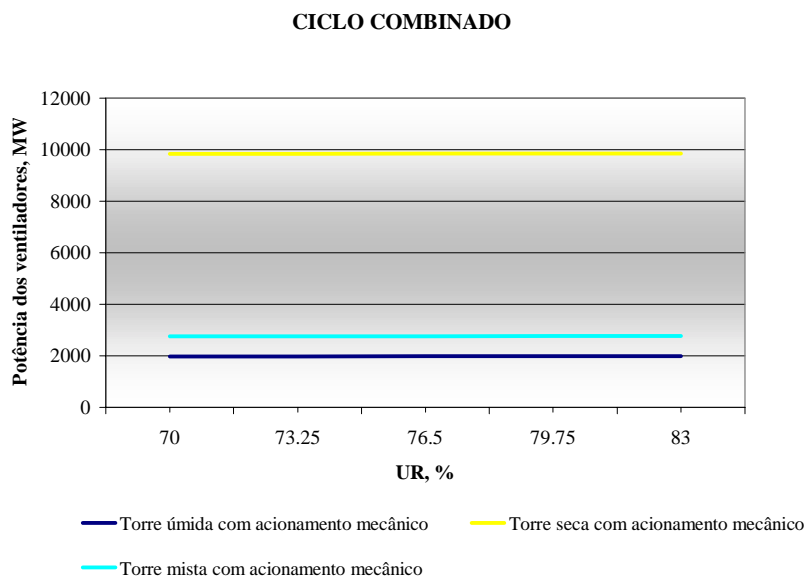


Figura 5.60: Potência dos ventiladores das torres em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

**Comentários:** Conforme as outras regiões não há grande variação na potência dos ventiladores em função da umidade relativa do ar.

B.3. Potência gerada na central

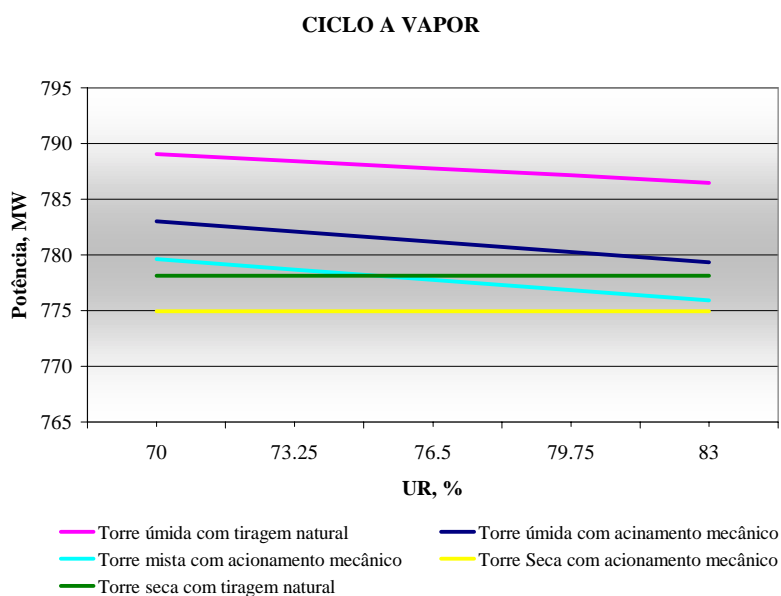


Figura 5.61: Potência gerada em função da umidade relativa para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

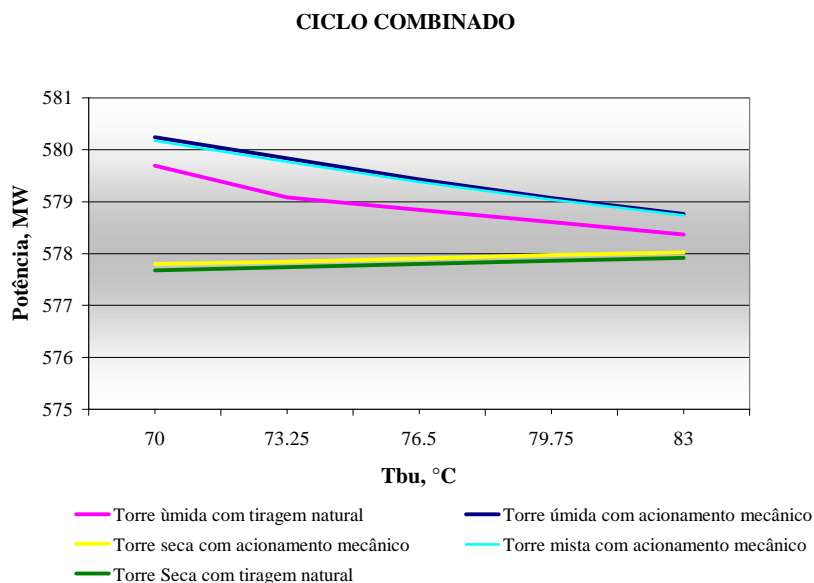


Figura 5.62: Potência gerada em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro – RJ.

**Comentários:** É interessante observar que no ciclo a vapor as torres secas não variam em função da umidade, enquanto no ciclo combinado nas torres secas ocorre um pequeno aumento na potência, em nas demais torres ocorre uma queda devido ao aumento da umidade do ar.

B.4. Eficiência da central:

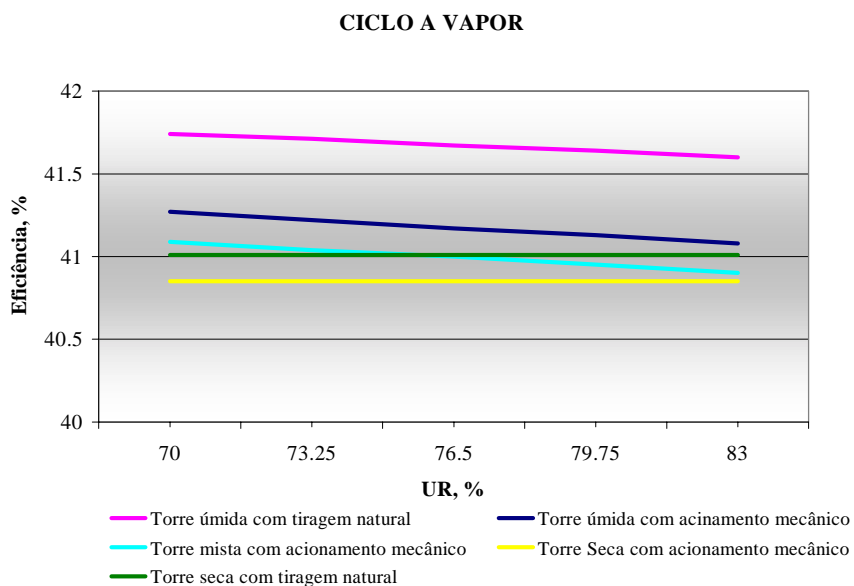


Figura 5.63: Eficiência em função da umidade relativa para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro – RJ.



**CICLO COMBINADO**

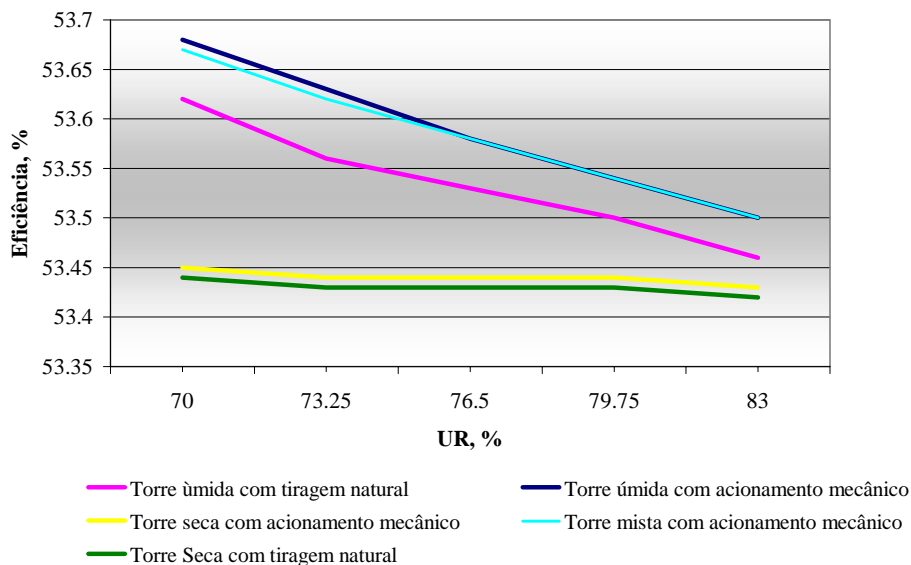


Figura 5.64: Eficiência em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado na região do Rio de Janeiro – RJ.

**Comentários:** As torres secas sofrem pequena influência da umidade relativa do ar, por outro lado há uma maior redução das demais torres para ambos os ciclos nesta região.

B. 5. Pressão no condensador

**CICLO A VAPOR**

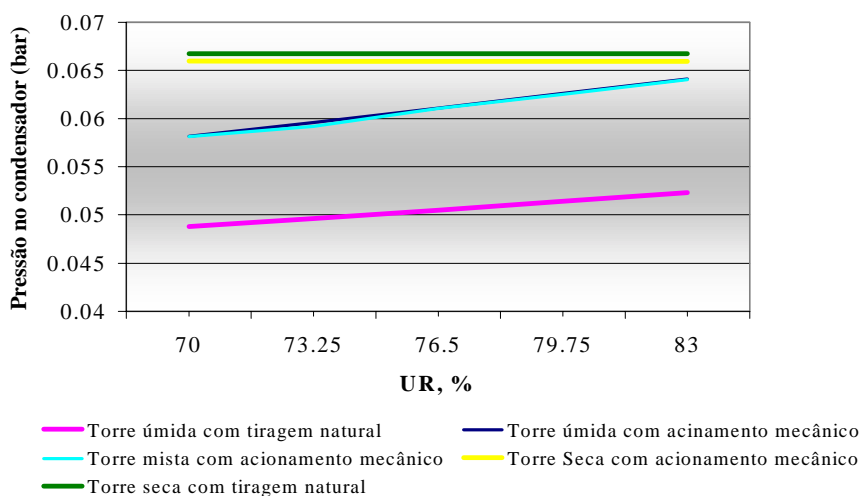


Figura 5.65: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo a vapor situada na região do Rio de Janeiro.

CICLO COMBINADO

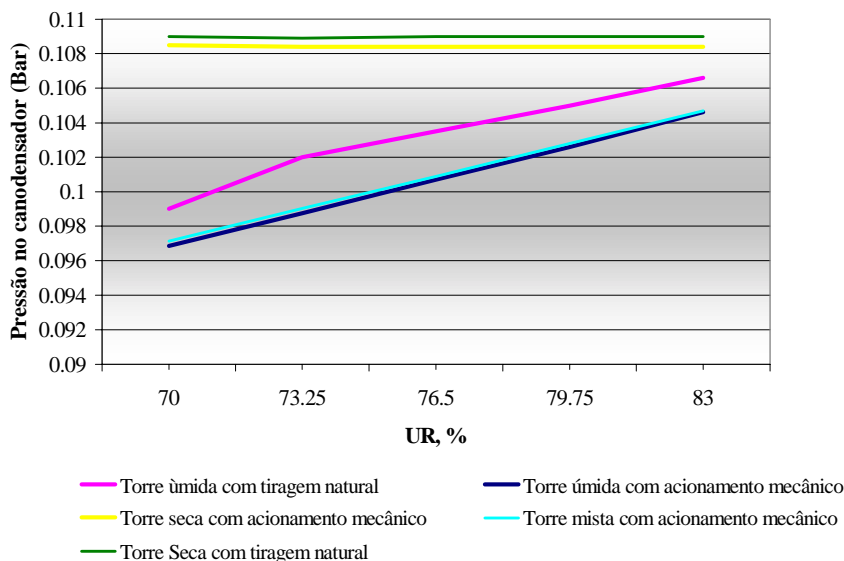


Figura 5.66: Pressão na saída do condensador em função da umidade relativa do ar para uma central de ciclo combinado situada na região do Rio de Janeiro.

**Comentários:** A variação na pressão de saída do condensador sofre uma pequena variação para as torres secas em ambas as centrais. As centrais de ciclo a vapor apresentam menores pressões na saída do condensador, não se diferenciando das outras regiões.

B.6. Heat rate

CICLO COMBINADO

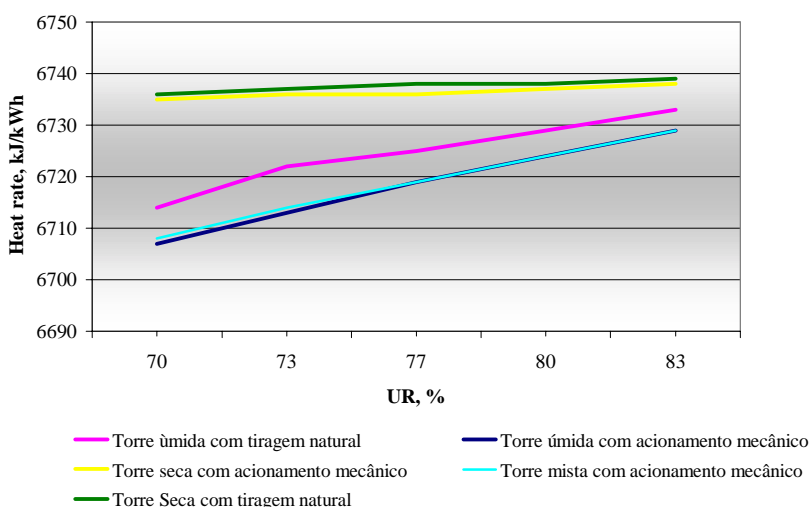


Figura 5.67: Heat rate em função da umidade relativa para uma central de ciclo combinado situada na região de Rio de Janeiro - RJ.

**Comentários:** Para a região do Rio de Janeiro a umidade relativa do ar também não interfere muito no desempenho das torres secas, afetando mais as torres úmidas e mistas. Neste caso o heat rate das torres úmida e mista não ultrapassam o consumo das torres secas.

Abaixo estão relacionados alguns gráficos adimensionais, figuras 5.68 e 5.69, para observar a queda de potência e eficiência das centrais de ciclo a vapor e ciclo combinado, quanto ao desempenho das torres de resfriamento. Por ser adimensionais não há necessidade de fazer um gráfico para cada tipo torre de resfriamento.

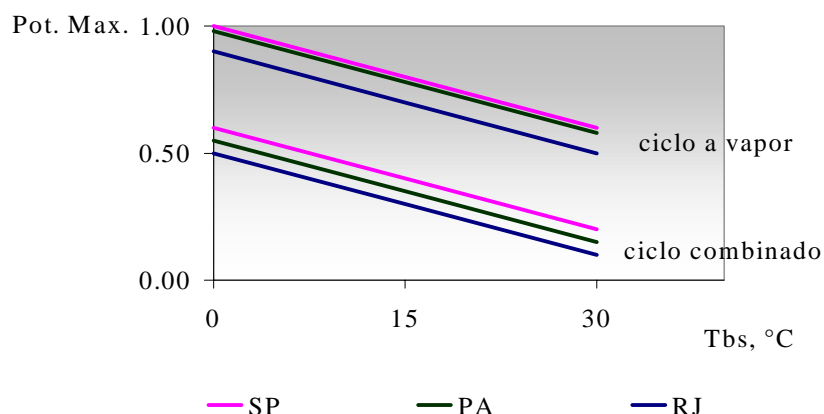


Figura 5.68: Queda da potência em função da temperatura ambiente.

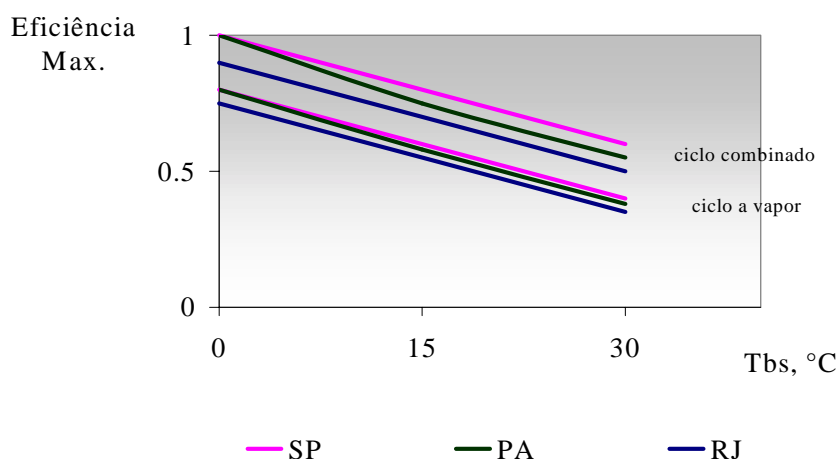


Figura 5.69: Queda da eficiência em função da temperatura ambiente.

Claramente, as figuras mostram a redução no desempenho das torres de resfriamento quando a temperatura ambiente se eleva.

### 5.7.3. Comparação entre os casos em relação aos períodos de verão e inverno

Posteriormente, se faz uma comparação entre as centrais de ciclo a vapor e ciclo combinado utilizando diferentes torres de resfriamento, analisando o consumo específico de água variando da temperatura do bulbo úmido quanto aos períodos de verão e inverno, para as três zonas geográficas em estudo.

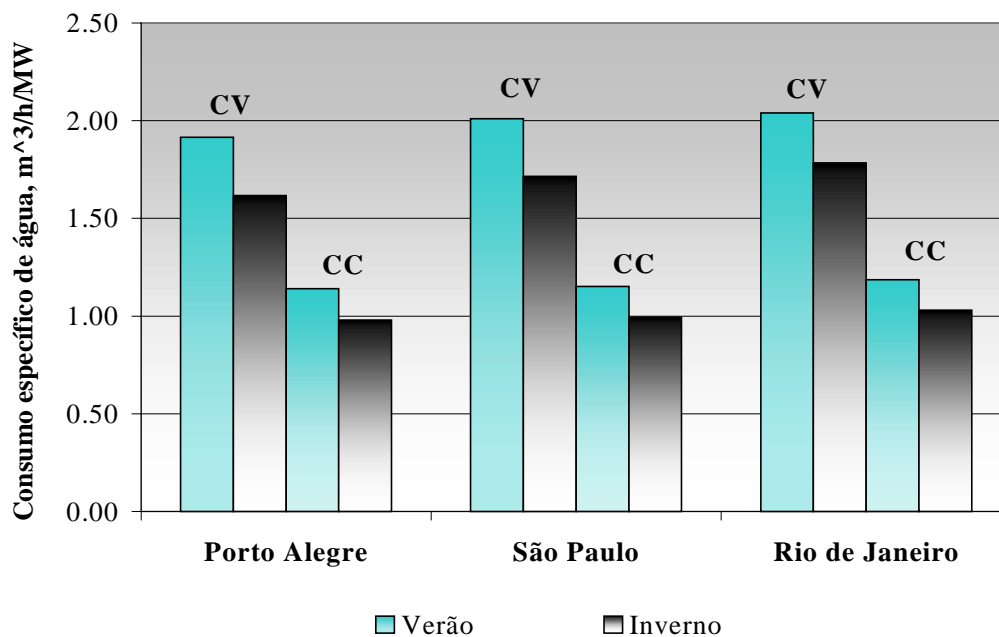


Figura 5.70: Consumo específico de água para ambas as centrais utilizando torre úmida com tiragem natural.

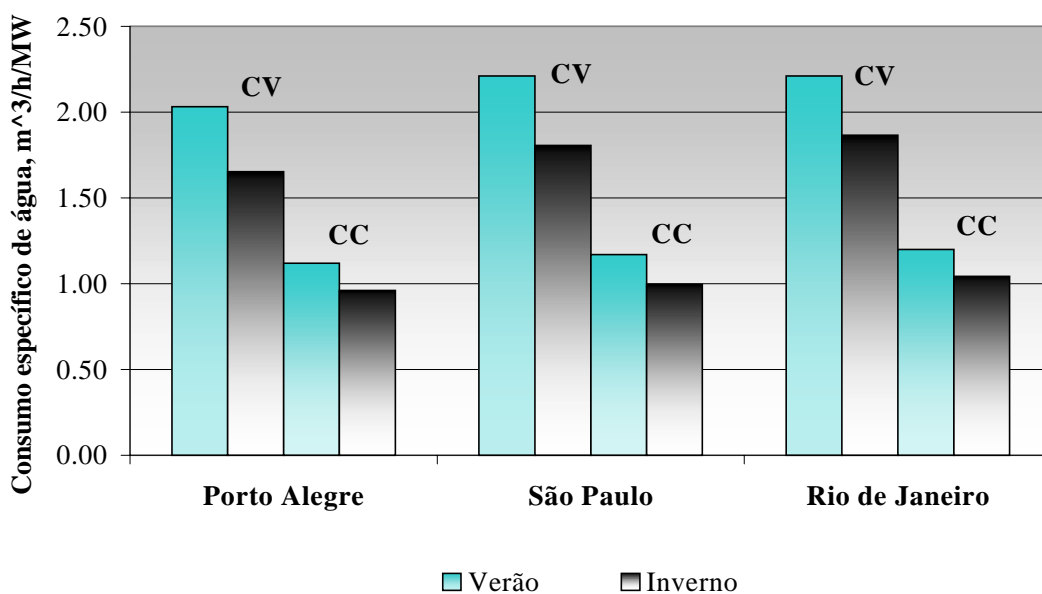


Figura 5.71: Consumo específico de água para ambas as centrais utilizando torre úmida com acionamento mecânico.

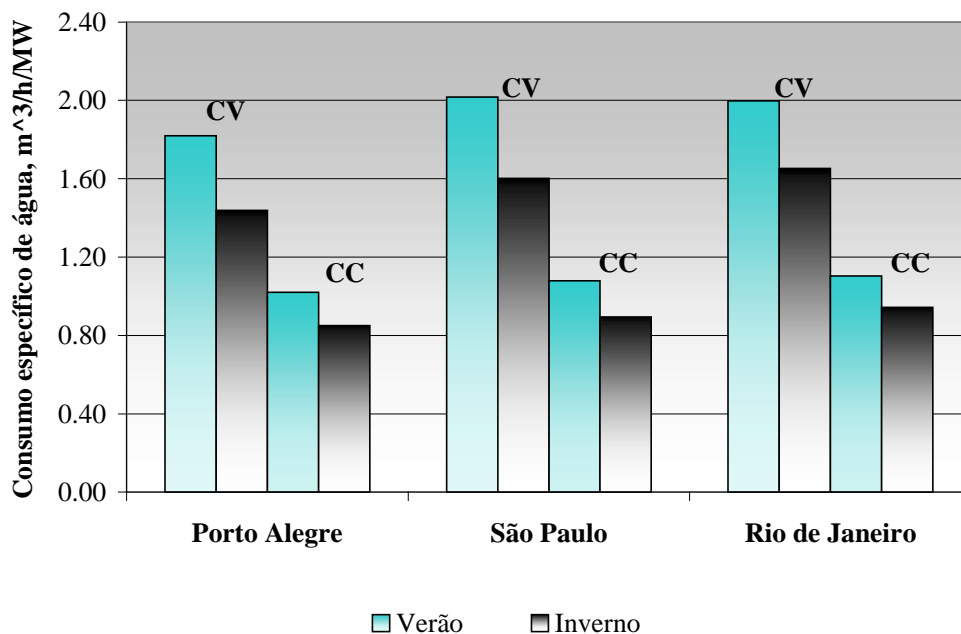


Figura 5.72: Consumo específico de água para ambas as centrais utilizando torre mista com acionamento mecânico.

Tendo em vista que as torres secas não apresentam consumo de água, analisaremos as torres restantes. A figura 5.70, apresenta o desempenho das torres úmidas com tiragem natural. Nota-se que para a região mais quente, ou seja o Rio de Janeiro, ambas as centrais consomem maiores quantidades de água, sendo a central de ciclo a vapor a que consome maior quantidade de água. Analisando a torre úmida com acionamento mecânico para as diferentes regiões no período de inverno e verão, vemos na figura 5.71, que o consumo específico de água para a central a vapor é semelhante nas regiões de São Paulo e Rio de Janeiro tanto para a época quente quanto para o inverno, consumindo mais água do que a central de ciclo combinado. Considerando a central de ciclo combinado, observamos que a região do Rio de Janeiro tem um maior consumo específico de água, principalmente na época do verão. As torres úmidas com acionamento mecânico apresentam maior consumo de água do que a torre úmida com tiragem natural, devido a perdas através dos ventiladores. As torres mistas com acionamento mecânico apresentam consumo específico de água, figuras 5.72, menor do que as torres úmidas para todas as regiões analisadas. Para ambos os ciclos a região de Porto Alegre é a que consome menor quantidade de água.

## 5.8 Considerações Finais

Foram escolhidas estas três regiões por serem grandes centros urbanos, próximos a gasodutos, no caso de centrais de ciclo combinado, próximo ao consumidor final e por estarem incluídos no PPT (Programa Prioritário de Termelétricidade).

Não foram apresentados dados de torres com sistema aberto, porque o programa de simulações não apresenta este tipo de sistema de resfriamento.

Através deste estudo, vimos como é importante a analisar as variações climáticas da região onde se deseja instalar uma torre de resfriamento. Vimos que altas temperaturas ambientes e umidades relativas do ar podem afetar o desempenho da torre e comprometer toda a eficiência de uma central termelétrica. As CTE de ciclo combinado caracterizam-se por consumos específicos de água em média 46% menores que as CTE de ciclo a vapor para o caso de utilização de torre úmida. A utilização de uma torre seca permite eliminar o consumo de água de resfriamento, porém provoca uma queda na eficiência na faixa de 0.09 - 0.3%. Nas regiões quentes, como o estado do Rio de Janeiro, a queda é ainda mais acentuada chegando a atingir 0.67% para as CTE de ciclo combinado. O consumo específico de água de resfriamento varia nos seguintes limites:

- Ciclo a vapor: 1.44 – 2.21 (m<sup>3</sup>/h/MW)
- Ciclo combinado: 0.85 – 1.20 ((m<sup>3</sup>/h/MW)

A temperatura do bulbo úmido é um fator de grande influência sobre o desempenho das UTE's afetando mais, aquelas de ciclo combinado.

E, concluiu-se também que nas épocas mais frias, o inverno, os desempenhos de todos os tipos de torres foram melhores, em todas as regiões.

## **6. CONCLUSÕES**

O crescente desenvolvimento dos últimos anos e a crise ambiental, despertou a consciência do homem para a conservação do ambiente em que vivemos. Não se pode parar o progresso, mas deve-se minimizar ao máximo a destruição causada por este crescimento. Há necessidade de se prevenir contra poluição e seus efeitos mais duradouros, estimulando o uso de tecnologias que previnam ou removam a produção de resíduos.

Os principais objetivos deste trabalho foram atingidos, sendo eles: Identificar os diferentes métodos de controle de poluentes disponíveis para reduzir emissões nas centrais termelétricas, analisar as emissões típicas de diferentes tecnologias de termogeração comparando-as com os padrões de emissões vigentes no Brasil e em outros países, também com as emissões veiculares percapita e de refinarias de petróleo com relação às tecnologias de geração empregadas no programa brasileiro de termelétricidade. Avaliou-se o impacto ambiental de emissões de poluentes através da Eficiência Ecológica. E foi avaliado o impacto das condicionantes ambientais, tais como a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar sobre o desempenho das torres de resfriamento em centrais térmicas de ciclo combinado e de ciclo a vapor.

Dentre os impactos ambientais de maior relevância, no processo de operação de uma usina termelétrica, as emissões de poluentes são as que merecem maiores atenções. Vimos que o uso de métodos de controle de poluentes diminui consideravelmente o impacto ambiental, e atingem os padrões internacionais vigentes. Quando se trata de Brasil, podemos concluir que a Legislação ambiental brasileira é muito fraca (conservadora) para emissões de poluentes atmosféricos, sendo que não possuímos normas para a emissão de  $\text{NO}_x$ . As CTE's previstas no PPT constituem uma fonte considerável de poluentes gasosos, porém de um impacto muito menor que os transportes automotivos e as refinarias de petróleo, atividades poluidoras tomados como referência.

Este novo parâmetro chamado de eficiência ecológica oferece uma visão diferente das emissões, considerando a combustão de 1 kg de combustível. Através deste parâmetro podemos tirar conclusões importantes, quanto ao uso de tecnologias eficientes e combustíveis limpos. Dentre outras considerações, podemos dizer que a utilização de tecnologias ultra-avançadas operando com gás natural possui as melhores eficiências, do ponto de vista ambiental, causando o menor impacto ambiental. Quando se usa a biomassa de forma sustentável para a geração de eletricidade ou cogeração, tendo esta, emissões líquidas de  $\text{CO}_2$  quase nulas, pode-se alcançar altas eficiências ecológicas se utilizarmos tecnologias avançadas e equipamentos de controle de poluentes com alta eficiência de remoção. A utilização de métodos de remoção de poluentes gasosos permitem

incrementar consideravelmente a eficiência ecológica. As centrais termelétricas em ciclo a vapor que utilizam carvão mineral sem tecnologias de controle não atingem o valor crítico de eficiência ecológica. No Brasil as CTE a carvão só utilizam como tecnologias de controle precipitadores eletrostáticos, e as emissões de  $SO_x$  e  $NO_x$  não são submetidos a nenhum tipo de controle. Para este uso o valor da eficiência ecológica seria de 0.707. O uso do bagaço de cana para a cogeração em instalações de ciclo a vapor e altos parâmetros (8,0 MPa) e instalações BIG/GT se caracteriza por valores da eficiência ecológica de 0.974 e 0.991, respectivamente, considerando só a geração de eletricidade. Se considerarmos eficiências do sistema em cogeração (33 e 70%, respectivamente) estes passam para 0.980 e 0.996, respectivamente, evidenciando as vantagens desta tecnologia. A cogeração pode ter uma contribuição considerável no acréscimo da eficiência energética em instalações de geração termelétrica.

Através do software Thermoflex pode se avaliar como minimizar as perdas nas UTE's, analisando o desempenho das torres de resfriamento em função das condicionantes ambientais, simulando diferentes regiões do país. Pode-se concluir que em regiões com temperaturas mais amenas e menor umidade relativa do ar, essas torres de resfriamento conseguem atingir melhores eficiências. As CTE de ciclo combinado caracterizam-se por consumos específicos de água em média 46% menores que as CTE de ciclo a vapor para o caso de utilização de torre úmida. A utilização de uma torre seca permite eliminar o consumo de água de resfriamento, porém provoca uma queda na eficiência na faixa de 0.09 - 0.3%, ainda assim constituem uma opção para as regiões com escassez de água. Nas regiões quentes, como o estado do Rio de Janeiro, a queda é ainda mais acentuada chegando a atingir 0.67% para as CTE de ciclo combinado. O consumo específico de água de resfriamento varia nos seguintes limites:

- Ciclo a vapor: 1.44 – 2.21 ( $m^3/h/MW$ )
- Ciclo combinado: 0.85 – 1.20 ( $m^3/h/MW$ )

A temperatura do bulbo úmido é um fator de grande influência sobre o desempenho das UTE's afetando mais, aquelas de ciclo combinado.

Contudo, espera-se este trabalho possa contribuir para estudos futuros visando avaliar influências das condicionantes ambientais na geração termelétrica e potenciais impactos causados pelo uso de diferentes tecnologias.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional do Petróleo – [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)
- ALVIM, C.F., 2000, “Frota e consumo de veículos leves no Brasil”, Revista Economia e Energia, número 21, <http://ecen.com>
- ANFAVEA, Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2000.
- Apostila do Curso de Cogeração e Geração Distribuída –Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria, Junho de 2001.
- B and W. Babcock and Wilcox Corporation, “Steam its Generations and Uses; 40<sup>th</sup> Edition, Editor Steven C. Stultz and John B. Kitto, Babcock and Wilcox Corporation, Barbenton, Ohio, USA, 1992.
- BARROS, R. P., FERREIRA, S. S., 1992, “Um Modelo econométrico para Demanda de Gasolina pelos Automóveis de Passeio”, IPEA, 135 pág.
- BEENACKERS, A.A C.M., MANIATIS, K., “Gasification Technologies for heat and power from biomass”, Biomass for Energy and the Environment – Proceedings of the 9<sup>th</sup> European Bioenergy Conference, Vol. 1, Pergamon Press, pp 228 – 259, 1996.
- BELO, L., 2000, “Para onde vai o refino?”, Revista Brasileira de Tecnologia e Negócios de Petróleo, Petroquímica, Química fina, Gás e Indústria do Plástico, Ano III, Nº 11.
- BLUESTEIN, J., 2001, “Environmental Benefits of Distributed Generation”, Energy and Environmental Analysis, Inc.
- CARDU, M., BAICA, M., “Regarding a global methodology to estimate the energy-ecologic efficiency of thermopower plants”, Energy Conversion and management 1999; 40(1): 71-87.
- CARDU, M., BAICA, M., “Regarding a new variant methodology to estimate globally the ecologic impact of thermopower plants. Energy Conversion and Management 1999; 40(14); 1569-60.
- CARDU, M., BAICA, M., “Regarding the energy ecologic efficiency of desulphurization and denox systems and installations in thermopower plants”. Energy Conversion and Management 2000; 41(11): 1155-64.
- Catálogo da Hamon – Sistemas de Resfriamentos - <http://www.hamon.com/>
- CEDIGÁS – [cedigas.com](http://cedigas.com)
- CHALFINV, J., SHORR, M., 1999, “Gas turbine emissions approaching zero NO<sub>x</sub> –is it worth the price?”, APC – American Power Conference, 483-490 pp.
- COELHO, S.T., PALLETA, c.E.M., FEITAS, M.V., “Medidas Mitigadoras para a redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa na geração Termelétrica”, Brasília DF: Aneel 2000.

- COOPER, C. D., ALLEY, F. C., 1986, “Air Pollution Control A Design Approach”, Waveland Press, Inc. Illinois, EUA.
- CORTEZ, L.A B., LORA, E. S., 1997, “Tecnologia de Conversão Energética da Biomassa”, Sistemas Energéticos II, EDUA/EFEI, Manaus, 540p.
- DECRETO N° 3.371, DE 24 DE FEVEREIRO DE 2000, Institui, no âmbito do Ministério de Minas e Energia, o Programa Prioritário de Termelétricidade, e dá outras providências;
- EFEI ENERGY NEWS – Dossiê semanal de notícias em energia <http://www.energynews.efei.br/>
- ELETROBRÁS, “Estimativa do Potencial de Cogeração no Brasil”, Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), 1999.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1995, “Compilation of Air Pollutant Emissions Factors”, AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources.
- Figuras dos sistemas de resfriamento CD da Carioba II.
- GARCIA R., 2002, Combustíveis e Combustão Industrial, Editora Interciência, Rio de Janeiro.
- GERASUL, 2000, “Ensaio em Carvão”, (comunicação pessoal).
- HANNA, S. R., PELL, J., “Cooling Tower Environment – 1974”, Proceedings of symposium held at the University of Maryland Adult Education Center March 4 –6, 1974, Ed. ERDA – Symposium Series, 1975, USA.
- HE, B., CHEN, C., “Energy ecologic efficiency of coal fired plant in China”, Energy and Management 2002; 43(14) 2553-67.
- <http://www.aneel.gov.br/> (2003)
- <http://www.mme.gov.br/> (2002)
- <http://www.analisefiniceira.com.br> (2003)
- <http://www.power.inf.br> (Power – Petróleo, Eletricidade e Energias Alternativas) (2003)
- <http://www.wwf.org.br> (2003)
- <http://www.infoenergia.com.br> (2003)
- <http://www.udop.com.br/energia> (2003)
- <http://www.power.alstom.com> (2003)
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) (2002)
- IBGE, 1987, “Estatísticas Históricas do Brasil”, Volume 3.
- IENO, G. O., “Viabilidade Técnica e Econômica da Conversão da usina Termoelétrica de Piratininga em Ciclo Combinado”, IEE – USP São Paulo, 1993.
- JOHNSON, J.H., BAGLEY, S.T., GRATZ, L.D., LEDDY, D.G., 1994, “A review of diesel particulate control technology and emissions effects - 1992 Horning Memorial Award Lecture”, Journal of Engines, Section 3, pp.210 244, SAE paper N° 940233.

- KUCOWSKI, J., LAUDYN, D., PRZEKWAS, M., “Energetyka a Ochrona Srodowiska”, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, (in Polish), 1997.
- LI, W. K., PRIDDY, A. P.; “Power Plant System Design”, Editora Wiley, cap. 8 e 12, 1985, USA.
- LISS, E. W., “Natural Gas Power Systems For The Distributed Generation Market”, Power-Gen International '99 Conference, New Orleans, Louisiana, 1999;
- LORA, E. S., 2001, “Controlling Air Quality in the Cane Sugar Industry”, Bartens KG, Berlin, 2001.
- LORA, E. S., 2002, “Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte”, Editora Interciência, Rio de Janeiro.
- Manual do Software THERMOFLEX e apostila do curso de turbinas a gás e ciclos combinados da FUPAI.
- MARTINS, G. A., PINTO, R. L., “Manual para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos”, São Paulo, Ed. Atlas, 2001. 95 p.
- MAULBETSCH, J.,S.,2002, “Wet and Dry Cooling-Cost/Performance Tradeoffs”, AWMA symposium on dry cooling for power plants, Maio, USA.
- Mecânica de Automóveis – on line - <http://intermega.globo.com/mecanicadeauto/motor.html>
- MME – PETROBRÁS, [www.conpet.gov.br](http://www.conpet.gov.br)
- NEIVA, J, 1987, “Fontes Alternativas de Energia”, Edição de Maiity Comunicação e Editora Ltda, São Paulo.
- NOGUEIRA, L. A H., LORA, E.S., TROSSERO,M.A, FRISK,T.,2000, “Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações”, ANEEL, Brasília, DF, 144 páginas.
- Onsite Sycom – Energy Corporation – “Cost Analysis of Control Alternatives for Stationary Gas Turbine. USA, 1999.
- PAVRI, R., MOORE, G.D., Gas turbine emissions and control, Artigo GE power systems, GER-4211.
- PERA, H., 1990, “ Geradores de Vapor: um compêndio sobre a conversão de energia com vistas à preservação da ecologia” Editora Fama, São Paulo.
- PESTELLI, A., 1997, “Normas de emissão de particulados em caldeiras que queimam bagaço de cana”, CETESB.
- PETROBRÁS – [www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br)
- PORTARIA Nº 43, DE 25 DE FEVEREIRO DE 2000 do Ministério de Minas e Energia, que define as usinas termelétricas integrantes do Programa Prioritário, de acordo com os critérios de enquadramento estabelecidos pelo CAET (Comitê de Acompanhamento da Expansão Termelétrica).

RABOU, L.P.L.M., JANSEN, D., 2001, “De-centralized power production using low-calorific value gas from renewable energy resources in gas turbines”, ECN - Biomass, June.

REDENERGIA – o Portal Brasileiro da Energia – [www.redenergia.com.br](http://www.redenergia.com.br)

RESOLUÇÃO CONAMA N°008 de 06 de Dezembro de 1990, Brazil, 1990.

SETTI, A.A., “Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos”, ANEEL/ANA, Brasília, DF, 2000, 329p.

SILVA, D.D., PRUSKI, F.F., “Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais”, MMA/UFV/ABRH, Brasília, DF, 2000, 659p.

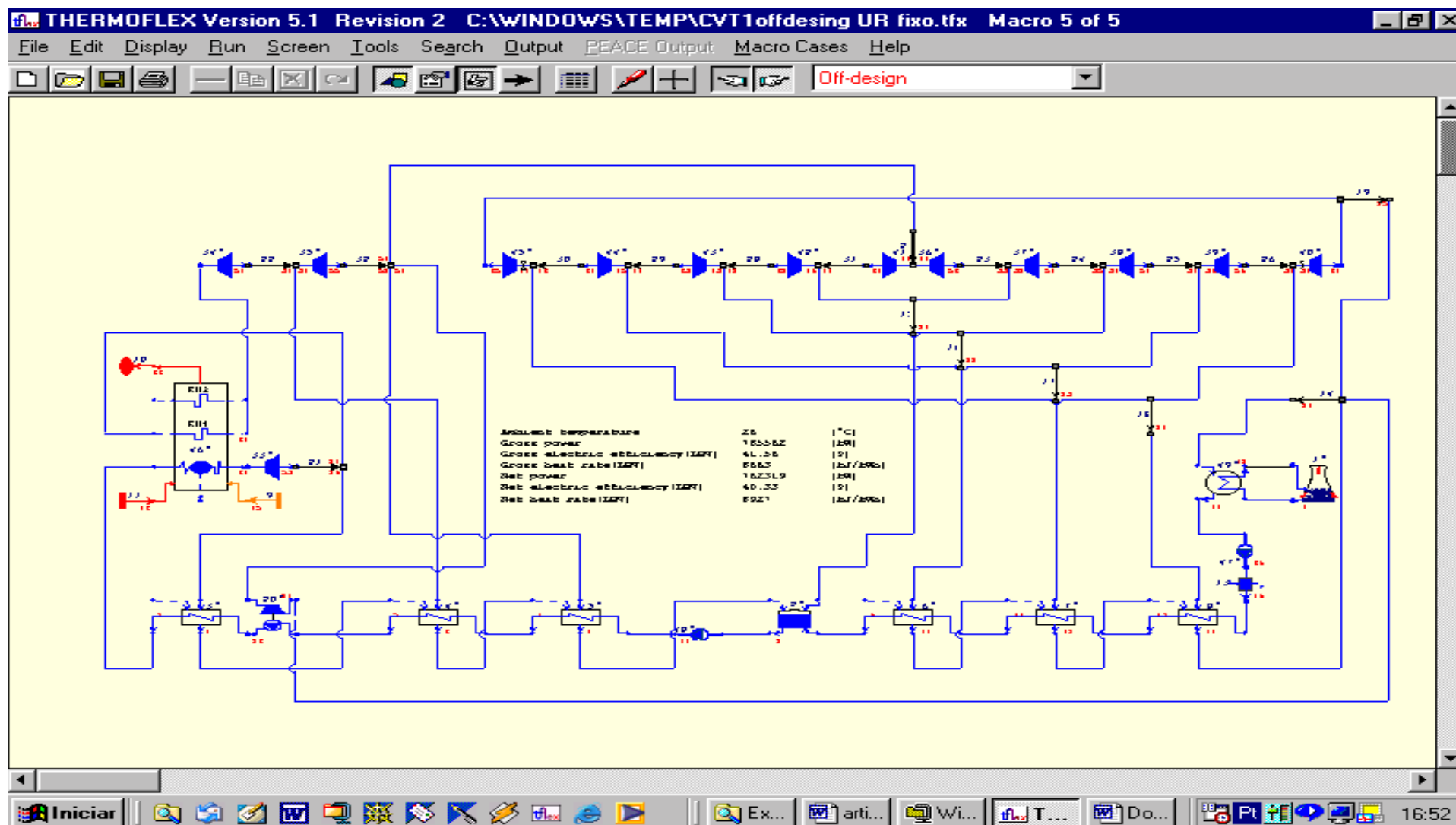
SYDKRAFF, 2001, Värnamo - Demonstration Plant.

VENTURINI, O. J.; “Levantamento Experimental e Simulação de um sistema de Ar condicionado com Acumulação de Gelo”, Dissertação de Mestrado, cap. 5, UNIFEI, Itajubá, MG, 1996, Brasil.

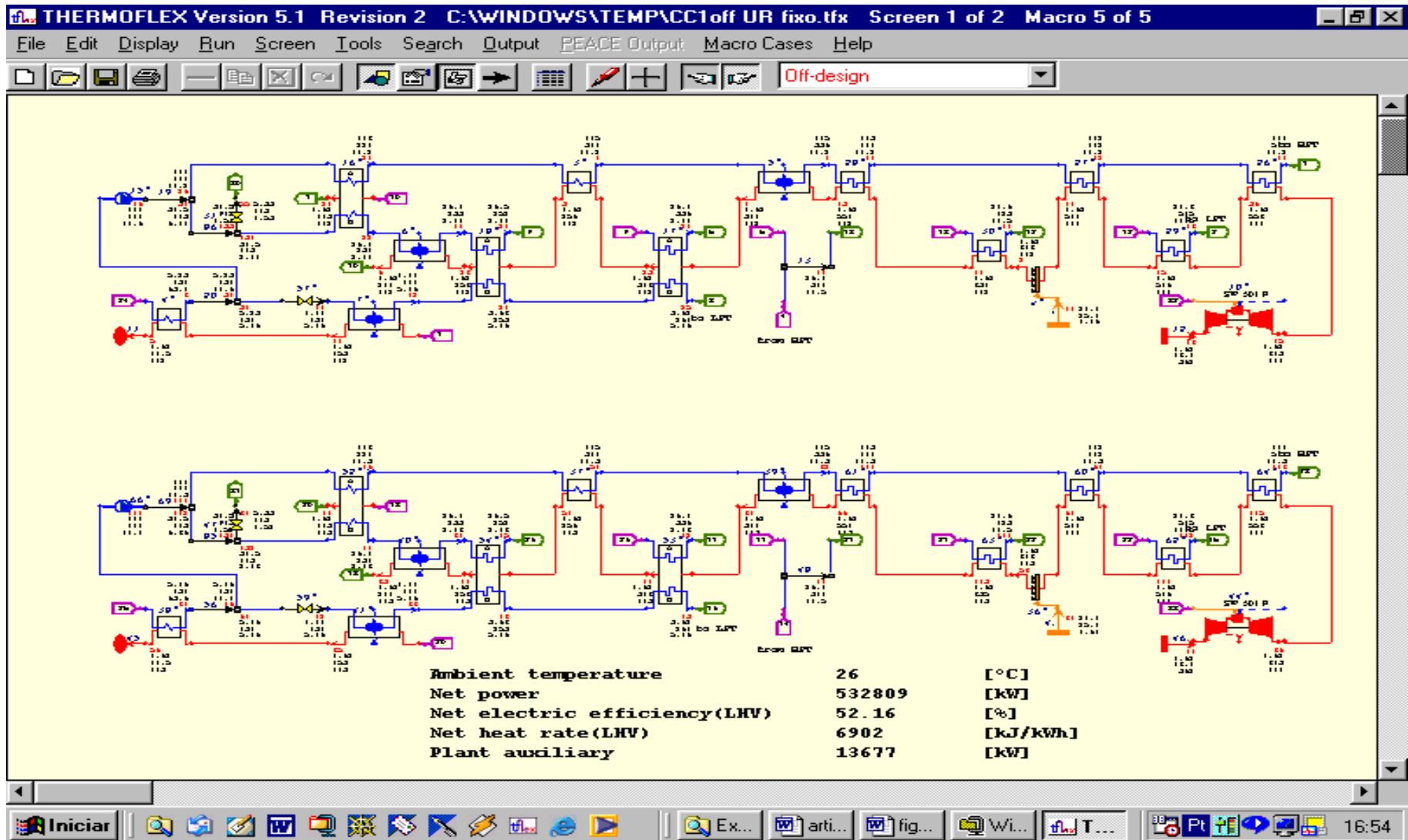
## **APÊNDICE 1**

### **CENTRAIS TERMELÉTRICAS SIMULADAS NO SOFTWARE THERMOFLEX**

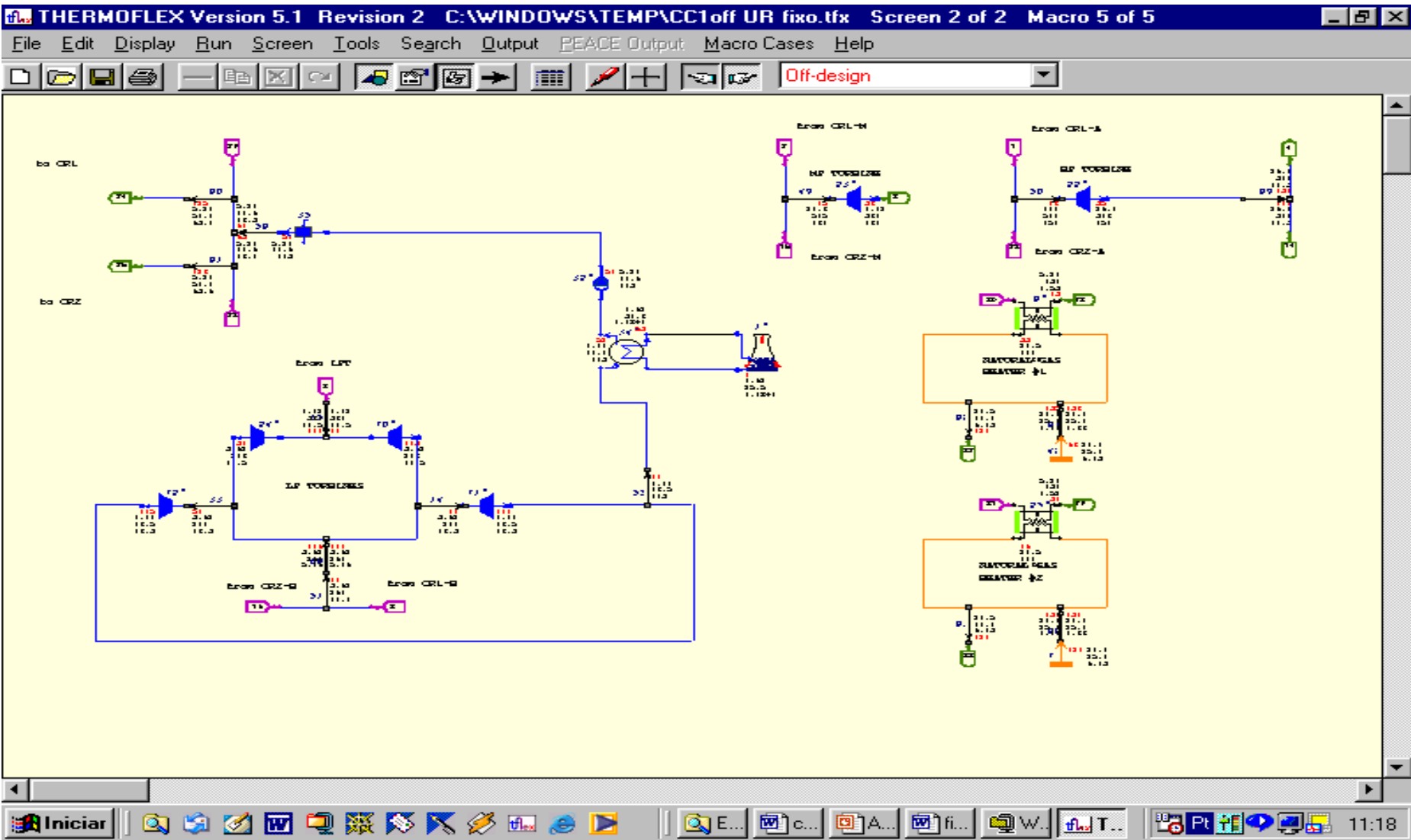
## CENTRAL DE CICLO A VAPOR



# CENTRAL DE CICLO COMBINADO



AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA





## **APÊNDICE 2**

### **DADOS METEOROLOGICOS DAS TRÊS CIDADES EM ESTUDO**

**São Paulo**

Latitude 23° 37'  
 Longitude 46° 39'  
 Altitude 802 m  
 Período 1995 - 2001  
 Fonte INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

**Temperatura Máxima °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	29.5	29	27.5	30.5	30.6	28	30.2
<b>FEV</b>	27.5	28.5	29.3	29.5	30.9	27	30
<b>MAR</b>	27	27.3	27.5	28.5	30	26.5	30
<b>ABR</b>	26	26	25.5	26.5	27.5	26.2	28.5
<b>MAI</b>	23	22.5	23	22.5	24	23	23
<b>JUN</b>	22.5	22	21	21.5	23.5	24.5	23
<b>JUL</b>	24.00	20.5	23.8	22.5	24.5	21.5	23.5
<b>AGO</b>	27	23.4	25	26.5	26	23.5	25.6
<b>SET</b>	25	23	25.5	25.3	25	24	24
<b>OUT</b>	24.5	25.6	26	25.3	23.5	28.8	26.8
<b>NOV</b>	26.5	25.8	28	27.5	24.7	27	27.5
<b>DEZ</b>	27	28.5	29.5	30	28	28.3	26.8
<b>Médias</b>	<b>25.8</b>	<b>25.2</b>	<b>26.0</b>	<b>26.3</b>	<b>26.5</b>	<b>25.7</b>	<b>26.6</b>

**Temperatura Mínima °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	20.2	20.2	19.3	20.5	19.9	19.2	20
<b>FEV</b>	20	19.6	19.3	20.2	19.7	19.4	20.2
<b>MAR</b>	18.5	19.3	17.6	19.5	19.3	18.5	19.5
<b>ABR</b>	17	17.8	16	17.8	16.2	16.8	18.9
<b>MAI</b>	14.9	14.5	14.5	13.7	12.8	13.9	15
<b>JUN</b>	13	13.5	12.5	12.2	12.5	13.7	13.8
<b>JUL</b>	14.5	11.2	13.5	13	12.8	11	12.9
<b>AGO</b>	14.9	12	13	15	11.5	12.3	14
<b>SET</b>	14.5	14.2	15.8	15.2	14.5	14.5	14.8
<b>OUT</b>	15.7	16.5	16.5	15.5	14.2	17.7	16
<b>NOV</b>	17	16.8	18.5	15.9	14.8	18	18
<b>DEZ</b>	18	19.2	19.3	18.5	18.5	18.5	18.5
<b>Médias</b>	<b>16.5</b>	<b>16.2</b>	<b>16.3</b>	<b>16.4</b>	<b>15.6</b>	<b>16.1</b>	<b>16.8</b>

continuação dos dados de São Paulo

**Temperatura Média °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	24	23.8	22.3	24.7	23.8	22.5	24
<b>FEV</b>	23	23.5	23.3	24	23.8	22.3	24.3
<b>MAR</b>	22.3	22.4	21.5	23.3	23.3	21.8	23.8
<b>ABR</b>	20.5	21.2	20.2	21.4	20.5	20.5	22.5
<b>MAI</b>	18.2	17.8	17.8	17.8	17.5	18	18.5
<b>JUN</b>	17.3	16.8	16.5	16.2	16.8	18.3	17.5
<b>JUL</b>	18.5	15	18.2	17	17.5	15.5	17.3
<b>AGO</b>	20.2	16.6	18.4	19.5	17.3	17	18.8
<b>SET</b>	18.7	18	19.9	19	19	18.3	18.6
<b>OUT</b>	18.9	20.2	20.5	19.2	18	20	20.3
<b>NOV</b>	21	20.5	22.2	20.5	19.2	19.5	21.7
<b>DEZ</b>	22	23	25.8	23	22.3	20.5	21.8
<b>Médias</b>	20.4	19.9	20.6	20.5	19.9	19.5	20.8

**Umidade Relativa %**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	78	75	80	69	79	76	71
<b>FEV</b>	82.5	79	73.5	77	77	79	76
<b>MAR</b>	79	82	73.5	75	74	78	73
<b>ABR</b>	76	75	71	73	72	69	68
<b>MAI</b>	79	78	75	73	69	68	74
<b>JUN</b>	72.5	75	75	72	77	66	74
<b>JUL</b>	83.5	75	67	72	73	67	70
<b>AGO</b>	71	72	64	72	65	68	67
<b>SET</b>	74	77	68	77	68	75	73
<b>OUT</b>	77.5	74	73.5	79	76		70
<b>NOV</b>	73	75	75.5	73	69	74	74
<b>DEZ</b>	75	76	69	74	71	74	76
<b>Médias</b>	76.8	76.1	72.1	73.8	72.5	72.2	72.2

**Porto Alegre**

Latitude 30° 00'

Longitude 51° 11'

Altitude 4 m

Período 1995 - 2001

Fonte INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

**Temperatura Máxima °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	31	30	32		30.5	30.5	31
<b>FEV</b>	29.5	29.5	29.5	28.2	29.5	29.5	31
<b>MAR</b>	29	29	28.5	27.3	31.5	27.5	30.5
<b>ABR</b>	26	27	26.5	24.2	23.5	26	26.5
<b>MAI</b>	22.5	23	23	12.2	21	21.5	21.5
<b>JUN</b>	21	18	19	19.5	18.5	21	22
<b>JUL</b>	22.50	17	20.5	20.5	18	17.5	21.5
<b>AGO</b>	22.5	23	23	19.5	21.5	20.5	25
<b>SET</b>	23	22	22.5	21.2	22.5	22	23
<b>OUT</b>	24.5	25.5	23	25.2	23	24	26.5
<b>NOV</b>	29	29	26.5	28.2	26.5	27	27
<b>DEZ</b>	30.5	30	29	28.9	29	29.5	29
<b>Médias</b>	<b>25.9</b>	<b>25.3</b>	<b>25.3</b>	<b>23.2</b>	<b>24.6</b>	<b>24.7</b>	<b>26.2</b>

**Temperatura Mínima °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	21.5	21	22	20.5	20.5	20.5	22
<b>FEV</b>	20	21	21	21	20	20	23
<b>MAR</b>	8.5	19.5	18	18.5	21	18.5	22
<b>ABR</b>	15.5	16.5	16	17.5	16	17	18
<b>MAI</b>	12.5	13.5	13.5	13	12.5	13.5	13.5
<b>JUN</b>	10.5	9	10.5	11	10.5	13	13
<b>JUL</b>	13	7	11.5	12.5	11.5	7	11.5
<b>AGO</b>	12	11	13.5	13	11	9	14.5
<b>SET</b>	12.5	12.5	14	12.8	13.5	12.5	14
<b>OUT</b>	14	16	16	15.5	14.5	16	17
<b>NOV</b>	18	18.5	18	16.5	16	16.5	17
<b>DEZ</b>	19	20.0	20.5	18	19	19	18
<b>Médias</b>	<b>14.8</b>	<b>15.5</b>	<b>16.2</b>	<b>15.8</b>	<b>15.5</b>	<b>15.2</b>	<b>17.0</b>

continuação dos dados de Porto Alegre.

**Temperatura Média °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	25.5	25.5	24	24	24	24.5	25
<b>FEV</b>	23.5	24	23.5	23.5	23.5	24	26
<b>MAR</b>	23	22.5	22	22	25	23.5	25
<b>ABR</b>	19.5	19	19	20	18.5	21	21.5
<b>MAI</b>	16.5	16.5	16.5	16.5	16	17	16.5
<b>JUN</b>	14	14	14	14	13.5	16.5	16
<b>JUL</b>	16	15	15.5	15	14	11.5	15
<b>AGO</b>	15.5	16.5	16	15.5	15.5	14	19
<b>SET</b>	17	17	16.5	16	17	16.5	18
<b>OUT</b>	18.5	19	19	19	18	19.5	21.5
<b>NOV</b>	22.5	21.5	21.5	21.5	20.5	21	22.5
<b>DEZ</b>	24	24	23	23	23	23.5	23
<b>Médias</b>	<b>19.6</b>	<b>19.5</b>	<b>19.2</b>	<b>19.2</b>	<b>19.0</b>	<b>19.4</b>	<b>20.8</b>

**Umidade Relativa %**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	77	78	72	79	73	73	75
<b>FEV</b>	76	78	80	82.5	76.5	75	78
<b>MAR</b>	75.5	77	72	77	73	78	78
<b>ABR</b>	75.5	78	73	81	80	80	83
<b>MAI</b>	82	80	78	85	78	81	82
<b>JUN</b>	83	81	80	84	84	82	83
<b>JUL</b>	84	79	82	86	83	77	80
<b>AGO</b>	88	80	80	85	75	74	77
<b>SET</b>	77	76	76	80	75.5	75	78
<b>OUT</b>	72	77	82	95	75	78	73.5
<b>NOV</b>	72	74	78	67	68.5	72	73
<b>DEZ</b>	68	75	72	71	72	72	74
<b>Médias</b>	<b>78</b>	<b>78</b>	<b>77</b>	<b>81</b>	<b>76</b>	<b>76</b>	<b>78</b>

**Rio de Janeiro**

Latitude 22° 50'

Longitude 43° 15'

Altitude 5 m

Período 1995 -2001

Fonte INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

**Temperatura Máxima °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	35		31.5	34	33.5		32.7
<b>FEV</b>	33.5		32.4	35		30.5	34.9
<b>MAR</b>	23	33.8	30.1	34	32.5		34.5
<b>ABR</b>		30.9	30.5	31	30	30.4	32.5
<b>MAI</b>	28.5	28.2		29	28	27.9	29
<b>JUN</b>	29	27.9	29.3	27	26.8	28.4	28.5
<b>JUL</b>	29.5	25.9	28.9	4	26.2	26.4	28
<b>AGO</b>	30.5	26.3	29.4	29	27	27.8	27.8
<b>SET</b>	29.5	26.5	29.4	29	28.5	26.4	27.2
<b>OUT</b>	28.5	28.9	28.9	28	26.5	30	27.7
<b>NOV</b>	29.5		31.4	28.5	27	29.4	29
<b>DEZ</b>	30.5	31.8		31	30		30.7
<b>Médias</b>	29.7	28.9	30.2	28.3	28.7	28.3	30.2

**Temperatura Mínima °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	23.9		23.5	24	24	23.2	23.3
<b>FEV</b>	24	25	23.8	24		23.5	24.5
<b>MAR</b>	21.2	24.5	22.3	23.5	23	23.2	23.5
<b>ABR</b>		22	21.8	23	22.4	22	22.5
<b>MAI</b>	20.2	19.5		20	18.5	19.5	19.8
<b>JUN</b>	17.8	18.3	17.2	17	18	18.2	19.5
<b>JUL</b>	19.3	17.5	17.8	3	18.5	17.5	18.2
<b>AGO</b>	19.5	17.9	18	20.5	13.5	18.2	19
<b>SET</b>	19.9	18.9	20.2	20	19	19	19.5
<b>OUT</b>	20.8	20.5	21.2	21	16.5	21.5	20.5
<b>NOV</b>	21.3		23.5	21.5	20.5	22	22.5
<b>DEZ</b>	22.4	23.5		23	22.5	23	23
<b>Médias</b>	20.9	20.8	20.9	20.0	19.7	20.9	21.3

Continuação dos dados do Rio de Janeiro

**Temperatura Média °C**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	28		26.5	28	27.5	26.5	27
<b>FEV</b>	27.5	28.8	27.2	28.5		26.3	28.2
<b>MAR</b>	33.5	27.8	25.5	27.5	26.8	26.5	27.5
<b>ABR</b>		25.7	25	27	25	25.2	26.5
<b>MAI</b>	23.5	23		23	22.7	22.8	23.5
<b>JUN</b>	22.5	22	22	20.5	21.8	22	23
<b>JUL</b>	23.5	20.9	22	4	21.5	21	22.5
<b>AGO</b>	24	21.2	22.5	23	20.8	21.8	22.8
<b>SET</b>	23.8	21.9	23.5	24.5	22.9	22	22.5
<b>OUT</b>	24	23.9	24.2	24	22	25	23.5
<b>NOV</b>	25		26.5	24	22.9	25	24.9
<b>DEZ</b>	26	26.5		27	25.5	26.3	25.9
<b>Médias</b>	25.6	24.2	24.5	23.4	23.6	24.2	24.8

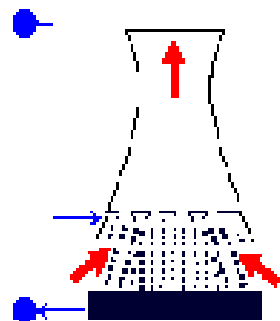
**Umidade Relativa %**

<b>Ano</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Mês</b>							
<b>JAN</b>	78		78	78	75	78	75
<b>FEV</b>	74	70	74	78		78	73
<b>MAR</b>	80	76	80	77	79	78	75
<b>ABR</b>	77	77	77	79	78	78	76
<b>MAI</b>		79		80	76	75	79
<b>JUN</b>	75	78	75	79	83	74	81
<b>JUL</b>	75	77	75		81	76	78
<b>AGO</b>	73	74	73	81	76	76	77
<b>SET</b>	78	81	78	79	75	81	77
<b>OUT</b>	78	77	78	82	76	76	79
<b>NOV</b>	80		80	82	82	81	83
<b>DEZ</b>		78		78	82	78	79
<b>Médias</b>	76.8	76.7	76.8	79.4	78.5	77.4	77.7

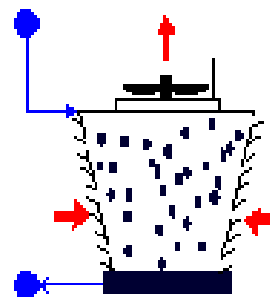
## **APÊNDICE 3**

### **TIPOS DE TORRES DE RESFRIAMENTO AVALIADAS NESTE TRABALHO**

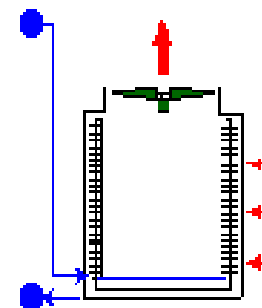




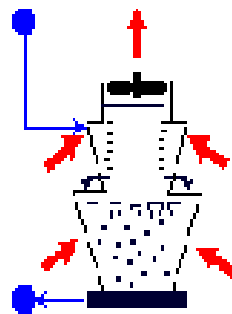
Torre úmida com tiragem natural



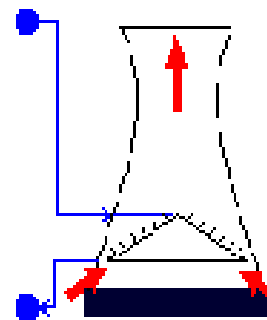
Torre úmida com acionamento mecânico



Torre seca com acionamento mecânico



Torre mista com acionamento mecânico



Torre seca com tiragem natural

**APÊNDICE 4**

**RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES**

**CICLO A VAPOR**

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Porto Alegre**

Latitude 30° 00'  
 Logitude 51° 11'  
 Altitude 4 m  
 Período 1995 - 2001

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT1offdesing.tfx 05/09/02 15:32:44  
 Macro Outputs

**Torre úmida com tiragem natural**

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	802691	798601	794498	790366	786206
Potência Bruta	[MW]	802.691	798.601	794.498	790.366	786.206
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.46	42.25	42.03	41.81	41.59
Potência Líquida	[kW]	779941	775852	771750	767617	763454
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	41.26	41.04	40.83	40.61	40.39
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	43352	41755	40187	38650	37146
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	360.3	375.8	390.6	404.7	418.1
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	66.26	69.37	72.33	75.15	77.82
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.03323	0.03736	0.04195	0.04705	0.05271
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.43	15.6	17.76	19.93	22.1
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	1.62	1.69	1.77	1.84	1.91

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT1offdesing.tfx 06/09/02 13:31:58

Macro Outputs

**Variando somente a UR entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**  
**Temperaturas médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	798270	796670	795497	794308	793106
Potência Bruta	[MW]	798.270	796.670	795.497	794.308	793.106
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.23	42.14	42.08	42.02	41.95
Potência Líquida	[kW]	775510	773919	772752	771567	770371
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	41.02	40.94	40.88	40.82	40.75
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	38669	40009	41314	42600	43865
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	402.5	392	380.1	367.5	354.3
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	74.71	72.6	70.23	67.71	65.06
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.03772	0.03947	0.04079	0.04218	0.04361
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	15.61	16.49	17.33	18.15	18.95
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	1.82	1.77	1.72	1.67	1.61

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

Torre úmida com acionamento mecânico

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT2 offdesing.tfx 05/09/02 15:31:52

Macro Outputs

Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados

UR médias para esses anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	796717	792485	788186	783826	779384
Potência Bruta	[MW]	796.717	792.485	788.186	783.826	779.384
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.13	41.87	41.61	41.34	41.07
Potência Líquida	[kW]	763160	758877	754526	750113	745616
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.36	40.1	39.83	39.56	39.29
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	71177	71177	71177	71177	71177
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	366	385.1	403.8	422.2	440.1
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kg/s]	66.64	70.45	74.21	77.88	81.47
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.03989	0.0449	0.05055	0.05689	0.06402
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kW]	9474	9546	9620	9695	9773
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.43	15.6	17.76	19.93	22.1
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	1.65	1.75	1.84	1.94	2.03

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT2 offdesing.tfx 06/09/02 13:43:40

Macro Outputs

**Variando somente a UR entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**  
**Temperaturas médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	792452	790730	789052	787415	785817
Potência Bruta	[MW]	792.452	790.730	789.052	787.415	785.817
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.85	41.76	41.67	41.58	41.5
Potência Líquida	[kW]	758826	757094	755408	753761	752154
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.07	39.98	39.89	39.8	39.72
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	71177	71177	71177	71177	71177
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	438.6	411.9	385.9	360.6	335.8
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kg/s]	81.17	75.83	70.63	65.55	60.6
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04496	0.04714	0.04937	0.05163	0.05392
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kW]	9552	9578	9604	9628	9652
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	15.61	16.49	17.33	18.15	18.95
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	1.99	1.88	1.76	1.65	1.54

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT3 offdesing.tfx 05/09/02 15:43:48  
 Macro Outputs

**Torre Seca com acionamento mecânico**

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	793210	788287	783360	778433	773427
Potência Bruta	[MW]	793.210	788.287	783.360	778.433	773.427
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.95	41.65	41.35	41.06	40.76
Potência Líquida	[kW]	703046	697556	692053	686540	680937
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	37.18	36.86	36.53	36.21	35.88
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	509726	509726	509726	509726	509726
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04019	0.04609	0.05274	0.06021	0.06858
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kW]	67139	67734	68338	68952	69576
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.43	15.6	17.76	19.93	22.1
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT3 offdesing.tfx 06/09/02 13:47:44  
 Macro Outputs

**Variando somente a UR entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**  
**Temperaturas médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	785163	785162	785162	785163	785163
Potência Bruta	[MW]	785.163	785.162	785.162	785.163	785.163
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.46	41.46	41.46	41.46	41.46
Potência Líquida	[kW]	694131	694090	694050	694010	693969
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	36.66	36.65	36.65	36.65	36.65
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	509726	509726	509726	509726	509726
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.05023	0.05022	0.05022	0.05022	0.05022
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kW]	68053	68093	68134	68174	68214
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	15.61	16.49	17.33	18.15	18.95
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	0	0	0	0	0



AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT4 offdesing.tfx 05/09/02 15:48:44  
 Macro Outputs

**Torre mista com acionamento mecânico**

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	793429	789167	784840	780451	775982
Potência Bruta	[MW]	793.429	789.167	784.840	780.451	775.982
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.96	41.7	41.43	41.16	40.89
Potência Líquida	[kW]	754133	749770	745340	740846	736270
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39.88	39.62	39.35	39.07	38.8
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	115007	115007	115007	115007	115007
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	317.2	336.5	355.5	374.1	392.2
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kg/s]	56.88	60.75	64.55	68.27	71.88
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kW]	15248	15371	15496	15624	15754
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.03982	0.04484	0.0505	0.0573	0.06398
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.43	15.6	17.76	19.93	22.1
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	1.44	1.54	1.63	1.73	1.82

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT4 offdesing.tfx 06/09/02 13:51:58  
 Macro Outputs

**Variando somente a UR entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**  
**Temperaturas médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	789101	787392	785716	784079	782481
Potência Bruta	[MW]	789.101	787.392	785.716	784.079	782.481
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.67	41.58	41.49	41.41	41.32
Potência Líquida	[kW]	749664	747939	746248	744595	742981
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39.59	39.5	39.41	39.32	39.23
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	115007	115007	115007	115007	115007
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	397.1	366.1	335.7	305.8	276.5
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kg/s]	72.87	66.66	60.58	54.6	48.74
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kW]	15399	15431	15463	15495	15525
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04493	0.0471	0.04931	0.05155	0.0545
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	15.61	16.49	17.33	18.15	18.95
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	1.81	1.67	1.54	1.40	1.27

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT5 offdesing.tfx 05/09/02 15:53:54  
 Macro Outputs

**Torre seca com tiragem natural**

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	796425	791493	786554	781616	776584
Potência Bruta	[MW]	796.425	791.493	786.554	781.616	776.584
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.12	41.82	41.52	41.22	40.92
Potência Líquida	[kW]	772344	767440	762529	757618	752614
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.85	40.55	40.25	39.96	39.66
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	358992	356389	353799	351193	348582
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04066	0.04662	0.05335	0.06091	0.06939
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.43	15.6	17.76	19.93	22.1
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT5 offdesing.tfx 05/09/02 15:53:54  
 Macro Outputs

**Variando somente a UR entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**  
**Temperaturas médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	796425	791493	786554	781616	776584
Potência Bruta	[MW]	796.425	791.493	786.554	781.616	776.584
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.12	41.82	41.52	41.22	40.92
Potência Líquida	[kW]	772344	767440	762529	757618	752614
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.85	40.55	40.25	39.96	39.66
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	358992	356389	353799	351193	348582
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04066	0.04662	0.05335	0.06091	0.06939
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	15.61	16.49	17.33	18.15	18.95
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MWh]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

**São Paulo**

Latitude 23° 37'

Logitude 46° 39'

Altitude 802 m

Período 1995 - 2001

Fonte INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT1offdesing.tfx 04/09/02 09:06:10

Macro Outputs

**Torre úmida com tiragem natural**

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.5	18.88	21.25	23.62	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	802240	798105	793953	789773	785562
Potência Bruta	[MW]	802	798	794	790	786
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.44	42.22	42	41.78	41.56
Potência Líquida	[kW]	779021	774883	770726	766539	762318
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	41.21	40.99	40.77	40.55	40.33
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	41037	39353	37700	36085	34511
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	382.1	397.4	411.9	425.5	438.4
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	70.63	73.69	76.58	79.3	81.88
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.03366	0.03789	0.04259	0.04782	0.05364
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.59	15.77	17.95	20.14	22.32
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.71	1.79	1.87	1.94	2.01

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT1offdesing.tfx 04/09/02 09:52:24

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	797503	796661	795810	794930	794046
Potência Bruta	[MW]	798	797	796	795	794
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.19	42.14	42.1	42.05	42
Potência Líquida	[kW]	774273	773433	772585	771708	770827
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.96	40.91	40.87	40.82	40.78
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	36448	37436	38421	39414	40386
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	420.2	412.9	405.1	397.2	388.8
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	78.25	76.79	75.23	73.65	71.96
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.03854	0.03947	0.04043	0.04144	0.04248
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	15.7	16.35	16.99	17.62	18.23
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.90	1.87	1.83	1.80	1.76

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI **Torre úmida com acionamento mecânico**

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT2 offdesing.tfx 04/09/02 09:14:42

Macro Outputs

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.5	18.88	21.25	23.62	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	796544	792257	787903	783487	778982
Potência Bruta	[MW]	797	792	788	783	779
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.11	41.85	41.58	41.31	41.03
Potência Líquida	[kW]	762027	757680	753264	748785	744216
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.29	40.02	39.75	39.48	39.2
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	71177	71177	71177	71177	71177
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	399.4	419.8	439.8	459.4	478.5
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	73.33	77.41	81.41	85.32	89.15
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04009	0.04519	0.05094	0.05742	0.06469
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	10429	10510	10594	10679	10767
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.59	15.77	17.95	20.14	22.32
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.81	1.91	2.01	2.11	2.21

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT2 offdesing.tfx 04/09/02 10:03:40

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	792405	791102	789822	788570	787341
Potência Bruta	[MW]	792	791	790	789	787
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.83	41.76	41.7	41.63	41.57
Potência Líquida	[kW]	757812	756500	755211	753950	752712
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.01	39.94	39.87	39.8	39.74
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	71177	71177	71177	71177	71177
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	470.7	450.6	430.8	411.5	392.5
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	87.59	83.56	79.61	75.74	71.94
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04502	0.04666	0.04833	0.05002	0.05173
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	10514	10535	10557	10578	10599
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	15.7	16.35	16.99	17.62	18.23
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	2.14	2.05	1.96	1.88	1.79



AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI **Torre Seca com acionamento mecânico**

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT3 offdesing.tfx 04/09/02 09:22:10

Macro Outputs

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.5	18.88	21.25	23.62	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	791518	786487	781454	776401	771257
Potência Bruta	[MW]	792	786	781	776	771
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42	42	41	41	40.63
Potência Líquida	[kW]	694408	688730	683039	677317	671490
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	36.71	36.38	36.05	35.71	35.37
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	509726	509726	509726	509726	509726
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04214	0.04843	0.05553	0.06351	0.07248
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	74096	74770	75456	76154	76865
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.59	15.77	17.95	20.14	22.32
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT3 offdesing.tfx 04/09/02 10:07:44

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	783681	783678	783678	783679	783680
Potência Bruta	[MW]	784	784	784	784	784
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.37	41.37	41.37	41.37	41.37
Potência Líquida	[kW]	685629	685591	685556	685521	685486
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	36.2	36.19	36.19	36.19	36.19
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	509726	509726	509726	509726	509726
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.0523	0.05229	0.05229	0.05229	0.05229
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	75081	75116	75152	75187	75223
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.59	15.77	17.95	20.14	22.32
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT4 offdesing.tfx 04/09/02 09:28:54

**Torre mista com acionamento mecânico**

Macro Outputs

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.5	18.88	21.25	23.62	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	793251	788936	784554	780110	775577
Potência Bruta	[MW]	793	789	785	780	776
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.94	41.67	41.4	41.13	40.85
Potência Líquida	[kW]	752401	747970	743468	738903	734244
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39.78	39.51	39.23	38.96	38.68
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	115007	115007	115007	115007	115007
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	353	374	394.7	414.8	434.5
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	64.04	68.25	72.38	76.41	80.34
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	16797	16935	17077	17222	17370
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04002	0.04513	0.0511	0.05737	0.06465
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.59	15.77	17.95	20.14	22.32
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.60	1.71	1.81	1.91	2.02

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT4 offdesing.tfx 04/09/02 10:12:20

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	789,058	787760	786485	785233	784005
Potência Bruta	[MW]	789	788	786	785	784
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.66	41.59	41.52	41.45	41.39
Potência Líquida	[kW]	748055	746743	745452	744186	742943
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39.49	39.42	39.35	39.29	39.22
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	115007	115007	115007	115007	115007
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	432.1	408.5	385.4	362.6	340.1
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	79.86	75.15	70.52	65.96	61.46
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	16960	16987	17014	17041	17067
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04499	0.046	0.04828	0.04996	0.05166
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.59	15.77	17.95	20.14	22.32
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.97	1.87	1.76	1.66	1.56

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI **Torre seca com tiragem natural**

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT5 offdesing.tfx 04/09/02 09:34:18

Macro Outputs

**Variando somente a temperatura ambiente entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.5	18.88	21.25	23.62	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	794732	789688	784642	779568	774409
Potência Bruta	[MW]	795	790	785	780	774
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42.02	41.71	41.41	41.1	40.79
Potência Líquida	[kW]	770661	765645	760627	755582	750451
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.74	40.44	40.14	39.84	39.53
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	358002	355342	352678	349995	347301
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04262	0.04899	0.05618	0.06426	0.07333
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.59	15.77	17.95	20.14	22.32
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT5 offdesing.tfx 04/09/02 10:16:18

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	786875	786873	786874	786874	786873
Potência Bruta	[MW]	787	787	787	787	787
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.54	41.54	41.54	41.54	41.54
Potência Líquida	[kW]	762848	762846	762846	762847	762846
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.27	40.27	40.27	40.27	40.27
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	354243	354050	353859	353670	353478
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.05291	0.0529	0.0529	0.0529	0.0529
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.59	15.77	17.95	20.14	22.32
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Rio de Janeiro**

Latitude 22° 50'  
 Logitude 43° 15'  
 Altitude 5 m  
 Período 1995 -2001  
 Fonte INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT1offdesing.tfx 04/09/02 10:59:52  
 Macro Outputs

**Torre úmida com tiragem natural**

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	793959	790174	786375	782553	778710
Potência Bruta	[MW]	794	790	786	783	779
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	42	41.8	41.6	41.4	41.19
Potência Líquida	[kW]	771210	767424	763622	759797	755948
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.8	40.6	40.39	40.19	39.99
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	39875	38469	37090	35744	34429
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	393.4	406.3	418.5	430.2	441.3
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	72.89	75.47	77.91	80.24	82.46
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.04259	0.0473	0.05247	0.05817	0.06443
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	18.4	20.02	22	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.78	1.85	1.92	1.98	2.04

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT1offdesing.tfx 04/09/02 11:32:16

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	789051	788416	787780	787139	786485
Potência Bruta	[MW]	789	788	788	787	786
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.74	41.71	41.67	41.64	41.6
Potência Líquida	[kW]	766282	765662	765027	764387	763739
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.54	40.5	40.47	40.44	40.4
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	35876	36566	37264	37955	38646
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	427.3	421.9	416.5	410.8	405
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	79.67	78.58	77.5	76.36	75.2
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.0488	0.04963	0.0505	0.05139	0.05231
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	20.33	20.79	21.24	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.95	1.93	1.90	1.88	1.85



AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

Torre úmida com acionamento mecânico

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT2 offdesing.tfx 04/09/02 11:06:02

Macro Outputs

Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados

UR médias para esses anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	787635	783650	779598	775434	771063
Potência Bruta	[MW]	788	784	780	775	771
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.57	41.33	41.08	40.83	40.57
Potência Líquida	[kW]	753966	749933	745831	741615	737193
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39.8	39.55	39.3	39.05	38.78
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	71177	71177	71177	71177	71177
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	408.2	425	441.5	457.6	473.5
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	75.08	78.44	81.74	84.97	88.13
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.05132	0.05717	0.06366	0.07088	0.07887
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	9631	9700	9771	9843	9918
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	18.4	20.02	22	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.87	1.95	2.04	2.12	2.21

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT2 offdesing.tfx 04/09/02 11:37:24

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	783020	782086	781167	780252	779342
Potência Bruta	[MW]	783	782	781	780	779
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.27	41.22	41.17	41.13	41.08
Potência Líquida	[kW]	749281	748341	747417	746496	745581
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39.49	39.44	39.4	39.35	39.3
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	71177	71177	71177	71177	71177
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	469.7	455.4	441.2	427.3	413.5
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	87.39	84.52	81.69	78.9	76.15
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.05816	0.05962	0.0611	0.06259	0.06409
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	9715	9730	9744	9758	9772
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	20.33	20.79	21.24	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	2.16	2.10	2.03	1.97	1.91

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT3 offdesing.tfx 02/09/02 09:39:02  
 Macro Outputs

**Torre Seca com acionamento mecânico**  
 12 células

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	782619	778116	773535	768849	763840
Potência Bruta	[MW]	783	778	774	769	764
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.31	41.04	40.76	40.48	40.19
Potência Líquida	[kW]	691218	686179	681053	675812	670241
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	36.48	36.19	35.89	35.58	35.26
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	509726	509726	509726	509726	509726
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.05381	0.06072	0.06839	0.07689	0.0863
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	68435	68997	69568	70149	70741
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	18.4	20.02	22	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT3 offdesing.tfx 04/09/02 11:42:48

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	774938	774943	774944	774944	774944
Potência Bruta	[MW]	775	775	775	775	775
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	40.85	40.85	40.85	40.85	40.85
Potência Líquida	[kW]	682684	682663	682638	682613	682588
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	35.98	35.98	35.98	35.98	35.98
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	509726	509726	509726	509726	509726
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.06598	0.06597	0.06596	0.06596	0.06596
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	69332	69358	69383	69409	69435
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	20.33	20.79	21.24	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

**Torre mista com acionamento mecânico**

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT4 offdesing.tfx 04/09/02 11:17:14

Macro Outputs

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	784282	780274	776196	772003	767609
Potência Bruta	[MW]	784	780	776	772	768
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.4	41.15	40.9	40.65	40.38
Potência Líquida	[kW]	744768	740663	736487	732193	727697
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39.31	39.06	38.81	38.55	38.28
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	115007	115007	115007	115007	115007
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	360.2	377.2	393.9	410.1	426
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	65.48	68.89	72.22	75.47	78.64
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	15513	15630	15749	15871	15997
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.0515	0.05712	0.06362	0.0709	0.07884
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	18.4	20.02	22	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.65	1.74	1.83	1.91	2.00

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT4 offdesing.tfx 04/09/02 11:49:42

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	779627	778694	777773	776857	775942
Potência Bruta	[MW]	780	779	778	777	776
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.09	41.04	41	40.95	40.9
Potência Líquida	[kW]	739970	739027	738097	737172	736248
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39	38.95	38.9	38.86	38.81
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	115007	115007	115007	115007	115007
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	428.2	411.3	394.5	377.9	361.5
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	79.09	75.7	72.34	69.02	65.74
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	15670	15688	15706	15724	15742
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.05813	0.0592	0.06106	0.06255	0.06404
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	20.33	20.79	21.24	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.98	1.90	1.83	1.75	1.68

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

Torre seca com tiragem natural

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT5 offdesing.tfx 04/09/02 11:20:44

Macro Outputs

Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados

UR médias para esses anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	785812	781297	776693	771958	766929
Potência Bruta	[MW]	786	781	777	772	767
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.48	41.21	40.93	40.65	40.35
Potência Líquida	[kW]	761790	757301	752723	748015	743014
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	40.21	39.94	39.67	39.38	39.09
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	353137	350723	348295	345854	343417
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.05444	0.06143	0.06919	0.0778	0.08732
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	18.4	20.02	22	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\THERMOFLEX\CVT5 offdesing.tfx 04/09/02 11:53:16

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	778107	778108	778108	778108	778108
Potência Bruta	[MW]	778	778	778	778	778
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	41.01	41.01	41.01	41.01	41.01
Potência Líquida	[kW]	754129	754129	754129	754129	754129
Eficiência Elétrica Líquida(LHV)	[%]	39.75	39.75	39.75	39.75	39.75
Torres de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Potência Elétrica dos Ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Entrada de Ar na Torre	[kg/s]	349737	349590	349440	349295	349147
Pressão do Vapor 71 @ saída da água de fria do condensador[49] (água)	[bar]	0.06674	0.06674	0.06674	0.06674	0.06674
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	20.33	20.79	21.24	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0



## CICLO COMBINADO

### Porto Alegre – RS

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\PA\CC1off UR fixo.tfx 09/12/02  
09:47:26

Torre úmida com tiragem natural

Macro Outputs

Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados

UR médias para esses anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	583292	581585	580149	578058	575977
Potência Bruta	[MW]	583.292	581.585	580.149	578.058	575.977
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.19	54.03	53.89	53.7	53.5
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6644	6663	6680	6704	6728
Potência Líquida	[kW]	568792	567096	565668	563590	561523
Potência Líquida	[MW]	568.792	567.096	565.668	563.59	561.523
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.84	52.68	52.55	52.35	52.16
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6813	6834	6851	6876	6902
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	15827	15294	14768	14262	13769
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	155.2	161.4	167.2	172.9	178.3
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	28.96	30.2	31.36	32.5	33.58
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.07217	0.07962	0.08778	0.09692	0.1069
Pressão de vapor 53 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Eficiência Elétrica Líquida(HHV)	[%]	47.62	47.48	47.36	47.18	47.01
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.43	15.58	17.75	19.93	22.11
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.98	1.02	1.06	1.10	1.14

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC1off T fixa.tfx 09/12/02 14:56:40

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	597652	597240	596847	596487	596139
Potência Bruta	[MW]	597.652	597.24	596.847	596.487	596.139
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.85	53.8	53.75	53.7	53.65
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6685	6692	6698	6704	6710
Potência Líquida	[kW]	583626	583217	582826	582469	582123
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.59	52.54	52.48	52.44	52.39
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6846	6853	6859	6865	6871
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	14534	14885	15227	15562	15890
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	175.8	171.6	167.1	162.4	157.5
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	33.07	32.23	31.33	30.39	29.42
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.08314	0.08552	0.08793	0.09039	0.09292
Pressão de vapor 53 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.06	1.03	1.01	0.98	0.95

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\PA\CC2off UR fixo.tfx 09/12/02  
 09:36:48  
 Macro Outputs

**Torre úmida com acionamento mecânico**

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	583434	581903	580619	578827	576765
Potência Bruta	[MW]	583.434	581.903	580.619	578.827	576.765
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.14	54	53.88	53.72	53.53
Potência Líquida	[kW]	567023	565488	564198	562403	560340
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.62	52.48	52.36	52.19	52
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.07293	0.07952	0.0868	0.09503	0.1042
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	15447	15447	15447	15447	15447
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	155.4	161.7	167.7	173.7	179.6
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	1934	1946.9	1960.2	1974.1	1988.4
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	29	30.26	31.46	32.66	33.84
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	13.43	15.58	17.75	19.93	22.11
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC2off T fixo.tfx 13/09/02 10:52:36  
 Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**  
 Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	598061	597460	596916	596456	596014
Potência Bruta	[MW]	598.061	597.46	596.916	596.456	596.014
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.89	53.82	53.75	53.7	53.64
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6680	6689	6697	6704	6711
Potência Líquida	[kW]	582082	581481	580936	580475	580032
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.45	52.38	52.31	52.26	52.2
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6863	6873	6881	6889	6896
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	15447	15447	15447	15447	15447
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	176.8	171.9	167.1	162.4	157.8
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	1949.7	1954.3	1958.8	1963.3	1967.6
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	33.28	32.29	31.34	30.4	29.48
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.08162	0.08455	0.08756	0.09057	0.09361
Pressão de vapor 53 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.06	1.04	1.01	0.98	0.95

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\PA\CC3off UR fixo.tfx 09/12/02

09:38:28

Macro Outputs

**Torre seca com acionamento mecânico**

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	580626	578569	576503	573767	571480
Potência Bruta	[MW]	580.626	578.569	576.503	573.767	571.48
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.18	53.98	53.79	53.54	53.32
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6645	6669	6693	6725	6752
Potência Líquida	[kW]	558112	555993	553864	551068	548717
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.07	51.88	51.68	51.42	51.2
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6913	6939	6966	7001	7032
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	69836	69836	69836	69836	69836
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	8593	8668	8744	8821	8900
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.07175	0.0811	0.0917	0.1037	0.1168
Pressão de vapor 53 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	13.43	15.58	17.75	19.93	22.11
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC3off T fixa.tfx 09/12/02 15:01:40

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	81	95	95	95
Potência Bruta	[kW]	596978	597195	597398	597393	597393
Potência Bruta	[MW]	596.978	597.195	597.398	597.393	597.393
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.79	53.78	53.77	53.77	53.77
Potência Líquida	[%]	51.65	51.64	51.63	51.63	51.63
Eficiência Líquida(LHV)	[kW]	573289	573494	573685	573680	573679
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	77595	77595	77595	77595	77595
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	9661	9672	9684	9684	9684
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.08615	0.08622	0.08628	0.08628	0.08628
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\PA\CC4off UR fixo.tfx  
 09/12/02 09:40:36

**Torre mista com acionamento mecânico**

Macro Outputs

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	583386	581843	580539	578714	576657
Potência Bruta	[MW]	583.386	581.843	580.539	578.714	576.657
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.14	54	53.88	53.71	53.52
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6650	6667	6682	6703	6727
Potência Líquida	[kW]	566755	565203	563887	562054	559988
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.59	52.45	52.33	52.16	51.97
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6845	6863	6879	6902	6927
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	21662	21662	21662	21662	21662
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	138.1	144.8	151.2	157.5	163.8
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	2694.5	2713.9	2733.7	2754.1	2775.2
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	25.54	26.88	28.16	29.43	30.67
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.0727	0.07946	0.08682	0.09517	0.1043
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	13.43	15.58	17.75	19.93	22.11
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.85	0.90	0.94	0.98	1.02

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC4off T fixa.tfx 13/09/02 11:04:00

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	598033	597436	596910	596456	596023
Potência Bruta	[M]	598.033	597.436	596.91	596.456	596.023
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.89	53.818	53.75	53.7	53.64
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6680	6689	6697	6704	6711
Potência Líquida	[kW]	581281	580683	580156	579700	579265
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.38	52.31	52.24	52.19	52.13
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6873	6882	6891	6898	6905
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	21662	21662	21662	21662	21662
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	160.6	155.2	149.9	144.7	139.6
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	2719.9	2725.2	2730.5	2735.7	2740.8
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	30.04	28.95	27.9	26.86	25.84
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.08178	0.08464	0.08759	0.09055	0.09355
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.97	0.94	0.90	0.87	0.84



AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\PA\CC5off UR fixo.tfx 09/12/02 09:44:36  
 Macro Outputs

**Torre seca com tiragem natural**

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	15.7	18.02	20.35	22.67	25
Umidade Relativa Ambiente	[%]	78	78	78	78	78
Potência Bruta	[kW]	583852	581677	579730	576892	574513
Potência Bruta	[MW]	583.852	581.677	579.73	576.892	574.513
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.15	53.95	53.77	53.5	53.28
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6649	6673	6696	6729	6757
Potência Líquida	[kW]	569910	567749	565814	562994	560631
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.85	52.66	52.48	52.21	51.99
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6811	6837	6860	6895	6924
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	71139	70529	69918	69353	68766
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	13.43	15.58	17.75	19.93	22.11
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC5off T fixa.tfx 13/09/02 11:10:20

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	4	4	4	4	4
Temperatura Ambiente	[°C]	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Umidade Relativa Ambiente	[%]	67	74	81	88	95
Potência Bruta	[kW]	596990	597035	597149	597243	597348
Potência Bruta	[MW]	596.99	597.035	597.149	597.243	597.348
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.8	53.78	53.77	53.77	53.76
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6692	6694	6695	6695	6696
Potência Líquida	[kW]	582962	583007	583120	583214	583318
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.53	52.52	52.51	52.51	52.5
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6853	6855	6856	6856	6857
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	75912	75855	75815	75774	75735
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0	0	0	0	0
Pressure of Stream 52 @ exit of Water-cooled Condenser[34] (Water)	[bar]	0.08645	0.08641	0.08645	0.08649	0.08653

## SÃO PAULO – SP

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC1off UR fixo.tfx 10/12/02 10:21:52

Torre Úmida com tiragem natural

Macro Outputs

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.3	18.73	21.15	23.57	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	554127	552523	550890	548743	546834
Potência Bruta	[MW]	554.127	552.523	550.89	548.743	546.834
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.26	54.09	53.93	53.72	53.53
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6635	6656	6675	6701	6725
Potência Líquida	[kW]	540402	538809	537186	535052	533156
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.91	52.75	52.59	52.38	52.19
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6804	6825	6846	6873	6898
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	14812	14243	13687	13155	12633
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	153.1	159	164.6	170	175
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	28.54	29.72	30.83	31.91	32.91
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.06721	0.07448	0.08253	0.09158	0.1014
Temperatura do bulbo úmido	[ °C]	13.41	15.62	17.85	20.09	22.33
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.99	1.04	1.08	1.12	1.15

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC1off T fixo.tfx 10/12/02 10:48:44

Macro Outputs

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	540321	539992	539609	539208	538854
Potência Bruta	[MW]	540.321	539.992	539.609	539.208	538.854
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.15	54.11	54.06	54.01	53.96
Potência Líquida	[kW]	526694	526368	525987	525589	525237
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.79	52.74	52.69	52.64	52.6
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	165.6	162.7	159.8	156.8	153.7
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kW]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kg/s]	31.03	30.45	29.89	29.28	28.65
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[bar]	0.07484	0.07635	0.07801	0.07965	0.08133
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.9207	0.9207	0.9207	0.9207	0.9207
Temperatura do bulbo úmido	[°C]	15.68	16.34	16.98	17.61	18.22
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.10	1.08	1.07	1.05	1.03

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
 1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC2off UR fixo.tfx 10/12/02 10:23:36  
 Macro Outputs

**Torre Úmida com acionamento mecânico**

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados  
 UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.3	18.73	21.15	23.57	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	554332	552872	551588	549511	547692
Potência Bruta	[MW]	554.332	552.872	551.588	549.511	547.692
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.28	54.12	54	53.8	53.62
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6633	6651	6667	6692	6714
Potência Líquida	[kW]	538485	537020	535727	533648	531824
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.72	52.57	52.45	52.24	52.06
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6828	6848	6864	6891	6915
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	15447	15447	15447	15447	15447
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	153.5	159.8	166	172.2	178
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	2120.9	2135.9	2151.4	2167.7	2184.5
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	28.62	29.88	31.11	32.35	33.52
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.06634	0.07268	0.07979	0.08791	0.09689
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	13.41	15.62	17.85	20.09	22.33
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.00	1.04	1.08	1.13	1.17

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC2off T fixo.tfx 10/12/02 10:49:22

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	541122	540779	540295	539788	539260
Potência Bruta	[MW]	541.122	540.779	540.295	539.788	539.26
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.24	54.19	54.13	54.07	54
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6637	6643	6651	6659	6667
Potência Líquida	[kW]	525354	525010	524525	524017	523488
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.66	52.61	52.55	52.49	52.42
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6836	6843	6851	6859	6867
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	15447	15447	15447	15447	15447
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	168.6	164.8	161.1	157.4	153.8
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	2136.2	2140.2	2144.1	2148	2151.9
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	31.64	30.87	30.13	29.4	28.68
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.07144	0.07346	0.07554	0.07765	0.07978
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	15.68	16.34	16.98	17.61	18.22
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.12	1.10	1.07	1.05	1.03

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC3off UR fixo.tfx 10/12/02 10:41:50

**Torre seca com acionamento mecânico**

Macro Outputs

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.3	18.73	21.15	23.57	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	552943	544184	534750	526041	517200
Potência Bruta	[MW]	552.943	544.184	534.75	526.041	517.2
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.23	54.08	53.85	53.67	53.46
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6638	6657	6685	6708	6734
Potência Líquida	[kW]	529748	520965	511510	502773	493905
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	51.95	51.77	51.51	51.3	51.05
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6929	6954	6989	7018	7052
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	69836	69836	69836	69836	69836
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	9463	9548	9635	9723	9813
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.06855	0.07709	0.08698	0.09781	0.1099
Temperatura do Bulbo úmido	[ °C]	13.41	15.62	17.85	20.09	22.33
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

T FIXA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC3off T fixo.tfx 10/12/02 10:50:42

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	539050	539129	539208	539269	539352
Potência Bruta	[MW]	539.05	539.129	539.208	539.269	539.352
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.03	54.02	54.02	54.01	54.01
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6663	6664	6664	6665	6665
Potência Líquida	[kW]	514777	514851	514924	514980	515057
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	51.6	51.59	51.59	51.58	51.58
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6977	6978	6979	6979	6980
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	77595	77595	77595	77595	77595
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	10638	10643	10648	10653	10658
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.07947	0.0794	0.07942	0.07944	0.07946
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	15.68	16.34	16.98	17.61	18.22
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC4off UR fixo.tfx 10/12/02 10:28:16

Torre mista com acionamento mecânico

Macro Outputs

Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados

UR médias para esses anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.3	18.73	21.15	23.57	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	554354	552880	551567	549483	547663
Potência Bruta	[MW]	554.354	552.88	551.567	549.483	547.663
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.28	54.12	54	53.79	53.61
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6632	6651	6667	6692	6715
Potência Líquida	[kW]	537657	536170	534842	532748	530914
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.64	52.49	52.36	52.15	51.97
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6838	6859	6876	6903	6927
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	21662	21662	21662	21662	21662
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	137.9	144.7	151.2	157.8	164.1
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	2958.5	2980.9	3004	3028	3052
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	25.5	26.85	28.16	29.48	30.73
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.06625	0.0725	0.07987	0.08805	0.09706
Temperatura do Bulbo úmido	[ °C]	13.41	15.62	17.85	20.09	22.33
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.90	0.94	0.99	1.03	1.08

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

T FIXA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC4off T fixo.tfx 10/12/02 10:51:32

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	541161	540756	540294	539785	539271
Potência Bruta	[MW]	541.161	540.756	540.294	539.785	539.271
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.24	54.19	54.13	54.07	54
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6637	6644	6651	6659	6666
Potência Líquida	[kW]	524531	524124	523660	523150	522635
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.58	52.52	52.46	52.4	52.34
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6847	6855	6862	6870	6879
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	21662	21662	21662	21662	21662
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	154.8	150.5	146.4	142.4	138.4
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	2984.3	2988.9	2993.5	2998	3003
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	28.87	28.02	27.2	26.39	25.6
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.07158	0.07355	0.07559	0.07766	0.07974
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	15.68	16.34	16.98	17.61	18.22
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	1.03	1.00	0.98	0.95	0.92

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC5off UR fixo.tfx 10/12/02 10:34:30

**Torre Seca com tiragem natural**

Macro Outputs

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	16.3	18.73	21.15	23.57	26
Umidade Relativa Ambiente	[%]	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7
Potência Bruta	[kW]	552932	544128	534690	525956	517019
Potência Bruta	[MW]	552.932	544.128	534.69	525.956	517.019
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.23	54.07	53.84	53.66	53.44
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.88	52.71	52.47	52.28	52.05
Potência Líquida	[kW]	539200	530456	521085	512412	503539
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.0686	0.07729	0.08732	0.0982	0.1106
Consumo de água	[°C]	13.41	15.62	17.85	20.09	22.33
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

T FIXA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\SP\CC5off T fixo.tfx 10/12/02 10:52:14

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	802	802	802	802	802
Temperatura Ambiente	[°C]	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	64	68.88	73.75	78.62	83.5
Potência Bruta	[kW]	538913	538980	539059	539137	539204
Potência Bruta	[MW]	538.913	538.98	539.059	539.137	539.204
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	54.02	54.01	54	54	53.99
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6665	6666	6666	6667	6667
Potência Líquida	[kW]	525279	525345	525424	525501	525567
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.65	52.64	52.64	52.63	52.63
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6838	6839	6839	6840	6840
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	73037	72986	72955	72923	72892
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.07998	0.07993	0.07996	0.07998	0.08
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	15.68	16.34	16.98	17.61	18.22
Consumo de água	[m <sup>3</sup> /h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## RIO DE JANEIRO – RJ

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\Dissertação\Dados\Ciclo combinado\RJ\CC1off UR fixo.tfx 11/12/02 14:15:22

Torre úmida com tiragem natural

Macro Outputs

Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados

UR médias para esses anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20	22	24	27	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	595134	587839	579907	568671	560719
Potência Bruta	[MW]	595.134	587.839	579.907	568.671	560.719
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.76	53.68	53.53	53.35	53.23
Potência Líquida	[kW]	581124	573876	565996	554836	546939
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.5	52.41	52.25	52.05	51.92
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	170.2	173.6	177.1	181.7	184.6
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	31.96	32.64	33.34	34.26	34.85
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.0884	0.09519	0.1028	0.1152	0.1252
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	18.03	20.02	22.01	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	1.03	1.06	1.10	1.15	1.19

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC1off T fixo.tfx 11/12/02 14:35:30

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	579691	579080	578841	578605	578368
Potência Bruta	[MW]	579.691	579.08	578.841	578.605	578.368
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.62	53.56	53.53	53.5	53.46
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6714	6722	6725	6729	6733
Potência Líquida	[kW]	565783	565175	564938	564704	564468
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.34	52.27	52.24	52.21	52.18
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6879	6887	6891	6895	6899
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	13485	13661	13848	14034	14218
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	183	180.5	178.3	176.2	173.9
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	34.52	34.01	33.58	33.15	32.7
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.09901	0.102	0.1035	0.105	0.1066
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	20.34	20.8	21.25	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	1.14	1.12	1.11	1.10	1.08

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC2off Ur fixo.tfx 11/12/02 13:56:54

Torre úmida com acionamento mecânico

Macro Outputs

Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados

UR médias para esses anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	592774	585176	576846	568940	561350
Potência Bruta	[MW]	592.774	585.176	576.846	568.94	561.35
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.76	53.68	53.53	53.4	53.29
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6697	6707	6726	6742	6756
Potência Líquida	[kW]	576815	569256	560968	553103	545552
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.31	52.22	52.05	51.91	51.79
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6882	6894	6916	6935	6951
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	15447	15447	15447	15447	15447
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	171.8	175.6	179.7	183.5	187
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	1963.5	1975.4	1988	2000.9	2014.3
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	32.28	33.04	33.86	34.62	35.31
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.0896	0.09616	0.1037	0.1118	0.1207
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	18.03	20.02	22.01	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC2off T fixo.tfx 16/09/02 14:45:50

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	580245	579836	579426	579073	578765
Potência Bruta	[MW]	580.245	579.836	579.426	579.073	578.765
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.68	53.63	53.58	53.54	53.5
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6707	6713	6719	6724	6729
Potência Líquida	[kW]	564354	563946	563536	563183	562874
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.21	52.16	52.11	52.07	52.03
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6895	6902	6908	6914	6919
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	15447	15447	15447	15447	15447
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	184.7	182	179.4	176.8	174.3
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	1978	1980.6	1983.2	1985.8	1988.4
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	34.86	34.32	33.8	33.28	32.77
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.09686	0.09874	0.1007	0.1026	0.1046
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	20.34	20.8	21.25	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	1.15	1.13	1.11	1.10	1.08



AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC5off UR fixo.tfx 11/12/02 14:06:46

Torre seca com acionamento mecânico

Macro Outputs

Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados

UR médias para esses anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	591763	582868	574368	566416	557723
Potência Bruta	[MW]	591.763	582.868	574.368	566.416	557.723
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.66	53.47	53.29	53.16	52.94
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6708	6733	6755	6772	6800
Potência Líquida	[kW]	569008	560101	551586	543615	534906
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	51.6	51.38	51.18	51.02	50.78
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6977	7007	7034	7056	7090
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	69836	69836	69836	69836	69836
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	8760	8829	8900	8972	9045
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	18.03	20.02	22.01	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELéTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC3off T fixo.tfx 16/09/02 14:48:44

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	577798	577845	577904	577972	578018
Potência Bruta	[MW]	577.798	577.845	577.904	577.972	578.018
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.45	53.44	53.44	53.44	53.43
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6735	6736	6736	6737	6738
Potência Líquida	[kW]	554057	554099	554155	554218	554261
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	51.26	51.25	51.24	51.24	51.24
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	7024	7025	7025	7026	7026
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	77595	77595	77595	77595	77595
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	9837	9840	9844	9848	9851
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.1085	0.1084	0.1084	0.1084	0.1084
Temperatura do Bulbo Úmido	[°C]	20.34	20.8	21.25	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI  
1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC4off UR fixo.tfx 16/09/02 14:20:52

**Torre mista com acionamento mecânico**

Macro Outputs

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	592693	585131	576801	568903	561316
Potência Bruta	[MW]	592.693	585.131	576.801	568.903	561.316
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.74	53.67	53.52	53.39	53.29
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6698	6707	6726	6742	6756
Potência Líquida	[kW]	575958	568426	560132	552268	544711
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.23	52.14	51.97	51.83	51.71
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6893	6904	6926	6945	6962
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	21662	21662	21662	21662	21662
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	155.2	159.5	164	168.2	172.2
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	2738.2	2756	2774.7	2793.8	2813.5
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	28.95	29.81	30.71	31.56	32.35
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.08971	0.09637	0.1039	0.112	0.1209
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	18.03	20.02	22.01	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	0.94	0.98	1.02	1.06	1.10

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSões GASOSAS E DO USO DA água DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC4off T fixo.tfx 11/12/02 14:33:40

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	580170	579768	579374	579042	578736
Potência Bruta	[MW]	580.17	579.768	579.374	579.042	578.736
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.67	53.62	53.58	53.54	53.5
Potência Líquida	[kW]	563491	563089	562695	562362	562055
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.12	52.08	52.03	51.99	51.96
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	169.5	166.6	163.7	160.8	157.9
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kW]	2761.7	2764.8	2767.9	2770.9	2774
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kg/s]	31.82	31.23	30.65	30.07	29.49
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.09713	0.09903	0.1009	0.1028	0.1047
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	20.34	20.8	21.25	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	1.05	1.03	1.02	1.00	0.98

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC3off UR fixo.tfx 11/12/02 14:11:16

**Torre Seca com tiragem natural**

Macro Outputs

**Variando somente as temperaturas (médias) ambientes entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

**UR médias para esses anos**

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	20.7	22.83	24.95	27.07	29.2
Umidade Relativa Ambiente	[%]	77.6	77.6	77.6	77.6	77.6
Potência Bruta	[kW]	591777	582846	574333	566357	557621
Potência Bruta	[MW]	591.777	582.846	574.333	566.357	557.621
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.67	53.46	53.29	53.16	52.93
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6708	6733	6755	6773	6801
Potência Líquida	[kW]	577782	568909	560451	552527	543850
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.4	52.19	52	51.86	51.63
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6871	6898	6923	6942	6973
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	70240	69485	68760	68020	67322
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.09583	0.106	0.1173	0.1294	0.143
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	18.03	20.02	22.01	23.99	25.97
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AValiação QUANTITATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DAS EMISSÕES GASOSAS E DO USO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO EM INSTALAÇÕES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA

THERMOFLEX Version 5.1 Revision 2 Escola Federal Eng.Itajuba EFEI

1363 File = C:\WINDOWS\TEMP\CC5off T fixo.tfx 11/12/02 14:34:16

Macro Outputs

**Variando a umidade relativa entre a máxima e a mínima dos 7 anos estudados**

Temperatura ambiente média desses 7 anos

Parâmetros	Unidade	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Altitude	[m]	5	5	5	5	5
Temperatura Ambiente	[°C]	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3
Umidade Relativa Ambiente	[%]	70	73.25	76.5	79.75	83
Potência Bruta	[kW]	577678	577742	577800	577859	577916
Potência Bruta	[MW]	577.678	577.742	577.8	577.859	577.916
Eficiência Elétrica Bruta(LHV)	[%]	53.44	53.43	53.43	53.43	53.42
Heat rate Bruto(LHV)	[kJ/kWh]	6736	6737	6738	6738	6739
Potência Líquida	[kW]	563774	563837	563896	563954	564011
Eficiência Líquida(LHV)	[%]	52.15	52.15	52.14	52.14	52.14
Heat rate Líquido(LHV)	[kJ/kWh]	6903	6903	6904	6904	6905
Torres de Resfriamento: Entrada de ar na torre	[kg/s]	74117	74075	74050	74026	74000
Torre de Resfriamento: Makeup flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Torre de Resfriamento: Potência Elétrica dos ventiladores	[kW]	0	0	0	0	0
Torres de Resfriamento: Blowdown flow	[kg/s]	0	0	0	0	0
Pressão de vapor 52 @ saída de água fria do condensador[34] (água)	[bar]	0.109	0.1089	0.109	0.109	0.109
Temperatura do Bulbo úmido	[°C]	20.34	20.8	21.25	21.69	22.13
Consumo de água	[m <sup>3</sup> / h/MW]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00