



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPT 01
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – GPT

O MERCADO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Antonio Lima *

Wärtsilä Brasil Ltda/UERJ

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar as características do mercado de motores para geração de energia elétrica no mundo, apresentar as tendências desta tecnologia e mostrar as suas aplicações e oportunidades no Brasil. Esta tecnologia é extremamente apropriada para países com geração hidrelétrica porque viabiliza a geração térmica flexível, contribuindo para a minimização do custo e do impacto ambiental da geração de energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE

Geração Térmica, Motores, Mercado

1.0 - INTRODUÇÃO

De acordo com Agência Internacional de Energia- AIE, a eletricidade representa 16% do consumo de energia final e o Brasil é o décimo maior consumidor de energia elétrica no mundo. Isto nos coloca em destaque porque nossa política energética tem poder de afetar o mercado mundial de insumos energéticos, o mercado de equipamentos elétricos e as emissões globais. O grande desafio é construir um sistema de geração de energia elétrica que otimize o uso dos recursos naturais de forma ambientalmente correta e com menor custo.

2.0 - A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NO MUNDO

Apesar das crises do petróleo e das questões ambientais, a geração térmica continua responsável por 80% da eletricidade gerada no mundo, mas a participação dos combustíveis fósseis diminuiu em 9% entre 1973 e 2004.

A geração hidrelétrica também perdeu 5% de participação no mercado de geração no mesmo período. Esta perda foi compensada pelo aumento de 12% na participação da energia nuclear e pelo aumento de 2% na participação das fontes alternativas. Isto mostra que, nos últimos 30 anos, as fontes alternativas foram incapazes de garantir um mercado de geração de energia elétrica ambientalmente limpo, seguro e sustentado. Em função disso, os combustíveis fósseis continuarão responsáveis por parcela significativa da geração de energia elétrica nos próximos anos e sua participação dependerá de uma menor ou maior participação da energia nuclear e/ou das fontes alternativas.

A Figura 1 apresenta a participação de mercado e a energia elétrica gerada pelas diversas fontes primárias de energia em 1973 e 2004. De acordo com a AIE, o crescimento médio anual da eletricidade neste período foi de 3,4%, equivalente a 69.000 MW_{med} por ano. Apesar da perda de mercado dos combustíveis fósseis, o carvão manteve-se como a fonte primária mais utilizada na geração de energia. Esta liderança resulta da queda de 23% na participação do óleo na geração de energia decorrente dos aumentos de preço de petróleo ocorridos a partir de 1973. A participação de mercado das hidrelétricas caiu de 5% no mesmo período, mas, devido ao crescimento do consumo, houve um crescimento de 8200 MW_{med} por ano. A participação de mercado do gás natural cresceu de 8% e a energia gerada cresceu 5,6% ao ano. Finalmente, a participação das fontes alternativas cresceu apenas 1% entre 1973 e 2004.

A Figura 2 mostra o crescimento médio anual das diversas fontes primárias de energia na geração de energia elétrica. Esses números foram calculados a partir dos dados da Figura 1, considerando uma taxa de crescimento uniforme em todo o período, 8760 horas de operação anual e a energia gerada em 2004. De acordo com esta metodologia, o crescimento anual da geração a carvão é da ordem de 28.000 MW_{med} por ano, sendo seguido pela energia nuclear com 27.000 MW_{med} por ano. O gás natural aparece na terceira colocação com crescimento anual

de 20.000 MW_{med}, seguido pelas hidrelétricas com apenas 8.200 MW_{med} por ano. Apesar do crescimento da energia gerada pelas fontes alternativas ter sido de 900% entre 1973 a 2004, superado apenas pelo crescimento da energia nuclear, ele representa apenas 3.300 MW_{med} por ano. Finalmente, a geração a óleo diminuiu 1.000 MW_{med} por ano. No entanto, isto não significa, conforme veremos a seguir, que novas usinas a óleo não foram e não estejam sendo construídas.

A Figura 3 apresenta os 10 países com maior potência hidrelétrica instalada no mundo. Os EUA possuem a maior potência instalada e é seguido pela China, Canadá e Brasil. No entanto, quando consideramos a energia realmente gerada por essas usinas, os EUA passam para o quarto lugar. Neste país, as hidrelétricas são operadas na ponta, enquanto as térmicas operam na base. A razão disso é simples; a potência hidrelétrica instalada neste país (6,5%) é insuficiente para a operação na base.

A Noruega, o Brasil e a Venezuela possuem as maiores participações da hidroeletricidade na geração de energia no mundo, com 98,8%, 82,8% e 71% respectivamente, mas a média da participação dos 10 maiores países é de apenas 41% e a média do restante do mundo não passa de 15%.

No entanto, esses números mascaram a realidade da dependência hidráulica. Conforme mostra a Figura 4, a Noruega é o país que mais importa energia com relação a sua geração própria, seguido da Suécia que também é a maior exportadora. Ambos os países participam ativamente do Nord Pool que comercializa energia entre a Escandinávia e a Europa. Em função disso, a Noruega não pode ser considerada como um sistema puramente hidrelétrico, pois a geração térmica necessária para garantir seu abastecimento encontra-se na Europa.

Portanto, o Brasil é o país com a maior dependência da energia hidrelétrica no mundo. Esta dependência elevada aumenta o risco do suprimento, não garante a modicidade tarifária e não minimiza os impactos ambientais. O risco aumenta porque o suprimento depende totalmente da hidrologia. Para minimizar este risco, reservatórios maiores e mais usinas hidrelétricas são necessárias. Isto aumenta os impactos ambientais causados pelos reservatórios e aumenta o custo da energia porque a energia secundária não tem mercado.

Finalmente, a Figura 5 apresenta os 10 países com maior geração a óleo no mundo. Observa-se que esta geração é muito utilizada em países desenvolvidos, em países em desenvolvimento e países produtores de petróleo. Isto demonstra que ela possui importante espaço na geração de energia e não está confinada a determinadas regiões do globo. Os Estados Unidos e o Japão são os países com a maior geração a óleo no mundo e, juntos, geraram o equivalente a 76% de toda a energia elétrica consumida no Brasil em 2004. Além disso, a geração a óleo nos EUA representou 60% de sua própria geração hidrelétrica no mesmo período.

3.0 - O MERCADO DE EQUIPAMENTOS PARA GERAÇÃO TERMELÉTRICA

Conforme visto na Figura 1, o carvão é responsável por 40% da eletricidade gerada no mundo, o gás por 20% e o óleo combustível por 10%. Portanto, o mercado de equipamentos para geração térmica com combustíveis líquidos e gasosos é da ordem de 30% da energia elétrica gerada no mundo. Considerando o crescimento médio anual entre 1973 e 2004 de 3,44%, a demanda de equipamentos para geração térmica, baseada em combustíveis líquidos e gasosos, é da ordem de grandeza de 21.000 MW_{med} por ano. Este mercado é disputado por três tecnologias de equipamentos: máquinas de combustão externa, turbinas a gás e motores de combustão interna.

A tecnologia do vapor é a mais antiga utilizada para geração de energia elétrica em grande escala. A caldeira a vapor (máquina de combustão externa) transforma o calor da combustão em vapor de alta temperatura e pressão. A energia deste vapor é transformada em energia mecânica nas turbinas a vapor. A grande vantagem desta tecnologia é a versatilidade de poder utilizar praticamente todos os tipos de combustíveis. Porém, isso não significa que, uma vez construída, o combustível possa ser trocado, pois as caldeiras são otimizadas para cada tipo de combustível. Além disso, sua eficiência é a mais baixa de todas as três tecnologias (30%) e, em função disso, sua aplicação encontra-se atualmente restrita aos combustíveis sólidos (carvão, biomassa e nuclear), que não podem ser queimados em motores e turbinas. Isto pode parecer pouco, mas representa 55% da geração no mundo.

As turbinas a gás dominam o mercado de geração a gás natural para grandes potências unitárias, conforme mostra a Figura 6. Este domínio é explicado pela inexistência de motores de combustão interna com potência unitária superior a 60MW na geração de energia. No entanto, este domínio tem sido ameaçado pelos motores de combustão interna devido à sua maior eficiência, conforme mostram a Figura 7 e a Figura 8. A potência de turbinas vendidas no mundo, que já representou 7 vezes a potência vendida de motores, é atualmente apenas o dobro e mantém a tendência de queda.

Com o aumento dos preços dos derivados de petróleo, a eficiência das máquinas passou a ser determinante na escolha da tecnologia porque o custo de combustível representa mais de 50% do custo da energia gerada. Os motores, que funcionam de acordo com o ciclo Otto ou Diesel, apresentam uma eficiência maior (44%) do que as turbinas (35%), que funcionam de acordo com o ciclo Brayton. Além disso, o motor de combustão interna é a única tecnologia capaz de utilizar combustíveis líquidos e gasosos simultaneamente. Esta tecnologia (Dual-Fuel ou Flex), que já se encontra difundida nos automóveis, também está disponível nos motores para geração de energia e é extremamente importante para regiões, como a América Latina, onde a disponibilidade do gás natural ainda está sujeita a problemas políticos, logísticos e econômicos. Na verdade, os motores de combustão interna são extremamente robustos e funcionam com diversos biocombustíveis.

Observa-se, a partir da Figura 6, que o mercado de motores e turbinas foi da ordem de 52.000 MW/ano em 2004 e cresceu para 66.000 MW/ano em 2005. Isto significa que motores e turbinas a gás estão dominando o mercado de máquinas para geração térmica baseada em combustíveis líquidos e gasosos.

A Figura 9 mostra o mercado de máquinas em função dos 3 combustíveis mais importantes: gás natural, óleo combustível e óleo diesel. O óleo diesel domina o mercado de máquinas com pequena potência unitária, o óleo combustível domina o mercado de unidades intermediárias e o gás natural domina o mercado de grandes unidades.

Finalmente, a Figura 10 apresenta as vendas de turbinas e motores, com potência unitária inferior a 60 MW, nas diversas regiões do mundo. Observa-se que as turbinas apresentam participação de mercado maior do que os motores apenas na América do Sul, na África e na Europa Oriental. Por outro lado, o volume de vendas de motores na América Central é 4 vezes maior do que o de turbinas e na América do Norte é 1,5 vezes maior.

A explicação para esse fenômeno é que a América do Sul ainda não descobriu as vantagens da geração flexível a óleo para otimizar seu parque de geração predominantemente hidrelétrico. O motor de combustão interna é a tecnologia ideal para esta complementação por que:

- a) Possui eficiência superior à eficiência das turbinas em ciclo aberto;
- b) Utiliza óleo combustível, óleo diesel, biodiesel e gás natural;
- c) O custo de investimento é inferior ao custo de investimento de termelétricas de ciclo combinado com potência inferior a 300 MW;
- d) Não necessita de grandes captações de água para resfriamento;

4.0 - ASPECTOS AMBIENTAIS

Não se pode falar de geração de energia elétrica e, em particular de geração térmica, sem se abordar a questão ambiental. A Figura 11 apresenta os 20 países que mais emitem CO₂ no mundo. Os EUA e a China são os maiores responsáveis por essas emissões, seguidos da Rússia e da Índia. Contudo, esta classificação não é adequada quando falarmos de energia elétrica porque as emissões apresentadas incluem as emissões de todas as fontes. Além disso, a mera comparação de emissões não considera os distintos tamanhos das economias e das populações.

Por isso, os pontos da Figura mostram as emissões de CO₂ divididas pelo consumo de energia elétrica. Este número reduz a questão da economia e da população, porque o consumo de energia elétrica está diretamente correlacionado a estes fatores. A análise desta curva mostra que França, Brasil e Canadá são os países com a menor emissão de CO₂ por energia elétrica consumida. A França utiliza predominantemente a energia nuclear e Brasil e Canadá utilizam a hidroeletricidade. Por outro lado, Indonésia, Irã e China são os países com maior emissão de toneladas de CO₂ por TWh e a geração de energia elétrica utiliza predominantemente combustíveis fósseis nesses países.

Finalmente, a Figura 12 apresenta as emissões de CO₂ em função das três tecnologias de geração térmica e dos quatro combustíveis fósseis. A térmica a carvão com caldeira e turbina a vapor apresenta a maior emissão por energia gerada devido a baixa eficiência do ciclo Rankine (30%) e da maior quantidade de carbono no carvão. Depois, as maiores emissões são das turbinas em ciclo aberto queimando diesel devido à baixa eficiência em ciclo aberto (entre 30% e 37%). Em seguida, aparecem os motores de combustão interna em ciclo aberto queimando óleo combustível devido a sua elevada eficiência (42%). As turbinas a gás de potência inferior a 60 MW em ciclo aberto, mesmo operando com gás natural, apresentam emissões mais elevadas do que motores operando com diesel. Finalmente, as menores emissões são obtidas com os motores e turbinas operando em ciclo combinado e queimando gás natural.

5.0 - CONCLUSÕES

Os combustíveis fósseis continuarão responsáveis por parcela significativa da geração de energia elétrica no mundo. A maior ou menor participação desses combustíveis dependerá da relação entre o preço do petróleo e os preços do carvão e da energia nuclear. As fontes alternativas não têm capacidade de mudar este cenário nos próximos 10 anos por limitações na capacidade de produção de equipamentos e pelo elevado custo da energia gerada. A participação da hidroeletricidade continuará a diminuir em virtude dos problemas ambientais e das distâncias aos centros de carga, uma vez que linhas de transmissão também apresentam impactos ambientais. Além disso, os novos projetos terão limitações crescentes no tamanho do reservatório e na sua utilização de armazenar energia uma vez que a água será a prioridade ambiental no médio prazo e o enchimento de reservatórios é fonte importante de emissões de CO₂ e metano.

No entanto, o Brasil encontra-se em situação privilegiada porque o conjunto de hidrelétricas existente nos colocou na posição de menor emissor de CO₂ por energia elétrica consumida no mundo. Além disso, a recém conquistada auto-suficiência de petróleo nos permite expandir a geração termelétrica de forma econômica e ambientalmente correta. Térmicas flexíveis com motores de combustão interna utilizando óleo combustível, gás natural ou biodiesel aumentarão a energia assegurada do sistema com custo de investimento inferior ao custo de investimento das hidrelétricas e com custo variável inferior ao custo variável das térmicas não flexíveis. Considerando que não operarão na base, suas emissões e custo de combustível serão ainda menores.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) International Energy Agency, Key World Energy Statistics, 2006
- (2) Diesel and Gas Turbine Worldwide yearly survey 1991-2006
- (3) International Energy Agency, Oil in Power Generation, Paris, 1997.

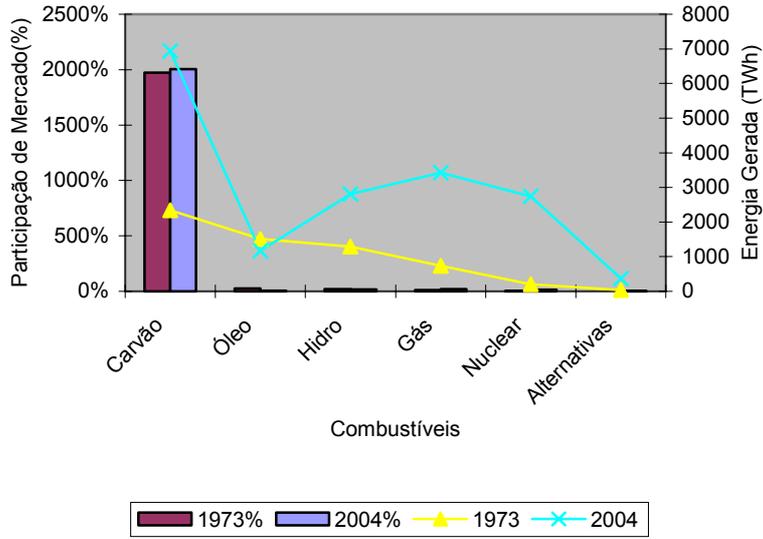


Figura 1. Participação de Mercado dos Combustíveis na Geração de Energia Elétrica

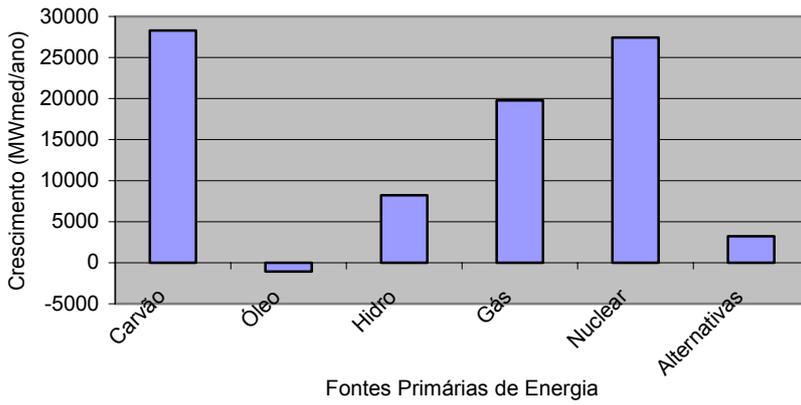


Figura 2. Crescimento Anual da Geração de Energia no Mundo

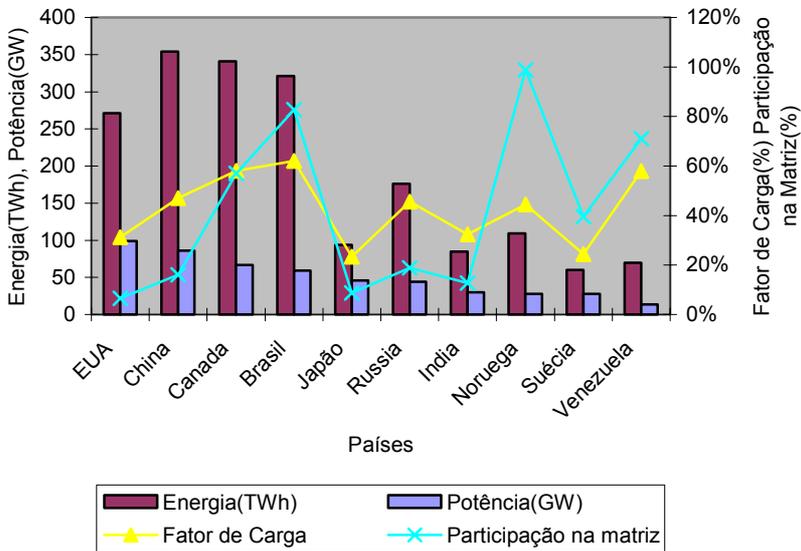


Figura 3. Geração Hidrelétrica no Mundo

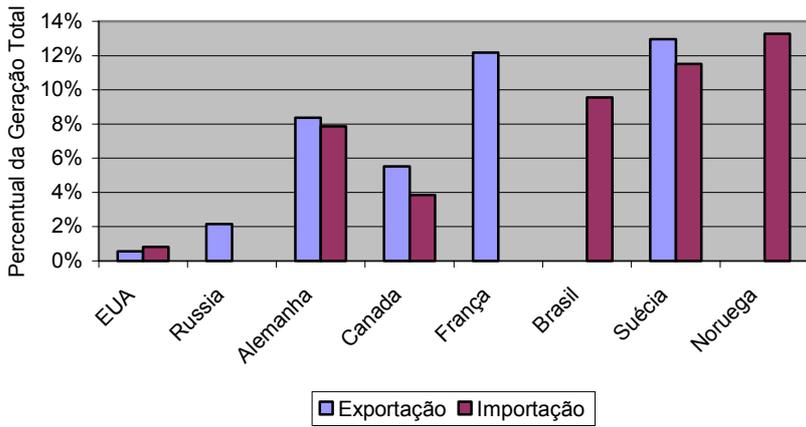


Figura 4 Participação da Importação/Exportação na Geração de Energia Elétrica

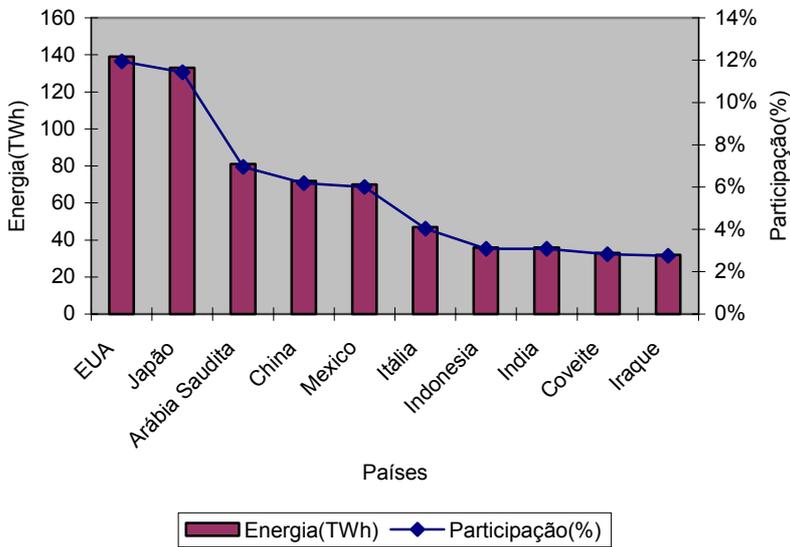


Figura 5. Geração a Óleo no Mundo

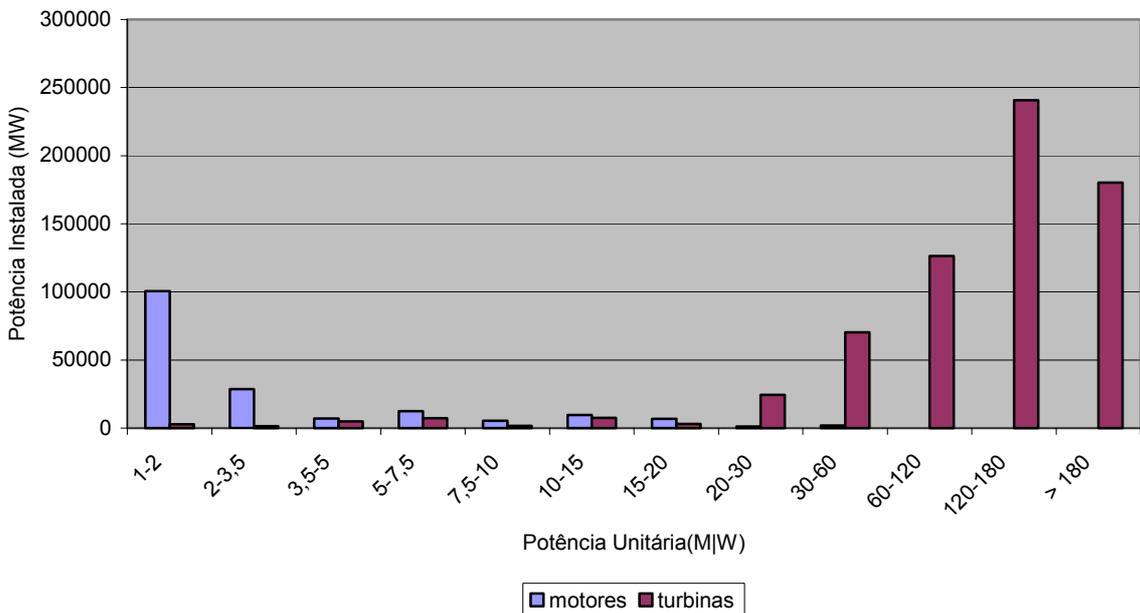


Figura 6. Mercado de Motores e Turbinas por Potência Unitária

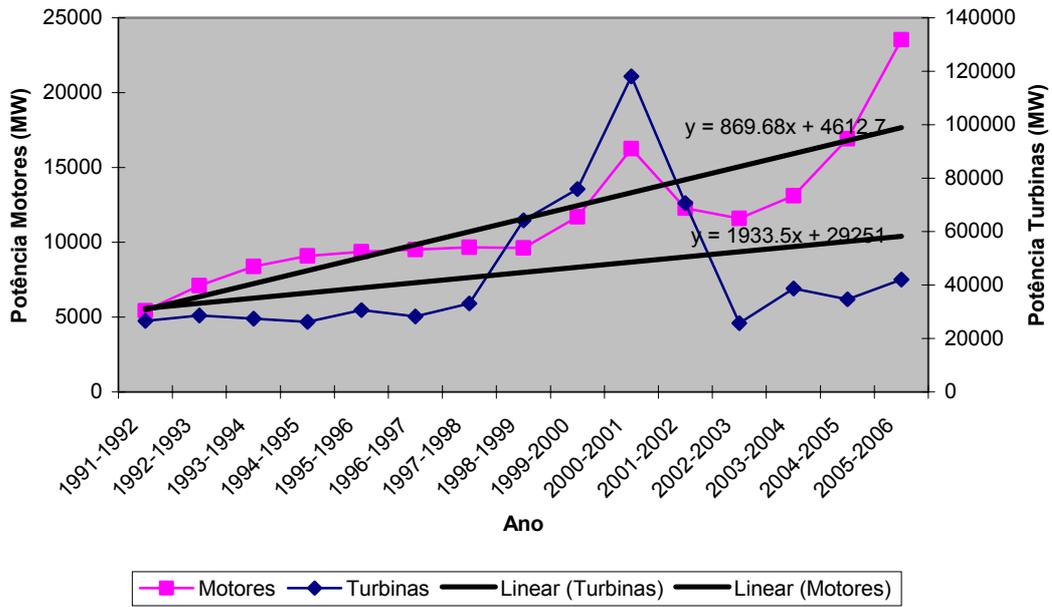


Figura 7. Vendas anuais de motores e turbinas

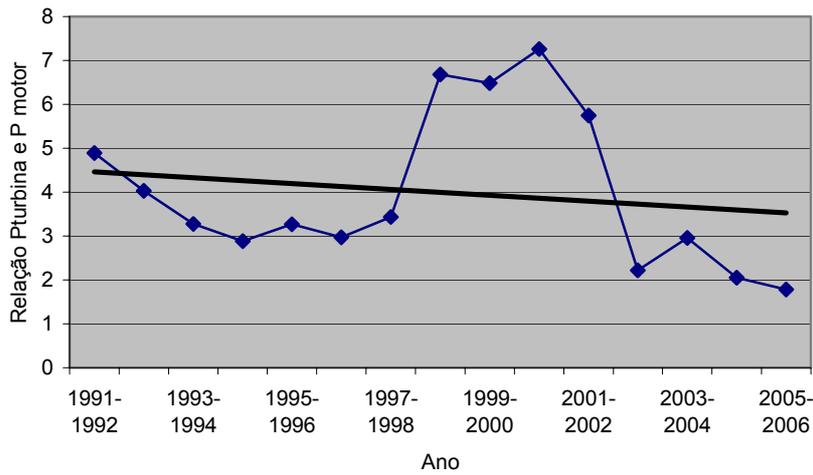


Figura 8. Relação entre as Potências Vendidas por ano de turbinas e motores

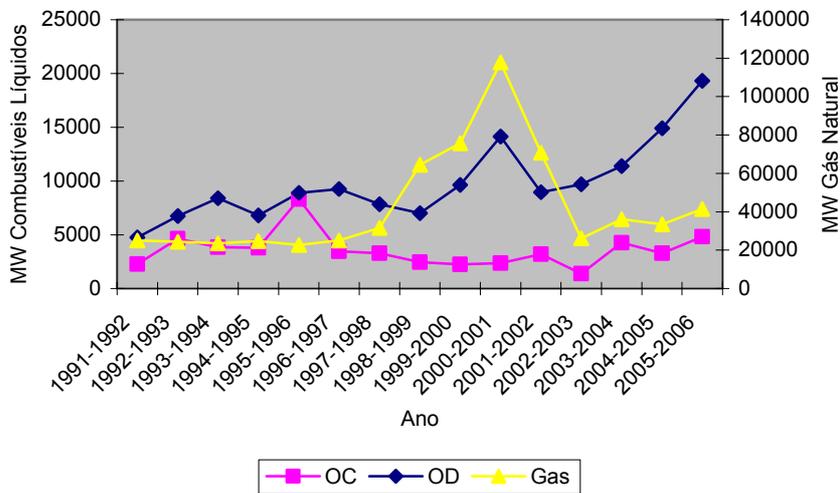


Figura 9 Mercado dos Líquidos e Gasosos

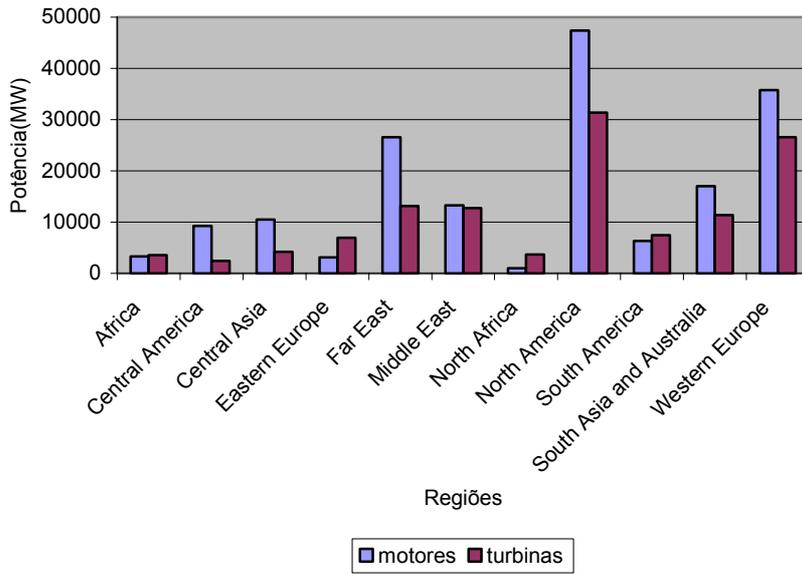


Figura 10. Vendas de Motores e Turbinas com potência unitária inferior a 60 MW por Regiões

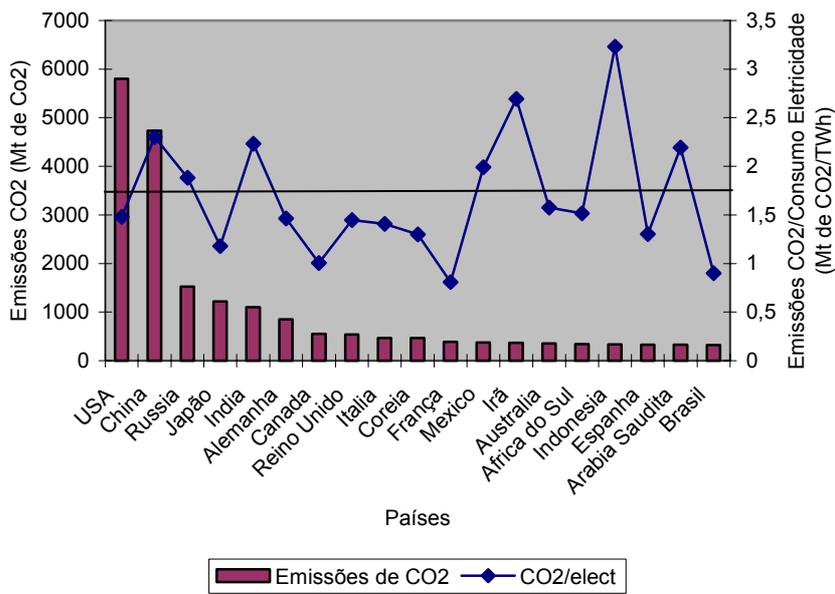


Figura 11 Maiores Emissores de CO2

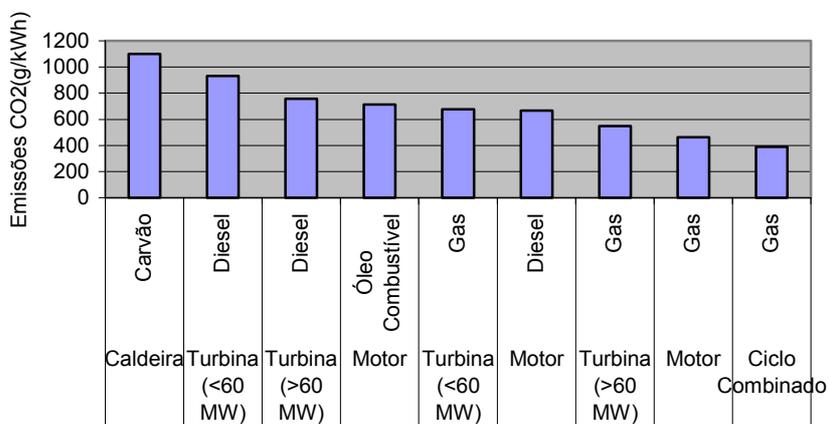


Figura 12. Emissões em função das tecnologias e combustíveis