

ALEXANDRE BREDÁ

**Uso do Gás Natural para Climatização de Ambiente em Shopping
Center – Benefício para o Consumidor e para a Sociedade**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de MBA em Gestão de Energia.

Área de Concentração: Ar Condicionado e
Gás Natural.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck
Fagá

São Paulo
2007

MBA/EN

2007

B743u

DEDALUS - Acervo - EPEL



31500017606

M 2007 AE

O AUTOR AUTORIZA A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

1644590

Breda, Alexandre.

Uso do Gás Natural para Climatização de Ambiente em Shopping Center – Benefício para o Consumidor e para a Sociedade / Alexandre Breda; orientador Murilo Tadeu Werneck Fagá. - São Paulo, 2007.

XX f. : fig.

Monografia (Programa de MBA em Energia. Área de Concentração: Ar Condicionado e Gás Natural) – Universidade de São Paulo, PECE.

1. Ar Condicionado 2. Gás Natural 3. Chiller Absorção.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Jôse que me deu força e motivação para a concretização desse trabalho

... Aos meus pais-herói Nelson e Claudet pela vida e pelo exemplo de humanidade.

Alexandre Breda

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Fagá, orientador que me indicou os caminhos para a realização desse trabalho. À minha esposa, pela confiança, segurança e motivação. Agradecimentos também são devidos àqueles que serviram de fonte de informação para esse estudo, que disponibilizaram tempo e atenção à aplicação do estudo de caso. Aos professores e colegas do Curso, pois juntos trilhamos uma etapa importante de nossas vidas. Aos amigos pela força e pela vibração em relação a essa jornada. A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização desse trabalho.

RESUMO

A utilização de equipamentos elétricos sempre foi muito incentivada em nosso país, a existência de grandes centrais hidrelétricas fizeram com que a disponibilidade de energia no Brasil propiciasse uma massificação da cultura elétrica no país. Hoje se fala muito da disponibilidade futura de energia e em como será atendida a demanda nos próximos anos, mas pouco, ou quase nada, se fala da forma como essa energia está sendo usada. O uso final de energia precisa ser estudado para otimizar as fontes de energia do país, bem como estabelecer parâmetros para diversificação da matriz energética brasileira. Esse trabalho busca propor uma alternativa viável para o deslocamento da carga elétrica atual com a utilização de equipamentos de ar condicionado em centrais de água gelada de *shopping center* utilizando o gás natural como fonte principal de energia, o que acarretaria na postergação de novos investimentos do setor elétrico.

Palavras-chave: Ar Condicionado. Gás Natural. Chiller de Absorção.

ABSTRACT

The use of electric equipment has been stimulated in our country, the existence of huge big hydroelectric generation plants incentivated the massive electrical culture in our country. Today it's usual saying about the energy availability and how the demand in the next years will be supplied, but almost nothing about how this energy is being used is said. The end-use of energy need to be studied to optimize the power plants of the country, as well as establishing parameters for diversification of the Brazilian energy matrix. This work tries to consider a viable alternative for the displacement of the current electric load with the air conditioning equipment used in cold water central of shopping malls using the natural gas as the source of energy, what could postpone new investments in the electrical sector.

Keywords: Air Conditioning. Natural Gas. Absorption Chiller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo de Energia por Setor (Fonte BEN)	15
Figura 2 - Geração elétrica no Brasil (Fonte: ONS)	18
Figura 3 - Perdas no Sistema Elétrico (Fonte: BEN)	21
Figura 4 - Evolução Matriz Energética Brasileira (Fonte: BEN)	23
Figura 5: Projetos na infra-estrutura de gasodutos. Fonte: Petrobrás	30
Figura 6: Curva de entrega de gás natural (MM de m ³ /dia). Fonte: Petrobrás.	31
Figura 7: Mercado Projetado de Gás Natural (Fonte: Petrobras)	31
Figura 8: Ciclo Frigorífico Vapor	38
Figura 9: Esquema do Ciclo Absorção	38
Figura 10: Circuito de Ar Condicionado	39
Figura 11: Ciclo GHP (Fonte: Sanyo)	44
Figura 12: Aplicações do GHP (Fonte: Sanyo)	45
Figura 13: Perfil de Carga CAG A	47
Figura 14: Perfil de Carga CAG B	48
Figura 15: Perfil de Carga CAG C	49
Figura 16: Perfil de Carga CAG D	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência das máquinas geradoras de energia elétrica (Fonte: ANEEL)	19
Tabela 2 – Conversão entre unidades de Carga Térmica	37
Tabela 3 – Demanda Térmica do Shopping	46
Tabela 4 – Solução de Chiller a Gás Natural	51
Tabela 5 – Eficiência das máquinas geradoras de energia elétrica (Fonte: ANEEL)	51
Tabela 6 – Comparativo Solução Elétrica e Gás Natural	52
Tabela 7 – Resumo dos Dados Financeiros do Projeto	53
Tabela 8 – Índices de Ar Condicionado para Shopping Center	54
Tabela 9 – Resumo dos Benefícios pela Substituição dos Chillers Elétricos	54
Tabela 10 – Estudo com COP 3,2	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAG	Central de Água Gelada
COP	Coeficiente de Desempenho
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
GASBOL	Gasoduto Brasil-Bolívia
GHP	Gás Heat Pump
GN	Gás Natural
GNC	Gás natural comprimido
GNL	Gás natural liquefeito
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S/A
UHE	Usina hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica

SUMÁRIO

1. Introdução/ Justificativa		14
2. Energia Elétrica		17
Geração Hidrelétrica	18	
Geração Termelétrica	19	
Geração Nuclear	20	
Perdas no Transporte de Energia Elétrica	20	
3. Gás Natural		22
Vantagens do Gás Natural	25	
Suprimento de Gás Natural	26	
Exploração	26	
Produção	26	
Processamento	26	
Transporte	27	
Gasoduto	27	
GNC e GNL	29	
Mercado Futuro de Gás Natural	30	
4. O Gás Natural como Alternativa à Energia Elétrica		32
Chuveiro	32	
Ar Condicionado	33	
Geração de Energia Elétrica	34	
Cogeração	35	

5. Ar Condicionado	37
Chiller Absorção	40
Descrição e Funcionamento	40
Características Construtivas	42
GHP	44
6. Estudo de Caso Chiller Shopping Center	46
7. Potencial de Substituição de Energia Elétrica com Ar Condicionado em Shoppings Centers	54
8. Conclusão e Recomendação	57
REFERÊNCIAS	59
BIBLIOGRAFIA	59
SITES DE PESQUISA	61

1. Introdução

No Brasil, sempre que se fala do setor energético, o assunto único é sobre oferta de energia, sempre se fala de grandes hidrelétricas, grandes termelétricas adicionando centenas de MW no parque gerador brasileiro. Quando se fala de gás natural, o país já se acostumou a ouvir produções adicionais de milhões de metros cúbicos diários de Santos, do Espírito Santo.

A cultura de nosso país é resolver todo problema energético pelo lado da oferta, se o balanço de oferta/demanda não fecha, então se aumenta a oferta! Por que não se fala em demanda? Por que não equacionamos pelo lado do uso final da energia? Como essa energia gerada está sendo utilizada pelo consumidor final? Qual a real necessidade do consumidor? Será que o consumidor tem o conhecimento de alternativas energéticas para o seu conforto? Todas essas perguntas não são feitas para o mercado consumidor, deixando-o preso à solução “única” de aumento de oferta.

Além do fato de só se falar do lado da oferta, outro lugar comum no setor energético brasileiro é o suprimento de grandes blocos de energia. Ilha Solteira, Porto Primavera, Turucuí, Itaipu, agora as famosas Usinas de Belo Monte e do Rio Madeira, ou seja, parece que a única alternativa ao país é a oferta de energia e em grandes blocos. O que acarretou sempre no desperdício do uso final, pois grandes blocos entram na oferta e precisam ser demandadas, acarretando, na década de 80, no incentivo ao chuveiro elétrico e às famosas caldeiras elétricas.

Considerando o uso elétrico brasileiro, tem-se, de acordo com a prévia do Balanço Energético Nacional 2007 (ano-base 2006), que 23% do consumo está concentrado no setor comercial e público brasileiro, a Figura 1 mostra esses números para os segmentos econômicos.

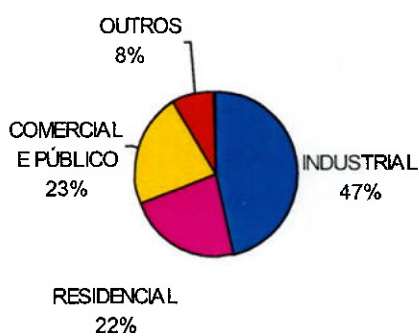


Figura 1: Consumo de Energia por Setor (Fonte BEN)

Edificações comerciais brasileiras consomem, aproximadamente, 13% da energia total do país, sendo que a energia elétrica consumida com ar condicionado representa 20% do consumo médio, de acordo com o SEBRAE (2002). Além disso, no setor de serviços e em alguns estabelecimentos comerciais o consumo de ar condicionado pode representar cerca de 50% da energia consumida mensalmente de acordo com o SEBRAE (2002).

Sistemas de ar condicionado central, utilizando água gelada ou gelo, são utilizados geralmente nas grandes instalações comerciais. Sistemas de armazenamento de energia (termo acumulação) têm sido utilizados freqüentemente nas grandes instalações comerciais, que apresentam cargas térmicas elevadas durante períodos coincidentes com o horário de pico das concessionárias de energia elétrica. Do ponto de vista do usuário a utilização de termo acumulação tem como objetivo principal reduzir os custos de energia elétrica, pois os preços das tarifas de demanda e consumo são mais elevados durante o horário de ponta do que durante o horário fora de ponta. Do ponto de vista das concessionárias, a termo acumulação contribui para o adiamento da expansão das suas capacidades geradoras o que leva à economia de recursos para aplicação em novos investimentos. A postergação desses investimentos cria um ambiente favorável para o país e para a comunidade em geral, pois reduz os impactos ambientais e sociais oriundos da implantação de novas usinas hidrelétricas e termelétricas.

Segundo WWF-BRASIL (2007), *“Sistemas de ventilação e ar condicionado deverão contribuir para o aumento da demanda de eletricidade no país, e devem ser tomadas iniciativas importantes nessa área com relação a padrões de eficiência nos equipamentos e também nas edificações, especialmente para o setor comercial e público. Projetos arquitetônicos, materiais, trocadores de calor, maior uso de compressores centrífugos, bombas e ventiladores eficientes deverão contribuir para essa redução até 2020 no cenário Elétrico Sustentável”*.

No Brasil, o horário de pico acontece à noite devido, principalmente, aos aquecedores de passagem (chuveiros elétricos). Entretanto, de acordo com MARTINS (2007), como já acontece na Europa e Estados Unidos, num futuro bem próximo pode haver a possibilidade do aparecimento de um outro horário de pico de energia no perfil de carga das concessionárias brasileiras. Este pico de energia deverá acontecer no horário da tarde devido, principalmente, aos sistemas de ar condicionado das instalações comerciais de médio porte (exemplo, prédios de escritórios).

Dentro do segmento comercial, tem-se o mercado de shopping center que tem no ar condicionado o grande consumidor de energia, para garantir o conforto dos clientes.

O objetivo desse trabalho é analisar um dos usos finais de um segmento específico para buscar soluções alternativas de modo que se diversifique a matriz energética, possibilitando um maior balanceamento entre as diversas fontes de energia, diminuindo eventuais impactos no caso de problema de suprimento de alguma fonte.

2. Energia Elétrica

A energia elétrica é uma forma nobre de energia que pode ser transformada, com grande eficiência, em outras formas de energia, como: calor, iluminação e energia mecânica.

A eletricidade pode ser produzida a partir da força das águas, dos ventos, carvão mineral, derivados de petróleo, bagaço de cana, entre outras fontes. Ela provém da conversão da energia mecânica pelos geradores (ou alternadores) nas centrais (hidrelétricas, térmicas ou termonucleares). No Brasil, a eletricidade é de origem predominantemente hidráulica que utiliza as quedas-d'água dos rios para gerar eletricidade, transformando energia potencial em cinética e, posteriormente, em energia elétrica.

Depois de produzida, a energia elétrica tem que ser transportada, entra aqui as linhas de transmissão, que no caso brasileiro está interligando as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. A interligação das linhas de transmissão permite uma maior flexibilidade ao sistema. Todas as gerações dessas regiões citadas estão conectadas no SIN (Sistema Interligado Nacional) que é a grande rede de transmissão brasileira operada pelo ONS (Operador Nacional do Sistema). Cabe ao ONS o seqüenciamento dos despachos elétricos pelas unidades geradoras. Esse sistema permite que e importe energia de regiões molhadas para regiões secas, sendo uma espécie de back up do próprio sistema gerador.

Após a transmissão, a energia tem sua custódia transferida para a distribuidora local. Concedida pelo Estado sendo, na sua maioria, empresa privada. A distribuidora é responsável pelo atendimento direto do cliente final, seja ele residencial, comercial, industrial ou de qualquer outra natureza. As distribuidoras com maior número de clientes estão concentradas na região Sudeste, onde está o maior poder aquisitivo brasileiro.

2.1 Geração Hidrelétrica

A geração hidrelétrica está associada à quantidade de água disponível nos rios. Quanto maior a queda da água de uma barragem e quanto maior sua vazão, maior é seu potencial de aproveitamento na geração de eletricidade. Para aproveitar o potencial hidrelétrico de um determinado rio, geralmente interrompe-se seu curso normal através de uma barragem, que provoca a formação de um lago artificial chamado reservatório. Depois disso, o volume de água que corre através da barragem é controlado pelos operadores da usina.

Devido às suas características, a geração hidrelétrica é extremamente dependente da precipitação na bacia hidrográfica em que está instalada a usina. Devido essa dependência, optou-se no sistema brasileiro por uma complementaridade térmica, formando o sistema hidro-térmico. No caso brasileiro, cabe ao Operador Nacional do Sistema (ONS) estabelecer o despacho elétrico, se hídrico ou térmico. Levando-se em consideração nível de reservatório, volume de precipitação, disponibilidade de combustível, sazonalidades, entre outras.

No Brasil, de acordo com ONS, 91,81% da energia gerada em 2006 veio de origem hidrelétrica, enquanto 8,14% veio de origem térmica (convencional + nuclear). Tendo ainda 0,06% de energia eólica. O gráfico 2 abaixo exemplifica a sazonalidade da geração elétrica brasileira em 2006.

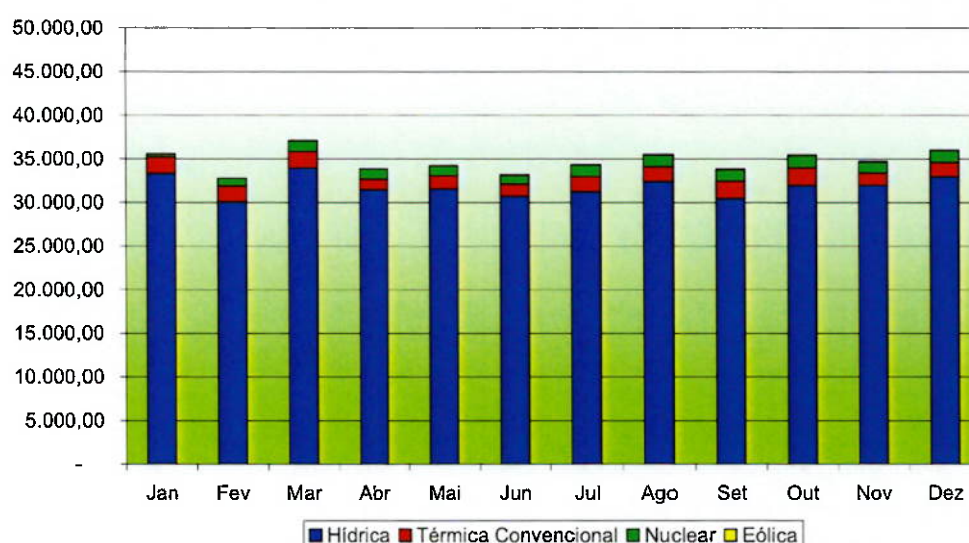


Figura 2: Geração elétrica no Brasil (Fonte: ONS)

2.2 Geração Termelétrica

A energia termelétrica é produzida através de geradores e transportada até os locais de consumo. Ela é resultante da queima de algum tipo de material orgânico que serve como combustível podendo ser queimado em turbinas (Ciclo Brayton), em motores de combustão (motores Otto ou Diesel), ou ainda indiretamente através da geração de vapor e a posterior passagem desse vapor a alta pressão em uma turbina vapor (Ciclo Rankine). Todas essas máquinas térmicas são acopladas a geradores para a transformação de energia cinética em energia elétrica. Os combustíveis mais utilizados são: óleo combustível, óleo diesel, gás natural, urânio enriquecido (que dá origem à energia nuclear) e o carvão mineral.

Apesar da pouca representatividade da energia termelétrica na realidade brasileira, a termelétricidade é a maior fonte de energia elétrica do mundo, gerando cerca de 60% da energia elétrica mundial (MICHELINI 2005).

Mesmo com a baixa representatividade das termelétricas no mercado brasileiro, a entrada em operação do gasoduto Bolívia-Brasil ajudou a ampliação do parque térmico. Ainda segundo MICHELINI (2005), 51,5% da capacidade de geração em implantação no ano de 2005 é de origem térmica e outros 44,5% da geração dos projetos outorgados.

Levando-se em consideração essa possibilidade real futura, a participação termelétrica na matriz brasileira tende a aumentar nos próximos anos o que torna muito importante a análise da eficiência energética da geração elétrica. A Tabela 1 abaixo transcrita da ANEEL (Decreto 5.163 de 30 de Julho de 2004) explicita a eficiência energética típica em termelétricas.

Tabela 1 – Eficiência das máquinas geradoras de energia elétrica (Fonte: ANEEL)

Tecnologia	Eficiência Elétrica [%]	Eficiência Cogeração [%]
Turbina a Vapor	14 – 35	60 – 85
Turbina a Gás	25 – 40	60 – 80
Ciclo Combinado	35 – 45	70 – 88
Motor Diesel	35 – 45	60 – 85

2.3 Geração Nuclear

A energia nuclear pode resultar de reações entre núcleos de certos elementos leves (fusão) ou pesados (fissão). Atualmente, é produzida, somente, pela fissão de átomos de urânio. Seu combustível, o urânio, é extraído em jazidas brasileiras e enriquecido tanto no Brasil quanto no exterior. A fissão libera calor, que é, em geral, transformado em energia mecânica, depois em energia elétrica.

Seu uso obedece ao seguinte ciclo: mineração, fabricação do "yellow cake" (concentrado de óxidos de urânio); purificação e conversão para hexafluoreto; enriquecido do urânio; fabricação dos elementos combustíveis; irradiação do combustível no reator; reprocessamento do combustível para recuperação de urânio e obtenção de plutônio (esta fase é opcional); disposição final dos resíduos de baixa, média e alta radioatividade; desmontagem das instalações nucleares desativadas.

Segundo a Eletronuclear, o Brasil possui a sexta maior reserva de urânio do mundo, estimada em 309 mil toneladas, suficiente para abastecer 32 usinas nucleares como Angra 3 por toda sua vida útil.

As duas usinas nucleares brasileiras atuais (Angra 1 e 2) produziram 13,75 TWh em 2006 e terá um acréscimo de potência a partir de 2013 de 1.350 MW com a entrada em operação de Angra 3 de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (2006-2015) traçado pelo Ministério de Minas e Energia - MME.

2.4 Perdas no Transporte de Energia Elétrica

Segundo o Balanço Energético Nacional, de responsabilidade do Ministério de Minas e Energia brasileiro, a perda média do sistema de transporte de energia elétrica do Brasil é da ordem de 15%, a Figura 3 abaixo apresenta a evolução das perdas.

Perdas no Sistema Elétrico.

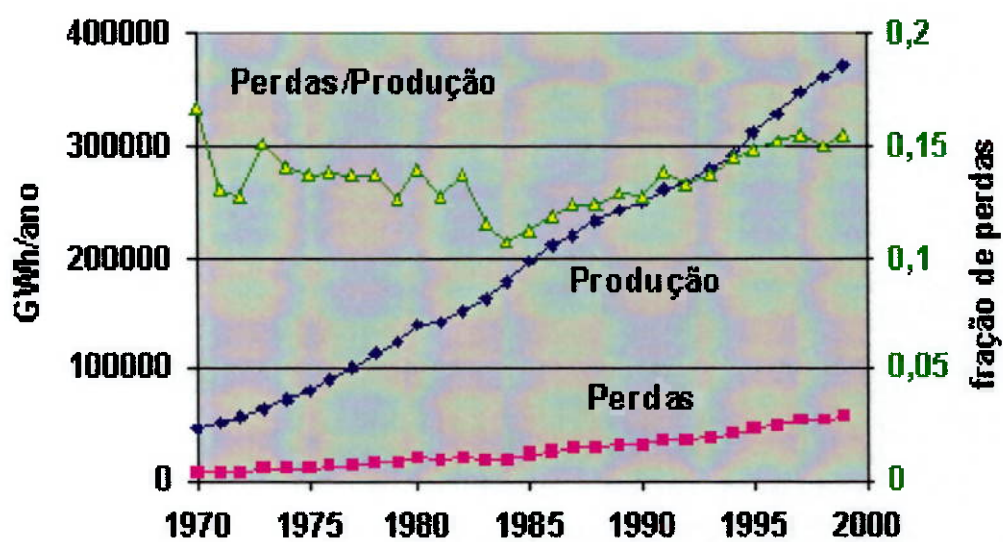


Figura 3: Perdas no Sistema Elétrico (Fonte: BEN)

3. O Gás Natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. É um gás inodoro e incolor, não é tóxico e é mais leve que o ar, densidade relativa de 0,611. O gás natural é uma fonte de energia menos poluente que os derivados de petróleo, que pode ser usado nas indústrias, substituindo outros combustíveis mais poluentes, como óleos combustíveis, lenha e carvão. Desta forma ele contribui para diminuir o tráfego de caminhões que transportam óleos combustíveis para as indústrias. Sua distribuição é feita através de uma rede de dutos e de maneira segura, pois não necessita de estocagem de combustível e por ser mais leve do que o ar, dispersa-se rapidamente na atmosfera em caso de vazamento. É uma energia de origem fóssil, resultado da decomposição da matéria orgânica fóssil no interior da Terra, encontrado acumulado em rochas porosas no subsolo, freqüentemente acompanhado por petróleo, constituindo um reservatório.

A participação do gás natural na matriz energética brasileira tem crescido de forma significativa nos últimos anos. Trata-se do energético que mais amplia sua participação na matriz energética do país. A taxa média de crescimento no período de 1998 a 2005 foi de 20% ao ano (segundo dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado - Abegás). A Figura 3 abaixo explicita o forte crescimento verificado na participação do gás natural na matriz energética, o grande crescimento se verifica após 1999 que foi quando entrou em operação o gasoduto Bolívia-Brasil chegando a 9,6% da matriz em 2006, conforme dados preliminares do MME. Também nesse gráfico vemos a participação da energia elétrica na matriz brasileira, percebe-se uma grande estagnação após 2001 devido ao racionamento de energia de 2001 que obrigou os brasileiros a reduzirem 20% o consumo elétrico.

Evolução Matriz Energética Brasileira

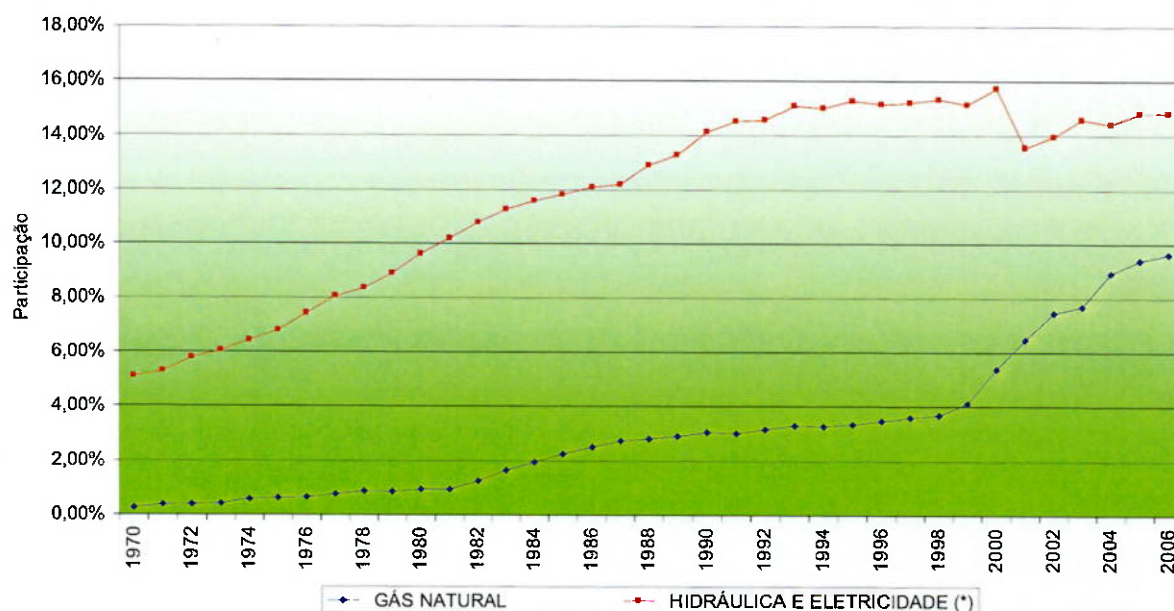


Figura 4: Evolução Matriz Energética Brasileira (Fonte: BEN)

No entanto, o gás natural continua sendo uma fonte de energia relativamente nova para o país. Ainda há certo desconhecimento sobre as possibilidades técnicas e econômicas deste combustível. A população desconhece o gás e há carência de esforços para capacitação de profissionais e difusão de informações elucidativas sobre o novo energético. Além disso, observa-se uma relativa ausência do gás nos debates envolvendo questões de políticas energéticas. Ainda não existe uma cultura do gás natural e isso pode ser medido pelo desconhecimento da população em geral, inclusive entre os especialistas em energia, sobre suas possibilidades de uso como “energético completo” além de poder ser usado como matéria-prima para indústrias petroquímicas. O gás natural continua a ser visto apenas como “gás de rua” (Santos, 2007).

A composição do gás natural pode variar ao se comparar diferentes reservatórios, predominando o gás metano, principal componente, etano, propano, butano e outros gases em menores proporções. Apresenta baixos teores de dióxido de carbono, compostos de enxofre, água e contaminantes, como nitrogênio. A sua combustão é completa, liberando como produtos o dióxido de carbono e vapor de água, sendo os dois componentes não tóxicos.

O gás natural caracteriza-se por sua eficiência, limpeza e versatilidade. É utilizado em indústrias, no comércio, em residências, em veículos e para geração de energia elétrica. É altamente valorizado em consequência da progressiva conscientização mundial da relação entre energia e o meio ambiente.

As especificações do gás para consumo são ditadas pela Portaria n. 41 de 15 de abril de 1998, emitida pelo Agência Nacional do Petróleo, a qual agrupou o gás natural em 3 famílias, segundo a faixa de poder calorífico. O gás comercializado no Brasil enquadra-se predominantemente no grupo M (médio), cujas especificações são:

- Poder calorífico superior (PCS) a 20 °C e 1 atm: 8.800 a 10.200 kcal/m³
- Densidade relativa ao ar a 20 °C: 0,55 a 0,69
- Enxofre total: 80 mg/m³ máximo
- H₂S: 20 mg/m³ máximo
- CO₂: 2 % em volume máximo
- Inertes: 4 % em volume máximo
- O₂: 0,5 % em volume máximo
- Ponto de orvalho da água a 1 atm: -45 °C máximo
- Isento de poeira, água condensada, odores objetáveis, gomas, elementos formadores de goma hidrocarbonetos condensáveis, compostos aromáticos, metanol ou outros elementos sólidos ou líquidos.

O gás natural, depois de tratado e processado, é utilizado largamente em residências, no comércio, em indústrias e em veículos. Nos países de clima frio, seu uso residencial e comercial é predominantemente para aquecimento ambiental. Já no Brasil, esse uso é quase exclusivo em cocção de alimentos e aquecimento de água.

Na indústria, o gás natural é utilizado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz, como matéria-prima nos setores químico, petroquímico e de fertilizantes, e como redutor siderúrgico na fabricação de aço.

Na área de transportes, é utilizado em ônibus e automóveis, substituindo o óleo diesel, a gasolina e o álcool.

3.1 Características do Gás Natural

- **baixo impacto ambiental:** o gás é um combustível menos poluente. Sua queima produz uma combustão limpa, melhorando a qualidade do ar, pois substitui formas de energias mais poluidoras como carvão, lenha e óleo combustível. Contribui ainda para a redução do desmatamento.
- **facilidade de transporte e manuseio:** Contribui para a redução do tráfego de caminhões que transportam outros tipos de combustíveis. Não requer estocagem, eliminando os riscos do armazenamento de combustíveis.
- **vetor de atração de investimentos:** A disponibilidade do gás atrai novas empresas, contribuindo para a geração de empregos na região.
- **segurança:** Por ser mais leve do que o ar, o gás se dissipa rapidamente pela atmosfera em caso de vazamento. Esta é a grande diferença em relação ao gás de cozinha (GLP) que, por ser mais pesado que o ar, tende a se acumular junto ao ponto de vazamento, facilitando a formação de mistura explosiva.

Por ser um combustível fóssil, formado a milhões de anos, trata-se de uma energia não renovável, portanto finita.

O gás natural apresenta riscos de asfixia, incêndio e explosão. Por outro lado, existem meios de controlar os riscos causados pelo uso do gás natural. Por ser mais leve que o ar, o gás natural tende a se acumular nas partes mais elevadas quando em ambientes fechados. Para evitar risco de explosão, devem-se evitar, nesses ambientes, equipamentos elétricos inadequados, superfícies superaquecidas ou qualquer outro tipo de fonte de ignição externa.

3.2 Suprimento de Gás Natural

3.2.1 Exploração

A exploração é a etapa inicial do processo e consiste em duas fases: a pesquisa, onde é feito o reconhecimento e o estudo das estruturas propícias ao acúmulo de petróleo e/ou gás natural, e a perfuração do poço, para comprovar a existência desses produtos em nível comercial.

3.2.2 Produção

Ao ser produzido, o gás deve passar inicialmente por vasos separadores, que são equipamentos projetados para retirar a água, os hidrocarbonetos que estiverem em estado líquido e as partículas sólidas (pó, produtos de corrosão, etc.). Se estiver contaminado por compostos de enxofre, o gás é enviado para Unidades de Dessulfurização, onde esses contaminantes serão retirados. Após essa etapa, uma parte do gás é utilizada no próprio sistema de produção, em processos conhecidos como reinjeção e gás lift, com a finalidade de aumentar a recuperação de petróleo do reservatório. O restante do gás é enviado para processamento, que é a separação de seus componentes em produtos especificados e prontos para utilização.

A produção do gás natural pode ocorrer em regiões distantes dos centros de consumo e, muitas vezes, de difícil acesso, como, por exemplo, a floresta amazônica e a plataforma continental. Por esse motivo, tanto a produção como o transporte normalmente são atividades críticas do sistema. Em plataformas marítimas, por exemplo, o gás deve ser desidratado antes de ser enviado para terra, para evitar a formação de hidratos, que são compostos sólidos que podem obstruir os gasodutos. Outra situação que pode ocorrer é a reinjeção do gás para armazenamento no reservatório se não houver consumo para o mesmo, como na Amazônia. Atualmente, dez estados da Federação possuem sistemas de produção de gás natural, sendo o Rio de Janeiro o maior deles.

3.2.3 Processamento

Nesta etapa, o gás segue para unidades industriais, onde será desidratado (isto é, será retirado o vapor d'água) e fracionado, gerando as seguintes correntes: metano

e etano (que formam o gás processado ou residual); propano e butano (que formam o GLP - gás liquefeito de petróleo ou gás de cozinha); e um produto na faixa da gasolina, denominado C5+ ou gasolina natural.

3.3 Transporte

De acordo com TABORIANSKI (2003) existem as emissões fugitivas do gás natural, que é o escape do GN nas etapas de exploração, armazenamento e transporte, no entanto, é correto aproximar essa emissão considerando somente a perda no transporte através de pequenos vazamentos em juntas ou, ainda segundo o Balanço da Companhia de Gás de São Paulo - Comgás, maior distribuidora de gás natural do Brasil, por danos ou corrosão de rede.

Utilizando-se o mesmo dado do trabalho de TABORIANSKI (2003), considera-se uma perda de gás natural no transporte de, aproximadamente, 4,7%.

3.3.1 Gasodutos

A operação do gasoduto é modernamente feita à distância, sendo monitorada por instrumentos ao longo da tubulação, seja com a utilização de comunicação por satélites, seja com fibras óticas na faixa de domínio do gasoduto (as quais são também utilizadas para comunicação de interesse geral). Esta instrumentação acompanha a evolução da pressão na tubulação (para identificar a eventual perda de gás para a atmosfera) e também mede o fluxo que passa ao longo dela, inclusive as saídas nos pontos de entrega aos distribuidores (city-gates), para fins de faturamento.

Nestas estações de medição e controle de pressão, normalmente, não há operadores. Através do sistema de comunicação à distância, tudo é controlado da estação central de acompanhamento. No caso de um acidente, válvulas automáticas bloqueiam o trecho afetado. Mesmo assim, continuamente, são feitas inspeções terrestres e aéreas ao longo dos dutos, por pessoal especializado para constatação de qualquer eventual ação de terceiros que possa colocar em risco a integridade física das instalações. Também são realizadas periódicas inspeções internas por equipamentos instrumentados (pigs) que percorrem toda a tubulação, registrando eletronicamente qualquer anomalia.

Um dos aspectos que mais caracteriza o gás natural é a possibilidade de seu estado físico ser adaptado às condições de transporte desde a zona onde é produzido até a região onde será consumido, podendo-se destacar as três seguintes alternativas principais: gasodutos, sob a forma liquefeita em navios criogênicos e sob a forma de compostos derivados líquidos ou sólidos.

O transporte por gasodutos é a solução mais amplamente utilizada. Gasoduto é um duto (tubulação) para conduzir o gás natural que nele é introduzido sob pressão por meio de compressores.

Nos dutos de transporte de longa distância, as pressões usuais podem atingir de 100 a 150 kg/cm² logo após a estação de compressão, caindo, ao longo do duto, até cerca de 30 a 40 kg/cm², quando haverá uma outra estação de compressão. Este ciclo pode se repetir várias vezes, permitindo atingir distâncias praticamente ilimitadas.

Nas redes de distribuição para consumo urbano, visando à segurança das comunidades, a pressão é reduzida para 4 a 7 kgf/cm² nos ramais principais e, nas unidades de consumo, para 150 a 300 mm de coluna d'água.

O espaçamento entre as estações de compressão resulta de avaliações econômicas, mas varia na faixa de 150 a 600 km. Frequentemente, adota-se um diâmetro grande para o fluxo inicial previsto, com um espaçamento maior das estações de compressão. À medida que o volume a transportar cresce com o aumento da demanda, introduzem-se estações intermediárias de compressão.

No Brasil, o Gás Natural ainda tem seu uso nos grandes centros urbanos. Um dos grandes entraves ao desenvolvimento dessa indústria, ainda nascente, é a existência de uma rede de transporte atrofiada e ineficaz na disponibilização de gás para o mercado nacional.

Há, atualmente, uma série de projetos para o desenvolvimento da indústria do gás natural que visam à ampliação das malhas brasileiras de gasodutos, como por exemplo, a Malha de gasodutos do Nordeste, o Gasoduto Sudeste-Nordeste

(GAZEAI), o Gasoduto Urucu-Coari-Manaus, o Gasoduto Campinas – RJ e a Malha de Gasodutos do Sudeste, que deverão proporcionar uma maior integração regional entre as áreas de produção gasífera e o mercado de consumo do produto.

3.3.2 GNL e GNC

O Gás Natural pode, também, ser transportado até o mercado consumidor através de sistemas de transporte alternativos também conhecidos como *Gasodutos Móveis* ou *Gasodutos Virtuais*. Esse sistema utiliza caminhões com carretas especiais, que possuem capacidade de transporte de grande volume de gás natural, comprimido ou liquefeito, e que são abastecidas nas estações de compressão/liquefação atendidas pelo gasoduto. Segundo alguns estudos já feitos nessa área, estas carretas transportam o GNC ou GNL até outra região, desprovida de infra-estrutura dutoviária em um raio de 200 Km (no caso do Gás Natural Comprimido) e até 500 Km (no caso do Gás Natural Liquefeito).

TECNOLOGIA GNC - O transporte do GNC é possível graças à redução do volume do gás através da sua compressão. O Gás Natural Comprimido ocupa um volume cerca de 268 vezes menor que o volume ocupado nas condições normais. Quanto maior a compressão do gás, menor o volume ocupado e, portanto, maior será a quantidade transportada. Nesse procedimento, o gás pode ser transportado em cilindros capazes de suportar taxas de compressão de 3000 psig ou 200 Bar.

TECNOLOGIA GNL - O GNL é também uma alternativa tecnológica para o transporte do gás entre regiões onde não existe uma infra-estrutura de gasodutos, ou onde sua construção não é técnica ou economicamente viável. A liquefação do gás ocorre quando o Gás Natural é exposto à temperaturas criogênicas de -162°C . No estado líquido, o GNL tem uma densidade energética aproximadamente 230% superior ao GNC e 60% superior ao óleo diesel. A capacidade típica de uma carreta é de 40 m^3 de GNL (16 toneladas), o que equivale à cerca de 24.000 m^3 de gás natural.

O GNL como transporte de longas distâncias tem se tornado muito significativo no mundo. Navios criogênicos fazem esse transporte onde dutos se tornariam inviáveis.

O mercado de GNL transformará o gás natural, definitivamente, em commodity, afinal, a existência de dutos entre países não será mais ponto central de discussões.

3.4 Mercado Futuro de Gás Natural

O PlanGas, plano de negócios apresentado pela Petrobrás para o período 2007-2011 prevê uma infra-estrutura de gasodutos, conforme mostra a Figura 5 abaixo, com investimentos na ordem de US\$ 6,5 bilhões, visando aumentar a capacidade de entrega para atender a demanda futura de gás.

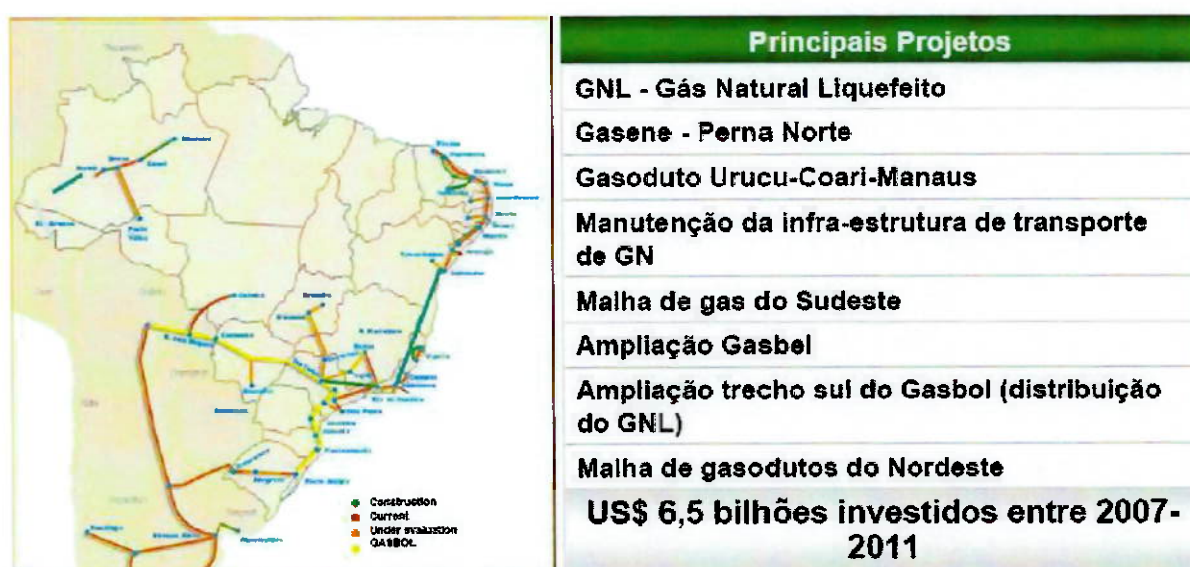


Figura 5 - Projetos na infra-estrutura de gasodutos. Fonte: Petrobrás.

Conforme Figura 5 acima, o GNL já está incluído nos planos da Petrobrás para atendimento da demanda brasileira, essa oferta está prevista para 20 milhões de metros cúbicos por dia, sendo 16 no Rio de Janeiro e 4 no Ceará.

De acordo com o Plano de Negócios 2007-2011, existe grande esforço, por parte da Petrobrás, em atender a demanda futura de gás natural, as Figuras 6 e 7 abaixo explicitam a demanda futura projetada pelo PlanGas e o cronograma de entrada em operação dos campos de produção que irão atender a essa demanda.

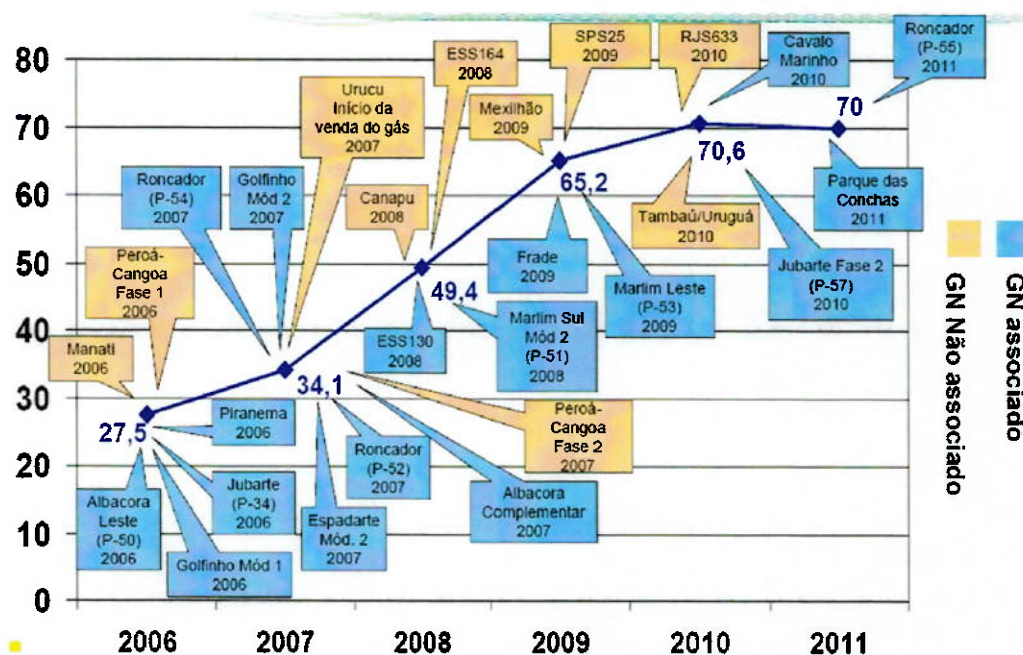
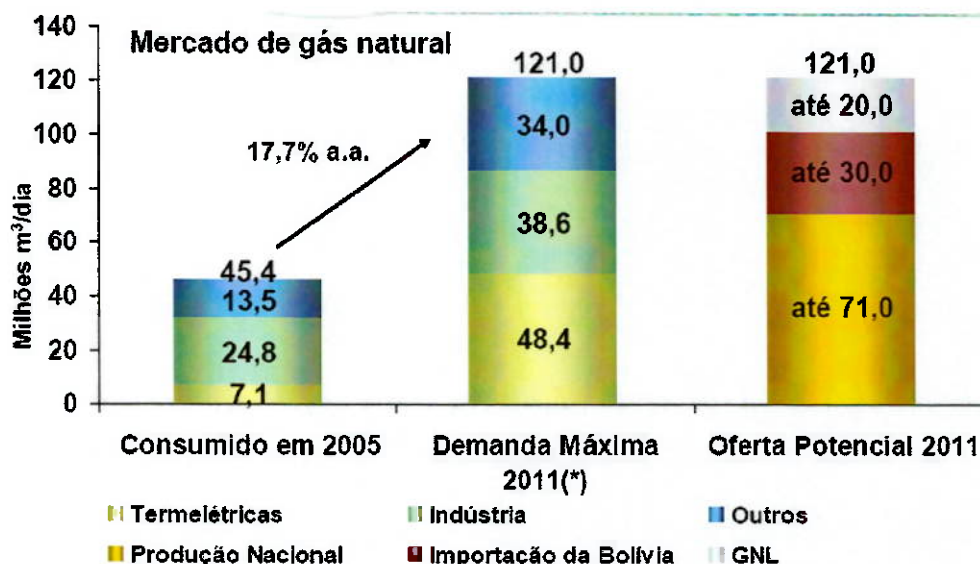


Figura 6 - Curva de entrega de gás natural (milhões de m³/dia). Fonte: Petrobrás.

A Figura 6 mostra a evolução da oferta de gás natural de origem nacional, considerando a entrada de diversos poços de gás associado ou não, elevando a oferta dos atuais 27,5 milhões de m³/dia para 70 milhões de m³/dia em 2011.



* Consumo potencial de GN para geração elétrica considerando despacho máximo de todas as térmicas

Figura 7: Mercado Projetado de Gás Natural (Fonte: Petrobras)

Finalizando, a projeção de demanda de gás natural será atendida pelo aumento da produção interna da Petrobrás e pela importação de GNL.

4. O Gás Natural como Alternativa à Energia Elétrica

O gás natural é um dos combustíveis mais flexíveis encontrados no mercado. Pode ser utilizado nas mais diversas aplicações, como em motores de combustão interno, em caldeiras, fornos, estufas, ar condicionado, compressores, moto-bomba, geração de energia elétrica, além de poder ser usado como matéria-prima para produção de hidrogênio e produto gás-químico (petroquímico).

A energia elétrica é uma energia secundária, bastante nobre, pois pode ser eficientemente transformada em qualquer outra forma de energia.. No Brasil, a opção hidrelétrica sempre foi a mais viável na geração de energia elétrica, o que viabilizou extensas linhas de transmissão do ponto gerador ao ponto consumidor. A disponibilidade dessa forma de energia está cada vez mais escassa e em distâncias cada vez maiores, por isso, é extremamente importante buscar alternativas para substituí-la em processos que assim o permitam.

Em função do exposto, processos que hoje utilizam energia elétrica e que podem passar a utilizar gás natural, geralmente em processos térmicos, devem ser estudados para diminuir a carga elétrica do sistema brasileiro.

4.1 Chuveiro

Foi desenvolvido no Brasil na década de 40, com a rápida urbanização assistida no Brasil desde então, esta solução foi sendo a principal adotada, embora convivesse com outras formas de aquecimento da água. De concepção bastante simples, o chuveiro elétrico era constituído de uma resistência feita de fio de metais com alto ponto de fusão, como o níquel, o cromo ou uma liga dos dois metais, que ao aquecer, esquentava imediatamente a água.

A desvantagem dos chuveiros elétricos está no consumo de energia. Como é necessária muita energia para aquecer a água, a resistência consome muita eletricidade para incandescer e aquecer a água que passa pelo aparelho a uma temperatura necessária.

Já foi considerado o vilão da energia elétrica brasileira, sendo que o grande impacto para o sistema é o uso concentrado dos eletrodomésticos em uma mesma faixa de horário, das 18h às 20h. Campanhas vêm sendo feitas pelas concessionárias de energia, promovendo a alteração de hábitos da população e estimulando o uso de eletrodomésticos fora dos horários de ponta, minimizando, assim, a sobrecarga. Um bom exemplo, que poderia ser adotado para o uso residencial, é a tarifação horosazonal já aplicada às indústrias. Essa tarifação prevê a cobrança de preço diferenciado durante os períodos de pico de consumo.

A utilização de chuveiro a gás natural é uma alternativa bastante viável para o consumidor e dependente de altos investimentos nas redes de distribuição do gás. Equipamentos para esse fim existem há bastante tempo e é constituído, basicamente, de uma câmara de combustão e um trocador de calor que transfere a energia dos gases de resultantes da combustão para a água.

4.2 Sistema de Ar Condicionado

Sistema de ar-condicionado é o processo de tratamento de ar destinado a controlar, simultaneamente, a temperatura, a umidade, a pureza e a distribuição de ar de um meio ambiente. Existem aplicações muito especiais, onde até mesmo a pressão do ar ambiente pode vir a ser controlada.

Estes ambientes podem ser destinados tanto ao conforto humano ou animal, neste caso os sistemas aplicados são vulgarmente chamados de ar condicionado de conforto, ou pode-se apresentar um ambiente destinado ao desenvolvimento de um determinado processo industrial ou laboratorial, e neste caso o sistema passa a ser chamado por sistema de ar condicionado de processo.

Muitas vezes, o sistema de ar condicionado é confundido erroneamente com simples sistemas de ventilação, em que não existe o controle simultâneo de todas as variáveis (temperatura, umidade e pureza). O processo de condicionamento de ar está sempre associado a um processo mecânico de refrigeração e/ou aquecimento, o que o distingue dos sistemas convencionais de ventilação.

Em muitas aplicações, o controle total e preciso da umidade do ar (a umidade relativa ambiente) não é necessário: neste caso o sistema de condicionamento de ar aplicado é parcial.

A perfeita compreensão da aplicação dos sistemas de ar condicionado exige dos profissionais da área conhecimentos básicos relacionados à termodinâmica e mecânica dos fluidos.

Durante séculos, o homem tentou livrar-se do calor utilizando ventiladores, gelo e vários outros métodos em tentativas inúteis. Em 1902, o engenheiro formado pela Universidade de Cornell, Willis Carrier, inventou um processo mecânico para condicionar o ar, tornando realidade o almejado controle climático de ambientes fechados.

A invenção de Carrier foi uma resposta aos problemas enfrentados pela indústria nova-iorquina Sackett-Wilhelms Lithography and Publishing Co., que tinha seu trabalho prejudicado durante o verão, estação em que o papel absorve a umidade do ar e se dilata. As cores impressas em dias úmidos não se alinhavam nem se fixavam com as cores impressas em dias mais secos, o que gerava imagens borradas e obscuras.

Carrier teorizou que poderia retirar a umidade da fábrica pelo resfriamento do ar. Desenhou, então, uma máquina que fazia circular o ar por dutos artificialmente resfriados. Este processo, que controlava a temperatura e a umidade, foi o primeiro exemplo de condicionamento de ar contínuo por processo mecânico.

4.3 Geração de Energia Elétrica

Como complemento ao sistema elétrico, pode-se utilizar geradores em horário de ponta para otimizar o uso dos sistemas interligados de transmissão e distribuição de energia elétrica. Para a geração, pode-se utilizar moto-geradores, microturbinas, turbinas a gás e turbinas a vapor.

Por não ser uso final de energia, esse tema foi tratado no item 2.

4.4 Cogeração

A cogeração de energia pode ser definida como a produção simultânea de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O processo mais comum de cogeração é a produção de eletricidade e energia térmica, a partir do uso de gás natural, biomassa ou outro insumo energético.

As aplicações de tecnologias e processos de cogeração a gás natural possibilitam beneficiar diversos setores da economia, com destaques para as aplicações na indústria, comércio, serviços e agricultura. Uma das aplicações mais recentes, e com grande poder de interferência sobre o mercado tradicional das concessionárias de energia elétrica, é a climatização de ambientes, ou seja, a refrigeração por absorção e/ou o aquecimento de ambientes residenciais, comerciais e industriais, assim como da água utilizada nestes locais (lavanderias, piscinas, etc.).

As centrais de cogeração de energia são geralmente instaladas nos locais de uso final da energia, pelo próprio cliente ou através de empresas/investidores que operam em regime de auto-suprimento, para produzirem nas suas instalações a energia térmica necessária (vapor, calor ou frio).

Dentre as principais razões pelas quais a indústria da cogeração de energia está se desenvolvendo em todo o mundo, pode-se mencionar:

- Eficiência energética: a eficiência energética da cogeração (energia elétrica e térmica produzida por unidade de combustível utilizado) é superior à alternativa de produção separada de eletricidade e energia térmica, resultando em menor consumo de energéticos e menor emissão de poluentes;
- Segurança operacional: melhoria das condições de segurança e confiabilidade operacional das empresas;
- Produção e uso local de energia com custos evitados: por ser instalada no próprio local de consumo, a cogeração evita custos de transmissão;

- Fator de desenvolvimento econômico: a indústria da cogeração de energia é um importante instrumento de desenvolvimento econômico sustentável, contribuindo para o desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos, introdução de novas tecnologias, geração de emprego e renda e a possibilidade de utilização eficiente das reservas brasileiras de gás natural.

Com relação ao estágio atual de utilização desta tecnologia no Brasil, segundo registros da ANEEL, em 2006 havia 54 centrais de cogeração em operação, totalizando 1.134 MW, sendo 27 a gás natural, com capacidade instalada total de 314 MW. Deste total, estão localizadas no estado de São Paulo 34 centrais de cogeração, totalizando 749 MW, sendo 14 a gás natural, totalizando 243 MW, suprindo energia a diversos segmentos industriais (papel e celulose, alimentos e bebidas, química, etc.), hotéis, edifícios comerciais e supermercados.

A Resolução Normativa 235 da ANEEL, de 14/11/2006 estabelece as condições necessárias para o enquadramento uma instalação em cogeração qualificada.

5. Ar Condicionado

O sistema de ar condicionado é responsável pela adequação climática de um ambiente, monitorando e ajustando temperatura, umidade, pureza e fluxo de ar. Normalmente o sistema é utilizado para conforto térmico, no entanto também pode ser utilizado para controle rigoroso de características climáticas, como por exemplo em hospitais e centros de computação.

Existem vários aparelhos para essa aplicação, como os aparelhos de janela, destinado à pequenos ambientes, self-contained, split, bombas de calor, chillers, entre outras.

O dimensionamento de uma central de ar condicionado deve levar em conta a carga térmica de um determinado ambiente que nada mais é do que o somatório de todas as fontes de calor presentes em um ambiente. Segundo a Ashrae, 94% das pessoas se sentem confortáveis com 24°C e 50% de umidade relativa do ar.

A função do ar condicionado é transportar calor, visto que não se cria, nem se destrói energia. Várias são as fontes de calor de um ambiente, sendo a insolação a causa mais impactante. Outras fontes de calor também são consideradas, como iluminação, equipamentos, condução pelas paredes/vidro, pessoas, etc.

As unidades de carga térmica, e sua conversão estão explicitadas na Tabela 2 resumo abaixo:

Tabela 2 – Conversão entre unidades de Carga Térmica

$1 \text{ TR} = 3.024 \text{ kcal/h} = 12.000 \text{ Btu/h} = 3,517 \text{ kW}$

Para o transporte desse calor, estuda-se o ciclo frigorífico e o ciclo de absorção.

A Figura 8 exemplifica o ciclo de refrigeração por compressão de vapor onde as características físicas do fluido refrigerante são utilizadas para transportar o calor do ambiente interno para o ambiente externo.

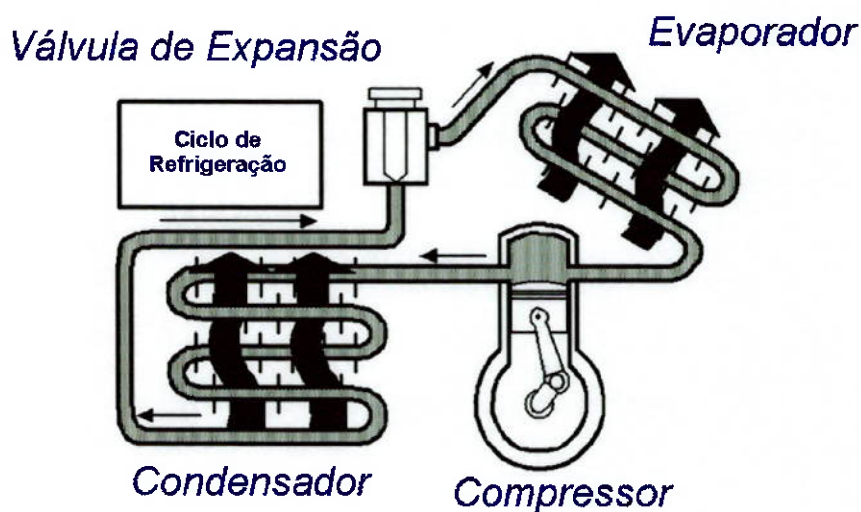


Figura 8: Ciclo Frigorífico Vapor

Comparando-se o ciclo frigorífico convencional por compressão de gases acima com o ciclo por absorção, troca-se o compressor por um absorvedor e um gerador; troca-se o refrigerante convencional (R22, R407, etc.) pelo refrigerante natural (água), troca-se a compressão do refrigerante por alto vácuo e troca-se a fonte de energia elétrica por calor na forma de água quente, vapor ou fogo direto conforme Figura 9 abaixo:

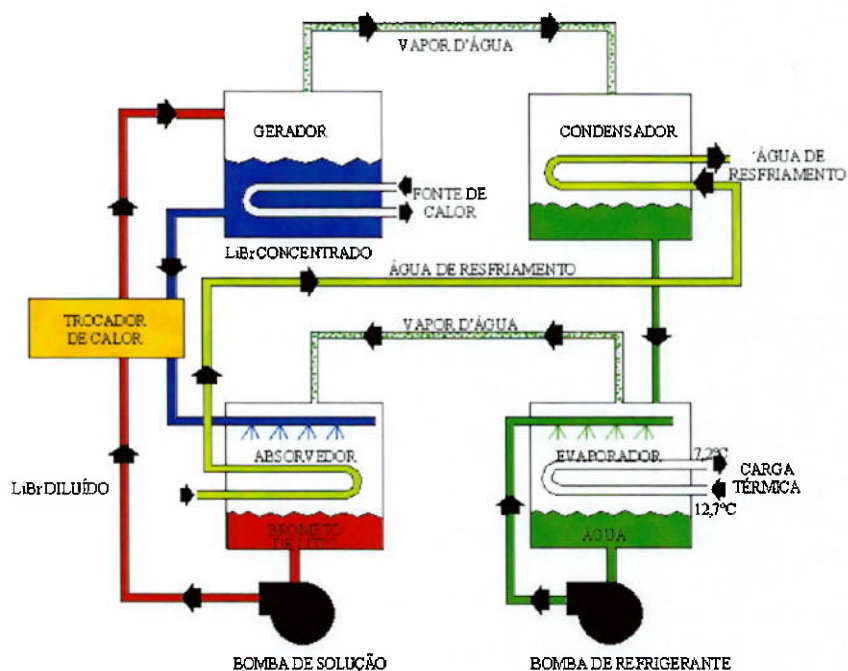


Figura 9: Esquema do Ciclo Absorção

O sistema de ar condicionado completo possui bombas de circulação de água de torre de refrigeração, de água gelada, de condensação, além dos ventiladores de fan coil para a troca de calor entre a água gelada ou refrigerante e o ar do ambiente a ser refrigerado. A Figura 10 abaixo exemplifica o circuito completo de ar condicionado.

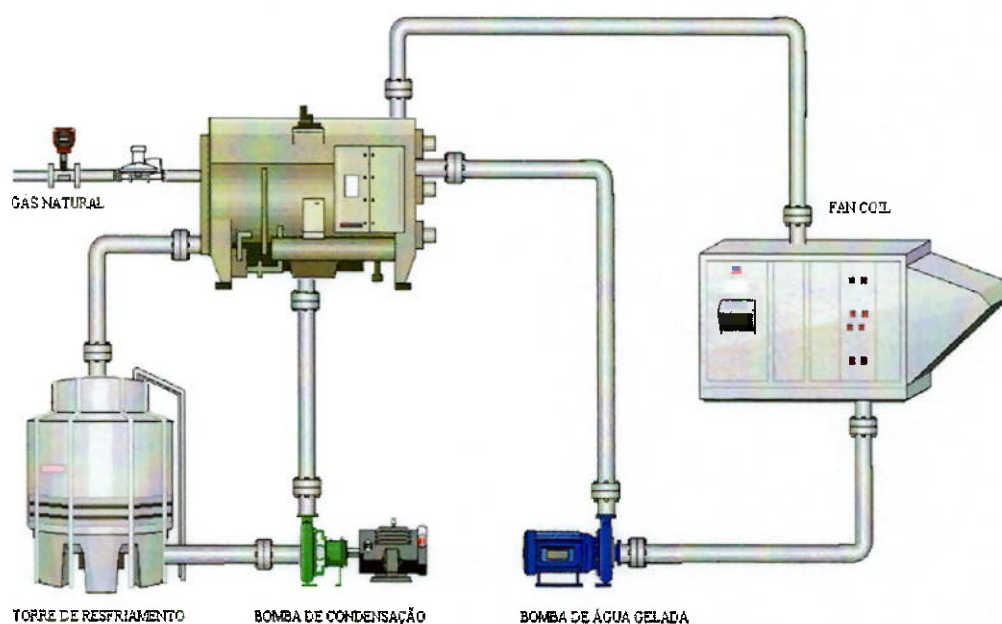


Figura 10: Circuito de Ar Condicionado

Para cálculo de eficiência em chillers é usual a utilização do Coeficiente de Desempenho (COP), isso para facilitar a comparação entre os diversos equipamentos disponíveis. COP é a razão entre a energia produzida pela energia consumida, conforme Fórmula 1 abaixo.

$$COP = \frac{\text{Energia Produzida}}{\text{Energia Consumida}} \quad (1)$$

5.1. Chiller por Absorção

A instalação de chillers é comum em grandes centrais de água gelada. Existem equipamentos elétricos, com ciclo de compressão de gases, utilizando moto-compressores elétricos, com os mais diversos tipos de compressores, como centrífugos, alternativos, parafusos, scroll.

Uma opção para as centrais de água gelada é o equipamento cujo ciclo frigorífico é a absorção, utilizando brometo de lítio como absorvedor e, sendo a solução de água o fluido refrigerante.

O Chiller por Absorção Queima Direta a Gás Natural é uma Central que produz água gelada para alimentação dos Fancoils, trocadores de calor, que por sua vez retira o calor dos ambientes proporcionando conforto térmico.

Este Chiller tem como característica principal o ciclo por absorção, ou seja, não existe o ciclo por compressão, dispensando a utilização do compressor que corresponde a cerca de 90% do consumo elétrico de um sistema de Ar Condicionado. A Função do Compressor é substituída pela operação do Gerador, do Absorvedor e do Brometo de Lítio (LiBr).

Como o Chiller por Absorção não utiliza a compressão, os refrigerantes convencionais (R-11, R-12, R-22, R-407c, R-134a, R-410a) são substituídos por uma solução de Água (H₂O) com Brometo de Lítio, refrigerante natural e ecologicamente correto, que se vaporiza (expansão) em pressões negativas (vácuo) a 4,5°C resfriando a Água Gelada que alimenta os Fancoils.

5.1.1 Descrição do Funcionamento

As unidades resfriadoras por ciclo de absorção utilizam no interior dos seus vasos, submetidos a vácuo profundo, água destilada e desmineralizada como fluido refrigerante. Os resfriadores operam em um princípio simples, onde a água sob

baixa pressão absoluta (vácuo), remove calor e vaporiza (ferve) a baixa temperatura.

Para vaporizar, o refrigerante (água) do lado do casco, remove a energia necessária do outro fluido a ser resfriado (usualmente água) que circula pelo interior dos tubos do evaporador. O fluido resfriado, portanto, poderá então ser utilizado em outras áreas com fim de resfriamento de ambientes e ou processos.

Para que o ciclo se torne contínuo, o refrigerante no estado vapor (água), deverá ser removido a medida em que for sendo produzido. Para que isto ocorra, uma solução contendo sal de brometo de lítio (LiBr) em água, é usada para remover esse vapor. O brometo de lítio possui alta afinidade com água e irá absorver grandes quantidades de água em certas condições. A remoção do vapor do refrigerante por absorção mantém a pressão baixa na máquina o bastante para que o processo de vaporização continue no evaporador.

Contudo, à medida que este processo vai ocorrendo a solução se torna mais diluída reduzindo assim a capacidade de absorção de vapor de refrigerante. Portanto, é necessário que a solução diluída seja bombeada para ao concentrador no qual através do aquecimento da caldeira a gás natural a solução liberará o refrigerante na forma de vapor. A solução de brometo de lítio agora reconcentrada retorna a seu vaso original (absorvedor) para absorver o vapor de refrigerante que é formado no evaporador, dando assim continuidade ao ciclo.

No condensador o refrigerante que evaporou pelo aquecimento direto da solução diluída no concentrador, trocará calor com a água de condensação proveniente da torre de resfriamento, ou de outra fonte, que removerá o calor suficiente do vapor de refrigerante (água) para condensá-lo para reutilização no ciclo de refrigeração.

Sistemas de absorção de duplo efeito melhoram significativamente o desempenho e eficiência das unidades. Aproximadamente metade da solução diluída no absorvedor é bombeada para o vaso (concentrador) que está a alta temperatura (*high stage*), onde a solução fraca é aquecida diretamente pelos gases quentes e pela radiação da combustão do gás natural.

A outra metade da solução é bombeada para o vaso que está à baixa temperatura (*low stage*), que é aquecida e reconcentrada pelo vapor (refrigerante) que foi gerado no vaso (concentrador) de alta temperatura.

O estágio de baixa temperatura (*low stage*) age como um condensador do estágio de alta temperatura (*high stage*), então a energia fornecida ao estágio de alta temperatura em parte aproveitada para aquecimento no estágio de baixa. Isto diminui em grande parte a necessidade de calor requerida em uma unidade resfriadora de absorção de simples estágio.

5.1.2 Componentes básicos do Chiller por Absorção Queima Direta

EVAPORADOR – A água refrigerante vaporiza-se no ciclo de resfriamento e esfria ainda mais a água gelada para o processo de resfriamento ou condicionamento de ar. No ciclo de aquecimento, o vapor de água quente vai para a seção do evaporador onde se condensa e aquece a água quente para o processo de aquecimento. O trocador de calor no evaporador é usado para ambos aquecimento e resfriamento.

ABSORVEDOR – A água (refrigerante) em forma de vapor é absorvida pela solução de brometo de lítio no ciclo de resfriamento. No ciclo de aquecimento, a água refrigerante condensada dos drenos do evaporador entra no absorvedor onde é misturada com a solução forte.

GERADOR DE ALTA TEMPERATURA – A solução diluída vinda do trocador de calor é aquecida no gerador de alta (temperatura). Ela libera o vapor de refrigerante, fica concentrada e torna-se solução intermediária.

TROCADOR DE CALOR DE ALTA/BAIXA TEMPERATURA – A solução diluída que vem do absorvedor passa pelo trocador de calor de baixa onde é aquecida pela solução concentrada. A solução diluída depois de sair do trocador de baixa passa pelo trocador de alta onde é aquecida pela solução intermediária. A solução diluída depois que sai do trocador de calor de alta vai para o gerador de alta.

GERADOR DE BAIXA TEMPERATURA – O vapor de refrigerante que vem do gerador de alta passa pelos tubos do trocador de calor do gerador de baixa. A solução intermediária no gerador de baixa é aquecida pelo vapor de refrigerante, libera vapor de refrigerante e fica concentrada, tornando-se solução concentrada. O refrigerante condensado no tubo de transferência de calor do gerador de baixa vai para o condensador.

CONDENSADOR – O vapor de refrigerante que vem do gerador de baixa é condensado nos tubos de transferência de calor do condensador. A água de resfriamento que vem do absorvedor é aquecida pelo calor de condensação.

As unidades serão dotadas de trem de gás incorporado, composto basicamente de:

- Válvula de esfera para fechamento rápido;
- Duas Válvulas de bloqueio classe 1 com abertura lenta e fechamento rápido;
- Pressostato de gás com contator de máxima;
- Pressostato com gás de contato de mínima;
- Pressostato para ar de combustão;
- Dois manômetros com válvula de esfera (entrada/saída) da linha de gás;
- Relê de estanqueidade;
- Filtro de gás;
- Regulador de pressão.

Flexibilidade operacional

- Operação no verão no modo resfriamento e no inverno no modo aquecimento assegurando maior conforto.

5.2. GHP (Gás Heat Pump)

O calor flui naturalmente de uma temperatura mais alta para uma mais baixa. Bombas de calor conseguem inverter esse fluxo natural para a outra direção, de uma fonte fria para uma mais quente através da utilização de uma energia externa. Podem utilizar o ciclo de compressão de vapor (frigorífico convencional) ou o ciclo de absorção (sendo o fluido refrigerante a água ou a amônia).

A diferença entre uma bomba de calor elétrica é porque o compressor da unidade externa é acionado por um motor de combustão interno e não por um motor elétrico.

A produção de máquinas GHP foi introduzida no Japão em 1987 para redução de demanda elétrica em monofásico e de emissão de poluentes. Esse equipamento é uma bomba de calor transferindo calor de um ambiente para o outro, ou seja, pode aquecer ou resfriar um ambiente.

O ciclo de refrigeração é por compressão de vapor, com expansão e compressão de fluido refrigerante devido às características físicas desse fluido.

A Figura 11 abaixo exemplifica o modo de funcionamento do GHP.

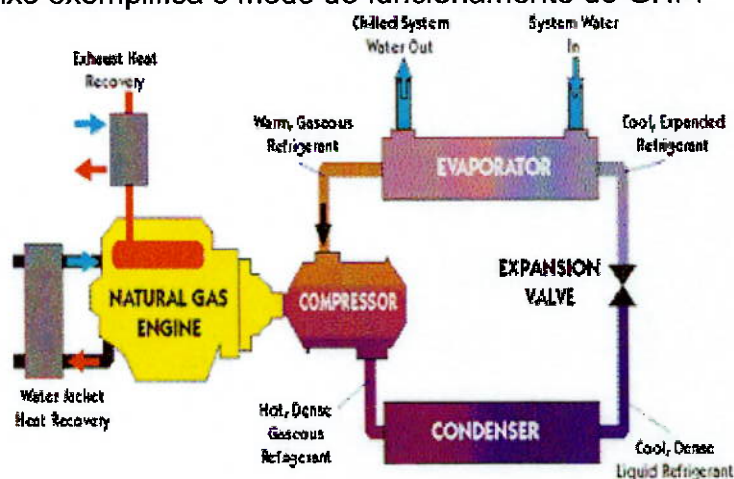


Figura 11: Ciclo GHP (Fonte: Sanyo)

Uma vantagem desse equipamento é a manutenção da eficiência independente do fator de carga, devido à variação da rotação do motor. A fabricação desses equipamentos está concentrada na Ásia (Japão e Coreia) e a Figura 12 abaixo exemplifica o método de utilização da máquina que pode operar, simultaneamente, com expansão direta, como chiller e como aquecimento.

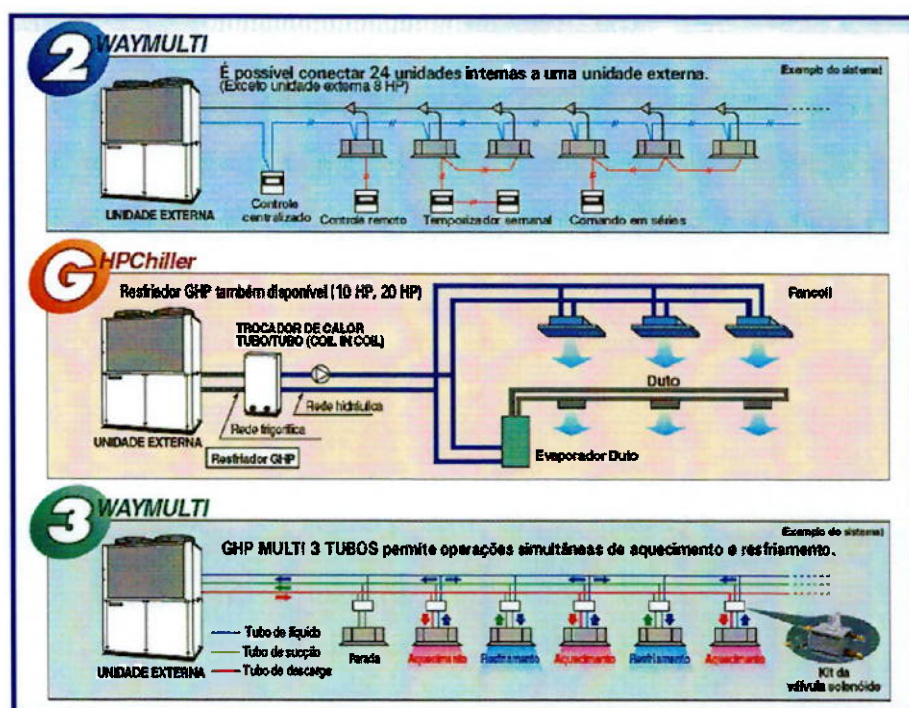


Figura 12: Aplicações do GHP (Fonte: Sanyo)

A utilização desses equipamentos GHP no Brasil ainda é bastante restrito devido ao alto custo da instalação, daí o fato de ter sido escolhido o sistema de chiller por absorção no estudo de caso desse trabalho em questão.

6. Estudo de Caso Chiller Shopping Center

O shopping em estudo fica localizado na cidade de São Paulo, possui quatro Centrais de Água Gelada (CAG) totalizando 1.460 TR conforme Tabela 3. Essas quatro centrais não são interligadas, pois o crescimento do shopping ocorreu de maneira não prevista o que acarretou numa operação não-otimizada. Essa condição poderia ser melhorada ao se instalar uma única central, devido ao fator de simultaneidade que poderia se obter com uma central única.

Todas as centrais possuem chiller antigo (mais de quinze anos de operação), com compressor alternativo e condensação a ar, o COP (coeficiente de desempenho) das máquinas considerado foi de 2,33, ou seja, um consumo elétrico de 1,61 kW/TR, incluindo consumo do equipamento e das bombas de circulação de água gelada e água da torre de resfriamento.

Tabela 3 – Demanda Térmica do Shopping

CAG	Carga Térmica [TR]	Demanda [kW]	Consumo [kWh/ano]
A	500	696	2.334.488
B	600	835	2.862.810
C	200	377	1.102.448
D	160	251	899.160
TOTAL	1.460	2.159	7.198.906

A área total do shopping é de 33.713 m².

A CAG A possui três chillers de 250 TR cada, sendo dois operacionais e um de *back up*, totalizando 500 TR de carga operacional. O horário de funcionamento dessa CAG é das 9:00 h às 22:00 h. A Figura 13 mostra o perfil de carga desses equipamentos. Para traçar o perfil de carga, utilizou-se um perfil típico de shopping center.

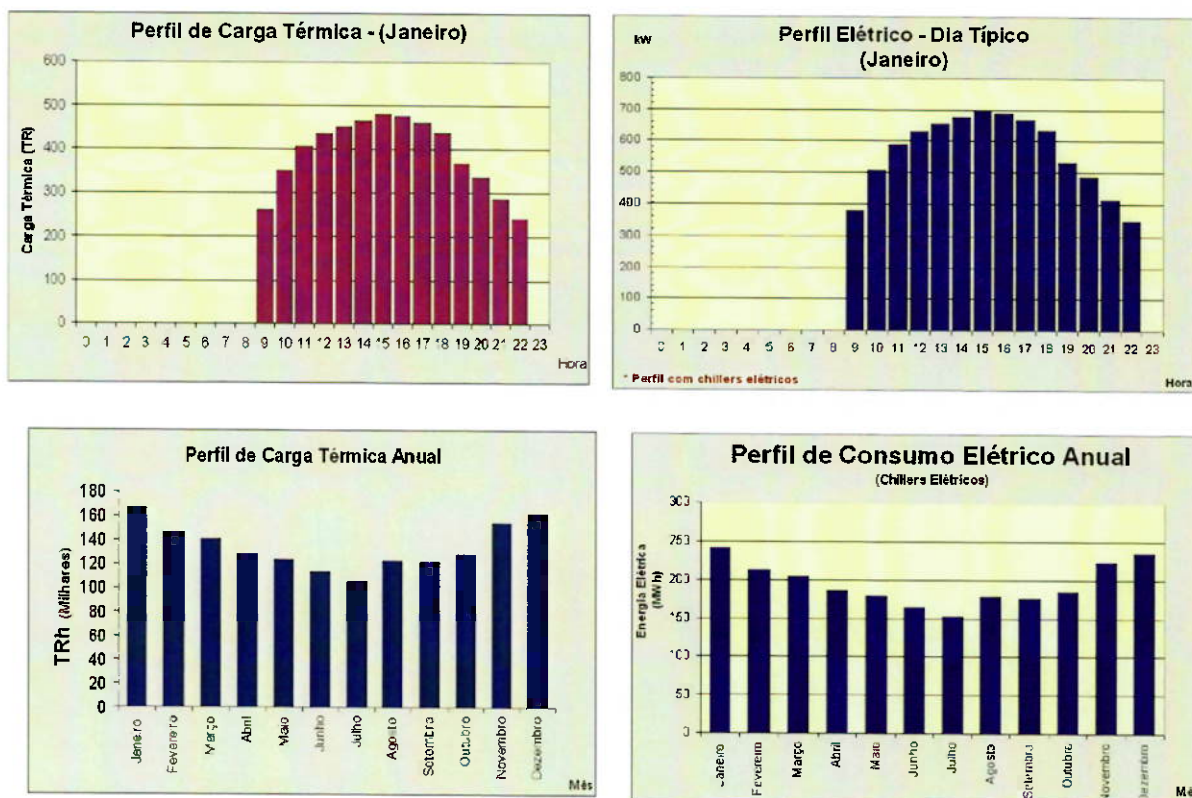
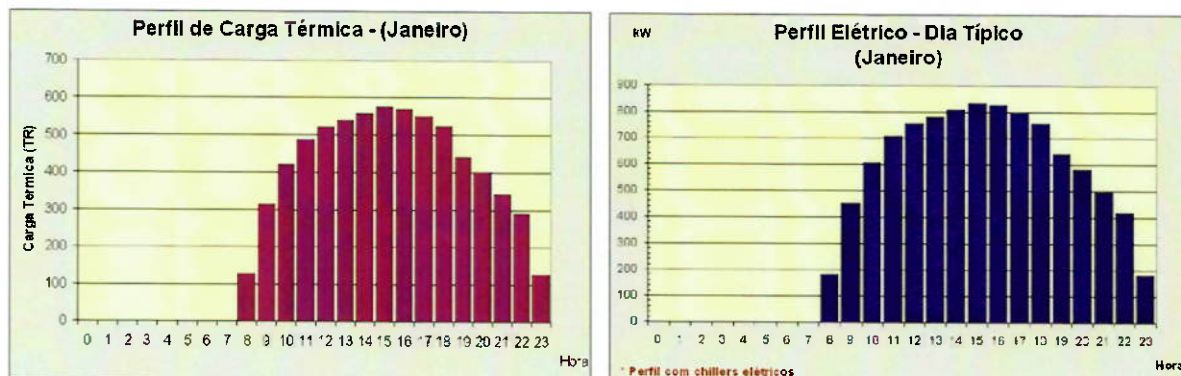


Figura 13: Perfil de Carga CAG A

Apesar de possuir 1.044 kW de demanda instalada, utiliza-se nessa CAG 696 kW para alimentação dos compressores, visto que um chiller é, somente, *stand by*. O consumo anual nessa central de água gelada é de 2.334.488 kWh.

A CAG B possui três chillers de 300 TR cada, sendo dois operacionais e um de *back up*, totalizando 600 TR de carga nominal. O horário de funcionamento dessa CAG é das 8:00 h às 23:00 h. A Figura 14 mostra o perfil de carga desses equipamentos.



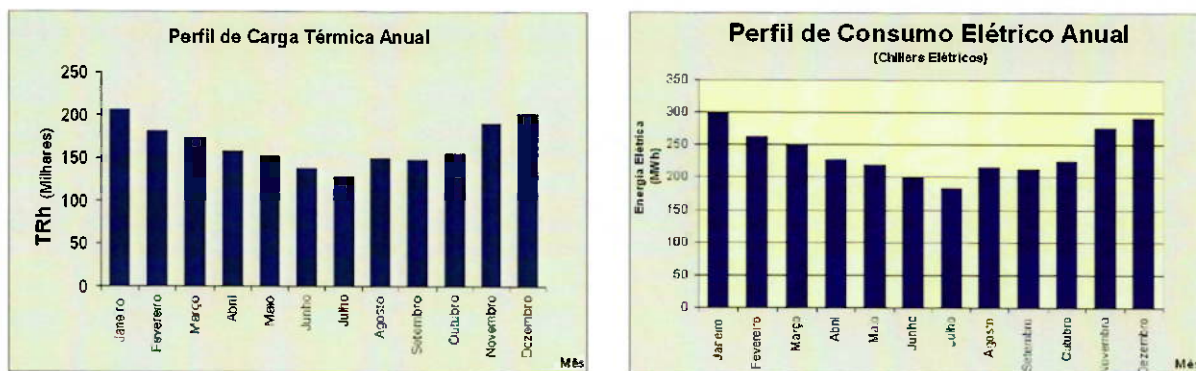
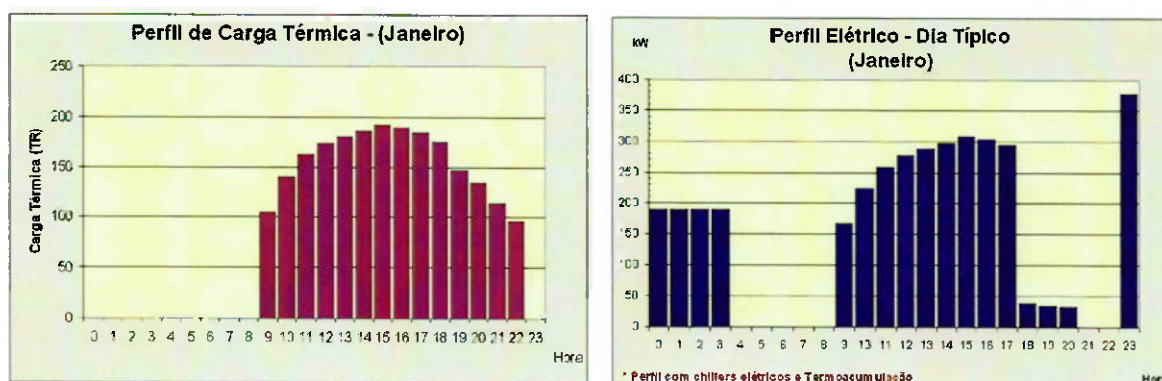


Figura 14: Perfil de Carga CAG B

Apesar de possuir 1.200 kW de demanda instalada, utiliza-se nessa CAG 835 kW para alimentação dos compressores. O consumo anual nessa central de água gelada é de 2.862.810 kWh.

A CAG C possui dois chillers de 200 TR cada, sendo um operacional e um de *back up*, totalizando 200 TR de carga nominal. Essa central possui tanques de termo-accumulação para estocagem de gelo, deslocando o consumo do horário de ponta. Nessa CAG existem 14 tanques de gelo de dois metros de diâmetro e dois metros e cinquenta centímetros de altura cada. O horário de funcionamento dessa CAG para a produção de água gelada é das 9:30 h às 17:30 h, o chiller produz gelo das 22:00 h até às 3:00 h para acumulação nos tanques. O gelo armazenado atende à demanda de ar condicionado no período de ponta, das 17:30 h até às 22:00 h.



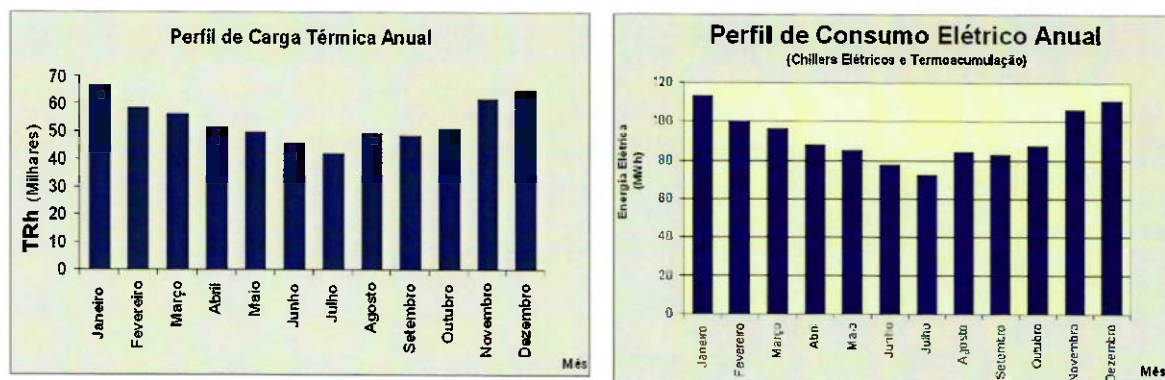


Figura 15: Perfil de Carga CAG C

A Figura 15 acima esquematiza o funcionamento da CAG C, a demanda elétrica no horário de ponta é quase nula, mas a demanda térmica, não. Essa demanda térmica é atendida pelo gelo no tanque de termo-acumulação, que é produzido até às 3:00 h, conforme Figura 15.

Apesar de possuir 580 kW de demanda instalada, utiliza-se nessa CAG 377 kW para alimentação dos compressores. O consumo anual nessa central de água gelada é de 1.135.892 kWh.

A CAG D possui dois chillers de 80 TR cada, sendo dois operacionais e nenhum de *back up*, totalizando 160 TR de carga nominal. Essa central possui tanques de termo-acumulação para estocagem de gelo, deslocando o consumo do horário de ponta. Nessa CAG existem 6 tanques de gelo de dois metros de diâmetro e dois metros e cinquenta centímetros de altura cada. O horário de funcionamento dessa CAG para a produção de água gelada é das 9:30 h às 17:30 h, o chiller produz gelo das 22:00 h até às 3:00 h para acumulação nos tanques. O gelo armazenado atende à demanda de ar condicionado no período de ponta, das 17:30 h até às 22:00 h.

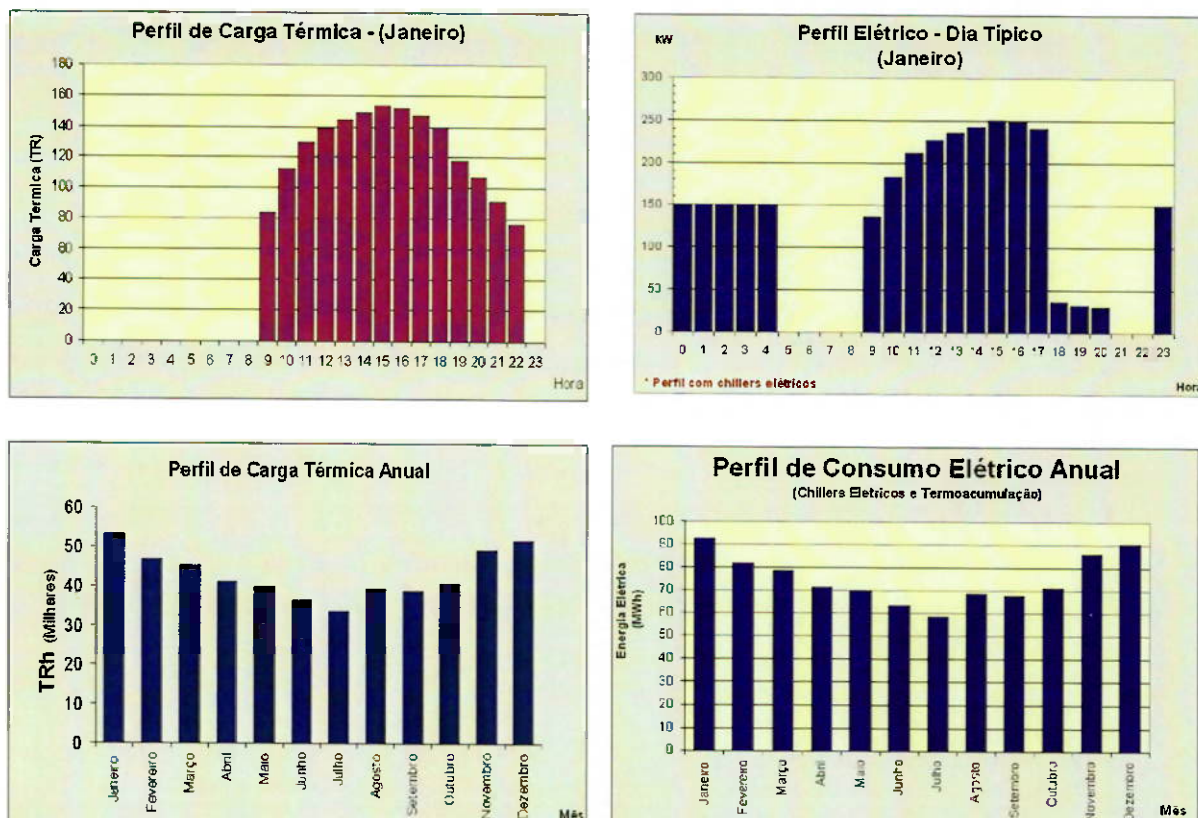


Figura 16: Perfil de Carga CAG D

A Figura 16 acima esquematiza o funcionamento da CAG D, a demanda elétrica no horário de ponta é quase nula, mas a demanda térmica, não. Essa demanda térmica é atendida pelo gelo no tanque de termo-acumulação, que é produzido até às 3:00 h, conforme Figura 16.

Apesar de possuir 264 kW de demanda instalada, utiliza-se nessa CAG 251 kW para alimentação dos compressores. O consumo anual nessa central de água gelada é de 1.135.892 kWh.

Essa é a condição atual desse shopping, que possui um contrato com a distribuidora de energia elétrica na classe A4 horo-sazonal azul. Os chillers elétricos são velhos, com quase quinze anos de funcionamento, com fluido refrigerante R22.

Como solução para essa instalação, tem-se a substituição dos equipamentos elétricos por chillers por absorção de queima direta a gás natural. Não se optou pela centralização das CAG's devido aos custos de interligação dos quatro sistemas

isolados. A solução centralizada é mais eficiente mas de difícil execução dentro das instalações desse shopping. Como alternativa para as quatro CAG's, tem-se:

Tabela 4 – Solução de Chiller a Gás Natural

CAG	Solução Elétrica Atual	Solução Gás Natural Proposta
A	2 Chiller de 240 TR	2 Chiller 250 TR
B	2 Chiller de 280 TR	2 Chiller 300 TR
C	1 Chiller de 200 TR	1 Chiller 200 TR
D	2 Chiller de 80 TR	1 Chiller 160 TR

Para os equipamentos de absorção com brometo de lítio, utilizou-se um COP de 1,34, equivalendo a um consumo de gás natural de 0,26 m³/TR e a um consumo elétrico de 0,30 kW/TR para bombeamento da água gelada e da água da torre de resfriamento.

Como benefício direto ao cliente, essa instalação permite alta performance mesmo em cargas parciais, produção de água quente no inverno, baixo custo de manutenção e operação por ausência de partes móveis, operação silenciosa e isenta de vibração e utilização de solução de água e Brometo de Lítio como fluido refrigerante. Poderia, também, produzir, simultaneamente, água quente.

Tabela 5 – Resumo das Centrais de Água Gelada

CAG	Carga instalada [TR]	SISTEMA ATUAL		SISTEMA PROPOSTO			Investimento [R\$]
		Potência [kW]	Consumo [kWh/ano]	Potência [kW]	Consumo [kWh/ano]	Consumo de GN [m ³ /ano]	
A	500	696	2.334.488	151	505.803	418.576	520.000
B	600	835	2.862.810	182	622.379	513.305	624.000
C	200	377	1.102.448	90	301.749	167.430	208.000
D	160	251	899.160	79	264.067	133.944	166.400
TOTAL	1.460	2.159	7.198.906	502	1.693.998	1.233.255	1.518.400

A solução a gás natural permite uma redução de 76,75% da demanda elétrica e uma redução no consumo elétrico de 77,32%. O investimento para a viabilização dessa instalação é da ordem de um milhão e meio de reais.

Como para esse estudo não foi considerado subsídio governamental, a viabilização dessa substituição elétrica por gás natural deve ocorrer com retorno financeiro para o proprietário do empreendimento. O quadro abaixo resume a comparação entre o custo operacional do sistema atual elétrico com o sistema proposto por absorção.

Tabela 6 – Comparativo Solução Elétrica e Gás Natural

	TOTAL SHOPPING	
	CHILLER ELÉTRICO Eletropaulo - A4 azul	CHILLER DE ABSORÇÃO Eletropaulo - A4 azul
Acionamento/Condições		
Capacidade Chiller	1.460	1.460
Carga Térmica Anual [TRh]	4.743.362	4.743.362
Energia Elétrica		
Demanda Ponta (kW)	1.467	456
Demanda F. Ponta (kW)	2.159	502
Consumo Anual Ponta (kWh)	842.022	259.907
Consumo Anual F. Ponta (kWh)	6.356.883	1.434.090
Consumo Anual Total (kWh)	7.198.905	1.693.997
Custo Específico de EE (R\$/MWh)	359	396
Custo Anual EE	2.580.910	670.027
Consumo de Gás Natural (absorção)		
Combustível		GN
Consumo Anual CAG (m³)		1.233.255
Custo Específico (R\$/m³)		1,255861
Custo Anual (R\$)		1.548.797
Outras Despesas		
Água e Tratamento Químico	194.811	197.226
Manutenção da CAG	268.180	100.740
Custo Total Anual	3.043.901	2.516.791
Economia Anual	0	527.110
Investimento CAG	0	1.518.400

A implantação da solução a gás natural traz uma redução de 17,32% na conta anual de energia para o shopping. Em valores absolutos, tem-se uma redução de R\$ 527 mil por ano.

Levando-se em consideração o investimento de R\$ 1.518.400 e o retorno acima exposto, o pay back simples desse projeto é de 34 meses (dois anos e dez meses), ou seja, a substituição de equipamento elétrico por equipamento a gás natural é viável para o empreendedor.

Fazendo uma análise financeira mais apurada, podemos considerar uma taxa de atratividade nesse segmento de 15% ao ano, essa taxa é usual no segmento de shopping center, e foi levantada diretamente nesse estudo de caso, com o corpo executivo do shopping. A Tabela 7 abaixo resume as informações financeiras desse

projeto, que resulta num pay back de 44 meses e uma taxa interna de retorno (TIR) de 27,17% sendo um projeto muito viável para o empreendedor. Para o valor presente líquido (VPL) considere somente 60 meses de estudo (que é o prazo contratual de gás natural) e o índice de lucratividade significa que para cada real investido, o empreendedor está ganhando R\$ 1,20.

No entanto, pode-se calcular o VPL por todo o período de vida útil do equipamento, que é de 20 anos, nessa condição, o VPL sobe para R\$ 2.002.064,54.

Tabela 7 – Resumo dos Dados Financeiros do Projeto

RESULTADOS			
ANÁLISE PRAZO CONTRATO	TIR		27,17%
	PAY BACK	[meses]	44
	Taxa de Atratividade	[% ao ano]	15%
	Valor Presente	[R\$ para 60 meses]	366.967,98
	Índice de Lucratividade		1,2
ANÁLISE VIDA ÚTIL 20 ANOS	TIR		40,76%
	PAY BACK	[meses]	44
	Taxa de Atratividade	[% ao ano]	15%
	Valor Presente	[R\$ para 60 meses]	2.002.064,54
	Índice de Lucratividade		2,3

Essa conversão de chiller elétrico por chiller por absorção a gás natural é viável para o empreendedor, como também já havia sido comprovado por Felamingo (2006) na substituição de chiller elétrico por chiller de absorção utilizando como fonte de energia o rejeito de calor da compressão de ar para processo e gases de escape da caldeira.

7. Potencial de Substituição de Energia Elétrica com Ar Condicionado em Shoppings Centers

Considerando o estudo de caso do shopping conforme item 6 desse trabalho, pode-se extrapolar as conclusões para todo o mercado brasileiro de shopping center. A Tabela 8 abaixo fornece os índices de consumo de centrais de água gelada no segmento comercial de shopping center, esses dados foram extraídos do estudo de caso em questão.

Tabela 8 – Índices de Ar Condicionado para Shopping Center

	TOTAL SHOPPING	
	CHILLER ELÉTRICO	CHILLER DE ABSORÇÃO
Capacidade Chiller [m ³ /TR]	23,09	23,09
Carga Térmica Anual [TRh/m ²]	140,70	140,70
Demanda Elétrica [W/m ²]	64,04	14,89
Consumo Elétrico [kWh/m ²]	213,53	50,25
Investimento [R\$/m ²]		45,04
Consumo de GN [m ³ /m ²]		36,58
Área Bruta Locável-ABL (m ²)	33.713	

Segundo a ABRASCE (Associação Brasileira de Shopping Centers), a Área Bruta Locável (ABL) no Brasil totaliza 7.452.171 m², contabilizando 346 unidades (números de 20/04/2007).

Levando-se em consideração o índice de consumo da tabela acima, e projetando para toda a ABL brasileira, pode-se estimar o benefício da substituição de chillers elétricos por chillers de absorção. A Tabela 9 abaixo resume as condições dessa substituição potencial.

Tabela 9 – Resumo dos Benefícios pela Substituição dos Chillers Elétricos

	POTENCIAL SHOPPING BRASIL	
	CHILLER ELÉTRICO	CHILLER DE ABSORÇÃO
Capacidade Chiller [TR]	322.729	322.729
Carga Térmica Anual [TRh]	1.048.507.838	1.048.507.838
Demanda Elétrica [MW]	477	111
Consumo Elétrico [MWh/ano]	1.591.299	374.454
Investimento [R\$]		335.638.372
Consumo de GN [m ³ /ano]		272.607.811
Área Bruta Locável-ABL (m ²)	7.452.171	7.452.171

Analisando a Tabela 9 acima, tem-se que o consumo térmico brasileiro para condicionamento de ar em shopping center é da ordem de 322.729 TR, equivalendo a uma potência instalada elétrica de 477 MW.

O consumo elétrico é da ordem de 1.591.299 MWh/ano, considerando a situação de abril/2007 no mercado, conforme dados da ABRASCE da área bruta locável.

Ao se analisar a possibilidade de substituir os equipamentos elétricos por equipamentos a gás natural em shopping center, tem-se a demanda elétrica contratada caindo para 111 MW enquanto o consumo elétrico cai para 374.454 MWh/ano.

O consumo de gás natural nesses equipamentos de ar condicionado está estimado em 272,6 milhões de metros cúbicos por ano, equivalendo a 746.870 m³/dia. Isso tudo com um investimento em equipamento estimado em R\$ 335 milhões.

A conversão para gás natural do ar condicionado em shopping center desloca uma demanda elétrica de 366 MW com um investimento de R\$ 335 MM, sendo esse investimento absorvido pelos proprietários dos empreendimentos com pay back de 47 meses, conforme estudo de caso do item anterior, equivalendo a investimento de R\$ 915/kW.

Essa demanda deslocada tem como consequência a postergação de investimento em uma geração de 366 MW. Se essa potência toda fosse gerada por uma termelétrica a gás natural, teríamos um consumo estimado em 1.600.000 m³/dia segundo SEVA (2002). Chegou-se a esse número fazendo uma proporcionalidade entre o consumo que teria a Usina Termelétrica de Carioba II em Americana de 1.200 MW (5.300.000 m³/dia) com os 366 MW previstos nesse trabalho.

O COP considerado nessa extrapolação foi igual ao encontrado no estudo de caso, que era 2,33 (1,61 kW/TR) pois era um equipamento bastante antigo e, construtivamente, pouco eficiente, que era o chiller com compressor alternativo e condensação a ar. Para a extrapolação, pode-se considerar, também, um equipamento mais eficiente, por exemplo, chiller com compressor parafuso, com

COP por volta de 3,2 (1,35 kW/TR). Nessa condição, tem-se outros resultados, como visto na tabela abaixo:

Tabela 10 – Estudo com COP 3,2

	CHILLER ELÉTRICO COP 3,2	CHILLER DE ABSORÇÃO
Condições	Eletropaulo - A4 Azul	Eletropaulo - A4 Azul
Capacidade Resfriadores de Água Gelada	1460	1460
Carga Térmica Anual (TR-h)	4.743.362	4.743.362
Energia Elétrica		
Demanda Ponta (KW)	1467	456
Demanda F.Ponta (KW)	2159	502
Consumo Anual Ponta (KWh)	758.991	259.907
Consumo Anual F. Ponta (KWh)	5.734.546	1.434.090
Consumo Anual Total (KWh)	6.493.537	1.693.997
Custo Específico de EE (R\$/MWh)	R\$ 359	R\$ 396
Custo Anual EE (R\$)	R\$ 2.331.180	R\$ 670.027
Consumo de Gás Natural (ABS)		
Combustível		GN
Consumo Anual CAG (m3)		1.233.255
Custo Específico (R\$/m3)		R\$ 1,255861
Custo Anual (R\$)		R\$ 1.548.797
Outras Despesas		
Água e Tratamento Químico	R\$ 194.811	R\$ 197.226
Manutenção da CAG	R\$ 268.180	R\$ 100.740
Custo Total Anual	R\$ 2.794.171	R\$ 2.516.790
Economia Anual	REFERÊNCIA	R\$ 277.381

Nessa situação de máquina elétrica mais eficiente, o equipamento por absorção a gás natural continua tendo um custo operacional mais baixo, ou seja, operar com equipamento a gás natural permite uma redução no custo operacional de 9,93%.

Considerando todo o investimento de R\$ 1.518.400 de uma máquina por absorção nova, a TIR desse investimento é de 16,51%, menor do que o considerado no estudo de caso, no entanto, valor ainda viável considerando as taxas de juros atuais no Brasil.

O que vale ressaltar é que a operação de chiller à gás natural é mais barata do que a operação com chiller elétrico. Considerando empreendimentos novos, ou retrofit de empreendimentos existentes, onde o investimento obrigatoriamente será realizado (seja no elétrico ou na absorção), é importante verificar que a opção absorção à gás natural é a mais viável.