

ANÁLISE COMPARATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA NO BRASIL

Karina Ribeiro Salomon

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos (NEST/DME/IEM/EFEI)
Av. BPS 1303, CP50, Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil, 37.500-903
karina@iem.efei.br

Electo Eduardo Silva Lora

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos (NEST/DME/IEM/EFEI)
Av. BPS 1303, CP50, Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil, 37.500-903
electo@iem.efei.br

Flávio Neves Teixeira

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos (NEST/DME/IEM/EFEI)
Av. BPS 1303, CP50, Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil, 37.500-903
flavio@iem.efei.br

Resumo. *A maior disponibilidade de energia elétrica no parque gerador nacional, oriunda de centrais termelétricas que integram o PPT (Programa Prioritário de Termelétricidade), despertará um maior interesse para as emissões atmosféricas causadas por estas centrais. Esse trabalho tem como objetivo comparar emissões típicas de diferentes tecnologias de termogeração com os padrões de emissões vigentes no Brasil e em outros países. Comparam-se também as emissões veiculares percapita e de refinarias de petróleo com relação às tecnologias de geração empregadas no programa brasileiro de termelétricidade.*

Palavras chave: *geração termelétrica, emissões atmosféricas, controle*

1. Introdução

O novo modelo do setor elétrico brasileiro, baseado na competição e regulação do mercado, tem como princípios essenciais a 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.

Dentro deste cenário, cabe destacar o Decreto Federal nº 3.371, de 24 de fevereiro de 2000, o qual cria o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT) e a Portaria nº 43, de 25 de fevereiro de 2000 do Ministério de Minas e Energia (MME), que define as usinas termelétricas que integram o PPT. As usinas integrantes deste programa totalizam 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) e 4 usinas a carvão (1.100 MW). Ainda nesta portaria, destaca-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 traz consigo também o aumento nas emissões atmosféricas, em função da tecnologia adotada e do combustível empregado.

Sendo assim, este artigo visa, primeiramente, comparar as emissões de diferentes tecnologias de geração termelétrica com padrões de emissões vigentes no Brasil e na Áustria, Japão e Estados Unidos. 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 de centrais termelétricas.

2. Metodologia

As tecnologias e combustíveis avaliados foram as 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);
- Ciclo a vapor (caldeira/turbina a vapor) - bagaço de cana-de-açúcar

Nestas centrais termelétricas, os poluentes lançados diretamente na atmosfera, chamados primários, são os de maior consideração, sendo os principais: óxido de nitrogênio (NO_x), óxido de enxofre (SO_x), dióxido de carbono (CO_2) e material particulado (MP). A avaliação das emissões é realizada utilizando Fatores de Emissão, que permitem calcular as concentrações de poluentes emitidos e constituem uma ferramenta importante para a avaliação do impacto ambiental de uma determinada atividade. Dependem dos equipamentos e combustíveis utilizados.

Com o intuito de se garantir uma qualidade do ar dentro de limites aceitáveis, considerando o nível atual de desenvolvimento tecnológico, os Padrões de Emissão servem como instrumentos para o controle da poluição, limitando a emissão específica de poluentes de uma determinada fonte. 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_x no Brasil são inexistentes, e dos outros poluentes um tanto conservador; sendo assim, utiliza-se, para fins de comparação, os padrões dos países mencionados uma vez que estes são mais rigorosos.

3. Métodos de controle de emissão

A concentração de diferentes poluentes nos gases de exaustão de caldeiras, motores de combustão interna alternativos e turbinas a gás, geralmente, ultrapassa em muito o permitido pelos padrões de emissão vigentes. Precisa-se então da implementação de tecnologias de prevenção e controle da poluição a fim de reduzir o teor de diferentes poluentes na grandeza requerida. Vejamos brevemente as tecnologias de prevenção e controle de óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e particulados. Os valores de eficiência de remoção foram baseados em EPA, 1995.

3.1. Métodos de controle de óxidos de nitrogênio (NO_x):

Os métodos de prevenção das emissões de NO_x denominados pré-combustão (preventivos) estão fundamentados em:

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

Neles estão os seguintes métodos de controle: recirculação dos produtos da combustão, combustão por etapas, queimadores com baixa emissão de NO_x (LNB), injeção de água nas câmaras de combustão e vapor e combustão em leito fluidizado, cujas eficiências variam de 35 a 80 %.

Outro método pré-combustão é a requeima do gás (combustão conjunta de gás natural e carvão mineral), cuja eficiência situa-se entre 75 e 80 %. Para obter uma alta eficiência no controle de NO_x , são utilizados vários métodos preventivos em conjunto por quanto eles tem a propriedade de aditividade. É possível também a combinação, num mesmo equipamento de métodos preventivos e corretivos visando a obtenção das reduções sucessivas na concentração de NO_x nos gases de combustão. Um exemplo seria a utilização de métodos, tais como, queimadores de baixa emissão de NO_x e a combustão por etapas juntamente com métodos corretivos como a redução catalítica seletiva.

Os métodos de pós-combustão, os chamados corretivos, baseiam-se na injeção de amônia para reduzir o NO_x até N_2 , com ou sem a presença de um catalizador. São eles: redução seletiva não catalítica (SNCR), com uma eficiência de 30 a 70 %, e redução seletiva catalítica (SCR) com eficiência de 60 a 90 %.

3.2. Métodos de controle da emissão de óxidos de Enxofre (SO_x)

Os métodos para o controle de SO_2 mais utilizados são: dessulfurização úmida, tendo sua eficiência entre 80 a 96 % dependendo do processo usado (com cal, carbonato de sódio, hidróxido de magnésio, alcalinos de ciclo duplo); secador spray, com 70 a 90 % de eficiência; injeção a seco que varia de 50 a 70 % de eficiência.

O método mais utilizado atualmente é a dessulfurização por calcário devido a alta eficiência, nos últimos anos observa-se a tendência de redução do custo do processo de dessulfurização úmida. No Brasil, nas usinas de carvão não se utilizam dessulfurizadores (FGD) sendo que o controle das emissões de SO_x é realizado a partir do teor de enxofre no combustível.

3.3. Métodos de controle de particulados

Os equipamentos de controle de particulados mais empregados são: lavadores de gases, ciclones, precipitadores eletrostáticos (ESP) e filtros manga, com eficiências que variam de 85 a 99 %. Nas termelétricas, geralmente, utilizam-se somente ESP e filtros mangas, sendo que a tendência é de um uso mais amplo de filtros manga.

4. Emissões atmosféricas típicas para a geração termelétrica

Os Fatores de Emissão empregados neste trabalho são apresentados na Tabela (1), 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 crescendo sua participação na produção de energia elétrica na matriz energética, devido ao seu considerável potencial técnico, da ordem de 4.000 MW (Eletrobrás, abril/1999). Sendo assim, apresenta-se na Tabela (2) os fatores de emissão para o bagaço, utilizando a combustão, e também a gaseificação através da tecnologia BIG-GT (ciclo combinado com gaseificação do bagaço e turbina a gás). As Tabelas (3) e (4) apresentam os padrões de emissões para NO_x, SO_x e MP considerados neste trabalho, enquanto que na Tabela (5) constam os padrões sem e com métodos de controle para o setor sucroalcooleiro.

Os dados considerados para os cálculos com fatores de emissão 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/Nm³; 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_x (LNB); 90 % de eficiência de remoção para o sistema de dessulfurização do gás (FGD).

Tabela 1. Fatores típicos de emissão de tecnologias de geração termelétrica. (Bluestein J., 2001)

Tecnologia	Combustível	Método de controle ^a	NO _x	SO _x	CO ₂	MP
			g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ
Ciclo combinado (sem queima suplementar)	Gás natural	Sem ^d	86,08	0,29	56.705,58	2,92
		SCR	12,91	0,29	56.705,58	2,92
		DLN ^e	0,49-1,23	0,29	56.705,58	2,92
Motor de combustão interna	Óleo Diesel ^c	sem	1.043,70	173,92	68.558,72	37,34
		SCR	156,56	173,92	68.558,72	37,34
		FGD	1.043,70	17,39	68.558,72	37,34
		ESP	1.043,70	173,92	68.558,72	0,30
		SCR/ESP	156,56	173,92	68.558,72	0,30
Turbina a gás	Gás Natural	Sem ^d	86,08	0,32	58.101,55	3,17
		SCR	12,91	0,32	58.101,55	3,17
		DLN	0,49-1,23	0,32	58.101,55	3,17
Turbina a vapor	Carvão mineral ^b	sem	528,74	913,28	2.113.573,66	55,28
		LNB	264,37	913,28	2.113.573,66	55,28
		ESP	528,74	913,28	2.113.573,66	0,44
		FGD	528,74	91,33	2.113.573,66	55,28
		LNB/ESP/FGD	264,37	91,33	2.113.573,66	0,44

a- Eficiências médias típicas dos métodos de controle são: SRC (redução seletiva catalítica) = 85 %; DLN (câmara de combustão seca com baixa emissão de NO_x) e LNB (queimador com baixa emissão de NO_x) = 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 al, 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- Chalfin, J., Shorr, M., 1999.

Tabela 2. Fatores de emissão para o Bagaço. (Silva, 2000 e Sydkraff, 2001)

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

a- As emissões de SO_x foram consideradas nulas, devido ao baixo teor de enxofre no bagaço de cana.

4.1. 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 poluente emitido. 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 Tabela (6) apresenta os fatores de emissão para veículos, considerando as emissões médias dos últimos 14 anos.

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 (6).

Tabela 3. Padrões de emissão brasileiros para processos de combustão externa. (Resolução CONAMA 008/90)

	Até 70 MW		Acima de 70 MW	
	PT [g/GJ]	SO ₂ [g/GJ]	PT [g/GJ]	SO ₂ [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 4. Padrões de emissão vigentes para termelétricas na Áustria, Japão (Kucowski et all, 1997) e EUA (EPA, 1995).

País	Combustível	Novas unidades					Unidades existentes			
		Emissões de SO _x		Emissões de NO _x		Particulado	Emissões de SO _x		Emissões de NO _x	
		mg/Nm ³	g/GJ	mg/Nm ³	g/GJ		g/GJ	mg/Nm ³	g/GJ	mg/Nm ³
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	(b)	nd	260 (a)	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.

Tabela 5. Padrões de Emissão para o bagaço de cana. (Pestelli, 1997)

Poluente [g/GJ]	NO _x ^a	PM
Bagaço	70,75	63,84

a- Devido a ausência de dados de padrões de emissão de NO_x para o bagaço, adotou-se padrões referentes à biomassa em geral vigentes na Holanda (Rabou e Jansen, 2001).

Tabela 6. Fatores de Emissão para veículos a gasolina e refinarias de petróleo. (Barros e Ferreira, 1992)

Poluente	NO _x	SO _x	CO ₂
Veículos leves [g/km] (a)	1,3	nd	178,7
Refinaria de petróleo [kg/t] (b)	0,3	1,3	0,8

a- grama de poluente por quilometro rodado; b- quilograma de poluente por tonelada de petróleo processado

5. Análise comparativa

Deve-se mencionar que este artigo avalia os impactos globais relacionados à emissão de poluentes atmosféricos. Não é seu propósito a análise de casos específicos como, por exemplo, a distribuição espacial destas centrais, a dispersão dos poluentes e o destino final dos elementos.

As centrais termelétricas, bem como os automóveis e refinarias de petróleo, concentram-se nos grandes centros, onde os problemas de poluição são mais acentuados

5.1. Comparação entre as emissões das CTE's e os Padrões de Emissão.

As Figuras (1), (2) e (3) a seguir, apresentam as comparações realizadas entre os fatores de emissão das diferentes tecnologias avaliadas, com os padrões de emissão vigentes no Brasil, Áustria, Japão e EUA para unidades existentes. Analisando-se a Figura (1), nota-se que todas as quatro tecnologias de geração, quando não empregam sistemas de remoção de NO_x, ultrapassam os valores adotados na Áustria e no Japão, sendo as piores condições as centrais com motores de combustão 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 e das centrais a vapor, mesmo empregando as tecnologias de remoção adotadas, os níveis de emissão ainda permanecem acima dos permissíveis.

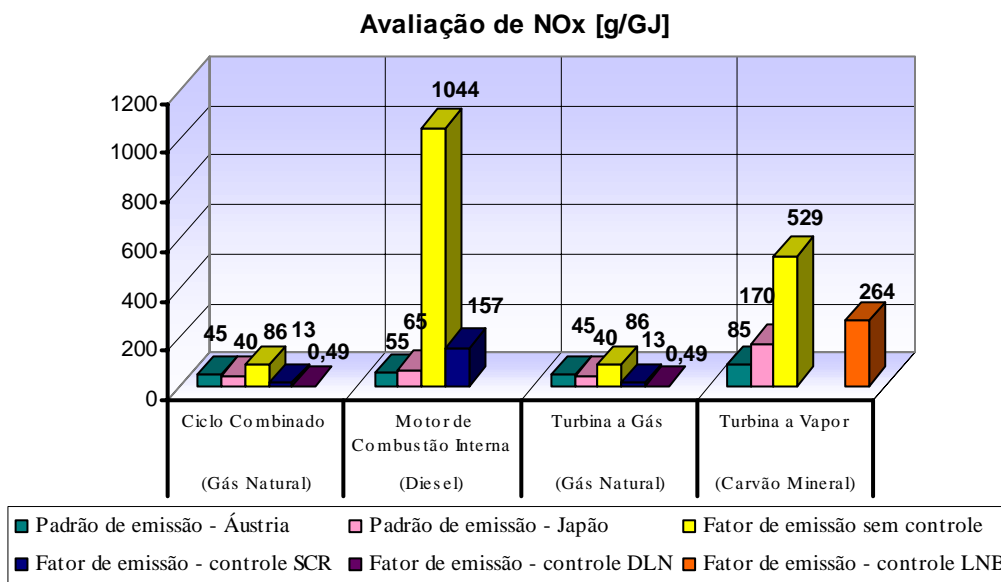


Figura 1. Comparação entre fatores de emissão típicos para NO_x e os padrões vigentes para unidades existentes.

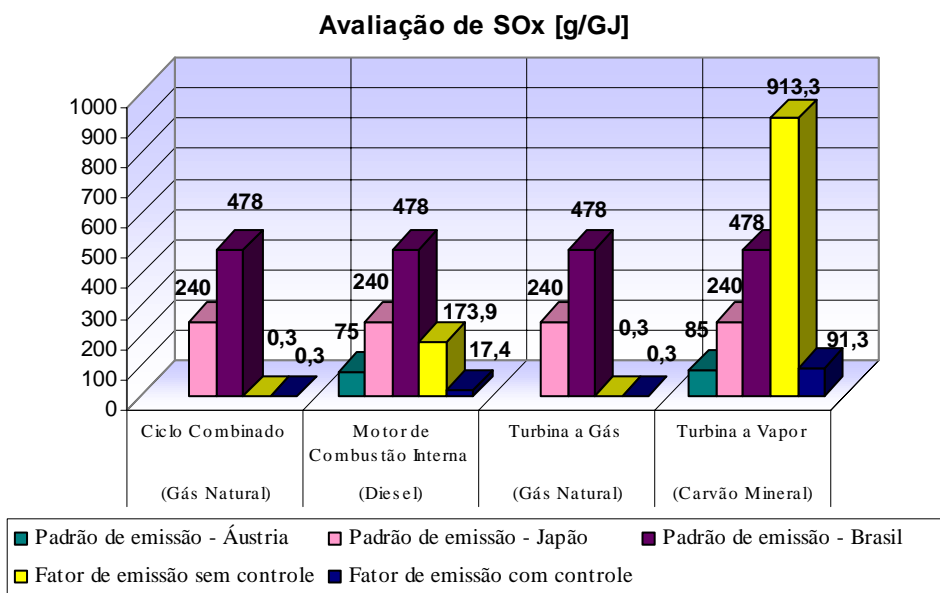


Figura 2. Comparação entre fatores de emissão típicos para SO_x e os padrões vigentes para unidades existentes.

Já, analisando-se a Figura (2), nota-se que, para as centrais a gás, devido ao baixo teor de enxofre no gás natural, as emissões de SO_x ficam muito abaixo dos limites estabelecidos. Para as centrais empregando motores de combustão interna, quando não se utilizam sistemas de controle, as concentrações emitidas somente 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 empregam controles de SO_x, as emissões ultrapassam os limites de todos os países considerados, enquanto que, com o emprego de sistemas de remoção, somente ultrapassam os padrões da Áustria.

No caso dos particulados, Figura (3), 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, não atingem os valores limites dos padrões nacionais vigentes.

Nas Figuras (4) e (5) são mostrados, respectivamente, as emissões específicas de 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.

Avaliação de particulados [g/GJ]

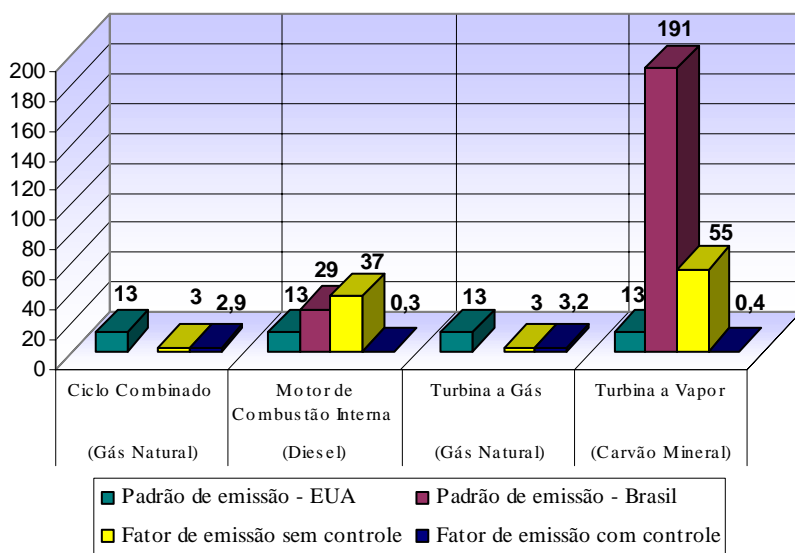


Figura 3. Comparação entre fatores de emissão típicos para particulados e os padrões vigentes para as unidades existentes.

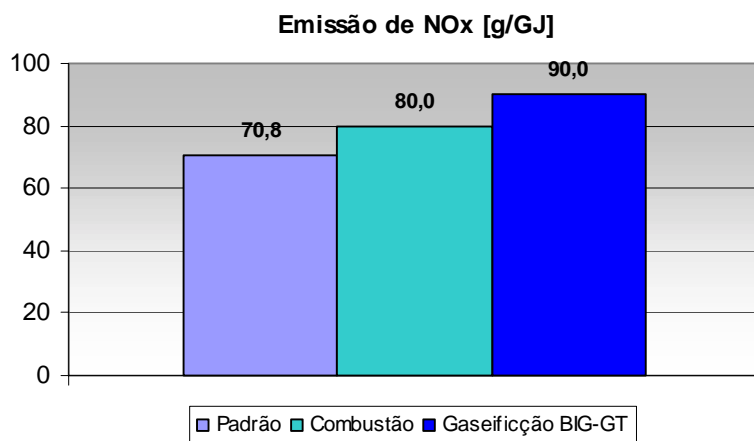


Figura 4. Comparação entre as emissões de NO_x para o bagaço.

5.2. Comparação entre as emissões das CTE's e emissões veiculares e de refino de petróleo

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. 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 ciclo aberto, 36 % (com método de controle DLN) e usinas a carvão, 41 % (com método de controle ESP). A Figura (6) apresenta estas comparações, em g/ano/habitante, ou seja, o valor das emissões anuais totais per capita. Para tanto, a população brasileira considerada foi de 173.400.812 (IBGE/2001) e a quilometragem média diária de veículos de 50 Km/dia. Já para se calcular as emissões referentes às refinarias, considerou-se uma produção média diária de 240.241 t/dia de petróleo (BELO, 2000).

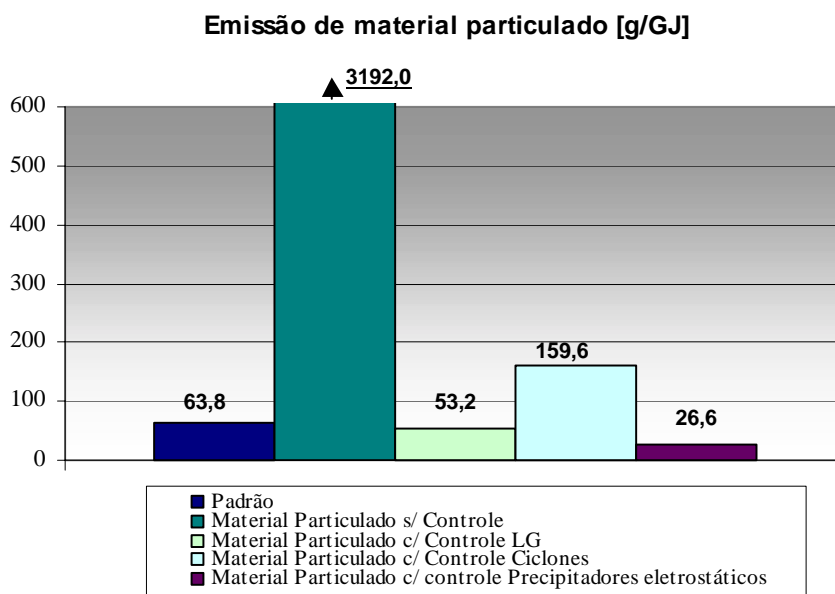


Figura 5. Comparação entre o padrão de emissão e as emissões de particulados utilizando bagaço com e sem controle.

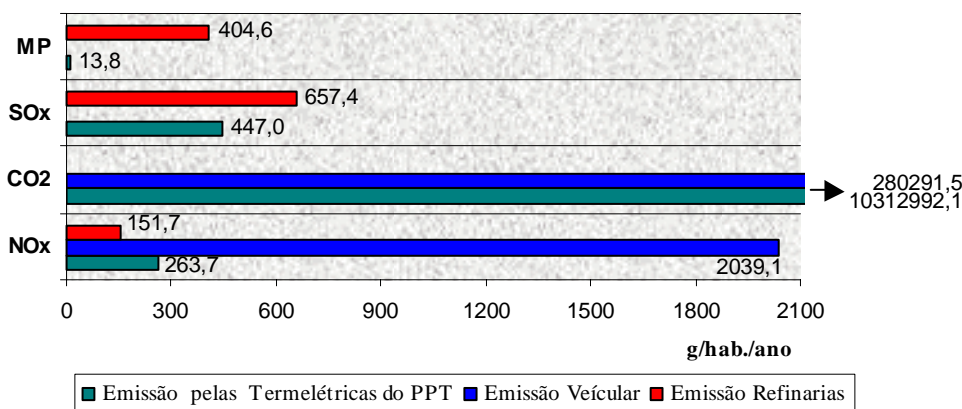


Figura 6. Comparação entre as emissões veiculares, refinarias e as usinas do PPT.

Finalmente, analisando-se a Figura (6), conclui-se que as emissões percapita de material particulado geradas pelas térmicas do PPT são muito menores que as correspondentes das refinarias. Para o caso das emissões percapita de SO_x também as termelétricas do PPT apresentam valores menores que as correspondentes das refinarias. No caso de óxidos de nitrogênio NO_x fica evidente que as emissões percapita correspondentes aos veículos automotivos são bem maiores do que as correspondentes às centrais termelétricas e refinarias. Por outro lado, embora a emissão global de CO₂ 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 qualquer outra tecnologia que utilizam combustíveis fósseis.

6. Conclusão

Neste trabalho, embora tenha sido utilizada uma análise global das emissões das centrais termelétricas que se deseja construir no Brasil, 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.

7. Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho contou com o apoio da CAPES, através de uma bolsa de doutorado.

8. Referências

- ANFAVEA, Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2000;
- BARROS, R. P., FERREIRA, S. S., 1992, “Um Modelo econométrico para Demanda de Gasolina pelos Automóveis de Passeio”, IPEA, 135 pág;
- BLUESTEIN, J., 2001, “Environmental Benefits of Distributed Generation”, Energy and Environmental Analysis, Inc.;
- 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;
- CHALFINV, J., SHORR, M., 1999, “Gas turbine emissions approaching zero NO_x –is it worth the price?”, APC – American Power Conference, 483-490 pp;
- COOPER, C. D., ALLEY, F. C., 1986, “Air Pollution Control A Design Approach”, Waveland Press, Inc. Illinois, EUA;
- DECRETO Nº 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;
- ELETOBRÁS, “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;
- GERASUL, 2000, “Ensaio em Carvão”, (comunicação pessoal);
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), www.ibge.gov.br;
- IBGE, 1987, “Estatísticas Históricas do Brasil”, Volume 3;
- 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 Nº 940233;
- LORA, E. S., 2000, “Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte”, ANEEL, Brasília, DF;
- PESTELLI, A., 1997, “Normas de emissão de particulados em caldeiras que queimam bagaço de cana”, CETESB;
- 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;
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº008 de 06 de Dezembro de 1990;
- SYDKRAFF, 2001, Värnamo - Demonstration Plant.

Environmental impacts comparative analysis of different thermoelectric generating technologies in Brazil

Karina Ribeiro Salomon

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos (NEST/DME/IEM/EFEI)
Av. BPS 1303, CP50, Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil, 37.500-903
karina@iem.efei.br

Electo Eduardo Silva Lora

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos (NEST/DME/IEM/EFEI)
Av. BPS 1303, CP50, Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil, 37.500-903
electo@iem.efei.br

Flávio Neves Teixeira

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos (NEST/DME/IEM/EFEI)
Av. BPS 1303, CP50, Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil, 37.500-903
flavio@iem.efei.br

Abstract: *Most of the electric energy availability in the national generating park, coming from thermal plants that are part of PPT (Priority Thermoelectricity Program), will raise a greater interest in relation to atmospheric emissions caused by these plants. This study intends to compare typical emissions of different thermal generating technologies with emission standards in force in Brazil and in other countries as well. It will also compare per capita automotive emissions and the ones from oil refineries in relation to generating technologies employed by the Brazilian thermoelectricity program.*

Keywords: *thermoelectric generation, atmospheric emissions, control.*