

# ASPECTOS DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO SETOR AUTOMÓVEIS E AUTO-PEÇAS <sup>(1)</sup>

Paulo César da Costa PINHEIRO  
Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG  
Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901 Belo Horizonte, MG  
e-mail: pinheiro@dedalus.lcc.ufmg.br pinheiro@demec.ufmg.br

## RESUMO

Para otimizar o uso dos recursos energéticos naturais disponíveis é necessário aumentar o rendimento dos processos e máquinas atuais, e conservar energia. A conservação de energia é um fator de grande relevância para que as empresas reduzam seus custos de energia, na busca da competitividade, devendo ser encarada como estratégia empresarial. O ambiente de competitividade e a possível escassez de energia elétrica apontam para a necessidade de redução e/ou alteração do consumo de matéria-prima, da aplicação de reciclagem e de tecnologias que reduzam o consumo específico. Existe ainda um grande potencial de desenvolvimento neste sentido.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos tempos de petróleo abundante e barato, as instalações térmicas eram projetadas com baixo rendimento. No projeto das caldeiras, por exemplo, existia uma grande perda de energia pela chaminé, pois era mais econômico a perda térmica do que os custos de capital adicionais para a instalação de equipamentos de recuperação de calor. Simplesmente procurava-se compensar os custos operacionais (combustível) com os de capital. Nesta época, os automóveis também eram projetados balanceando os custos de fabricação com os custos de combustível, de modo a minimizar o gasto global. Entretanto, os dias de energia abundante e barata passaram.

A indústria é uma grande consumidora de insumos energéticos, e portanto muito sensível aos fatores que possam influenciar estes insumos: preço, disponibilidade, qualidade etc. A incidência dos custos de energia nos custos variáveis da indústria é em média em 10% atingindo até mais de 14% em alguns casos.

A estabilidade e abertura da economia Brasileira obrigou a indústria à buscar competitividade e racionalizar seus custos de modo a sobreviver à concorrência internacional. Agora tornou-se uma necessidade prioritária a redução de qualquer desperdício e utilizar racionalmente a energia disponível (redução do custo Brasil).

## 2. O CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL

A figura 1 mostra a evolução do consumo total de energia no mundo. No período de 1900 a 1995 os combustíveis fósseis supriram 90% do consumo energético mundial. Em 1900 o principal combustível era o carvão, mas, a matriz energética mudou, e hoje o mundo depende do petróleo e gás para quase 60% do suprimento energético. O consumo mundial de energia

---

<sup>(1)</sup> Trabalho apresentado no I Encontro de Conservação de Energia, Setor Automóveis e Autopeças, CEMIG, Belo Horizonte, MG, 27/06/1996.

é atualmente (1994) 8,8 Gtep/ano (11,7TW) [5], uma quantidade relativamente pequena em relação à estimativa de recursos (807+617Gtep), mas, a grande dependência do petróleo e gás é preocupante.

Após a segunda crise de energia (1979), o consumo mundial de energia elétrica cresceu mais rápido que o consumo de petróleo, carvão e energia primária. O consumo de energia elétrica subiu de 7356TWh em 1980 para 10797 TWh em 1992, uma taxa de crescimento de 3,3% a.a.. No mesmo período o consumo mundial de petróleo aumentou de 63 Mbaril/dia para 66,7 Mbaril/dia (0,5%a.a.), o carvão de 3915 Mtons para 4540 Mtons (1,2%a.a.) e o gás natural de 1504Gm<sup>3</sup> para 2115Gm<sup>3</sup> (2,9%a.a.). Na energia elétrica gerada no mundo 42% é vem do carvão, 19% hidroelétrica, 17% nuclear, 12% do gás, e 10% de derivados do petróleo (geotérmica e outros, menos de 0,5%) [7].

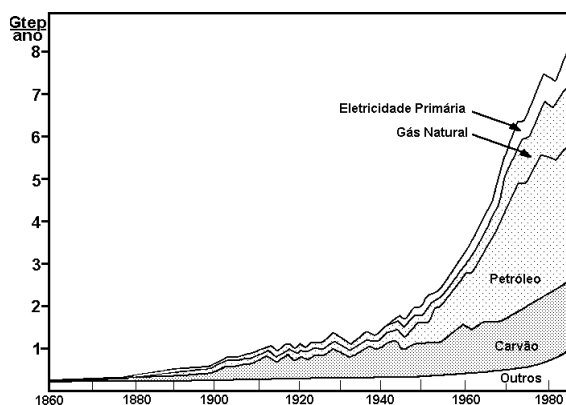


Figura 1. Consumo Mundial de Energia [9]

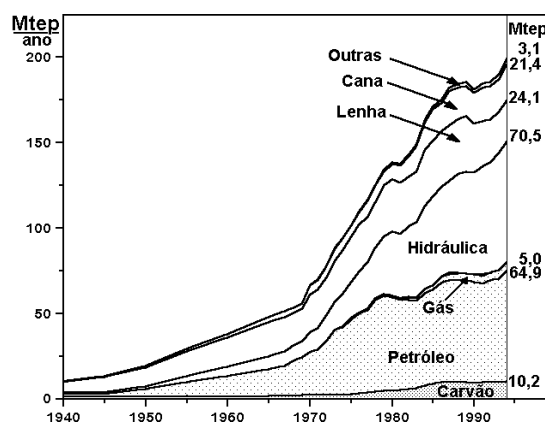


Figura 2. Consumo Nacional de Energia [9]

A figura 2 [9] mostra evolução do consumo de energia no Brasil. O consumo total de energia (1994) foi de 199 Mtep, com um crescimento na década 84-94 de 21% (Brasil, 1995). Pode-se verificar que o perfil de demanda nacional é muito diferente do mundial, contando com grande participação de fontes renováveis (hidráulica, lenha e cana). O Brasil tem um perfil energético muito particular: a eletricidade é responsável por 40% do balanço energético. A capacidade elétrica instalada é 55 GW (1995), dos quais 94% são gerados por hidroelétricas, e o resto por carvão, óleo diesel, gás natural nuclear (tabela 1). No balanço energético mundial, a energia hidráulica participa com 5%. O Brasil possui um enorme potencial hidroelétrico ainda não explorado, estimado em 150GW, mas a maior parte deste potencial encontra-se na região norte, sendo difícil o seu transporte até os centros consumidores.

Tabela 1. Capacidade Nominal Instalada em 31 Dezembro (MW). [6]

|               | Hidráulicas  |              | Térmicas    |             | Total        |              |
|---------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
|               | 1994         | 1995         | 1994        | 1995        | 1994         | 1995         |
| Norte         | 4722         | 4765         | 1018        | 1039        | 5740         | 5804         |
| Nordeste      | 7792         | 8792         | 568         | 568         | 8360         | 9360         |
| Sudeste       | 22890        | 23229        | 1953        | 1953        | 24843        | 25182        |
| Sul           | 6849         | 6849         | 1153        | 1153        | 8002         | 8002         |
| Centro-Oeste  | 744          | 752          | 116         | 112         | 860          | 864          |
| Itaipu        | 6300         | 6300         | -           | -           | 6300         | 6300         |
| <b>Brasil</b> | <b>49297</b> | <b>50687</b> | <b>4808</b> | <b>4825</b> | <b>54105</b> | <b>55512</b> |

**Tabela 2.** Geração bruta e energia disponível no Brasil (GWh) [6]

|                                       | 1994   | 1995   |
|---------------------------------------|--------|--------|
| <b>Hidráulica</b>                     | 239467 | 250480 |
| <b>Total Térmica</b>                  | 6408   | 10198  |
| Óleo Combustível                      | 1401   | 1312   |
| Óleo Diesel                           | 1847   | 2808   |
| Gás Natural                           | 0      | 0      |
| Nuclear                               | 55     | 2519   |
| Carvão Mineral                        | 3105   | 3559   |
| Total Geração Bruta                   | 245875 | 260678 |
| Excedente Itaipu recebido (50% total) | 31767  | 35208  |
| Recebimento de autoprodutores         | 447    | 382    |
| <b>Energia Total Disponível (GWh)</b> | 278089 | 296268 |

## 2. A DISPONIBILIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Existe a possibilidade da falta de disponibilidade de energia elétrica a curto prazo. Desde 1986 sabe-se que são necessários cerca de US\$6 bilhões/ano de investimentos, para atender o aumento estimado da demanda. Apesar destes investimentos não terem sido realizados, ainda não faltou energia elétrica. Entretanto isto ocorreu porque as crises econômicas frearam o desenvolvimento econômico e o consumo de energia, e porque aconteceram ciclos hidrológicos favoráveis.

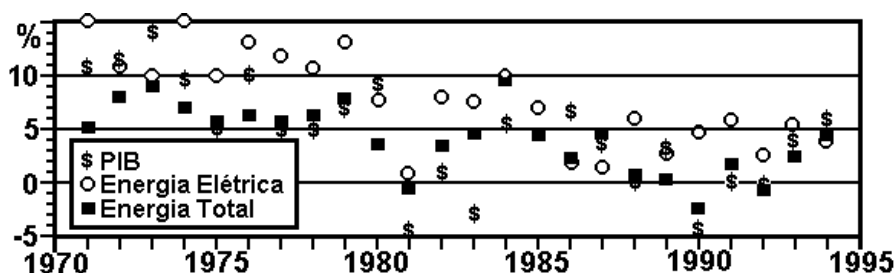
A partir da implantação do Plano Real (1994), a economia brasileira vem crescendo, e com ela vem aumentando o consumo de eletricidade a mais de 5% a.a. (contra 3% em média dos anos anteriores), e as previsões são de que continue a crescer. Além disso, começaram ciclos hidrológicos ruins. Na região nordeste a situação é crítica, sendo previsto o início de um ciclo com as piores secas dos últimos 60 anos. Na região sul/sudeste não chove o suficiente para elevar os níveis dos reservatórios plurianuais. Como consequência, hoje já existe um déficit nos horários de ponta, a qualidade do suprimento vem caindo e existe o risco de blecautes por sobrecarga do sistema de energia.

O fato é que já estamos vivendo uma prévia do que probabilisticamente poderá vir a ser o déficit de energia elétrica no Sul/Sudeste/Centro-Oeste. Já temos queda de frequência na ponta; as Usinas Térmicas de Piratininga e Santa Cruz, depois de décadas foram religadas; a hidrologia está insatisfatória, as obras lentas e o mercado consumidor (notadamente o residencial) explodindo. O número de interrupções de fornecimento, as variações de frequência e das tensões de alimentação, são problemas que voltaram. As previsões são de aumento no risco de abastecimento nos próximos 2 a 4 anos. Desde o início de 1996 a Cemig interrompeu os contratos de energia temporária, por não possuir mais sobra de energia. Para 1997 estima-se um déficit de 500MW na ponta, e existe possibilidade de racionamento em Manaus, Cuiabá e Brasília.

Para assegurar o crescimento anual de 4 a 5% no consumo de eletricidade, é necessário instalar 2,5-3,5 GW/ano, e investimentos de US\$ 6 bilhões/ano. É conhecida a escassez de recursos públicos para investimento no setor. Em 1993, a Eletrobrás investiu somente US\$ 1,4 bilhão em vez dos US\$ 2,3 bilhões previstos. O cenário macroeconômico adotado pelo Grupo Coordenador do Planejamento de Sistemas elétricos (GCPS) como referência para a elaboração das previsões de mercado se baseia num crescimento médio do PIB de 5% a.a. no período de 1996/2005 [6]. Com base neste cenário macroeconômico, a taxa de crescimento médio prevista pelas concessionárias no referido período, para o consumo total

de energia elétrica é de 4,9% a.a.. Esta previsão é a base dos estudos de expansão da oferta. As previsões do mercado levaram em conta hipóteses de conservação de energia elétrica e participação de autoprodutores. A elasticidade determinada para o período 1996/2005 é de 0,98. Este fato pode significar que as previsões do mercado são ainda mais conservadoras, embora reflitam as estimativas realizadas pelas concessionárias. Surge, assim, a necessidade de se considerar previsões alternativas que resultem em uma elasticidade mais elevada.

Na figura 3 verifica-se que entre 1975-1995 a variação do consumo de energia elétrica, é sempre maior do que a variação do PIB, que é maior que a variação do consumo total de energia. Este aumento do consumo de eletricidade é sobretudo notado nos setores residencial e comercial. Assim, a elasticidade da renda pode ser questionada, pois com o aumento do poder aquisitivo, as populações pobres tornam-se consumidoras, e mudando-se o perfil de consumo.



**Figura 3.** Variação do PI, consumo de eletricidade e consumo total de energia no Brasil [9].

Os investimentos necessários para produção, transmissão e distribuição da eletricidade no Brasil custam em torno de US\$2500/kW. Por outro lado, para economizar eletricidade são necessários investimentos de cerca de US\$1000/kW. Assim, a conservação de energia é um excelente negócio do ponto de vista econômico-financeiro e ambiental. Estima-se que exista um desperdício de energia elétrica no Brasil na ordem de US\$2,5 bilhões/ano, onde US\$ 1,0 bilhões na distribuição e US\$1,5 bilhões no uso final). Em média existe um desperdício de energia elétrica no Brasil de 15%, sendo que em Manaus atinge cerca de 30%. Contabilizando todas as formas de energia, a nível industrial cerca de 25-40% da energia pode ser conservada com aplicação de tecnologias atuais, demonstrando que existe um grande campo de economia nesta área [1].

Em 1985 iniciou-se o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), e desde então foram introduzidas várias medidas de conservação de energia. A implementação destas medidas proporcionou às Concessionárias até 1995 o adiamento de investimentos da ordem de US\$ 1 bilhão em novas usinas. Atualmente o Procel tem como meta a conservação de 25 GW de energia elétrica.

Nestas condições, para reduzir o consumo de energia, e com ele minimizar os problemas ambientais futuros é preciso adotar uma das seguintes estratégias:

- a) reduzir a quantidade bruta de matérias primas necessárias para um dado fim. Exemplo: usar plásticos em lugar de aço na fabricação de automóveis, ou fibras de vidro no lugar de fios de cobre na telefonia;
- b) reduzir a intensidade energética nos processos de produção, isto é, a quantidade de energia para produzir um dado bem (conservação de energia);
- c) reciclar materiais.

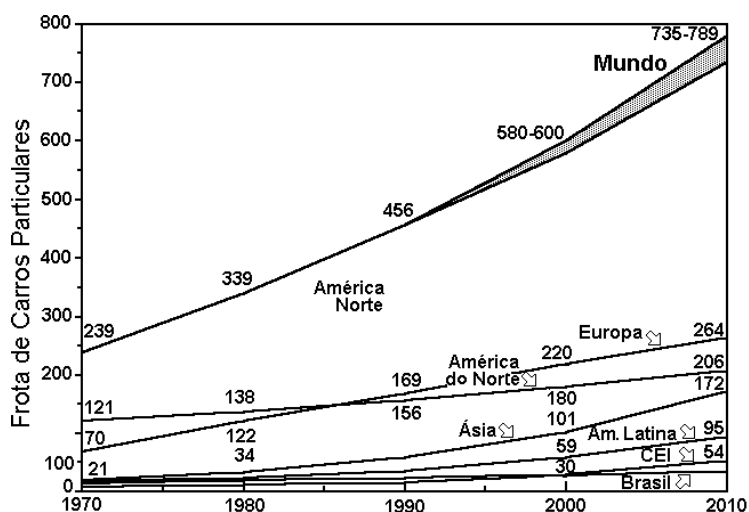
### 3. A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

O setor industrial e o setor de transporte, representam juntos mais da metade do consumo total de energia do Brasil. Uma análise da matriz energética do setor industrial a de 1979 a 1995 [2] mostra que ao longo do tempo diminui o consumo de óleo combustível, de 27,5% para 9,5%, e aumentou o consumo de eletricidade, de 37,8% para 48,8%, mostrando a importância da eletricidade para o setor industrial

**Tabela 3.** Composição de custos no setor automobilístico francês [3]

|  |        |
|--|--------|
| <b>Compras dentro do setor automobilístico</b> | 29,7%  |
| <b>Compras de outros setores</b>               | 70,3%  |
| - Produtos petrolíferos                        | 0,8%   |
| - Eletricidade, gás e água                     | 1,6%   |
| - Minerais e metais                            | 5,8%   |
| - Vidro  | 1,5%   |
| - Química e derivados                          | 1,9%   |
| - Fundição e conformação mecânica              | 17,4%  |
| - Bens e máquinas ferramentas                  | 2,0%   |
| - Material elétrico e eletrônico               | 3,8%   |
| - Tecidos, couros e peles                      | 2,3%   |
| - Pneus e produtos em borracha                 | 5,8%   |
| - Plásticos                                    | 4,4%   |
| - Transporte                                   | 2,1%   |
| - Despesas comerciais                          | 17,2%  |
| - Despesas financeiras                         | 2,8%   |
| - Diversos                                     | 0,9%   |
| <b>Total</b>                                   | 100,0% |
| <b>Valor adicionado</b>                        | 31,0%  |

A indústria automobilística é a mais importante indústria de manufatura mundial, envolvendo todos os ramos da economia. Nos países industrializados o nível da produção de automóveis tornou-se indicador da economia. Mudanças na produção de automóveis afetam diretamente as indústrias de aço, alumínio, petróleo e borracha, bem como seus fornecedores e empregados. Uma longa recessão na indústria automobilísticas ou uma queda nas vendas pode resultar numa recessão da economia em geral.



**Figura 4.** Estimativa da Frota de Automóveis Particulares (milhões) [12]

O Brasil é 9º produtor mundial de automóveis, com uma produção de 1,8 milhões de

automóveis em 1995. Existem hoje no Brasil cerca de 23,5 milhões de automóveis em circulação. Em virtude de sua grande extensão territorial, das deficiências do transporte ferroviário e da pequena frota (10 habitantes/veículo) a produção de automóveis deve aumentar, atingindo no ano 2000 a 5ª posição mundial com 2,5 milhões de automóveis/ano.

#### 4. ANÁLISE EXERGÉTICA

O objetivos dos projetos de engenharia é a otimização de um processo dentro de certas condições. Para atingir esse objetivo, o engenheiro utiliza metodologias visando a resolução sistemática desse problema. No campo energético isto implica no uso ótimo da energia durante a transmissão ou transformação. Os seguintes fatores estão diretamente relacionado com a conservação de energia [8]:

- Investimento,
- Produtos fabricados,
- Recuperação de produtos,
- Consumo específico de energia,
- Operacionabilidade,
- Manutenção.

O objetivo a ser atingido na otimização energética de um sistema (processo ou máquina) é a otimização simultânea de todos esses fatores. Uma melhoria real é obtida em um novo processo ou nova máquina, se existirem ganhos em todos os fatores acima, ou no somatório deles. Uma melhoria pode ser ilusória se estes fatores não forem cuidadosamente avaliados. Em termos energéticos, a análise do investimento, é a mais difícil de ser realizada. Geralmente é realizada em termos de valores monetários, que não é representativo do conteúdo energético e de matéria-prima.

A termodinâmica estabelece os princípios gerais que determinam o máximo que pode ser extraído, ou o ótimo em determinadas circunstâncias. A otimização do uso da energia é baseada no conceito da qualidade da energia: Energia Disponível (utilizável) ou Exergia. Exergia (**E**) ou Energia Disponível é a fração da energia que pode ser totalmente transformada, sem restrições, em qualquer outra forma de energia, particularmente em trabalho mecânico. É a máxima quantidade de trabalho que pode ser produzida por um fluido ou sistema. Assim, a Exergia mede a qualidade de um tipo de energia. Este conceito é universal, e pode ser aplicado a sistemas físicos, processos químicos, combustão etc. A Análise Exergética é uma metodologia que permite identificar os pontos do processo onde existem maiores potenciais de recuperação energética e produção de trabalho, e tem sido muito utilizada atualmente para a análise dos processos industriais. O fluxo de exergia de um fluxo é definido por:

$$E = (H - H^{\circ}_0) - T_0 \cdot (S - S_0)$$

onde **H** é a entalpia, **H<sup>o</sup><sub>0</sub>** a entalpia no estado de equilíbrio com o meio, **T<sub>0</sub>** temperatura do meio ambiente (K), **S** a entropia e **S<sub>0</sub>** a entropia no estado de equilíbrio com o meio.

A exergia de um processo de transmissão de calor, fração do calor que pode ser transformada reversivelmente em trabalho mecânico é:

$$E = Q (1 - T_0 / T)$$

onde **Q** é a quantidade calor e **T** a temperatura do sistema (K), e **(1-T<sub>0</sub>/T)** o rendimento do ciclo termodinâmico. É interessante notar que o vapor-d'água à temperatura atmosférica (25°C) possui uma exergia desprezível, apesar de sua entalpia ser muito diferente da entalpia da água líquida nas mesmas condições.

Uma das vantagens do conceito exergia é a presença do estado de referência. Todos os processos industriais são abertos ao meio ambiente, de onde recebe as matérias primas e energia, e sobre o qual descarrega produtos, energia e efluentes. Assim as conclusões sobre um processo específico depende do meio-ambiente, especificamente da temperatura do meio onde será rejeitado o calor de resfriamento. As características do meio-ambiente são de suma importância para o "rendimento" do processo, e esta a realidade física em que se situa o processo é levada em consideração no conceito de exergia.

Do ponto de vista tecnológico, a atmosfera e os oceanos são reservatórios infinitos. Assim, independente da quantidade de calor trocada com o meio-ambiente, a temperatura de referência é considerada constante. A pressão atmosférica é considerada como referência, mesmo para os condensadores das plantas de vapor.

As diversas formas energias não são equivalentes. Nenhuma forma de energia serve para todos os usos, a menos que seja transformada, o que sempre provoca perdas. A figura 5 classifica os tipos de energia quanto a utilização. No alto estão os usos que exigem a energia mais nobre: a energia elétrica, potencial, cinética, e trabalho mecânico, são 100% exergia, podendo ser convertido totalmente de uma forma a outra. (Obs. Pela tecnologia atual, o rendimento dos grandes motores e geradores é cerca de 95%).

Obter energia mecânica, ou eletricidade, a partir de outras formas de energia é uma tarefa mais difícil: os motores térmicos têm baixo rendimento, tanto menor quanto menor for a temperatura do calor utilizado. Somente uma fração da energia térmica é exergia.

Assim, é conveniente utilizar a eletricidade para produzir energia mecânica, devido ao seu alto rendimento. A eletricidade também pode ser utilizada em todos os usos situados nos níveis inferiores da escala de energia, mas isto é um desperdício, uma vez que outras fontes de calor podem ser utilizadas.

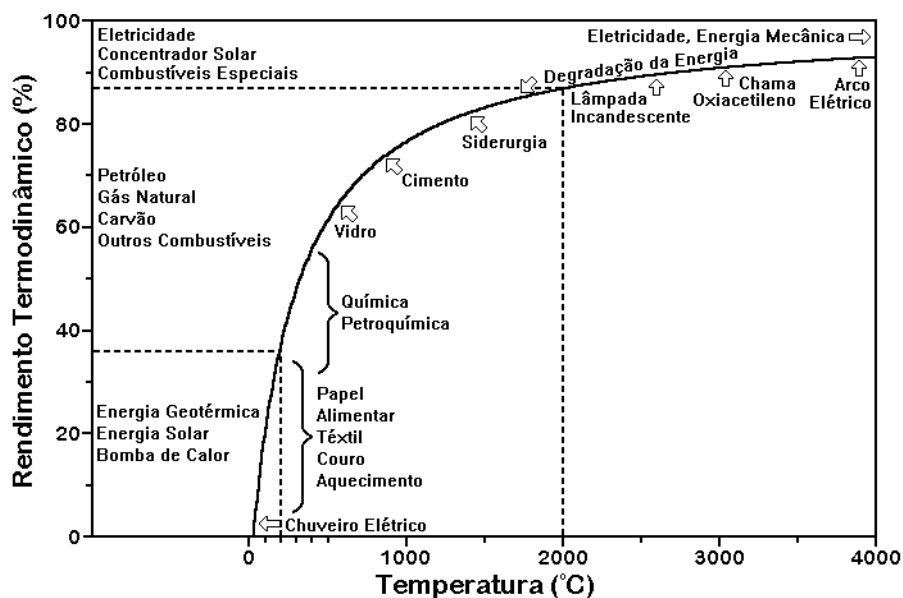


Figura 5. Qualidade da Energia.

O calor representa cerca de 80% do consumo de energia. A temperatura na qual o calor é consumido pode variar de 20 a 4000°C, de acordo com a utilização:

- Acima de 2000°C. Eletro-metalurgia, iluminação incandescente. Estas temperaturas exigem o uso de eletricidade, fornos solares ou combustíveis especiais.
- Entre 400 e 2000°C. Siderurgia, indústria cimenteira, indústria de vidro e material

refratário, indústria química (uso de fornos). Uso de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

- entre 20 e 400°C. Uso de vapor e ar quente: estufas, autoclaves, evaporadores, secadores de indústrias químicas, fábricas de papel, indústria têxtil, de couro, alimentares, etc. Para temperaturas superiores a 200°C, o uso dos combustíveis permanecerá por longo tempo na maioria dos casos. Abaixo de 200°C a energia solar pode ser facilmente utilizada.

A primeira lei da termodinâmica estabelece que a energia se conserva. Assim, em um processo real não existe consumo de energia e sim consumo de exergia. Semanticamente é incorreto falar em conservação de energia. O que se procura é a conservação da exergia. Chama-se rendimento exergético a relação entre a exergia final e a inicial em um processo. O rendimento exergético é a medida da adequação de uma forma a um uso de energia. O objetivo da adequação é minimizar o consumo de exergia do processo.

**Tabela 4.** Rendimentos pela 2ª Lei da Termodinâmica no uso de energia elétrica.

| Uso  | %    |
|--|------|
| Chuveiro Elétrico e Boilers (20 -> 40°C)                 | 2,6  |
| Caldeira a Vapor-d'água (16 bar)                         | 32,7 |
| Aquecimento de metal em forno siderúrgico (25 -> 1140°C) | 41,4 |
| Ar condicionado (30 -> 250°C)                            | 5,0  |
| Tração elétrica  | 95   |
| Máquina Ferramenta (torno, fresa)                        | 90   |
| Bomba-d'água   | 80   |

Para realizar uma análise exergética precisa é necessário o cálculo preciso das propriedades termodinâmicas das misturas e componentes puros em uma larga faixa de temperatura e pressão. Para isso é necessário o uso de técnicas computacionais. Entretanto, para facilitar sua aplicação, algumas simplificações podem ser introduzidas, sem invalidar os resultados finais. Em um processo específico, muitas vezes os fluxos de exergia podem ser calculados a partir da definição dos parâmetros operacionais, com cálculos simplificados das propriedades físicas dos fluxos de materiais entrando e saindo do sistema. A energia potencial e cinética também podem ser desprezadas.

#### 4. CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Toda conversão de uma forma de energia para outra, gera perdas da capacidade de produzir trabalho. Assim, a melhor solução para usar energia eficientemente é não usar energia. Algumas atividades que aparentemente possuem pouca relação com a energia (controle da qualidade, reciclagem etc), possuem um grande impacto no consumo de energia. A reciclagem evita muitos passos do processo de fabricação: mineração, conversão de minério e alimentação etc. O controle de qualidade economiza a energia que seria gasta para produzir um produto defeituoso.

A redução o consumo de energia industrial é realizada de quatro formas: eliminação de desperdício, otimização de custos do processo existente, aperfeiçoamento do processo e uso de um novo processo de fabricação. A otimização dos custos do processo é uma relação direta: com o aumento do preço da energia, os equipamentos são substituídos por outros mais econômicos: melhor isolamento, trocadores de calor maiores etc. Devido ao balanço econômico entre consumo de energia e custo de capital dos equipamentos, somente é realizado uma redução do consumo de energia quando o preço da energia sobe mais rápido que o custo de capital.



O aperfeiçoamento do processo não está vinculado ao balanço energia/capital, uma vez que ele pode reduzir o consumo de energia e os custos de capital ao mesmo tempo. Os desenvolvimentos científicos e tecnológicos podem produzir grandes reduções na demanda de energia industrial. O aperfeiçoamento tipicamente reduz o consumo de energia, produção de resíduos, bem como o custo de mão de obra e matéria prima, reduzindo o custo total de um processo industrial de 1 a 2% a.a. em média.

A auditoria energética visa a determinação da eficiência energética de uma máquina, processo ou indústria, de modo a economizar energia e diminuir o custo final do produto.. Para otimizar o consumo de energia de um processo industrial, é necessário dividir o processo em uma série de passos e comparar a quantidade teórica de energia necessária para cada passo, com a quantidade de energia realmente consumida. depois é realizado balanços de massa e energia de cada máquina ou processo de modo a definir a quantidade de energia total e massa consumida. A partir disto é possível uma comparação com o consumo teórico, definido pelos equipamentos existentes na instalação, e com o consumo termodinâmico mínimo (rendimento energético).

Normalmente os programas de conservação de energia iniciam-se pela eliminação dos desperdícios e utilizam tecnologias usuais, de modo a serem de fácil implementação. As tecnologia alternativas normalmente envolvem alterações nos processos de produção, substituição de equipamentos ou substituição da fonte energética. Assim, essas tecnologias não são de implantação imediata, ficando restritas a novas instalações, ou na substituição de processos ou equipamentos.

Deve-se identificar os principais fluxos energéticos do complexo industrial, a partir dos balanços de energia de cada unidade produtiva, identificando e quantificando as suas perdas de energia. A partir da análise exérgica destas perdas, deve-se classifica-las quanto à sua potencialidade de recuperação. Com base nestes dados, priorizando as perdas de energia de alta disponibilidade, deve-se analisar a viabilidade da instalação de sistemas de recuperação de energia, calculando-se índices econômicos para cada alternativa identificada .

A análise das faturas de energia elétrica permite identificar o potencial de economia a ser obtido pelas demandas contratuais de energia elétrica. É sobretudo necessário diminuir a demanda de ponta devido ao seu alto custo. Para isto é necessário a instalação de medidores de energia elétrica nas diversas áreas de consumo, visando quantificar o consumo de cada unidade produtiva e permitindo o conhecimento do consumo de eletricidade em cada unidade do processo.

Apresentamos aqui uma série de atitudes a serem tomadas para eliminar o desperdício, otimizar os custos e aperfeiçoar o processo, visando a conservação de energia.

#### **4.1. Eliminação de Desperdício (Implantação imediata sem investimentos) [10]**

##### 4.1.1. Iluminação

A iluminação é um dos mais expressivos usos finais da eletricidade, correspondendo a mais de 20% do consumo total nacional. Estudos mostram que o potencial de economia de energia existente em sistemas de iluminação pode chegar a 50% [1].

- Redução da iluminação desnecessária, com a retirada das lâmpadas.
- Desligamento da iluminação durante o horário de almoço

##### 4.1.2. Ar comprimido

- Eliminação dos vazamentos nos circuito

#### 4.1.3. Ar condicionado

A limpeza e manutenção dos evaporadores e compressores reduzem as perdas do sistema, diminuindo o consumo de eletricidade e aumentando a vida útil do equipamento.

#### 4.1.4. Bombas e tubulações hidráulicas

- Redução de vazamentos
- Racionalização do uso.

#### 4.1.4. Geração e distribuição de Vapor

- Eliminar as perdas de vapor por vazamentos
- Bloquear linhas de vapor desnecessárias
- Eliminar purgadores desnecessários
- Minimizar a purga de caldeiras e recuperar o calor de purga
- Monitoração e limpeza de superfícies de troca térmica
- Melhorar o controle da combustão (atomização e excesso de ar)
- Otimização do balanço de vapor e do ciclo vapor/energia elétrica
- Melhorar o vácuo nas turbinas de condensação
- Minimizar o respiro de vapor
- Manter em operação somente os equipamentos indispensáveis.

#### 4.1.5. Trocadores de Calor

- Minimizar a incrustação
- Realizar limpeza além dos períodos de parada programada
- Otimizar a utilização de antifloculantes e inibidores de corrosão
- Minimizar by-pass para controle de temperatura
- Mudar níveis de pressão dos condensadores e vaporizadores para aumentar a diferença de temperatura.

#### 4.1.6. Produtos

- Minimizar purgas e drenagens
- Minimizar envio de produtos para o "flare"
- Evitar vazamentos
- Otimizar a utilização de selos mecânicos
- Queimar gases de baixo poder calorífico na geração de vapor
- Otimizar a recuperação de produtos úteis.

### **4.2. Otimização de Custos (Implantação imediata com pequeno investimento)**

#### 4.2.1. Iluminação

Nos escritórios a substituição de reatores convencionais (eletromagnético) pelos de alto fator de potência (eletrônico) (11% mais eficientes) e das lâmpadas fluorescentes (40W) pelas da série 80 (32W), proporciona uma economia de cerca de 20%. As luminárias antigas, sem refletor ou aletas, além de baixo rendimento luminoso, provocam desconforto visual e reflexos nas telas dos computadores.

Nos galpões industriais a substituição destas lâmpadas por refletores com lâmpadas de vapor de sódio de 400W e a aplicação de pintura reflexiva nos tetos permite economia de cerca de 50%, elevando a luminância em cerca de 30%.

- Substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio (áreas externas) por vapor de sódio
- Melhorar o fator de potência com a colocação de capacitores individuais nas lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio.

- Instalação de telhas translúcidas em oficinas e depósitos
- Projetos de iluminação seletiva (luminâncias diferentes para cada área de utilização)
- Redistribuição dos circuitos de iluminação interna com comandos setorizados
- Sistema de iluminação controlados por relês fotoelétricos
- Reposicionamento de luminárias visando melhorar a distribuição de luz.
- Rebaixamento da iluminação (do teto para laterais e colunas)

A redução do consumo de iluminação proporciona também a redução da carga térmica de ar condicionado.

#### 4.2.2. Ar condicionado

A economia de energia do sistema de ar condicionado inicia-se durante o projeto arquitetônico e estrutural, onde são encontradas soluções arquitetônicas visando a diminuição da carga térmica e redução no consumo de energia. A instalação de brises nas fachadas (arquitetura solar) e de películas reflectivas, permitem reduzir a carga térmica, e conseqüentemente, o consumo do ar condicionado. É recomendável o uso de timers para desligar dos condicionadores de ar dos setores administrativos nos horários não produtivos.

#### 4.2.3. Motores e transformadores

O uso da energia elétrica em motores representa cerca de 80% do consumo de energia elétrica industrial (CESP, 1980). Além das medidas que podem ser tomadas para diminuir esta demanda, é recomendado o uso de motores mais eficientes. Sistemas de transformadores e motores superdimensionados são um potencial de economia de energia.

- Desligamento dos transformadores dos setores parados (fim de semana etc)
- Redução do consumo nos processos e sistemas que são acionados pelos motores.
- Melhoria do fator de potência pelo uso de capacitores.

#### 4.2.4. Bombas e tubulações hidráulicas

- Utilização de bombas de maior rendimento.
- Instalação de tubulação de maior diâmetro no sistema de sucção
- Instalação de curvas de maior diâmetro nas linhas de distribuição

#### 4.2.5 Fornos e Caldeiras

- Melhoria do sistema de controle da atomização e do excesso de ar
- Utilização de ar quente de resfriadores como ar de combustão
- Melhoria de isolamento térmico e refratários
- Melhor utilização da seção de convecção
- Melhoria da estanqueidade dos fornos.

#### 4.2.6. Sistemas de distribuição de vapor

- Otimização dos isolamentos térmicos
- Recuperar condensado
- Substituir purgadores por purgadores de bóia para permitir o retorno de condensado
- Melhorar sistema de traço do vapor
- Utilizar injeção de condensado ao invés de injeção de vapor
- Usar válvula controladora de temperatura de vapor
- Usar Válvula redutora de pressão

#### 4.2.9. Filtros

- Minimizar água de lavagem em filtros
- Evitar rompimento da torta nos filtros rotativos
- Utilizar lavagem em contracorrente em vários estágios

#### 4.2.10. Colunas de Destilação

- Revisar a especificação dos produtos
- Revisar níveis de pressão de operação
- Otimização da taxa de refluxo
- Diminuir perdas de cargas nas bandejas
- Substituir distribuidores ineficientes.

#### 4.2.7. Informática

Os gerentes de energia necessitam de informação confiável sobre o uso da energia e seu custo, de modo a controlar os custos e medir o progresso. Um sistema de contabilidade energética fornece o consumo necessário e estatísticas de custo, que quando comparados com a linha base ou objetivo indica o sucesso do controle de custos ou medidas de conservação. A implantação de um software de gerenciamento energético contribui para a otimização do uso da energia no parque industrial.

### **4.3. Aperfeiçoamento do processo (Médio Investimento)**

#### 4.3.1 Fornos e Caldeiras

- Recuperação da energia dos produtos da combustão
- Instalação de pré-aquecedores de ar e economizadores
- Utilização de sopradores de fuligem
- Utilizar calor de correntes de processo como pré-aquecimento
- Utilizar gases quentes para geração de vapor
- Gerar vapor por expansão de condensado

#### 4.3.2. Motores e transformadores

- A otimização do regime de operação dos transformadores, a partir de uma melhor distribuição das cargas nos circuitos elétricos existentes na fábrica.
- A elevação da tensão de operação dos motores de 440V para 3800V.
- Controle variável da velocidade dos motores de bombas e ventiladores.
- Substituir motores superdimensionados

#### 4.3.3. Bombas e Compressores

- Instalar equipamentos mais eficientes
- Redimensionar sistema minimizando as perdas de carga
- Substituir bombas superdimensionadas
- Substituir turbinas pequenas de baixo rendimento

#### 4.3.4. Sistemas de Vácuo

- Aumentar a utilização de bombas de vácuo
- Rever as condições do vapor motor

#### 4.3.5. Sistemas de água de resfriamento

- Comparação de resfriadores a água com resfriadores a ar
- Otimizar o aproveitamento da água de resfriamento por utilização em série
- Revisar a temperatura da água de retorno
- Comparar torres de resfriamento de tiragem natural e forçada
- Tentar minimizar os resfriamentos de ar e água
- Otimizar integração de troca térmica no processo
- Otimizar balanços térmicos em expansões de líquidos

#### 4.3.6. Colunas de Destilação

- Utilizar refeeders intermediários

- Utilização de bombas de calor
- Utilização de sistemas de calor em cascata para colunas de destilação em série
- Geração de vapor de baixa pressão pelo produto de topo

#### 4.3.7. Máquinas Ferramentas

Uso de controle numérico

#### 4.3.8. Controle de Demanda

O uso de controladores de potência permitem a redução da demanda contratada de ponta e fora de ponta, tanto na tarifa azul quanto na tarifa verde.

### **5. IMPLANTAÇÃO DE PROGRAMAS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA**

*Só há sucesso quando se gerencia;  
Não se gerencia o que não se mede;  
Não se mede o que não se define;  
Não se define o que não se entende.*

A disparidade do consumo individual das diversas empresas do setor automobilístico em relação à média, mostra que existe um grande potencial de conservação de energia a ser explorado. O potencial real de conservação só pode ser avaliado a partir de um diagnóstico energético que analise as particularidades de cada indústria: diferenças nos processos produtivos, diferenças de matéria-prima e produtos finais, capacidade ociosa etc.

A organização de um programa de conservação de energia é um empreendimento complexo. Para que a implantação do programa seja eficaz, ele deve possuir um plano de ação integrado com objetivos, planejamento, conhecimento técnico adequado, recursos financeiro, além de contar com apoio da administração e do corpo técnico.

O programa deve ser adaptado para satisfazer os objetivos particulares de cada empresa. Nenhum programa de conservação de energia é igual a outro. Apesar das particularidades de cada processo de fabricação e produção, os seguintes pontos são comuns a todos programas de conservação de energia:

1) **POLÍTICA.** São os objetivos que norteiam as ações dentro da empresa. Estes objetivos devem ser de conhecimento de todos, para que possam ser aplicados em todos os setores. A política de conservação de energia deve nortear todas as atividades da empresa, tornando-se prática obrigatória em todas operações.

2) **ADMINISTRAÇÃO.** Define responsabilidades e estabelece a estrutura administrativa entre os diversos setores da empresa. A administração deve pensar de modo global e agir pontualmente. O programa de conservação deve contar com a supervisão direta do gerente de produção, e com a participação de todos os grupos de operação, incluindo pessoal de compras, produção e manutenção. A administração deve trabalhar baseada em resultados concretos (medição). Os programas de conservação devem fixar metas, avaliar os resultados parciais num processo. Os programas devem ter continuidade, sendo os objetivos e resultados periodicamente reavaliados. Cada etapa alcançada serve de base para um novo objetivo.

3) **CONTROLE.** Deve-se atribuir responsabilidades a todos setores envolvidos, mobilizando-os de forma a contribuir para atingir as metas estabelecidas. Passa-se desta forma do controle feito no produto final para um controle ao longo do processo. É uma abordagem semelhante a da qualidade total. É muito importante uma supervisão contínua da administração. Os setores produtivos devem ser inspecionados continuamente, durante períodos produtivos e não produtivos, a fim de analisar as operações, as condições de instalação, os equipamentos e processos, de modo a determinar se a energia é utilizada racionalmente.

O setor energético tem um grande impacto sobre meio ambiente. Com a globalização

do mercado e as legislações sobre preservação ambiental, é cada dia maior a importância da área energética. As normas ISO-14000 introduzirão conceitos como análise do ciclo de vida do produto, o que envolve energia e matérias primas.

A portaria DNAEE nº730 de 18/10/94 incentiva as Concessionárias a aumentar a eficiência na oferta e uso de Energia Elétrica, pelo repasse para as tarifas os custos oriundos desses serviços. Em consequência, as concessionárias deverão criar incentivos às indústrias visando a produção de equipamentos mais eficientes, incentivar a atuação de ESE (Empresas de Serviços de Energia), financiar a introdução de equipamentos mais eficientes para o consumidor, investir em pesquisas para o aumento da eficiência da produção, transmissão e distribuição de energia elétrica etc.

As ESE são empresas especializadas em conservação de energia, que visam reduzir o consumo de energia na indústrias. Para tanto, elas estabelecem contratos de risco com a indústria, total ou parcial, onde assumem o investimento e a operação dos equipamentos e sistemas necessários à economia de energia, são remuneradas-se pelo valor da redução do consumo obtido, durante um certo período (Usina Virtual).

## 6. RECICLAGEM

A reciclagem evita muitos passos do processo de fabricação: mineração, conversão de minério e alimentação etc, recuperando a energia incorporada na fabricação do produto (tabela 5) e economizando energia e recursos naturais. Reciclando 1000 kg de aço, cerca de 1250 kg de minério, 400 kg de petróleo e 20 kg de calcário são conservados. 95,2% dos automóveis antigos retirados de circulação nos EUA (1994) são reciclados para a produção de aço. Os outros 4,8% não foram para o lixo, mas estão guardados em algum lugar.

Em um automóvel típico, 70% do seu peso é devido ao aço e ferro. O aço utilizado na carroceria é fabricado com 25-30% de aço reciclado. Outros componentes de aço e ferro, tal como o bloco do motor, são fabricados com uma quantidade de metal reciclado ainda maior. O aço e ferro utilizados nos automóveis possuem material reciclado porque a sucata é um componente obrigatório na sua produção. Os convertedores a oxigênio, fornos a arco elétrico e fornos de fundição utilizam respectivamente cerca de 25%, 100% e 75% de sucata. A sucata é oriunda tanto de automóveis quanto de latas, materiais de construção etc. Uma vez que a reciclagem é parte do processo de fabricação do aço, o uso de metal reciclado diminui o custo total da produção do aço novo.

Na análise do ciclo de vida de um automóvel, a reciclagem reduz a geração de resíduos, e diminui o consumo de recursos naturais, incluindo energia. O balanço energético da reciclagem de cada material é realizado considerando as energias específicas primária e secundária. A energia primária de produção é a soma de todas as energias necessárias para retirar o mineral do solo até processá-lo em uma forma utilizável, incluindo toda a energia utilizada para transporte. A reciclagem evita muitos desses consumos de energia. A energia secundária de produção é a soma de todas as energias necessárias para reciclar o mesmo material já utilizado. Como é necessário remover produtos contaminantes, muitas vezes é difícil obter um material reciclado com a pureza igual ao material virgem.

Na determinação da energia de produção, é necessário conhecer a proporção de materiais virgem e reciclados usado em cada peça, bem como o valor exato das energias de produção primária e secundária. As energias de produção primária e secundária de vários materiais é apresentado na tabela . Para todos os materiais apresentados, a energia primária é muito maior que a energia secundária. A energia de reciclagem dos plásticos foi estimada pela energia de combustão de cada um e a energia padrão de processamento (10 MJ/kg), necessária para lavar, transportar e pelletizar. Muitos materiais utilizados nos automóveis

possuem uma pequena taxa de reciclagem nos veículos novos. Entretanto é possível realizar uma reciclagem em malha aberta, onde os materiais automotivos são reciclados em outros produtos. De fato, grande parte da reciclagem auto-para-auto é reciclagem secundária.

**Tabela 5.** Energia para a produção de materiais (kJ/kg) [11].

|                                  | Primário | Secundário |
|----------------------------------|----------|------------|
| Aço                              | 40.000   | 18.100     |
| Ferro                            | 34.000   | 21.000     |
| Cobre e bronze                   | 100.000  | 45.000     |
| Zinco                            | 53.000   | 15.900     |
| Chumbo                           | 41.100   | 8.000      |
| Alumínio Forjado                 | 196.000  | 26.700     |
| Alumínio Fundido                 | 189.000  | 26.000     |
| Magnésio Fundido                 | 284.000  | 27.200     |
| Vidro                            | 30.000   | 13.000     |
| Fluidos de transmissão, freio    | 52.000   | ND         |
| Anti-congelante                  | 76.000   | ND         |
| Óleo motor                       | 60.200   | ND         |
| Borracha                         | 67.600   | 43.600     |
| Poliuretanos                     | 72.100   | 44.600     |
| Estireno maleico anidro          | 102.000  | 43.500     |
| Acrilonitrilo-butadieno-estireno | 111.000  | 51.400     |
| Nylon                            | 119.000  | 32.100     |
| PVC                              | 65.400   | 29.300     |
| Polipropileno                    | 74.300   | 42.300     |
| Polietileno                      | 98.000   | 56.000     |
| Plástico para fibra              | 66.500   | 40.000     |
| Composto para moldagem           | 53.700   | 50.400     |
| Poliéster                        | 95.800   | 50.000     |
| Policarbonato                    | 158.000  | 48.100     |
| Fenólicos                        | 26.100   | ND         |
| Alumina <i>alpha</i>             | 26.100   | ND         |
| Alumina <i>beta</i>              | 267.000  | ND         |
| Sódio                            | 107.000  | ND         |
| Enxofre                          | 2.300    | ND         |
| Vidro sinterizado                | 48.000   | ND         |
| Areia                            | 1.000    | ND         |

Para facilitar a reciclagem, os carros modernos são projetados para serem desmontados com facilidade. Cada peça plástica com mais de 50gr recebe um código indicado de que material é feita. Na hora que o carro for desmontado sabe-se de que grupo de materiais ela pertence, facilitando a sua reciclagem.

## 6. PRODUÇÃO DE AUTOMÓVEIS MAIS ECONÔMICOS

O aumento no preço do petróleo nas décadas de 70-80 teve um grande impacto na indústria automobilística, levando a um aumento da demanda de veículos pequenos e econômicos, de maior eficiência. Nos Estados Unidos os consumidores passaram a importar, principalmente modelos japoneses, que eram mais econômicos e de melhor qualidade. Na década de 1980, a indústria automotiva japonesa realizou grandes ganhos econômicos, devido tanto ao aumento do volume de produção quanto ao menor custo de mão de obra devido ao uso intensivo de robots. Atualmente as restrições ecológicas e ambientais globais, estão agora forçando os construtores de automóveis a desenvolver veículos tendo ainda maiores economia de combustível. Em 1995, o setor de transporte (automóveis, ônibus e caminhões), eram responsáveis por 17% de toda energia consumida no Brasil.

A diminuição do consumo de combustíveis é um dos maiores desafios da indústria automobilística. Assim, tem-se realizado um grande esforço de pesquisa visando o desenvolvimento

de automóveis mais econômicos. As duas principais rotas para diminuir o consumo de combustível são aperfeiçoamentos na eficiência do conjunto motopropulsor e redução da resistência de deslocamento. As principais linhas de desenvolvimento tecnológico nestas categorias são:

- 1) Melhoria da eficiência do sistema mecânico:
  - a) Melhoria da eficiência da combustão
  - b) Redução das perdas por atrito.
  - c) Melhoria na eficiência da transmissão de potência.
- 2) Redução da resistência de deslocamento
  - a) Redução de peso.
  - b) Melhoria da aerodinâmica
  - c) Redução da resistência de rolamento (rolling)

Destes, os fatores que mais influenciam no consumo de combustível são o peso do veículo e as perdas por atrito. Assim, é importante o uso de materiais leves na construção da carroceria e chassis, tendo sido progressivamente mudado de materiais ferrosos para polímeros e metais leves. Além da carroceria e chassis do veículo, o motor também contribui bastante para o peso total do veículo. O bloco do motor é o maior componente do motor, e é tradicionalmente fabricado em ferro fundido. Os motores (4 tempos) de bloco de alumínio permitem uma redução de peso de 30% em relação aos de ferro fundido. A mudança de blocos de ferro fundido para alumínio tem criado a necessidade de tecnologias de superfície, capazes de superar as deficiências do alumínio. Como esta substituição de materiais tende a continuar, são necessárias pesquisas adicionais a fim de desenvolver tecnologias melhores de tratamento de superfície, de modo a assegurar a mesma longevidade a todos os componentes do motor.

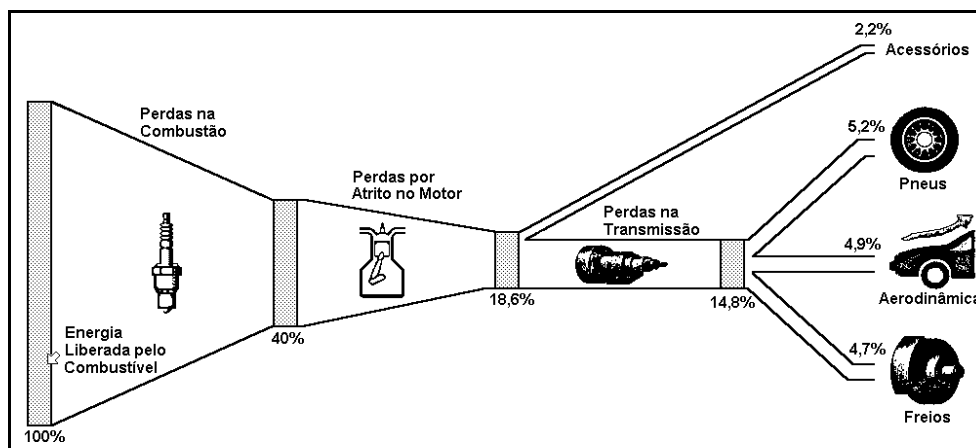


Figura 6. Perdas de energia em um automóvel [4]

No sistema motopropulsor, o atrito é responsável por uma perda da potência total superior a 40%. Mais da metade desta perda é devido ao atrito entre pistons, anéis de segmento e cilindros. As pesquisas de materiais (superfície) capazes de diminuir as perdas por atrito são de grande importância para a economia de combustível.

## 8. CONCLUSÕES

Os dias de energia barata estão por acabar, e o custo tem aumentado juntamente com a demanda. Nos próximos anos certamente continuará a aumentar o consumo de todas as formas de energia, devido ao crescimento econômico e demográfico. Assim, são inevitáveis modificações no perfil atual de demanda e uso final de energia.

Existe uma necessidade urgente de se adotar estratégias de conservação de energia a nível doméstico, comercial e industrial, de modo a ajustar a matriz energética aos novos tempos. Assim, é hora de tomarmos consciência do desperdício de recursos, e incorporar a conservação dos recursos naturais em nosso estilo de vida.

É necessária a minimização do consumo de combustíveis fósseis e promoção na maior escala possível de sistemas energéticos de alto rendimento, de dispositivos de cogeração etc. Além disso,



deve-se racionalizar os investimentos na expansão da oferta de energia, otimizar o parque produtor de energia, reduzir os impactos decorrentes da produção, transformação e uso da energia, reduzir os desperdícios de energia.

O crescimento da demanda, os investimentos não realizados e os ciclos hidrológicos desfavoráveis, causam grande preocupação dos consumidores, quanto à disponibilidade de energia elétrica. São esperados investimentos urgentes para atender a demanda e que se regularize a manutenção dos sistemas existentes.

O risco de déficit é elevado para o Sul/Sudeste, por falta de investimentos, e para o Nordeste devido ao baixo regime hidrológico, já que o único manancial hidráulico é o Rio São Francisco. Pelo panorama e dificuldades existentes no setor elétrico, o consumidor deve estar preparado para enfrentar sérias dificuldades de suprimento de energia nos próximos anos. Assim, ele deve executar programas de conservação de energia e analisar a possibilidade de geração interna.

## 9. REFERÊNCIAS

- [1] Agência para Aplicação da Energia. Boletim Informação, v.8, n.34, p.2, Março-Abril 1995.
- [2] BRASIL, 1995. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. Brasília, 141p.
- [3] CESMECA. L'Industrie Automobile en France. La Lettre du Cesmecca, v.1, n.6, p.2-4, Maio 1996.
- [4] DeCICCO John, ROSS Marc. Improving Automotive Efficiency. Scientific American, p.30-34, Dezembro 1994.
- [5] DOE. Department of Energy. 1996. <http://www.eia.doe.gov>
- [6] Eletrobrás - Diretoria de Planejamento e Engenharia. A Expansão dos Sistemas Elétricos do Brasil nos Próximos Dez Anos. Eletricidade Moderna, v.24, n.268, p.68, 70-72, 74-76, 78-80, 82-83, Julho 1996.
- [7] ELETROBRÁS. A Situação da Energia Nucleoelétrica no Mundo. Preliminar. Out. 1996, 311p.
- [8] KAISER Victor. Energy Optimization. Chemical Engineering, p.62-72, 23 Fevereiro 1981.
- [9] PINHEIRO, Paulo César da Costa. Recursos Naturais de Energia. In: VI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas (ENCIT-96), VI Congresso Latino Americano de Transferência de Calor y Matéria (LATCYM-96), 11-14 Novembro 1996, Florianópolis, SC, Anais... Rio de Janeiro, ABCM, Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 1996.
- [10] ROCCHICCIOLI Carlo. O Papel da Engenharia na Conservação de Energia. Petro & Química, v.1, n.2, p.39-51, Maio-Junho 1978.
- [11] SCHUCKERT M. et al. Life Cycle Analysis: Getting the Total Picture on Vehicle Engineering Alternatives. Automotive Engineering, v.104, n.3, p.49-52, Março 1996.
- [12] UITP - Union Internationale de Transport Publique. <http://www.uitp.com>