UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP-FEA-IEE-IF

MARCELO CESAR PALMIERI

CICLO POR ABSORÇÃO PARA COMPLEMENTAR A
CLIMATIZAÇÃO E O AQUECIMENTO DE ÁGUA NO SETOR
HOTELEIRO

São Paulo

2013

MARCELO CESAR PALMIERI

**CICLO POR ABSORÇÃO PARA COMPLEMENTAR A
CLIMATIZAÇÃO E O AQUECIMENTO DE ÁGUA NO SETOR
HOTELEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia, Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física) para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá

Versão Corrigida

(Versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca Digital de Teses e dissertações da USP)

São Paulo

2013

AUTORIZO 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

Palmieri, Marcelo Cesar,

Ciclo por absorção para complementar a climatização e o aquecimento de água no setor hoteleiro / Marcelo Cesar Palmieri; orientador Murilo Tadeu Werneck Fagá - São Paulo, 2013.
123 f.: il.; 30cm.

Dissertação Mestrado) – Programa de Pós - Graduação em Energia – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Ciclo por absorção
 2. Energia útil em hotéis
 3. Climatização
 4. Aquecimento de água
 5. Eletricidade e GÁS LP
- I. Título

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP – FEA – IEE – IF

MARCELO CESAR PALMIERI

“Ciclo por absorção para complementar a climatização e o aquecimento de água no setor hoteleiro”

Dissertação defendida e aprovada pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá – PPGE/USP
Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Edmilson Moutinho dos Santos – PPGE/USP

Prof. Dr. Antonio Gonçalves de Mello Junior - MACKENZIE

Dedicatória

Aos meus pais, José Palmieri e Leonice Maria Golfieri Palmieri, por terem me ensinado a ter dignidade, perseverança e honestidade sempre com muita fé em minha vida.

A minha esposa, Ione Moimas, pela paciência, amor, colaborando e construindo todo o suporte para sempre me manter firme e perseverante neste trabalho.

A minha filha, Júlia Moimas Palmieri, pela compreensão e entendimento de muitas vezes não participar em conjunto em suas atividades em momentos de sua vida e por todo carinho e alegria demonstrado em todo momento.

Aos amigos que, contribuíram em todo o período de elaboração deste trabalho e também em momentos de motivação.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Murilo Fagá, por incansável incentivo e dedicação a horas de discussão e entendimento dos assuntos abordados.

Ao Prof. Edmilson Moutinho pela oportunidade e incentivo ao trabalho realizado e também pelas discussões de temas pertinentes ao desenvolver deste trabalho.

Aos amigos que fiz durante o curso, que são, sem dúvidas, o que de mais importante recebi no mestrado.

Aos colegas, professores e funcionários do IEE, pela convivência e pela ajuda oferecida no entendimento dos temas e conceitos desenvolvidos neste trabalho.

RESUMO

PALMIERI, Marcelo Cesar. **Ciclo por absorção para complementar a climatização e o aquecimento de água no setor hoteleiro**, 2013. 120 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

No panorama energético brasileiro, a geração de água quente e fria, pelos métodos convencionais, utilizando energia elétrica, implica em mais um fator de sobrecarga no sistema de geração, transporte e distribuição, potencializando os conhecidos “picos de energia”, onde o sistema de geração de energia elétrica de nosso país tem que estar dimensionado por apenas seis horas por dia e que para continuar garantindo esta energia exige pesados investimentos públicos, com grandes impactos.

A energia elétrica é uma forma de energia de alta qualidade, devendo assim ser destinada a aplicações nobres, onde não é possível substituí-la.

Maior importância tem sido dada ao estudo dos sistemas de refrigeração por absorção, devido às peculiaridades desses sistemas em relação aos ciclos por compressão e também pelo aproveitamento dos rejeitos térmicos.

O objetivo desta pesquisa é contribuir para a redução do consumo de energia elétrica no setor comercial, mais especificadamente em hotelaria, situação esta que encontramos no consumo simultâneo de fonte de calor quente e fria.

No entanto como fonte de energia alternativa a energia elétrica busca-se o gás LP, devido a sua capilaridade de distribuição de grande acesso aos empreendimentos em qualquer local do país e alto poder calorífico.

O sistema de ar condicionado a gás LP é uma opção para sistemas de climatização.

Proporciona uma significativa redução de consumo de energia quando se busca um equilíbrio nas demandas de fonte quente e fria.

ABSTRACT

PALMIERI, Marcelo Cesar. Absorption cycle to complement the air conditioning and heating water in hotel sector, 2013. 120 f.

Thesis (Master of Science) - Graduate Program in Energy, University of São Paulo, São Paulo, 2013.

The Brazilian energy landscape, the generation of hot and cold water, by conventional methods, using electricity, implies an additional overhead factor in system generation, transmission and distribution, leveraging the familiar "power surges", where the system electric power generation in our country have to be sized for only six hours a day and to continue ensuring that energy demands heavy public investment, with major impacts.

Electricity is a form of high quality power and should therefore be applicable for nobles, where you cannot replace it.

Greater importance has been given to the study of the absorption refrigeration systems, due to the peculiarities of these systems in relation to the cycles of compression and also the utilization of waste heat.

The objective of this research is to contribute to reducing electricity consumption in the commercial sector, more specifically in hotels, we found this situation in simultaneous consumption of heat source hot and cold.

However as an alternative energy source to power up the search LPG, due to its capillary distribution of large enterprises access to anywhere in the country and high calorific value.

The air conditioning system LPG is an option for air conditioning systems. Provides a significant reduction of energy consumption when it seeks to balance the demands of hot and cold source.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões da produção Mundial de gás LP.....	24
Figura 2 – Trade de gás LP mundial 2009.....	26
Figura 3 – Produção e consumo Mundial de gás LP.....	27
Figura 4 – Demanda de gás LP na América Latina.....	28
Figura 5 – Evolução da participação do gás LP na Matriz Energética brasileira.....	29
Figura 6 – Produção e consumo de gás LP no Brasil.....	31
Figura 7 – Vendas de gás LP por ano no Brasil.....	32
Figura 8 – Preço de realização e Spot do gás LP (US\$/ BARRIL) e inflação % entre 1973 e 1987.....	35
Figura 9 – Oferta contratada – Energia nova e energia de reserva contratadas.....	43
Figura 10 – Evolução dos aumentos dos valores de energia elétrica.....	44
Figura 11 – Curva de carga diária de hotel em Minas Gerais.....	45
Figura 12 – Consumidores e suas modalidades tarifárias.....	47
Figura 13 – Opções Tarifárias Possíveis.....	47
Figura 14 – Distribuição do consumo por uso final – Setor Comercial.....	50
Figura 15 – Porcentagem da posse média de ar condicionado no setor comercial no Brasil (por região).....	51
Figura 16 – Evolução Taxa de ocupação.....	53
Figura 17 – Demanda de Energia Elétrica nos Hotéis.....	54
Figura 18– Comparação entre sistemas refrigeração.....	62
Figura 19 – Modelo Unidade de Absorção.....	64
Figura 20 - Modelo do equipamento e indicação dos fluxos.....	64
Figura 21 – Combinação de ciclo de potência e refrigeração.....	66

Figura 22 - Modelo do equipamento Robur.....	70
Figura 23 – Estado físico do fluido refrigerante.....	71
Figura 24 – Ciclo teórico de refrigeração por compressão.....	74
Figura 25 – Diferença entre ciclo real e teórico.....	75
Figura 26 - Caracterização dos tipos de aquecedores a gás.....	78
Figura 27 - Classificação de sistemas de aquecimento.....	78
Figura 28 - Esquema de funcionamento de aquecedores a gás.....	81
Figura 29 – Aquecedor de acumulação em uma unidade habitacional.....	84
Figura 30 – Sistema central a gás coletivo.....	85
Figura 31 – Esquema chuveiro elétrico.....	86
Figura 32 – Esquema aquecedor de acumulação elétrico.....	88
Figura 33 – Perdas na geração termelétrica até o uso final.....	89
Figura 34 – Perdas no processo de aplicação do gás LP no uso final.....	89
Figura 35 – Configuração do Sistema Convencional - SC.....	91
Figura 36 – Configuração do Sistema Proposto -SP.....	94
Figura 37 – Configuração do Sistema Retrofit – CR.....	96
Figura 38 – Preço da energia elétrica fixo e gás LP variavel.....	100
Figura 39 – Preço da energia elétrica variavel e gás LP fixo.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ranking da matriz energética brasileira.....	29
Tabela 2 – Preço de geração de energia elétrica por fonte (R\$/MWh).....	40
Tabela 3 – Projeções da demanda total de energia elétrica e do PIB.....	41
Tabela 4 – Projeções de consumo total de eletricidade por classe (mil GWh).....	41
Tabela 5 – Estatística do Consumo de Energia Elétrica (GWh) 2011.....	49
Tabela 6 – Tipo e quantidade de instalações hoteleiras.....	52
Tabela 7 – Pares de Refrigerante – Absorvente.....	67
Tabela 8 – Diferenças entre os sistemas de absorção.....	68
Tabela 9 – Características – Sistema Robur.....	69
Tabela 10 – Característica técnica do circuito – Robur.....	70
Tabela 11 – Simulação para escolha melhor configuração proposta.....	92
Tabela 12 – Análise da configuração proposta por fonte.....	93
Tabela 13 – Análise da melhor configuração proposta.....	93
Tabela 14 – Cálculo do investimento da configuração convencional.....	97
Tabela 15 – Cálculo do investimento da configuração proposta.....	97
Tabela 16 – Cálculo do consumo de energia	98
Tabela 17 – Análise do consumo de energia.....	98
Tabela 18 – Cálculo do gasto com energia.....	99
Tabela 19 – Análise do gasto com energia.....	99
Tabela 20 – Cálculo do consumo e gasto total com energia.....	99
Tabela 21 – Análise do consumo e gasto total com energia.....	100
Tabela 22 – Cálculo do gasto com energia variando o preço do gás LP.....	101
Tabela 23 – Cálculo do gasto com energia variando o preço da energia elétrica....	102
Tabela 24 – Valores das configurações	103

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABIH – Associação Brasileira da Indústria Hoteleira

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

ASRE – American Society of Refrigeration

BEN – Balanço de Energia Nacional

BHG – Brazil Hospitality Group

CEMIG – Companhia de Energética de Minas Gerais

CFURH – Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos

CFC – Clorofluorcarbono

CIDE – Contribuição de Intervenção de Domínio Público

CO² – Gás Carbônico

CONPET – Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural

COP – Coefficient Of Performance

E.E. – Energia Elétrica

EMBRATUR – Empresa Brasileira de Turismo

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

E.U.A – Estados Unidos da América

FGV – Faculdade Getúlio Vargas

GEE – Gases de Efeito Estufa

Gás LP – Gás Liquefeito de Petróleo

GPL - Gás Liquefeito de Petróleo

GN – Gás Natural

GNV – Gás Natural Veicular

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

IPVL – Valor Integrado de Carga Parcial (sigla do inglês)

IUCL – Imposto Único sobre Combustíveis e Lubrificantes

LPG – Liquefied petroleum gas

MF – Ministério da Fazenda

MME – Ministério de Minas e Energia

Mtur – Ministério do Turismo

NBR – Norma Brasileira aprovada pela ABNT

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PIB – Produto Interno Bruto

PNE – Plano Nacional de Energia

PPE – Parcel de Preço Específico

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

QAV – Querosene de Aviação

SAC – Sistema de Ar Condicionado

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SIN – Sistema Interligado Nacional

SINDIGAS – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás

UH – Unidade Habitacional

UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural

USP – Universidade de São Paulo

WLPGA – World Liquefied Petroleum Gás Association

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

BTU – British Thermal Unit

° C - Graus Celsius

GWh – Giga Watt-hora

h - horas

Kcal – Quilocaloria

kg - quilograma

kW - quilowatt

m - metros

m² - metros quadrados

m³ - metros cúbicos

min. - minutos

Mca – metro de coluna de água

MM – milhões

MWh – Mega Watt-hora

R\$ - Reais

s - segundos

tep - Tonelada equivalente de petróleo

Ton. – tonelada

TR – Tonelada de Refrigeração

W - Watt

% - Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Objetivos.....	20
1.1.1 Objetivo Geral.....	20
1.1.2 Objetivo Específico.....	21
1.1.3 Relevância e Motivação.....	21
2. GÁS LP.....	23
2.1 Origem do uso do gás LP no mundo.....	23
2.2 Mercado Mundial de gás LP.....	25
2.3 Mercado Nacional de gás LP.....	28
2.4 Histórico de preços no Brasil	34
2.4.1 Análise histórica resumida de preço.....	34
2.4.2 Sistema de preço atual – 2005 até hoje.....	37
3 ENERGIA ELÉTRICA.....	38
3.1 Fontes geradoras de energia.....	38
3.2 Preço da geração de energia.....	39
3.3 Consumo de energia elétrica no Brasil.....	41
3.4 Demanda de ponta.....	45
3.5 Modalidades Tarifárias.....	46
3.6 Tarifas do Grupo A.....	47
4 CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR COMERCIAL	50
4.1 Distribuição dos equipamentos de ar condicionado no setor comercial.....	51
4.2 Segmento Hotelaria no Brasil.....	52
4.3 Evolução da taxa de ocupação por regiões.....	54
5 OS SISTEMAS DE AR CONDICIONADO (SAC)	56
5.1 Evolução Histórica.....	56
5.2 Conforto Térmico.....	57
5.3 Critérios para a escolha do SAC.....	58
5.3.1. O controle da qualidade do ar interno.....	58
5.3.2. Os custos iniciais de implantação	59
5.3.3. O desempenho do sistema.....	59
5.3.4. O desempenho acústico.....	60
5.3.5. O posicionamento dos equipamentos na parte interna e, ou externa.....	61

5.3.6. A interferência estética na fachada do edifício.....	61
5.4 Tecnologia de equipamento de refrigeração.....	62
5.5 Refrigeração por Absorção.....	62
5.5.1 A Unidade por Absorção Básica.....	64
5.5.2 Princípio de Operação.....	64
5.5.3 Definição de Eficácia de um Ciclo por Absorção.....	66
5.5.4 Refrigerante e absorvente.....	67
5.6 Sistema de absorção de pequeno porte.....	70
5.6.1 Principais aplicações.....	72
5.7 Sistema de refrigeração por ciclo de compressão	73
5.7.1 Ciclo teórico de refrigeração por compressão.....	74
5.7.2 Ciclo real de compressão.....	76
6 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA.....	78
6.1 Sistema Individual.....	80
6.2 Sistema central privado.....	80
6.3 Sistema Central Coletivo.....	81
6.4 Tipos de aquecimento de água.....	81
6.4.1 Aquecedores a gás.....	81
6.4.1.1 Aquecedores a gás instantâneo ou de passagem.....	81
6.4.1.2 Aquecedores a gás por acumulação.....	84
6.4.2 Aquecedores elétricos.....	86
6.4.2.1 Aquecedores elétricos de passagem ou aquecedores instantâneos.....	87
6.4.2.2 Aquecedores elétricos de acumulação.....	88
6.5 Análise da eficiência na transformação de energia primária em útil com o foco em aquecimento de água.....	89
7 SISTEMAS EM ESTUDO.....	91
7.1 Metodologia.....	91
7.2 Premissas do estudo.....	91
7.3. Configuração dos sistemas.....	91
7.3.1 Configuração do sistema convencional - SC.....	91
7.3.2 Configuração do sistema proposto - SP.....	92
7.3.3 Configuração do sistema retrofit – CR.....	96

8 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	97
8.1 Investimento.....	97
8.2 Consumo de energia.....	98
8.3 Gasto de energia.....	99
8.4 Consumo e gasto total de energia.....	100
8.5 Impacto do gasto dos energéticos em diferentes cenários de preço com energia	100
8.5.1 Análise do gasto com energia para o preço do gás LP variável.....	100
8.5.2 Análise do gasto com energia para o preço da energia elétrica variável.....	102
8.6 Comparativo da configuração Retrofit	103
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	104
10 REFERÊNCIAS.....	106
11 ANEXOS.....	110

1 Introdução

No panorama energético brasileiro, a geração de água quente e fria, pelos métodos convencionais, utilizando energia elétrica, implica em mais um fator de sobrecarga no sistema de geração, transporte e distribuição, potencializando os conhecidos “picos de energia”, onde o sistema de geração de energia elétrica de nosso país tem que estar dimensionado por apenas seis horas por dia e que para continuar garantindo esta energia exige pesados investimentos governamentais.

O consumo das famílias, as oportunidades ligadas aos setores de infraestrutura (em especial o de exploração e produção de petróleo) e a injeção de recursos envolvendo a realização de eventos mundiais no país ainda neste quinquênio (como a Copa do Mundo e Jogos Olímpicos) explicam, em boa medida, a expectativa favorável quanto a um cenário positivo de crescimento da economia brasileira, resultando em um alto investimento no setor de geração de energia elétrica.

A energia elétrica é uma forma de energia de alta qualidade, devendo assim ser destinada a aplicações nobres, ou seja, onde não podemos substituir por outra fonte de energia, como por exemplo, o funcionamento de eletroeletrônicos.

Recentemente maior importância tem sido dada ao estudo dos sistemas de refrigeração por absorção, devido às peculiaridades desses sistemas em relação aos ciclos por compressão e também pela possibilidade do aproveitamento de seus rejeitos térmicos.

Em contrapartida os equipamentos de absorção ainda representam um investimento inicial muito superior aos de refrigeração por compressão, quando comparado em sua total substituição de tecnologia, mas com vantagens operacionais.

No entanto como fonte de energia alternativa a energia elétrica busca-se o gás LP, devido a sua capilaridade de distribuição de grande acesso aos empreendimentos em qualquer ponto de nosso país e alto poder calorífico.

O equipamento em estudo de ar condicionado a gás LP é uma opção para sistema de climatização. Proporciona uma significativa redução de energia quando se busca um equilíbrio nas demandas de fonte quente e fria.

Algumas vantagens do sistema:

- Maior flexibilidade operacional;
- Operação simultânea de produção de água gelada e água quente, garantindo assim a manutenção da temperatura;

- Redução de até 99% de energia elétrica pelo equipamento possibilitando a utilização de menor subestação de energia elétrica, infraestrutura e geradores de emergência de menor capacidade;
- Manutenção simples e menor custo em função da quantidade de equipamentos necessários e ausência de peças móveis (exceto um pequeno motor elétrico para acionar a bomba de fluxo do sistema).
- Operação simples que permite ser realizada remotamente, silenciosa e isenta de vibração.
- Oferece alto desempenho mesmo em cargas parciais.
- Ambientalmente correto, pois não utiliza o CFC, um dos gases mais danosos ao meio ambiente.
- Prática implementação logística, devido ao seu tamanho e peso reduzido.

1.1 Objetivos

O objetivo geral e o objetivo específico dessa dissertação são apresentados nos itens 1.1.1 e 1.1.2.

1.1.1 Objetivo geral

Apresenta a busca da eficiência energética no segmento hoteleiro instalado em nosso país, voltado para as utilidades de climatização e aquecimento de água.

Este trabalho também contempla o entendimento da participação do setor hoteleiro na matriz energética nacional com o objetivo de realizar estimativas de economia de energia elétrica proporcionado pelo sistema complementar a gás LP.

Concluir a melhor combinação entre sistemas de geração de água quente e fria, devido à utilização das cargas térmicas, com o melhor aproveitamento energético.

Realiza um breve entendimento do setor do gás LP e energia elétrica descrevendo um histórico e previsão futura de demanda, apontando detalhes do panorama nacional e internacional.

Mapear os sistemas de refrigeração com foco em climatização e os sistemas de aquecimento de água voltado para consumo em hotéis.

Entender a matriz energética dentro do segmento hoteleiro e buscar a devida participação do sistema de geração de fonte quente e fria.

Mapear o crescimento do setor hoteleiro e sua influência como consumidor de energia.

1.1.2 Objetivo específico

Analisa a configuração modular complementar para geração de fonte quente e fria para diversas demandas, comparando seus respectivos consumos de energia com a configuração convencional.

Avalia a redução do consumo dos energéticos, energia elétrica e gás LP, no processo de obtenção de fonte quente e fria para consumo nos hotéis.

O trabalho apresenta também uma análise comparativa entre propostas de sistema de retrofit, sobre o ponto de economia de energia.

1.1.3 Relevância e motivação

Com o crescimento da taxa de ocupação do segmento hoteleiro e o consumo de energia elétrica em nosso país, realiza-se o estudo voltado para convergência da redução do consumo de energia, impacto no horário de pico e a busca da eficiência energética.

A opção do uso do gás LP justifica-se pela sua presença na totalidade dos municípios brasileiros e essa impressionante abrangência foi alcançada em menos de 70 anos desde a chegada deste gás no Brasil.

O gás LP, combustível em análise, possui uma capilaridade muito ampla e atende baixos consumos, como este em estudo, constitui um energético para aplicação em todos os setores seja residencial, comercial e industrial.

A perspectiva é que dentre dois anos o país terá a oferta superior à demanda, necessitando assim de ampliação de seu uso de consumo para sua aplicação, pelo principal motivo da produção do pré-sal e das unidades processadoras de gás natural (UPGN).

Em se tratando de climatização, a máquina de refrigeração por absorção é um sistema termoquímico, por isso não possui componentes móveis (com exceção da bomba) o que a torna desprezível a manutenção e de longa vida útil.

Outra vantagem relacionada aos sistemas por absorção está ligada à conservação do meio ambiente já que estas máquinas não empregam os CFC's ou outros fluidos refrigerantes sintéticos, que contribuem para a depleção da camada de ozônio e para o aquecimento global.

Avaliações econômicas e ambientais trouxeram um novo interesse nos refrigeradores alimentados por uma fonte de calor. Um esforço considerável de pesquisa tem sido investido no estudo de sistemas de refrigeração desse tipo nos últimos anos.

Em São Paulo já se verifica novas instalações utilizando esta tecnologia, como por exemplo, hotel, academia de ginástica, indústria automotiva e farmacêutica.

O conceito de Etiquetagem de Edificações Eficientes do PROCEL considera o uso dos gases combustíveis em suas aplicações, melhorando a classificação para os empreendimentos.

Ao analisar os diversos consumos existente no segmento de edificações, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia mundial, 16 % da água potável e 25 % da madeira das florestas. (Lamberts, 2010)

2. Gás LP

Este capítulo apresenta uma breve pesquisa sobre a origem, histórico, demanda e oferta internacional e nacional.

O Gás LP é um dos subprodutos resultante do refino do petróleo, sendo predominantemente composto da mistura de dois hidrocarbonetos, Propano (C_3H_8) e Butano (C_4H_{10}). Quando mantido sob pressão, encontra-se no estado líquido, e é relativamente estável. Isso facilita sua armazenagem e utilização em diferentes setores e usos finais.

Algumas características importantes são ressaltadas, como seu alto poder energético, pode colocar em funcionamento desde o menor aparelho doméstico até grandes instalações industriais e também por ser um combustível mais limpo que outros derivados de petróleo, ele pode ser usado em contato direto com alimentos e artigos tais como cerâmica fina, sem nenhum prejuízo à pureza e à qualidade desses produtos.

2.1 Origem do uso do gás LP no mundo

O uso do gás LP tem seu início histórico no mundo em 1910, nos EUA, quando Andrew Kerr começou a coletar os gases que eram descartados na obtenção da gasolina, comprimindo-os e armazenando em pequenos tanques. Dois anos mais tarde, outro pioneiro da indústria, Walter Snelling, desenvolveu um sistema pressurizado, transformando o gás em líquidos e fez a primeira instalação doméstica em Waterford, na Pensilvânia. Este gás LP foi usado para cocção e iluminação. (POTEN, 2004)

A comercialização deste novo produto foi lenta, em parte por uma briga judicial sobre a patente da tecnologia do gás LP, durante a década de 1920, por duas empresas americanas: The Carbide Company e Phillips Petroleum (POTEN, 2004).

O início do uso do gás LP internacionalmente, porém, ocorreu no final dos anos 20, com sua utilização nos dirigíveis que faziam serviços regulares de voos entre países a longas distâncias. Com os serviços regulares dos dirigíveis, os diversos países que faziam parte desta rota internacional armazenavam o gás em cilindros para abastecer as aeronaves. Entretanto, um acidente com o dirigível Hindenburg nos EUA precipitou a suspensão das viagens dos dirigíveis no mundo.

Os estoques do gás, após o fim destas viagens foram descartados nos países, exceto no Brasil.

No Brasil, a utilização como combustível está ligada à história do dirigível alemão Graff Zeppelin, que transportava passageiros entre a Europa e a América do Sul, durante alguns anos no início do século XX. Por sua alta octanagem, o gás LP era usado como combustível do motor desses dirigíveis.

Na década de 1930, quando essas viagens foram suspensas, um grande estoque de combustível do Zeppelin, totalizando seis mil cilindros de gás propano, estava armazenado no Rio de Janeiro e em Recife.

Foi então que Ernesto Igel, um austríaco naturalizado brasileiro, comprou todos os cilindros e começou a comercializá-los como gás para cozinha, através da Empresa Brasileira de Gás a Domicílio, fundada por ele.

Naquele tempo, a maior parte da população utilizava fogões à lenha. Em menor escala, havia fogões a álcool e a querosene.

O gás LP começou a ser importado dos Estados Unidos, mas o número de consumidores do produto ainda era insignificante.

Alguns anos depois, durante a Segunda Guerra Mundial, as importações foram suspensas. Terminado o conflito, surgiu uma segunda distribuidora de gás LP no país e o consumo se expandiu. Botijões começaram a ser fabricados no Brasil e a importação a granel tornou-se possível com investimentos em navios-tanque e em terminais de armazenagem e engarrafamento.

O consumo doméstico do cresceu bastante ao longo da década de 1950, propiciando o surgimento de outras distribuidoras e fabricantes de botijões, para atender a demanda. Um desses fabricantes, a Mangels, desenvolveu o projeto do botijão de 13 kg, que acabaria se tornando o padrão brasileiro.

Em 1955, dois anos depois de sua fundação, a Petrobras havia começado a produzir gás liquefeito de petróleo. Cinco décadas depois, o Brasil está atingindo a autossuficiência na produção, que assim passa a ser um produto 100% nacional.

A ANP classifica o gás LP como o conjunto de hidrocarbonetos com três ou quatro átomos de carbono (propano, propeno, butano e buteno), podendo apresentar-se isoladamente ou em mistura entre si e com pequenas frações de outros hidrocarbonetos.

A densidade média do é de 522 kg/ m³, seu poder calorífico é de 11.100 kcal/kg e ao se comparar ao petróleo tem-se 4,487 barris equivalentes por m³ (ANP, 2011).

2.2 Mercado mundial de gás LP

A produção de gás LP mundial tem apresentado um crescimento anual médio de 3,1% nos últimos 13 anos, onde 60% foram provenientes do processamento de gás natural e o resto obtido através de refino de petróleo. (POTEN, 2004)

Como a maior parte do gás LP é proveniente do gás natural, e estes combustíveis são substitutos e complementares, há uma tendência de o gás natural se desenvolver para os centros de consumo, e principalmente, grandes consumidores industriais, atendendo também aos pequenos consumidores que estão no “caminho” dos seus gasodutos.

Com isso o nicho do gás LP será de fato os consumidores mais distantes dos grandes centros. A questão continua sendo a distribuição do gás LP em localidades onde não há uma infraestrutura estabelecida, pois a escala é fundamental para diminuir os custos de distribuição do gás LP. Sem um custo menor, os consumidores não poderão pagar pelo consumo deste energético, e geralmente os mais pobres estão mais distantes dos centros de consumo.

Na figura 1 apresentamos as regiões de produção mundial.

Figura 1 – Regiões de Produção Mundial de GÁS LP

Fonte: Datamonitor 2010

Existe um mercado mundial de gás LP bem desenvolvido, e isto é fundamental para os países importadores do produto, pois reduzem os riscos de falta de oferta futura, no entanto a questão do Oriente Médio ser o principal exportador, precisa ser sempre ressaltada.

O Oriente Médio se destaca pela produção, sendo 84% proveniente de UPGN's e o restante produzido a partir de refinarias. A Arábia Saudita e o Kuwait têm mais de 90% do gás LP produzido proveniente das UPGN's. A maior parte desta produção é direcionada para a exportação.

No Japão e Coreia, praticamente todo o gás LP produzido é proveniente de refinarias, com uma pequena parte sendo produzida por petroquímicas e pelo processamento de gás natural em Taiwan.

Na China este crescimento de produção não acompanhou o crescimento do consumo (aumento de 17% anuais) tornando a China um dos principais países importadores de gás LP.

A África dobrou a produção nos últimos 13 anos, com a tendência de aumentar ainda mais devido o aumento de produção de gás natural nos países africanos, principalmente vinculados à expectativa de descobertas de novos campos de gás natural.

A região que mais exporta gás LP no mundo é o Oriente Médio, que correspondem a mais da metade das transações internacionais do produto. Arábia Saudita, Emirados Árabes e Kuwait foram responsáveis pela maior parte deste volume exportando. (SENER, 2004).

O fato de o Oriente Médio ser o principal exportador de gás LP torna o produto extremamente sensível às condições políticas historicamente observadas na região como guerras, embargos, restrições de produção, entre outros. Uma grave crise nesta região faria os preços internacionais atingir níveis altos pela concentração.

Outro ponto a ser considerado é a participação do continente africano neste comércio internacional. A África é o continente de menor consumo de gás LP no mundo e um aumento no consumo nesta região pode ter forte impacto na disponibilidade deste produto, aumentando a participação relativa do Oriente Médio.

Na figura 2 identificamos as rotas dos países exportadores e importadores do gás LP, com sua concentração em volume.

Figura 3 – Produção e Consumo Mundial de gás LP

Fonte: Datamonitor 2010

2.3 Mercado nacional de gás LP

Os usos industriais incluem: funcionamento de empilhadeiras industriais, fornos para tratamentos térmicos, combustão direta de fornos para cerâmica, indústria de vidro, processos têxteis e de papel, secagem de pinturas e gaseificação de algodão.

Em residências ou recintos comerciais, é geralmente usado para calefação de ambientes e aquecimento de água, além do uso mais conhecido, que é a cocção de alimentos.

No mercado agrícola, é usado para a produção vegetal como no caso de estufas de planta e desinfecções, no animal em incubadoras de granjas e em outros diversos usos.

Em alguns países é utilizado também como combustível automotivo, em veículos de transporte coletivo, táxis e automóveis particulares, mas no Brasil este uso é proibido, exceto para empilhadeiras.

O Brasil é o quinto maior mercado consumidor de gás LP do mundo, atrás somente de EUA, Japão, China e México, com um consumo anual em 2010 de 7 milhões de toneladas, de acordo com dados do MME – Ministério das Minas e Energia. Na América Latina, o Brasil se destaca como o segundo maior consumidor, tendo apenas o México com um consumo superior, que ficou em 9 milhões de toneladas, segundo WLPGA, conforme demonstrado na figura 4.

Figura 4 – Demanda de gás LP em milhões de toneladas – América Latina

Fonte: Statistical Review of Global LP Gas, 2011 WLPGA

Nos últimos anos, houve um incentivo muito grande por parte do Governo ao crescimento do gás natural na matriz energética brasileira, tanto no segmento industrial como residencial, além do GNV, que teve um crescimento expressivo.

Na tabela abaixo temos a mesma informação, entretanto, em forma de ranking de consumo e participação na Matriz Energética Brasileira de 2011.

Tabela 1 – Ranking da Matriz Energética Brasileira - 2011

Fonte	Consumo (10 ³ tep)	%
Óleo Diesel	41.134	17,1%
Eletricidade	39.187	16,3%
Bagaço de Cana	30.991	12,9%
Gasolina	17.578	7,3%
Gás Natural	17.268	7,2%
Lenha	17.052	7,1%
Álcool Etílico	13.311	5,5%
Outras Secundárias do Petróleo	11.908	4,9%
GLP	7.701	3,2%
Nafta	7.331	3,0%
Produtos Não Energéticos do Petróleo	7.105	2,9%
Coque de Carvão Mineral	6.261	2,6%
Outras Fontes Primárias Renováveis	6.043	2,5%
Óleo Combustível	4.939	2,0%
Carvão Vegetal	4.648	1,9%
Carvão Mineral	3.639	1,5%
Querosene	3.200	1,3%
Gás de Coqueria	1.415	0,6%
Alcatrão	238	0,1%
Total Geral	240.949	100%

Fonte: EPE - BEN – 2011

Com base nas mesmas informações disponibilizadas no EPE-BEN 2011, pode-se verificar que ao longo do período de 2001 a 2010 houve uma regressão na participação de mercado do gás LP dentro da Matriz Energética Brasileira, com uma redução de 4,5% em 2001 para 3,2% em 2010, que em parte pode explicada pela falta de incentivo ao uso e pelas importações realizadas no energético, conforme figura 5.

Figura 5 – Evolução da participação do gás LP na Matriz Energética Brasileira

Fonte: EPE – BEN 2011

O gás LP tem um papel importante a desempenhar na matriz energética brasileira e na economia do país. Mas ao longo do tempo, por razões inúmeras, tornou-se conhecido apenas como “Gás de cozinha” e, assim, por vezes é subestimado em sua capacidade de participar da matriz energética com usos mais nobres. É visto por muitos, equivocadamente, como se fosse uma energia “antiga”.

Em suma, aquele que sempre foi considerado um combustível que onerava as contas externas do país, não só passará a atender totalmente ao consumo local, como poderá ser utilizado em novas aplicações. Ou será exportado, caso não sejam envidados esforços em favor da mudança de percepção da sociedade com relação ao energético, passo fundamental para incentivar o mercado interno nas suas diversas formas de uso.

Apesar de refletir mudanças de hábito de consumo e uma intensificação do uso do gás natural no mercado, a queda da participação do gás LP na matriz energética brasileira se deve principalmente ao aumento do consumo de lenha. Entre os anos de 2000 e 2005, o consumo de lenha nas residências para a preparação de alimentos aumentou 25%, enquanto que o consumo domiciliar teve uma queda de 10%. (EPE - BEN 2006)

Independentemente da metodologia para cálculo das projeções futuras de oferta e demanda de gás LP, o fato é que, em decorrência do aumento da capacidade de refino de petróleo e das providências tomadas pelo governo para diminuir a dependência externa de gás natural, aumentando a produção nacional desse energético, o país, além de atingir a autossuficiência, poderá até se tornar superavitário no curto prazo.

Essa situação colocará o Brasil diante de algo inusitado, que é o fim da dependência externa do gás LP, obrigando o setor e o próprio governo a alocarem esforços na busca de oportunidades de novos negócios. Neste cenário, o mercado interno será ampliado, gerando emprego e renda e resultando no bem-estar da população.

O Brasil deverá continuar importando gás LP até 2014. Com a entrada em operação do primeiro módulo do COMPERJ previsto para ocorrer em 2014, o déficit nacional será praticamente zerado, considerando que o consumo do produto deverá ser na faixa de 2,33% ao ano, sem novos consumos e mantendo-se as barreiras legais atuais. Com o início da operação da Refinaria Premium I – Bacabeira - MA (2015 e 2017) e da Refinaria Premium II – Pecém – CE (2017), o Brasil passa a ser exportador e vários outros derivados, mantendo-se nessa condição até o final do período analisado (2020), conforme PDE 2020 da EPE.

Com base no PDE 2020, estima-se que o Brasil terá um excedente de 3.265 m³ por dia, o que equivale a 1.191.725 m³ no ano, ou 655.449 toneladas de gás LP, utilizando-se uma densidade média do produto de 0,550 g/m³.

Analisando outro documento também emitido pela EPE, o PEN 2030 – Plano Nacional de Energia 2030, cujo horizonte de estudo é de mais longo prazo, o Brasil terá uma produção interna de 30,324 bilhões de litros de gás LP em 2030, contra um consumo de 24,888 bilhões de litros, o que dará um excedente de produção de 6,338 bilhões de litros e se convertido para quilograma, que é a unidade de medida adotada para o produto no mercado, infere que teremos uma produção excedente de 3,485 milhões de toneladas em 2030.

Figura 6 – Produção e consumo de gás LP em bilhões de litros

Fonte: EPE – PEN 2030

Conforme demonstrado pelo SINDIGÁS (2011), o mercado brasileiro de gás LP cresceu 21% entre 1995 e 2010, o que significa um aumento pouco representativo do consumo do energético, se comparado a outras fontes. O consumo brasileiro saiu da ordem de 5,7 milhões de toneladas por ano em 1995, para 6,9 milhões de toneladas em 2010. Ao mesmo tempo, em 1995 a participação do mercado granel era de apenas 15,7% do total geral consumido, ao passo que 2010 essa participação cresceu para 27,5%, ver figura 7.

Figura 7 – Vendas de gás LP por ano em milhões de toneladas

Fonte: Sindigas 2011

Como se pode verificar no gráfico das vendas no período de 1995 a 2010, o consumo do mercado envasado ficou flutuando na faixa de 5 milhões de toneladas / ano. A predominância do consumo do gás LP através de recipientes transportáveis, os chamados “botijões”, é para cocção de alimentos. É chamado de Mercado Envasado e basicamente a comercialização e atendimento do segmento residencial, cujas vendas são através dos botijões cujos recipientes podem ter 2 kg, 5 kg, 8 kg, 13 kg, 16 kg, 20 kg, 45 kg ou 90 kg do produto. O consumidor final na aquisição tem que dispor de um botijão vazio, para destrocar pelo botijão cheio, que é reutilizável (Ultragaz, 2011).

No Mercado Granel, a venda saiu de 0,9 milhões de toneladas em 1995 para 1,9 milhões de toneladas em 2010, o que representa mais de 100% de crescimento de sua utilização. Esse segmento do mercado atende basicamente os setores comercial e industrial, cujas vendas se dão na forma líquida – a granel, que é transportado ao cliente através de caminhões equipados com tanques denominados vaso de pressão, abastecendo seus reservatórios estacionários, que podem armazenar em quantidades de 190 kg, 500 kg, 1.000 kg, 2.000 kg, 4.000 kg, 20.000 kg, 60.000 kg.

É através desse segmento e mercado que as distribuidoras atendem o mercado de condomínios residenciais, onde a utilização é para cocção de alimentos e aquecimento de água.

2.4 Histórico de preços no Brasil

Este capítulo pretende analisar os determinantes de crescimento do consumo do gás LP, a eficiência das políticas de incentivo ao seu uso e suas deficiências, a origem dos recursos destinados ao subsídio e o custo para a sociedade.

Para tanto, apresentará o histórico de preços e consumo no Brasil, passando por estratégias de comercialização do produto, incentivo a seu uso e políticas governamentais associadas.

O gás LP está presente na quase totalidade dos municípios brasileiros e essa impressionante abrangência foi alcançada em menos de 70 anos desde a chegada no Brasil, introduzido pelo fundador da Ultragaz, Sr. Ernesto Igel.

2.4.1 – Análise histórica resumida de preço

A análise das fases dos preços dos derivados de petróleo no Brasil mostra uma forte interdependência (principalmente a partir da década de 70) do movimento destes preços e os problemas de natureza macroeconômica enfrentados pelo país ao longo do mesmo período.

Administrados pelo governo foram frequentemente utilizados como instrumento de política econômica e energética (de curtos e longos prazos), com o objetivo principal de diminuir os efeitos negativos potenciais dos dois choques de preços do petróleo no mercado internacional sobre o Balanço de Pagamentos e o nível de preços internos.

De modo simplificado, podem-se identificar períodos distintos na política macroeconômica, que influenciaram a política de preços dos derivados:

- Até 1955: Apesar de as primeiras leis (1938) já preverem a intervenção do Estado no preço dos derivados, ao custo de importação do gás LP¹, incluíam-se apenas taxas portuárias², IUCL³ e despesas de distribuição e revenda.

1 A produção nacional de GÁS LP só teve início em 1955, portanto o consumo de GÁS LP era todo importado.

2 A partir de 1940, pois, antes de 1940, impostos municipais, estaduais e federais se acumulavam sem nenhum critério.

3IUCL - Imposto Único sobre Combustíveis e Lubrificantes

- 1955/73: Com o início da produção do gás LP pela Petrobrás, os tributos que incidiam sobre o derivado nacional eram menores que os do similar importado, para suprir a incapacidade do parque de refino nacional em competir com o importado. Nesta fase também fica evidente a política do governo de incentivar o uso dos derivados em regiões mais distantes com a uniformização dos preços. A alteração na incidência dos tributos também foi outro destaque.
- 1974/78: A política de preços tinha consonância com o objetivo central da política econômica que era a manutenção da taxa de crescimento do PIB (prevista em 7% a.a.), mas com uma taxa de inflação razoavelmente controlada.
Isto explica em parte como o primeiro choque do petróleo foi absorvido, internamente, mediante aumentos seletivos dos preços dos derivados, fortemente concentrados na gasolina e atenuados nos demais produtos. A política de preços dos derivados enfatizava também o objetivo de substituição da energia importada por nacional.
- 1979/84: O dólar-petróleo foi o principal responsável pela desvalorização do valor de realização do gás LP em relação ao valor internacional, como mostra a figura 8.
- A implantação do dólar-petróleo visava, de acordo com o discurso oficial da época, e amenizar o impacto inflacionário do 2º choque do petróleo.
- 1984/87: A preocupação central da política econômica era o controle da inflação, aliado a isso, a queda do preço no mercado internacional facilitou a redução do spread entre o valor doméstico e o spot, internacional.
- 1987/90: A inflação anual dispara, chegando a quatro dígitos, o déficit público torna-se o foco principal da política de controle da inflação, neste contexto, a tentativa é de não deixar que o preço doméstico se desvalorize muito em relação ao preço internacional.

Figura 8 - Preço de realização e “SPOT” do gás LP (US\$/ BARRIL) e inflação (%) entre 1973 e 1987

Fonte: Correia 1993

- Em suma, até então, a política de preços dos derivados no Brasil privilegiou, sistematicamente, os consumidores de gás LP, sobre cujos preços, em nome de preocupações sociais, incidiram taxas inferiores à dos demais derivados, o que pode explicar o consistente crescimento até este período.
- Podemos entender que frente aos outros energéticos, a estrutura de preços e subsídios concedidos, apresenta novas tendências diante das atuais mudanças estruturais observadas no caso brasileiro.
- A partir da década de 90, a política de preços começou a ser adaptada para a introdução de uma economia de mercado, dando início a um processo gradual de liberalização de preços e de retirada dos subsídios.
- A partir de 2002, este preço foi efetivamente liberado em todo o território nacional e o auxílio-gás criado para garantir o acesso da população de baixa renda ao produto.

Após a liberalização, parte do consumo, presente na quase totalidade dos municípios brasileiros, foi parcialmente substituída pela lenha, mais nociva ao consumidor em termos de poluentes, invertendo a tendência observada desde a origem do uso no Brasil.

Os principais fatores históricos que explicam o atual perfil de consumo do gás LP, a importância da eficiência operacional dos equipamentos a gás para sustentação do volume consumido, contempla uma metodologia de análise de mercado para novos produtos.

2.4.2 Sistema de preço atual – 2005 até hoje

A Emenda Constitucional nº 33, de 11 de dezembro de 2001, regulamentada pela Lei Complementar nº 10.336, de 19 de dezembro de 2001, extinguiu a PPE, parcela de preço específica, e instituiu a Contribuição de Intervenção de Domínio Econômico (CIDE).

Até dezembro de 2001 o governo determinava o preço que a Petrobrás recebia pela venda do gás LP, a partir de janeiro de 2002, os preços na refinaria foram liberados, isto é, passaram a ser estabelecidos pela empresa distribuidora e calculados com base nos preços praticados no mercado internacional, na taxa de câmbio e demais fatores comerciais.

Com essa medida a ANP sedimentou a liberação dos preços de venda e a eliminação dos subsídios de preços e fretes dos combustíveis.

No dia 4 de maio de 2002, os preços ao consumidor final foram liberados em todo o país.

A gasolina, o óleo diesel e o gás LP ficaram então, submetidos ao regime de preços liberados, cabendo ao Governo apenas reajustar, dentro da periodicidade definida na Portaria MF/MME nº 2, seu preço de faturamento.

A CIDE é cobrada sobre a produção, importação e comercialização de gasolinas, diesel, QAV⁴, outros querosenes, óleos combustíveis, gás LP e álcool etílico anidro.

4 QAV, Querosene de aviação

3. Energia Elétrica

Este capítulo apresenta uma breve abordagem sobre a matriz geração de energia nacional e os custos de geração de energia em suas diversas formas e também contextualizando a previsão de demanda nos setores.

O modo como a matriz de geração de energia vem sendo construída, ao longo de décadas, obedece à lógica determinada pela oferta de recursos naturais e pelo custo de produção.

Como se sabe, o preço da energia elétrica gerada a partir de fonte hídrica foi e segue sendo menor. Além disso, a geração hidrelétrica é renovável e, como se verá adiante, tem vantagens ambientais que nem mesmo as formas de geração renovável oferecem. Mas, antes de prosseguir na análise da matriz, é preciso fazer breve digressão sobre o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Quase todo o Brasil é abastecido por meio do SIN. As poucas exceções estão quase todas localizadas na Amazônia: trata-se de comunidades isoladas, abastecidas por geração térmica a óleo, nos chamados Sistemas Isolados.

O SIN é composto, principalmente, pela Rede Básica de Transmissão, que interliga uma vasta parcela do território nacional, por meio de quase 100 mil quilômetros de linhas de transmissão de energia, aos quais se conectam redes secundárias de transmissão e redes de distribuição, que levam eletricidade ao consumidor.

Um dos problemas enfrentados entre a produção e o consumo de energia elétrica é o armazenamento. A energia produzida precisa ser imediatamente consumida, porque não tem como ser armazenada. Só é possível armazenar os elementos usados na geração, como água, óleos combustíveis, carvão, gás natural e urânio enriquecido.

3.1 Fontes de geração da energia

As usinas hidrelétricas representam cerca de 71% da capacidade nacional instalada e através de seus reservatórios. Os grandes reservatórios das usinas da Região Sudeste/Centro-Oeste representam 71% do Sistema Interligado Nacional, constituindo nossa melhor alternativa de armazenamento de energia elétrica, uma riqueza de que poucos países dispõem.(ANEEL, 2011)

Mas a água desses reservatórios não é suficiente para atender à demanda durante todo o ano. A forma mais segura de suprir o que faltar é a geração por termoeletricas, que podem

ser acionadas sempre que necessário, embora com custo de geração maior e com emissão de Gases de Efeito Estufa.

As térmicas nucleares, embora firmes e constantes, de custo razoável e baixa emissão de GEE, apresentam problemas de disposição dos resíduos radioativos e de desconfiança popular, reforçada por eventos como os de Fukushima, no Japão.

A cogeração a biomassa, principalmente a bagaço e a palha de cana, permite produzir simultaneamente calor e energia elétrica, com grande economia de combustível. Ela é mais eficiente que a geração por meio de combustíveis fósseis, mas só ganha força, no Brasil, na época da safra da cana de açúcar. Embora essa seja limitação relevante, é importante registrar que a safra ocorre nas épocas de baixa dos reservatórios, o que ajuda a compensar a menor geração hidrelétrica.

A capacidade de produção por biomassa, contudo, ainda é limitada, respondendo por cerca de 5% da potência instalada nacional. A queima de biomassa não é considerada produtora de GEE, pois durante o crescimento do canavial houve retirada de CO₂ da atmosfera. A biomassa é considerada neutra para efeito de aquecimento global e, por isso, uma fonte alternativa – além de renovável.

Por último, os parques de geração eólica já representam promessa relevante para o abastecimento nacional. Ultimamente, o custo de geração dessa energia tem se tornado bastante competitivo em virtude dos incentivos governamentais e do barateamento dos equipamentos geradores.

A geração eólica não produz energia firme e constante, já que depende dos ventos. Contudo, é excelente fonte complementar ao sistema hidrotérmico, gerando mais nos períodos de baixa dos reservatórios.

3.2 . Preço da geração de energia

O preço da energia, ao lado dos fatores naturais, é elemento prioritário na decisão sobre fontes geradoras de energia. A abundância e o custo, além de aspectos ligados à segurança do abastecimento, são os fatores que determinam a matriz energética dos países.

No setor elétrico brasileiro há uma máxima que diz que “a energia mais cara é a da próxima usina”. Reflete o fato de que se constroem primeiro as “melhores usinas”. O primeiro fator na determinação dessas usinas é o custo da geração, medido em R\$/MWh, decorrente de projetos de execução mais fácil e mais barata. Depois, vem à proximidade dos centros de

demanda, fator que influencia custos de construção e manutenção das linhas de transmissão. (ABBUD, 2012)

Não menos relevante, no caso de hidrelétricas, é a partição ideal das quedas de uma bacia, técnica que otimiza o aproveitamento do curso d'água para efeito de geração de eletricidade. Trata-se do aproveitamento ótimo, conceito legalmente estabelecido no Brasil, que deve presidir a elaboração dos projetos das usinas hidrelétricas. Os potenciais hídricos e as próprias usinas são bens da União, conforme estabelecido na Constituição Federal, constituindo patrimônio de todos.

Também são considerados melhores os aproveitamentos que permitem reservatórios de grande capacidade e pequena exigência de área inundável. Quando operam em cascata, a capacidade de geração e a contribuição das usinas para a regularização do rio são potencializadas, sendo particularmente preciosas as primeiras do conjunto, dada sua maior capacidade de reserva.

Além disso, os reservatórios agregam vantagens comparativas únicas, fornecendo água para consumo e irrigação, servindo como criatórios de peixes, viabilizando a navegação e gerando atividade turística.

Por fim, as hidrelétricas indenizam os Estados e Municípios pela área que ocupam. Em 2011, pagaram R\$ 1,63 bilhão como Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH) e R\$ 370 milhões em *royalties* (compensação financeira específica, devida pela Usina de Itaipu). (ABBUD, 2012)

Na tabela 2, são apresentados os preços de geração da energia do Brasil, conforme suas fontes.

Tabela 2 – Preço de geração de energia elétrica por fonte (R\$/MWh)

Fonte	Custo fixo	CVU (*)	Preço final (R\$/ MWh)
Hidrelétrica de grande porte	85	-	85
Eólica	100	-	100
Hidrelétrica de médio porte	147	-	147
Pequena central hidrelétrica	159	-	159
Térmica nuclear	145	20	166
Térmica a carvão	159	169	328
Térmica a biomassa	171	167	339
Térmica a gás natural	167	187	354
Térmica a óleo combustível	167	506	672
Térmica a óleo diesel	167	630	797
Solar Fotovoltaica	Não informado	-	-

Fonte: ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica 2011

(*) CVU Custo variável operacional unitário

3.3 . Consumo de energia elétrica no Brasil

O crescimento médio anual da demanda total de eletricidade (que inclui consumidores cativos, consumidores livres e autoprodutores) será de 4,5% ao ano no período, passando de 472 mil giga watts hora (GWh) em 2011 para 736 mil GWh em 2021. A expansão média do consumo anual de energia elétrica será um pouco inferior à da economia, cuja taxa de crescimento do PIB brasileiro é estimada em 4,7% ao ano, em média, nos 10 anos. (EPE 2011)

Com a economia crescendo mais que a demanda elétrica nos próximos anos, estima-se a elasticidade-renda do consumo de eletricidade inferior à unidade (0,96). A consequência disto é a queda da intensidade elétrica da economia – isto é, o montante de energia consumido para produzir um real de PIB (kWh/R\$) – no horizonte decenal, sinalizando um aumento da eficiência no uso da eletricidade.

Tabela 3 – Projeções da demanda total de energia elétrica e do PIB

Ano	Consumo (mil GWh)	PIB (109 R\$ 2010)	Intensidade(kWh/R\$2010)
2011	472	3.804	0,124
2016	593	4.717	0,126
2021	736	6.021	0,122
Período	Consumo (%a ao ano)	PIB (% ao ano)	Elasticidade
2011-2016	4,7	4,4	1,06
2016-2021	4,4	5,0	0,88
2011-2021	4,5	4,7	0,96

Fonte: EPE 2012

Na estrutura de demanda de energia elétrica, a classe comercial deverá manter o forte desempenho observado nos últimos anos e, com isso, apresentará a maior alta (5,8% anuais, em média) entre os segmentos de consumo. Apesar do alto crescimento do setor de comércio e serviços, a indústria permanecerá sendo a classe responsável por quase metade do consumo total de eletricidade no país.

Tabela 4 – Projeções de consumo total de eletricidade por classe (mil GWh)

Classe	2011	2021	% ao ano
Residencial	112	174	4,5
Industrial	225	346	4,4
Comercial	74	129	5,8
Outros	61	87	3,6
Total	472	736	4,5

Fonte: EPE 2012

Pelas projeções elaboradas pela EPE, haverá ainda um expressivo crescimento da autoprodução, ou seja, geração de eletricidade a partir de instalações próprias, localizadas junto às unidades de consumo, e que não utiliza a rede elétrica das concessionárias de transmissão/distribuição, nos próximos 10 anos, em torno de 6,8% ao ano, em média, passando dos 41,5 mil GWh estimados em 2011 para 79,8 mil GWh em 2021.

Com isso, a participação desta fatia da geração no consumo total de eletricidade do país crescerá dos cerca de 9% verificados nos últimos anos para 11%, aproximadamente, ao final do horizonte.

No que envolve a eficiência energética, as projeções apresentadas contemplam ganhos que montam a 32,2 mil GWh em 2021, ou 4,2% do consumo total de eletricidade previsto para o horizonte. Esse ganho adicional de eficiência no consumo final de energia elétrica representa uma redução no requisito de geração (carga de energia) em torno de 4,5 mil MW médios – isto é, aproximadamente igual à energia assegurada da usina hidrelétrica de Belo Monte.

A trajetória de crescimento para a economia nacional está embasada tanto no aumento da demanda interna, seguindo o padrão de crescimento que vem ocorrendo nos últimos anos, quanto na perspectiva de maior volume de investimentos necessários para sustentar essa expansão.

O consumo das famílias, as oportunidades ligadas aos setores de infraestrutura (em especial o de exploração e produção de petróleo) e a injeção de recursos envolvendo a realização de eventos mundiais no país ainda neste quinquênio (como a Copa do Mundo e Jogos Olímpicos) explicam, em boa medida, a expectativa favorável quanto a um cenário positivo de crescimento da economia brasileira.

No que tange à demografia, pode-se afirmar que a população brasileira está envelhecendo e que continuará a crescer, porém a um ritmo menor, chegando a pouco mais de 206 milhões de habitantes em 2021 – aumento em torno de 13 milhões de pessoas.

Diferentes fatores da evolução demográfica, como distribuição espacial e urbanização, acabam se refletindo de forma significativa em termos do consumo de energia elétrica. O crescimento da população a uma taxa de 0,7% ao ano, aliada à queda da elasticidade-renda, trará como consequência um aumento do consumo de eletricidade per capita a um ritmo de 3,9% ao ano.

Apresentamos a perspectiva futura da Oferta Contratada de energia em suas diversas fontes de geração.

Figura 9 – Oferta contratada – Energia nova e energia de reserva contratadas

Fonte: Tractebel Energia 2010

A forma como o Governo planeja atender a essa demanda:

- Expansão baseada em hidrelétricas, principalmente da região amazônica; A viabilidade ambiental dos projetos ainda não está definida e de longo prazo;
- Uma usina nuclear já definida (Angra 3) e será contratada como energia de reserva (Portaria MME 586/2010) – não forma lastro e paga por todos os consumidores - R\$ 148,65/MWh;
- Complementação com fontes alternativas
 - PCHs
 - Biomassa
 - Eólica
- Planejamento contempla a contratação de usinas termelétricas com combustível fóssil;

As fontes primárias alternativas têm como característica comum a produção de energia elétrica em escala muito menor que as fontes convencionais, porém podem ser bastante úteis em aplicações específicas. Como o kWh produzido por fontes alternativas é, em geral, várias vezes mais caro que o de fontes convencionais, cada aplicação precisa ser analisada cuidadosamente sob vários aspectos.

Temos como fontes alternativas a energia solar, eólica, biomassa, eletroquímica (células combustíveis), geotérmica e também a geração através do aproveitamento do movimento das marés.

Devido ao crescimento da demanda vamos observar um maior incremento de geração de energia de outras fontes, não hidrelétrico, onde o custo de geração é superior, resultando em uma tendência de incrementos de preços superior ao da inflação.

Mas também historicamente observa que o aumento das tarifas de energia elétrica já são superiores aos valores da inflação, conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 10 – Evolução dos aumentos das tarifas de energia elétrica

Fonte: Andreos 2007

3.4. Demanda de ponta

O grande problema do dimensionamento de carga no sistema nacional é devido ao pico de energia que aparece no mais conhecido termo técnico de “horário de ponta”, que corresponde ao período de maior consumo de energia elétrica. Esse período é definido pela distribuidora e normalmente utilizado entre 18 e 21 horas. Nesse horário a tarifa de energia é mais elevada, de acordo com a classificação tarifária, como veremos adiante.

Pode-se evidenciar no setor hoteleiro este efeito conforme a figura 11, abaixo.

Figura 11 – Curva de carga diária de hotéis em Minas Gerais

A – Hotel de grande porte e B – Hotel de pequeno porte

Fonte: Lima 2003

A importância de se analisar equipamentos e sistemas que contribuem para minimizar este efeito é totalmente favorável à redução nos investimentos de usinas hidrelétricas e outras fontes.

3.5. Modalidades tarifárias

Quando se estuda processos que envolvem o consumo de energia elétrica, é necessário um bom entendimento das modalidades tarifárias, pois estas possuem valores diferentes de tarifação em MWh e podem chegar a mais de dez vezes de diferença unitária de acordo com o horário de consumo, demanda contratada e outras características da forma como é realizado o contrato com a concessionária.

A fatura de energia reflete o modo como a energia elétrica é utilizada e sua análise por um período de tempo adequado, permite estabelecer relações importantes entre hábitos e consumo.

Dadas as alternativas de enquadramento tarifário disponível para alguns consumidores, o conhecimento da formação da fatura e dos hábitos de consumo permite escolher a forma de tarifação mais adequada e que resulta em menor despesa com a energia elétrica.

São duas as modalidades tarifárias (ANEEL, 2010).

Os consumidores do Grupo B (baixa tensão) têm tarifa monômnia, isto é, são cobrados apenas pela energia que consomem.

Os consumidores do Grupo A, tem tarifa binômnia, isto é, são cobrados tanto pela demanda quanto pela energia que consomem. Estes consumidores podem enquadrar-se em uma de três alternativas tarifárias:

- Tarifação convencional
- Tarifação horossazonal verde
- Tarifação horossazonal azul

3.6 Tarifas do grupo A

As tarifas do “Grupo A” são para consumidores com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidos a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela estruturação tarifária binômnia e subdividido nos seguintes subgrupos:

- Subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- Subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- Subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
- Subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- Subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- Subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendidos a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

A Figura 12 exemplifica os tipos de consumidores com diferentes modalidades tarifárias.

Figura 12 – Consumidores e suas modalidades tarifárias

Fonte: ANEEL 2010

As tarifas do “Grupo A” são construídas em três modalidades de fornecimento, apresentado na figura 13.

- Horossazonal azul;
- Horossazonal verde.
- Convencional;

Azul	Demanda		Consumo			
	Ponta	Fora de Ponta	Ponta		Fora de Ponta	
			Seca	Úmida	Seca	Úmida
Verde	Demanda Única		Consumo			
			Ponta		Fora de Ponta	
			Seca	Úmida	Seca	Úmida
Convencional	Demanda Única		Consumo Único			

Figura 13 – Opções Tarifárias Possíveis

Fonte: Saidel – 2005

- Horário de Ponta (P): corresponde ao período de maior consumo de energia elétrica. Esse período é definido pela distribuidora e, normalmente utilizado entre 18 e 21 horas. Nesse horário a tarifa de energia é mais elevada.

- Horário Fora de Ponta (FP): compreende as horas dos dias úteis não consideradas no horário de ponta e às 24 horas dos sábados, domingos e feriados.
- Período Úmido: período do ano (dezembro a abril) de maior volume de incidência de chuvas e menor a tarifa aplicada.
- Período Seco: período do ano (maio a novembro) onde a incidência de chuvas é menor e a tarifa de energia é elevada.

A importância do conhecimento acima é que os valores de energia elétrica de um empreendimento como o setor hoteleiro pode sofrer influência de acordo com seu contrato de energia elétrica, conforme vimos acima.

No entanto os valores de energia na ponta e fora de ponta se diferenciam em um grande delta.

4. Consumo de energia no setor comercial

A atividade do setor comercial vem se expandindo nos últimos anos em resposta ao comportamento do consumo de bens e serviços. Certamente contribui para isto a permanência da taxa de desemprego em nível baixo e a disponibilidade de crédito ao consumidor.

Foram consumidos no ano de 2011, 430,1 mil giga watts hora (GWh) de eletricidade na rede, 3,6% a mais que em 2010. (EPE 2012)

Todas as classes apresentaram crescimento positivo, com destaque para os setores comercial (+6,3%) e residencial (+4,6%). A classe industrial apresentou crescimento mais modesto (+2,3%), caracterizado por uma dinâmica diferenciada entre as regiões do país. (EPE 2012)

O consumo da classe comercial totalizou 73,5 mil GWh em 2011, registrando crescimento de 6,3% sobre 2010 — o melhor desempenho entre as classes de consumo. As taxas se mantiveram elevadas praticamente ao longo de todo o ano. (EPE 2012)

Tabela 5 – Estatística do Consumo de Energia Elétrica (GWH) 2011.

REGIAO/ CLASSE	EM DEZEMBRO			NO ANO		
	2.011	2.010	%	2.011	2.010	%
Brasil	36.409	35.896	1,40	430.106	415.277	3,60
Residencial	9.513	9.302	2,30	112.098	107.215	4,60
Industrial	15.236	15.169	0,40	183.610	179.478	2,30
Comercial	6.495	6.305	3,00	73.535	69.170	6,30
Outros	5.164	5.120	0,90	60.863	59.414	2,40

Fonte: EPE Jan 2012

No relatório do Balanço Energético Nacional (EPE - BEN 2006) sobre a eficiência energética no Brasil, foram avaliados os setores comercial, residencial e industrial. Ali foram colhidas amostras de 2700 empresas, sendo 100 unidades por cada concessionária de energia, com um erro estimado de 3,1%.

Dentro do setor comercial dos hotéis avaliados, verificou-se que o consumo médio para cada unidade habitacional (UH) foi de 464 kWh/mês.

No mesmo estudo, verificou-se que, no setor comercial em geral, o SAC (Sistema de Ar Condicionado) representa 47% do consumo, conforme indicado na figura 14.

Figura 14 – Distribuição do consumo por uso final – Setor Comercial
Fonte: EPE 2006

4.1 Distribuição dos equipamentos de ar condicionado no setor comercial

Na mesma pesquisa (EPE - BEN 2006), foram levantados o percentual de empresas que dispõem de sistema de ar condicionado (SAC) ou outros sistemas de ventilação, apresentado na figura 14.

Verificou-se que 77% das empresas possuem SAC diretos, ou seja, da parede ou split. Em segundo lugar, com 33% das empresas, estão os sistemas de ventilação e exaustão, seguidos por 25% de SAC. Por último, com 16% estão os sistemas indiretos, de água gelada. (EPE - BEN 2006)

Neste mesmo estudo, foi feito um levantamento das empresas que possuem SAC, separadas por estabelecimentos comerciais e por regiões brasileiras. Verificou se que nos hotéis e motéis, 52,57% dos estabelecimentos na região sudeste possuía SAC, enquanto que, em outros setores comerciais, estas porcentagens eram bem menores, tais como: Faculdade e Escolas (9,76%); Serviços de Saúde (10,01%); Bancos e Financeiras (8,19%); Padarias (2,6%) e Clubes e Associações (7,35%).

Em se tratando de um dado em escala maior, com vários tipos de edifícios, em que os Hotéis foram avaliados juntamente com os motéis (apesar de ambos possuírem usos e forma de ocupação bastante distinta), nota-se que a representatividade do SAC no setor hoteleiro é significativa.

O consumo por uso final do setor comercial foi de 47%, devido à carga do SAC. Na região Sudeste, 52,57% dos Hotéis possui ar condicionado, enquanto que, no Brasil inteiro, o percentual cai para 32,35%. (EPE - BEN 2006)

Figura 15 – Porcentagem da posse média de ar condicionado no setor comercial no Brasil (por região)

Fonte: EPE – BEN 2006

4.2. Segmento de hotelaria no Brasil

A edificação hoteleira tem, como peculiaridade, o fato de funcionar ininterruptamente e de ser um ambiente de grande complexidade, dado a diversidade e quantidade de funções exercidas junto ao conjunto de atividades complementares que acontecem em suas dependências.

A função hospedagem pressupõe unidades habitacionais adequados, dotados de conforto ambiental/térmico, acústico, luminoso e ergonômico, espaços bem dimensionados, devidamente equipados e com ambientes agradáveis. Deve igualmente contar com atividades administrativas, centrais de sistemas prediais, de manutenção, além daquelas relacionadas com a realização de eventos, recreação e lazer.

Tal complexidade funcional demanda um mínimo de investimentos para tornar o empreendimento hoteleiro economicamente viável, o que resulta num empreendimento oneroso e muito sensível aos custos finais de construção, operação e manutenção.

No Brasil, foi o aumento da demanda por viagens e hospedagem, deflagrada a partir da década de 80, que acirrou a competição no setor, determinando assim a necessidade de ampliar as escalas de operação, baratear custos e diversificar locais de atuação e recepção de um número cada vez mais amplo de viajantes que passaram a se deslocar em ritmo mais intenso e com mais frequência.

Além dessa ampliação do mercado de viagens e da incorporação de novos segmentos de menor poder aquisitivo, houve também um grande crescimento no setor de eventos, o qual repercutiu no aumento da participação das novas redes hoteleiras no mercado, ameaçando assim a hotelaria instalada. Esse avanço ocorreu principalmente nos grandes centros econômicos, tais como São Paulo e Rio de Janeiro.

As estratégias competitivas das redes internacionais, com marcas fortes, programas de treinamentos com padrões internacionais, centrais de reservas e capital disponível a juros baixos garantiram a entrada, no mercado brasileiro, de várias redes econômicas internacionais. Uma das características das marcas econômicas é o valor das diárias baixas, resultado da otimização das instalações e da redução de serviços ao mínimo essencial para o hóspede a que se destinam, sem prejudicar a qualidade exigida por ele.

Segundo cálculos da Associação Brasileira da Indústria Hoteleira (ABIH), o setor de hotelaria possui patrimônio imobilizado em torno de US\$ 10 bilhões e receita bruta anual de cerca de US\$ 2 bilhões. Calcula a existência de 25 mil meios de hospedagem no Brasil.

Liderança do mercado cabe à Accor, que em 2010 contava com 23 mil quartos no País; a segunda posição coube à Atlântica com 12 mil quartos, seguida pela BHG com 5,5 mil quartos.

Na tabela 6 apresenta a quantidade de unidades habitacionais classificadas por redes hoteleiras nacionais, internacionais e independentes.

Tabela 6 – Tipo e quantidade de instalações hoteleiras

Tipo	Hotéis	Part.%	Quartos	Part.%
Hotéis e flats de cadeias nacionais	354	4	47.766	11
Hotéis e flats de cadeias internacionais	361	4	65.979	15
Hotéis independentes com até 20 qtos	3.486	37	38.518	9
Hotéis independentes com mais de 20 qtos	5.323	56	288.594	66
Total	9.524	100	440.857	100

(Inclui hotéis e flats inaugurados até julho de 2010)

Fonte: Análise Setorial 2010

Foi identificado que 66% dos hotéis, em número de quartos, são independentes, não participando de rede associada.

4.3 Evolução da taxa de ocupação por regiões

Podemos evidenciar uma sensível recuperação na taxa de ocupação das unidades hoteleiras.

Tal recuperação na taxa de ocupação dos hotéis brasileiros deve-se fundamentalmente aos hotéis urbanos, dado que os resorts têm tido sua taxa de ocupação praticamente estagnada desde 2003, quando era de 45%, apresentado na figura 16.

Figura 16 – Evolução Taxa de ocupação

Fonte: Análise Setorial 2010

Em análise da matriz energética em um hotel, pode-se encontrar variações devido à característica de sua utilização, como por exemplo, hotéis de negócios, de fim de semana, de eventos entre outros.

Estudos realizados pela CEMIG elaboraram as demandas de energia do setor hoteleiro, conforme apresentado abaixo na figura 17.

Figura 17 – Demanda de Energia Elétrica nos Hotéis

Fonte: CEMIG 2005

No setor hoteleiro encontramos em aquecimento de água e condicionamento de ar em torno de 42% de demanda de energia elétrica, convergindo principalmente com o horário de pico que são utilizados os sistemas em sua maior intensidade.

Entende-se uma maior dedicação e estudos destes sistemas e acompanhamento de novas tecnologias nacionais e internacionais.

5. Os sistemas de ar condicionado (SAC)

A maioria dos equipamentos de refrigeração usados atualmente baseia-se nos ciclos de refrigeração a vapor, que são divididos em dois grupos principais, por compressão e absorção.

Refrigeração é o processo de retirada de calor de um espaço ou corpo com a finalidade de reduzir sua temperatura, transferindo esse calor para outro espaço ou corpo. Como o calor é a forma comum de energia (todas as outras formas de energia podem ser convertidas completamente em calor), é útil compreender algumas das leis físicas básicas da energia para fundamentar o estudo da refrigeração.

Os sistemas de refrigeração empregam líquido cujos pontos de ebulição podem estar muitos graus abaixo de zero e dos quais são conhecidos os pontos de ebulição para diversas pressões, isto é, fluidos refrigerantes que apresentam composições bem definidas, estabilidade química e características pressão–temperatura conhecidas.

Pelo uso de diversos dispositivos mecânicos, a pressão no interior do sistema pode ser mantida em qualquer valor desejado e conseqüentemente, é possível variar a temperatura do fluido fazendo com que ele absorva calor de um meio externo, para se evaporar. A partir desta retirada de calor do meio, sua temperatura reduz, tornando-se um espaço refrigerado.

5.1 Evolução histórica

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 fixava 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.

Os egípcios e os índios norte-americanos conseguiam manter a água fria guardando-a, em jarros de barro semiporosos. Assim, à medida que a água escapava por infiltração através das paredes havia a evaporação que dissipava calor e resfriava o restante da água no jarro. Na Europa, o gelo natural dos lagos e rios eram cortados durante o inverno, guardado em cavernas ou poços revestidos de palha e estocados em prédios isolados com serragem para ser retirado na medida das necessidades.

5.2. Conforto térmico

Dentre os itens de conforto a serem atendidos, o conforto térmico tem especial relevância e implicações para nosso estudo. O conceito de conforto térmico, por sua vez, é bastante relativo e subjetivo. O conforto térmico para uma pessoa pode ser definido como a “satisfação com o ambiente térmico onde ela se encontra”, o que significa que a pessoa em questão não prefere necessariamente um ambiente mais frio ou mais quente. (ASHRAE 55, 2004)

O conceito de conforto procura, pois, atender às exigências humanas e funcionais, trabalhando na convergência de estímulos físicos propiciados pelo meio ambiente, da construção e do usuário.

A regulação comportamental ressalta que as pessoas tendem, naturalmente, a procurar por condições de conforto, Sol e sombra, vento ou proteção, assim como procuram ajustar sua postura, atividade e roupas, a fim de obterem conforto. O conforto térmico é facilitado quando o meio ambiente térmico é previsível, sem exigir dos usuários uma adaptação de roupas e nem a preocupação com o posicionamento e acionamento das aberturas que podem ocasionar ventos imprevisíveis e indesejados, exigindo alguma atitude do usuário para controlá-la.

Para que esses sistemas sejam otimizados, é fundamental o conhecimento do local onde está inserida a edificação. Destaca-se aqui a importância de realizar diagnósticos seguros para a realidade brasileira - tipo de edifício, posição geográfica, problemática tecnológica e de utilização, levando-se em conta as disponibilidades e os custos. Na classificação nacional dos hotéis, segundo a Deliberação Normativa Nº 433 EMBRATUR, os hotéis econômicos não são obrigados a possuir sistemas de ar condicionado nos apartamentos. (BUORO, 2008)

No entanto, as redes internacionais seguem os padrões internacionais, de que faz parte a oferta de ar condicionado nos apartamentos.

A implementação de medidas que levem a um projeto de ar condicionado energeticamente otimizado ou à otimização das instalações existentes é um importante fator

de redução de custos operacionais, atendimento de demandas ecológicas e prevenção de prejuízos econômicos sociais advindos de um possível colapso no fornecimento de energia (BUORO, 2008).

De todas as instalações existentes, em um hotel econômico, pode-se dizer que o ar-condicionado será se não a de maior impacto, uma das instalações de maior impacto, tanto para o usuário-hóspede, quando para o proprietário do empreendimento.

5.3 Critérios para a escolha do SAC

Neste trabalho também analisa a escolha de um SAC a ser utilizado em um hotel, onde deve ser bastante criteriosa, devido às peculiaridades do seu uso, à interferência no conforto ambiental, além da complexidade de sua operação e manutenção. Dentre os principais elementos a serem considerados na seleção do SAC, destacam-se os seguintes:

- 5.3.1. O controle da qualidade do ar interno;
- 5.3.2. Os custos iniciais de implantação;
- 5.3.3. O desempenho do sistema;
- 5.3.4. O desempenho acústico;
- 5.3.5. O posicionamento dos equipamentos na parte interna e, ou externa;
- 5.3.6. A interferência estética na fachada do edifício;

Detalhamos brevemente cada item abaixo:

5.3.1. O controle da qualidade do ar interno

A qualidade do ar é um elemento fundamental para a adequação do sistema em um ambiente. Segundo a Portaria nº 3.523, da ANVISA, para minimizar o risco potencial à saúde dos usuários com permanência prolongada em ambientes climatizados artificialmente, deve-se considerar os três principais itens:

- Plano de manutenção, operação e controle dos sistemas;
- Que parâmetros físicos considerados no projeto atendam as condições previstas para o ambiente ou edifício;

- Que a composição física e biológica do sistema atenda às necessidades previstas.

Considerando ainda a preocupação com a saúde dos usuários de ambientes climatizados artificialmente, a ANVISA regulamentou formalmente, quais particulados suspensos no ar em um ambiente climatizado devem ser evitados e controlados, conforme valores mínimos de renovação de ar, de acordo com o uso do ambiente. São eles: fungos, protozoários, vírus, algas, polens, poeira, óxido de carbono, dióxido de nitrogênio e formaldeído (popularmente conhecido como a bactéria legionela).

5.3.2. Os custos iniciais de implantação

A complexidade das instalações de cada sistema varia desde sistemas que necessitam de dutos de ar, de tubulação para circulação de gás refrigerante, de tubulação para circulação de água gelada, até os mais simples, que exigem um único ponto de força elétrica e uma saída para o ar exterior. A consequência dessa grande variação de complexidade reflete diretamente nos custos de implantação de cada SAC, bem como na necessidade de previsão de espaços e adequação da arquitetura do edifício desde sua concepção inicial de projeto.

O elevado custo inicial desses componentes pode ser compensado por significativas reduções nos custos operacionais, devido à diversidade de sistemas e eficiência, onde cada sistema tem que estar configurado com a sua melhor aplicação impactando em um menor consumo de energia.

Dessa forma, serão também considerados os períodos de utilização e o desempenho de cada sistema, este último apresentado a seguir.

5.3.3. O desempenho do sistema

Para o consumo de energia em um ciclo de vida de 60 anos dos edifícios é muito maior no período de operação e, por esse motivo, tendo como foco os SAC, quanto mais eficiente na fase de operação, menor o consumo de energia elétrica. (BUORO, 2008)

No Brasil, desde 1993, o selo PROCEL vem sendo aplicado aos SAC para identificar a eficiência energética dentro da sua categoria.

Esse mecanismo foi criado pela Eletrobrás, para dar suporte à Lei de Eficiência Energética, nr. 10.296/2001, tendo sido regulamentado pelo INMETRO.

Dentre os equipamentos categorizados pelo PROCEL, entre outros, os SAC de expansão direta, ou seja, os chamados ar condicionados de janela e os sistemas Split são os únicos SAC avaliados dessa forma no Brasil e classificados em níveis de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). (PROCEL, 2010)

Sistemas de ar condicionado tipo Split é um sistema de refrigeração que são similares aos equipamentos do tipo janela, sendo divididos em dois módulos, denominados unidade interna (evaporadora) e unidade externa (condensadora). A característica principal desse sistema é o fato da unidade interna ser mais silenciosa do que o sistema convencional. O custo do equipamento é cerca de 20 a 30% mais caro do que a unidade tipo janela, porém existe o custo dos materiais envolvidos na instalação e custos de mão de obra.

Já os sistemas de expansão indireta, como resfriado a ar ou a água, exigem laboratórios específicos, ainda inexistentes aqui, e por isso mesmo, quando necessitamos do COP desses equipamentos, busca-se nas tabelas de eficiência da norma ASHRAE Standard 90.1, que consta também o valor integrado de carga parcial (IPVL).

Esses critérios são os mesmos que vem sendo adotados na regulamentação para etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais, serviços e públicos, desenvolvido pelo PROCEL Edifica em setembro de 2006.

5.3.4. O desempenho acústico

A complexidade das instalações dos SAC compostos por motores e ventiladores tradicionalmente geradores de ruídos exige que o projeto do sistema seja criteriosamente executado, para assim evitar o desconforto acústico dos usuários tanto no interior quanto no exterior dos ambientes climatizados.

Refere-se, neste segundo caso, ao posicionamento de casas de máquinas no topo de edifícios, com grandes ventiladores, ou até a sistemas de refrigeração a água, que geram níveis de ruído elevados que facilmente se propagarão pelo ar para as edificações vizinhas, causando desconforto acústico.

As principais fontes de ruído do ar-condicionado são:

- Os motores e ventiladores;
- As turbulências devido ao fluxo do ar;
- Os ruídos de origem exterior que penetram no sistema devido às possíveis frestas.

5.3.5. O posicionamento dos equipamentos na parte interna e ou externa

Dependendo da complexidade dos sistemas pode facilitar ou não a localização mais adequada dos equipamentos geradores de ruído, como motores e ventiladores.

No caso dos sistemas diretos, também conhecidos como domésticos, o posicionamento dos motores ao lado dos ventiladores é determinante na qualidade do sistema em geral e, por este motivo, muitas vezes não são adequados para o uso em UH de Hotéis e em residências, apesar da facilidade na instalação.

Quando falamos dos sistemas indiretos, devemos nos preocupar com os espaços mais adequados a eles, buscando preferencialmente isolá-los das áreas ocupadas, ou num andar técnico ou em garagens. No entanto, a necessidade de tomada de ar externo muitas vezes determina que os ventiladores e motores principais posicionem-se no topo dos edifícios, já que os terrenos tendem a ser cada vez menores e a ocupação desses equipamentos acaba sendo destinada para locais menos “nobres” do edifício.

5.3.6. A interferência estética na fachada do edifício

A equipe de desenvolvimento de projetos arquitetônicos e o do sistema de ar condicionado devem se inter-relacionar, preferencialmente, desde a concepção inicial do projeto.

A localização destes sistemas no edifício é definida tanto por suas necessidades espaciais e estruturais quanto pela estética do edifício.

Os SAC de expansão direta (janela e split) não exigem alterações na estrutura do edifício devido ao baixo peso do equipamento. Os de janela interferem diretamente na estética da fachada, pois os condensadores devem ficar externos à fachada, enquanto que os sistemas split possuem um pouco mais de flexibilidade do que os anteriores porque os condensadores são independentes dos evaporadores, que devem ficar no interior dos ambientes.

Atualmente, devido a esta flexibilidade dos sistemas split, muitos fabricantes vêm desenvolvendo modelos com evaporadores mais compactos e com diversos acabamentos com cores diferentes buscando uma interferência menor também no interior dos ambientes.

Os sistemas de expansão indireta (condensação a água ou a ar) interferem de forma mais agressiva na arquitetura do edifício devido ao peso dos equipamentos, a vibração de alguns dos seus componentes e a necessidade de tomada de ar externo. Alguns componentes como o chiller podem ser posicionados no subsolo, reduzindo a necessidade de uma estrutura

mais robusta, mas, por outro lado, exigindo outros equipamentos, como motores para bombear a água resfriada para os andares superiores.

Considerando o edifício como um conjunto único, exige-se muito mais do que apenas o planejamento conjunto de espaços para os componentes do SAC, já que influenciam na arquitetura do edifício e no desempenho do mesmo.

5.4 Tecnologias de equipamento de refrigeração

Com o advento da tecnologia e da refrigeração mecânica, os sistemas refrigeração tornaram-se bastante complexos e os processos de produção do frio fundamentaram-se na vaporização contínua do líquido refrigerante:

- por meio de ejeção de vapor, usada nas máquinas frigoríficos de vapor d'água.
- por meios mecânicos nas máquinas frigoríficos de compressão de vapor.
- por meio de aquecimento, método usado nas chamadas instalações de absorção.

Dentre estes sistemas, os dois últimos são sem dúvida os mais importantes e utilizados na indústria e no comércio. A seguir apresenta-se uma análise detalhada de cada processo de refrigeração.

5.5 Refrigeração por absorção

O início de desenvolvimento do ciclo de refrigeração por absorção data dos anos 1700. Descobriu-se que gelo poderia ser produzido pela evaporação da água pura de um vaso contida em um recipiente evacuado na presença de ácido sulfúrico. Como o ácido absorvia vapor de água, causando uma redução de temperatura, camadas de gelo eram formadas na superfície da água. Em 1859 Ferdinand Carré apresentou uma nova máquina, usando o par amônia-água como fluido de trabalho. Esta máquina foi patenteada nos Estados Unidos, em 1860, e utilizada para fabricar gelo e estocar alimentos. Ela foi utilizada como modelo básico no desenvolvimento da refrigeração. Em 1950, um sistema utilizando Brometo de Lítio e água como fluido de trabalho, foi introduzido para aplicações industriais. Poucos anos depois, um sistema de absorção de duplo efeito foi produzido e utilizado como padrão industrial para ciclos de refrigeração por absorção de alto desempenho, operados termicamente.

O Ciclo de Absorção é similar em certos aspectos ao ciclo de compressão de vapor: os dois ciclos operam com um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador, a

diferença entre os dois está na maneira que o vapor de baixa pressão do evaporador é transformado em vapor de alta pressão. Os ciclos de compressão a vapor utilizam um compressor para realizar esta tarefa. Já para os ciclos de absorção podemos dividir a transformação de vapor de baixa em de alta pressão em três etapas:

1ª Etapa - Um sistema de absorção absorve vapor de baixa pressão em um líquido absorvente apropriado, isso condicionado a conversão de vapor em líquido, ou seja, condensação, que implica na rejeição de calor;

2ª Etapa - Eleva-se a pressão do líquido resultante com o auxílio de uma bomba hidráulica.

3ª Etapa - Libera-se vapor do líquido à alta pressão por adição de calor.

Na figura 18, abaixo resume as três fases na transformação de vapor de baixa em de alta pressão.

Figura 18 – Comparação entre os dois tipos de transformação de vapor de baixa pressão em vapor de alta pressão para sistemas de refrigeração por compressão a vapor e absorção.

Fonte:Stoecker & Jones 1985

Os ciclos de absorção são referidos como ciclos operados a calor, pois o maior custo da operação está ligado ao fornecimento de calor para liberar vapor de alta pressão.

5.5.1 A Unidade por absorção básica

A figura 19 mostra um desenho esquemático de um ciclo de absorção básico, onde a operação de compressão é proporcionada pela montagem apresentada na metade esquerda do diagrama.

Figura 19 – Modelo Unidade de Absorção

Fonte: Stoecker & Jones, 1985

5.5.2 Princípio de operação

Conforme podemos observar no esquema mostrado na figura 19, o vapor de baixa pressão do evaporador é absorvido por uma solução líquida no absorvedor. Se esse processo de absorção fosse realizado adiabaticamente, a temperatura da solução iria subir e eventualmente a absorção de vapor poderia cessar. Para perpetuar o processo de absorção o absorvedor é resfriado por água ou ar, que finalmente rejeita esse calor para a atmosfera.

Em seguida a bomba recebe o líquido a baixa pressão do absorvedor, eleva a sua pressão, e o entrega ao gerador. No gerador, calor de uma fonte de alta temperatura expulsa o vapor que tinha sido absorvido pela solução. A solução líquida retorna para o absorvedor por uma válvula redutora de pressão cujo propósito é promover a queda de pressão para manter as diferenças de pressão entre o gerador e o absorvedor.

Os fluxos de calor do ciclo de absorção são indicados na figura 20 e ocorrem da seguinte forma: o calor de uma fonte de alta temperatura é fornecido ao gerador enquanto que o calor a baixa temperatura da substância que esta sendo refrigerada é fornecida ao evaporador. A rejeição de calor do ciclo ocorre no absorvedor e condensador a temperaturas tais que o calor possa ser rejeitado para a atmosfera.

Figura 20 - Modelo do equipamento e indicação dos fluxos.

Fonte: Robur 2009

Onde temos:

$\dot{m}_F$ = vazão de água fria;

T_{Fs} = temperatura de água fria na saída;

T_{Fe} = temperatura de água fria na entrada;

$\dot{m}_{GLP}$ = vazão do gás LP, consumo;

VCA = válvulas de circuito de água;

$\dot{m}_Q$ = vazão de água quente;

T_{Qe} = temperatura de água quente na entrada;

T_{Qs} = temperatura de água quente na saída;

5.5.3 Definição de eficácia de um ciclo por absorção

O coeficiente de eficácia por ciclo de absorção COP é definido como:

$$\text{COP}_{\text{ABS}} = \frac{\text{Taxa de Refrigeração}}{\text{Taxa de Adição de Calor}}$$

Uma das desvantagens do ciclo de absorção com relação ao de compressão reside no seu relativamente reduzido coeficiente de performance. Sistemas por absorção podem apresentar COP's da ordem de 1,6 - avaliando equipamentos comerciais de ciclo de duplo feito nos sistemas por compressão este valor pode chegar até 6,0 (Stoecker, 1985).

No entanto o valor baixo do COP_{abs} com relação ao COP do ciclo de compressão a vapor não deve ser considerado ponto negativo para os ciclos de absorção, pois os COPs dos ciclos são definidos diferentemente. O COP do ciclo de compressão a vapor é a relação da taxa de refrigeração pela potência na forma de trabalho fornecida para operar o ciclo.

Como a energia na forma de trabalho é melhor aproveitada do que energia na forma de calor, o resultado do ciclo de compressão é normalmente superior. Sobre a questão do confronto entre as eficácias dos ciclos pode ser feita uma análise adicional comparativa.

A Figura 19 sugere como realizar essa análise. Os processos no bloco da esquerda da figura consistem de um ciclo de potência que desenvolve o trabalho necessário para realizar a compressão do vapor do evaporador para o condensador no ciclo de refrigeração. O ciclo de potência recebe energia na forma de calor $\dot{Q}_g$ a uma temperatura absoluta T_g , entrega alguma energia na forma de trabalho para o ciclo de refrigeração e rejeita uma quantidade de energia $\dot{Q}_{\text{abs}}$ na forma de calor a temperatura T_{abs} . O ciclo de refrigeração recebe o trabalho $\dot{W}$ e com ele transfere calor $\dot{Q}_{\text{ev}}$ à temperatura de refrigeração de T_{ev} para a temperatura T_{cd} , onde a quantidade de calor $\dot{Q}_{\text{cd}}$ é rejeitada. Note-se que o ciclo ideal operando com processos termodinamicamente reversíveis entre duas temperaturas é um ciclo de Carnot. Para o ciclo de potência operando à esquerda da Figura 21, temos:

$$\frac{\dot{Q}_g}{\dot{W}} = \frac{T_g}{(T_g - T_{\text{abs}})}$$

T_{ev} = Temperatura de evaporação

T_g = Temperatura no gerador

T_{abs} = Temperatura de rejeição de calor no absorvedor

Figura 21 – Combinação de ciclo de potência e de refrigeração.

Fonte: Stoecker & Jones, 1985

A taxa de refrigeração é Q_{ev} e a taxa de calor adicionado ao gerador é Q_g . Usando as expressões para Q_{ev} e Q_g , obtemos o COP para o ciclo ideal:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{Q}_g} = \frac{\dot{W} \cdot T_{ev} \cdot (T_g - T_{abs})}{\dot{W} \cdot T_g \cdot (T_{abs} - T_{ev})} = \frac{T_{ev} \cdot (T_g - T_{abs})}{T_g \cdot (T_{abs} - T_{ev})}$$

5.5.4 Refrigerante e absorvente

O desempenho dos sistemas de absorção depende da escolha apropriada do par refrigerante-absorvente. Os materiais constituintes do par refrigerante-absorvente devem satisfazer alguns critérios: o absorvente deve ter uma grande afinidade com o vapor do refrigerante e os dois devem ser mutuamente solúveis na gama exigida pelas condições de funcionamento. Os dois fluidos devem ser estáveis, seguros e não corrosivos. O absorvente

deve ter uma volatilidade baixa, para que o vapor de refrigerante que sai do gerador contenha pouco ou nenhum absorvente e as pressões de trabalho devem ser baixas, de preferência próximas às pressões atmosféricas (DOSSAT, 2001).

Tabela 7 – Pares de Refrigerante - Absorvente

Absorvente	Refrigerante
Água	Amônia, Metil amina ou outras aminas alifáticas
Solução de água e brometo de lítio	Água
Solução de cloreto de lítio e metanol	Metanol
Ácido Sulfúrico	Água
Hidróxido de sódio ou potássio ou misturas	Água
Nitrato de lítio	Amônia
Sulfocianeto de amônia	Amônia
Tetracloroetano	Cloreto de etila
Dimetil éter tetraetileno glicol	Cloreto de metileno
Óleo de parafina	Tolueno ou pentano
Glicol etílico	Metil amina
Éter dimetílico ou glicol tetraetílico	Monofluor dicloro ou diclorometano

Fonte: Abreu, 1999

Atualmente três tecnologias de sistemas de absorção são fabricadas:

- sistema amônia e água, na qual a amônia é o refrigerante e a água é o absorvente;
- sistema brometo de lítio e água, onde a água é o refrigerante e o brometo de lítio é o absorvente e;
- sistema amônia, água e nitrogênio, no qual o nitrogênio é um gás inerte.

Na tabela 8 apresentam-se as principais diferenças entre os sistemas de absorção água-amônia e brometo de lítio-água, ressaltando-se as vantagens e desvantagens de cada um.

Tabela 8 – Diferenças entre os sistemas de absorção

ABSORÇÃO ÁGUA-AMÔNIA	ABSORÇÃO BROMETO DE LÍTIO-ÁGUA
Pressão positiva no ciclo - não apresenta infiltração	Pressão negativa no ciclo.
Capacidade de atingir temperaturas negativas	Alta temperatura de evaporação. Evaporação somente em temperaturas acima de 5oC e 7oC
Condensação em altas temperaturas: Permite condensação a ar	Baixa temperatura de condensação
Não necessita de torre de resfriamento à água, logo não tem consumo de água	Necessita de torre de resfriamento de água.
Permite reaproveitamento de calor	Não permite reaproveitamento de calor.
Não precisa de bomba a vácuo.	Necessita de bomba de vácuo.
Baixa manutenção. Não requer manutenção frequente	Manutenção frequente, principalmente na torre de resfriamento.
Não necessita de química para tratamento de fungos e bactérias, Não necessita de tratamento de água.	Alto consumo de água e química fungicida e bactericida.
Menor consumo elétrico	Maior consumo elétrico.
Não utiliza CFC ou outros refrigerantes que atacam a camada de ozônio ou possam se cancerígenos.	Não utiliza CFC ou outros refrigerantes que atacam a camada de ozônio ou possa ser cancerígenos.
Não apresenta cristalização.	Pode apresentar cristalização.
Menor rendimento térmico do ciclo.	Maior rendimento térmico.
Não compatível com o cobre e suas ligas.	Não tóxico, muito aplicado em sistemas de ar condicionado

Fonte: Abreu, 1999

Sistemas de refrigeração por absorção apresentam-se como alternativa para sistemas de compressão a vapor sendo que possuem como vantagem a utilização de energia térmica, substituindo uma parte da energia elétrica. Essa energia térmica pode ser obtida de qualquer fonte de calor, como por exemplo, calor residual de processos fabris, energia solar e queima de combustíveis.

Comparado com os sistemas de compressão a vapor o equipamento de absorção é muito mais simplificado e muito menos dispendioso operacionalmente para as mesmas capacidades de refrigeração.

O coeficiente de desempenho (COP) do sistema a absorção é muito menor do que o do sistema de compressão a vapor, sendo a relação de 1 para 5 ou mais, considerando as mesmas condições de funcionamento. O valor comparativamente baixo do COP para o sistema a absorção não deve ser considerado prejudicial porque os coeficientes de desempenhos dos dois ciclos são definidos diferentemente. O COP do ciclo de compressão a vapor é a relação da taxa de refrigeração pela potência na forma de trabalho fornecida para operar o ciclo, enquanto que no ciclo a absorção o COP é determinado pela relação entre a taxa de refrigeração e a taxa de adição de calor ao gerador (Stocker e Jones, 1985).

A energia na forma de trabalho é normalmente muito mais valiosa que a energia na forma de calor, o que viabiliza a utilização de sistemas por absorção. Em sistemas comerciais de absorção, alguns componentes são integrados ao conjunto para melhoria de desempenho e eficiência termodinâmica.

5.6 Sistema de absorção de pequeno porte

Para o desenvolvimento deste trabalho utiliza-se um sistema de absorção água-amônia de fabricação da empresa italiana ROBUR.

O equipamento analisado é o modelo GAHP-W, que funciona simultaneamente para o resfriamento da água a 5°C como para o aquecimento de água a 60°C, com uma capacidade nominal de refrigeração de 17,5 kW e uma capacidade nominal de aquecimento de 35 kW.

Tabela 9 – Característica técnica Robur

DESEMPENHO NOMINAL		Unidades	
Temperatura da entrada da água fria		0	°C
Temperatura de saída da água quente		50	°C
Capacidade de aquecimento		35	kW
Eficiência no aquecimento baseada no consumo de gás		139	%
Capacidade de refrigeração		17,5	kW
Eficiência na refrigeração baseada no consumo de gás		54	%
Vazão de água no ciclo de aquecimento		3	m³/h
Vazão de água no ciclo de refrigeração		2,5	m³/h
DADOS DO QUEIMADOR			
Capacidade térmica do queimador		28	kW
Consumo nominal de gás		2,7	m³/h
DADOS ELETRICOS			
Tensão nominal		230	V
Potencia nominal		540	W
DADOS FISICOS			
Nível de pressão sonora		49	dB(A)
Peso líquido		286	Kg
Dimensões	Comprimento	850	mm
	Largura	655	mm
	Altura	1310	mm
Diâmetro das conexões de água		1"1/4	pol
Diâmetro da conexão de gás		3/4"	pol

Fonte: Robur 2009

Tabela 10 – Característica técnica circuito - Sistema Robur

CIRCUITO HERMÉTICO		
Fluidos utilizados	H ₂ O + NH ₃	Unidade
Carga de H ₂ O	10	Kg
Carga de NH ₃	7	Kg
Máxima pressão admissível	35	bar
Volume do gerador	18,6	l
Volume câmara niveladora	11,5	l
Volume da solução na bomba	3,3	l
Volume da solução fria no absorvedor	6,3	l
Volume do evaporador	3,7	l
Volume de refrigerante variável	4,5	l
Volume no absorvedor/condensador	3,7	l

Fonte: Robur 2009

Apresentamos a visão interna do equipamento Robur, conforme figura 20.

Figura 20 - Modelo interno do equipamento Robur
Fonte: Robur 2009

Também um demonstrativo do estado físico da solução de fluido refrigerante no equipamento Robur, conforme figura 23.

Figura 23 - Estado físico do fluido refrigerante

Fonte: Robur 2009

5.6.1 Principais aplicações dos sistemas absorção

- Aquecimento de piscinas e complemento de ar condicionado
- Aquecimento de água sanitária e complemento de ar condicionado
- Processos de beneficiamento de produtos alimentícios
- Aquecimento e pré-aquecimento e refrigeração para processos industriais e químicos
- Controle de umidade e temperatura em ambientes (museus).

5.7 Sistema de refrigeração por ciclo de compressão

Nesse tipo de sistema a elevação da pressão do vapor de fluido refrigerante é proporcionada por compressão mecânica, geralmente por compressores centrífugos ou a pistão.

Como a massa específica do gás é baixa, a quantidade de trabalho para comprimi-lo é significativamente maior que a necessária para comprimir um líquido.

Se um líquido for introduzido num vaso onde existe, inicialmente, um grau de vácuo e cujas paredes são mantidas a temperatura constante, ele se evaporará imediatamente. No processo, o calor latente de vaporização, ou seja, o calor necessário para a mudança do estado líquido para o estado vapor é fornecido pelas paredes do vaso. O efeito de resfriamento resultante é o ponto de partida do ciclo de refrigeração.

À medida que o líquido se evapora, a pressão dentro do vaso aumenta, até atingir, eventualmente, a pressão de saturação para a temperatura considerada. Depois disso, nenhuma quantidade de líquido evaporará, e, naturalmente, o efeito de resfriamento cessará.

Qualquer quantidade adicional de líquido introduzido permanecerá neste estado, isto é, como líquido, no fundo do vaso. Se for removida parte do vapor do recipiente, conectando-o ao lado de sucção de uma bomba, a pressão tenderá a cair. O que provocará evaporação adicional do líquido. Neste aspecto, o processo de resfriamento pode ser considerado contínuo. E, para tal, necessita-se: de um fluido adequado, o refrigerante; um recipiente onde a vaporização e o resfriamento sejam realizados, chamado de “evaporador”; e um elemento para remoção do vapor, chamado de “compressor”.

O sistema apresentado até agora não é prático, pois envolve um consumo contínuo de refrigerante. Para evitar este problema, é necessário converter o processo num ciclo. Para fazer o vapor retornar ao estado líquido, o mesmo deve ser resfriado e condensado.

Usualmente, utiliza-se a água ou o ar como meio de resfriamento, os quais se encontram a uma temperatura substancialmente mais elevada do que a temperatura reinante no evaporador. A pressão de vapor correspondente à temperatura de condensação deve, portanto, ser bem mais elevada do que a pressão no evaporador. O aumento desejado de pressão é promovido pelo compressor.

A liquefação do refrigerante é realizada num condensador, que é, essencialmente, um recipiente resfriado externamente pelo ar ou água. O gás refrigerante quente (superaquecido), com alta pressão, é conduzido do compressor para o condensador, onde é condensado.

Para completar o ciclo, o sistema necessita da inclusão de uma válvula ou outro dispositivo regulador, que será usado para injeção de líquido no evaporador. Este é um componente essencial de uma instalação de refrigeração e é chamado de “válvula de expansão”.

5.7.1 Ciclo teórico de refrigeração por compressão

Um ciclo térmico real qualquer deveria ter para comparação o ciclo de Carnot, por ser este o ciclo de maior rendimento térmico possível. Dadas as peculiaridades do ciclo de refrigeração por compressão de vapor, define-se outro ciclo que é chamado de “ciclo teórico”, no qual os processos são mais próximos aos do ciclo real e, portanto, torna-se mais fácil comparar o ciclo real com este ciclo teórico (existem vários ciclos termodinâmicos ideais), diferentes do ciclo de Carnot, como o ciclo ideal de Rankine, dos sistemas de potência a vapor, o ciclo padrão ar Otto, para os motores de combustão interna a gasolina e álcool, e o ciclo padrão ar Brayton, das turbinas a gás. Este ciclo teórico ideal obterá melhor desempenho operando em condições iguais ao do ciclo real.

A figura 24 mostra um esquema básico de um sistema de refrigeração por compressão de vapor, com seus principais componentes, e o seu respectivo ciclo teórico construído sobre um diagrama de Mollier, no plano P-h. Os equipamentos esquematizados na figura 24 representam, genericamente, qualquer dispositivo capaz de realizar os respectivos processos específicos indicados.

Figura 24 – Ciclo teórico de refrigeração por compressão
Fonte: Pirani 2009

Os processos termodinâmicos que constituem o ciclo teórico nos respectivos equipamentos são:

- Processo 1--2. Ocorre no compressor, sendo um processo adiabático reversível e, portanto, isentrópico. O refrigerante entra no compressor à pressão do evaporador (P_0) e com título igual a 1. O refrigerante é então comprimido até atingir a pressão de condensação (P_c). Ao sair do compressor, está superaquecido à temperatura T_2 , que é maior que a temperatura de condensação T_c .

- Processo 2--3. Ocorre no condensador, sendo um processo de rejeição de calor, do refrigerante para o meio de resfriamento, à pressão constante. Neste processo o fluido frigorífico é resfriado da temperatura T_2 até a temperatura de condensação, T_c . A seguir, é condensado até se tornar líquido saturado na temperatura T_3 , que é igual à temperatura T_c .

•Processo 3--4. Ocorre no dispositivo de expansão, sendo uma expansão irreversível à entalpia constante (processo isentálpico), desde a pressão de condensação P_c , e o líquido saturado, até a pressão de vaporização (P_o). O processo é irreversível e, portanto, a entropia do refrigerante na saída do dispositivo de expansão (s_4) será maior que a entropia do refrigerante na sua entrada (s_3).

•Processo 4--1. Ocorre no evaporador, sendo um processo de transferência de calor à pressão constante (P_o) e, conseqüentemente, à temperatura constante (T_o), desde vapor úmido (estado 4) até atingir o estado de vapor saturado seco. O calor transferido ao refrigerante no evaporador não modifica a temperatura do refrigerante, mas somente muda sua qualidade (título).

5.7.2 Ciclo real de compressão

As diferenças principais entre o ciclo real e o ciclo teórico estão mostradas na figura 25. Uma das diferenças está na queda de pressão nas linhas de descarga (líquido e de sucção), assim como no condensador e no evaporador. Estas perdas de carga, ΔP_d e ΔP_s , estão apresentadas na Figura 25.

Figura 25 – Diferenças entre o ciclo teórico e real
Fonte: Pirani 2009

Outras diferenças são: o sub-resfriamento do refrigerante na saída do condensador (nem todos os sistemas são projetados com sub-resfriamento) e o superaquecimento na sucção do compressor, sendo este também um processo importante, que tem a finalidade de evitar a

entrada de líquido no compressor. Outro processo importante é o de compressão, que, no ciclo real é politrópico (s_1 diferente s_2) e no processo teórico é isentrópico.

Devido ao superaquecimento e ao processo politrópico de compressão, a temperatura de descarga do compressor (T_2) pode ser muito elevada, tornando-se um problema para os óleos lubrificantes usados nos compressores frigoríficos. A temperatura de descarga não deve ser superior a 130°C , o que, por vezes, exige o resfriamento forçado do cabeçote dos compressores.

6. Sistemas de aquecimento de água

O aquecimento de água é usado na grande maioria das vezes, no Brasil, para o chuveiro, mas também existem outros tipos de aplicação como: tanques, pias de cozinha e banheiro, lavadoras de roupas, lavadoras de pratos, em sistemas de climatização e conforto de ambientes, aquecimento de pisos, piscinas e etc.

Os sistemas de aquecimento de água são equipamentos, dispositivos, infraestrutura e acessórios com o objetivo de converter a fonte de energia em calor e transferi-lo para a água a ser consumida, na quantidade e temperatura desejada e ou pela simples transferência de calor para água e esta trocar calor com ambiente para conforto térmico, sendo o aquecedor o elemento principal deste sistema.

Os aquecedores de água são equipamentos que têm como objetivo fornecer água quente suficiente para todos os pontos de consumo, na temperatura e vazão desejada, conforme projeto específico, de forma a atender a expectativa do usuário.

Os aquecedores podem ser divididos em aquecedores instantâneos (ou de passagem) e aquecedores de acumulação, conforme figura 26. Podem atender exclusivamente uma unidade autônoma - por meio de sistemas individuais ou centrais privados, independentemente dos pontos de consumo e número de usuários - ou o abastecimento de um conjunto de unidades autônomas, os sistemas centrais coletivos.

Os aquecedores de acumulação podem ser do tipo conjugado, quando há a junção entre um reservatório e um aquecedor de passagem, ou ainda com queimador acoplado, sendo que a transferência de calor entre a fonte de energia (aquecedor de passagem ou queimador) e o reservatório pode ser feito através de trocadores de calor de contato direto ou indireto.

Os aquecedores de passagem ficam restritos ao equipamento, enquanto que os sistemas de acumulação incorporam diversas configurações e alternativas de sistemas, conforme as características da demanda. Contudo, independentemente do sistema adotado, estes equipamentos podem ser incorporados em diversas aplicações, desde que consideradas as suas limitações técnicas.

Figura 26 - Caracterização dos tipos de aquecedores a GÁS

Fonte: Chaguri, 2009

Os sistemas de aquecimento são divididos conforme as características da infraestrutura hidráulica podem ser classificados em sistemas individual, central privado e central coletivo.

Essa classificação considera a dimensão do sistema de distribuição de água quente, conforme figura 27.

Figura 27 - Classificação de sistemas de aquecimento

Fonte: Chaguri, 2009

Na figura acima é possível compreender os três sistemas de aquecimento sendo que o sistema individual é constituído apenas de um aquecedor (equipamento), e quando incorporado a uma rede de distribuição interna à unidade habitacional, há um sistema central privado, e este, quando incorporado a uma rede de distribuição externa à unidade habitacional, há um sistema central coletivo.

Nos três tipos de sistemas, individual, central privado e central coletivo é possível utilizar aquecedores idênticos, desde que consideradas as particularidades dos sistemas com relação ao comportamento de uso, instalação e operação.

A escolha do sistema mais adequado deve considerar diversos aspectos, inclusive as características da edificação, os custos de instalação, manutenção e operação.

6.1 Sistema individual

O sistema individual é caracterizado pela não utilização de uma rede de distribuição de água quente, pois a alimentação se apresenta em um único ponto de utilização.

Nesse sistema o equipamento é instalado no ponto de consumo, ou próximo deste, com o fornecimento de água quente exclusivo para o ponto. O chuveiro elétrico, ou a gás, é um exemplo de equipamento de sistema individual.

Porém, mesmo com pequenos trechos de água quente para alimentação do ponto de consumo, o sistema individual necessita de uma infraestrutura de alimentação da água fria para o aquecedor - que pode ser apenas uma derivação de um ponto de consumo de água fria e necessita também da rede de abastecimento de gás ou outra fonte de energia.

Geralmente, esse sistema é aplicado em residências que possuem apenas um ponto de consumo de água quente, como exemplo, os apartamentos com um banheiro, quitinetes e flats.

6.2 Sistema central privado

O central privado é composto de uma rede de distribuição e um equipamento de aquecimento, o qual fornece água quente para diversos pontos de utilização de uma mesma unidade, por exemplo, um apartamento. (ILHA, 1994)

Nesse sistema é possível utilizar apenas um equipamento para fornecer água quente para diversos pontos de consumo, simultâneos ou não, mantendo a fonte de calor em uma área específica para o equipamento.

Esse sistema é aplicável quando há a necessidade de fornecimento de água quente para mais de um ponto de consumo dentro de uma mesma residência, porém, mantendo o equipamento centralizado sob supervisão e operação do morador, inclusive no que diz respeito aos custos operacionais.

Nesta configuração pode-se ter apenas um aparelho a gás para fornecer água quente para dois ou mais pontos de consumo, e para diversas aplicações distintas.

6.3 Sistema central coletivo

O sistema central coletivo, da mesma forma que o anterior (sistema central privado), se caracteriza pela existência de uma rede de distribuição e um equipamento de aquecimento (ou vários equipamentos), porém, neste sistema, o atendimento é realizado para diversas peças de utilização existentes em mais de uma unidade, por exemplo, um edifício de apartamentos.

O sistema central coletivo possui, geralmente, o(s) aquecedor(es) localizados em um área comum do condomínio, com as redes de distribuição de água quente alimentando todos os pontos de consumo de todas as unidades da edificação.

Porém, em algumas aplicações pode haver divergência quanto ao conceito de sistemas individuais e coletivos, como, por exemplo, em aplicações comerciais como academias, clubes e outras que atendem certa diversidade de usuários, porém sendo apenas uma unidade autônoma.

6.4 Tipos de aquecimento de água

Os tipos de aquecimento de água, divididos pela fonte de energia, mais comuns são: gás, elétrica ou solar. As características desses aparelhos são as seguintes:

6.4.1 Aquecedores a GÁS

Os aquecedores à gás estão divididos basicamente em dois grandes grupos: os de passagem (ou instantâneos), e os por acumulação, utilizando como fonte principal de energia o gás natural (GN) ou Gás Liquefeito de Petróleo (Gás LP).

6.4.1.1 Aquecedores a gás instantâneo ou de passagem

A utilização de aquecedores individuais de passagem foi difundida principalmente pela facilidade de implantação, com relação a espaços ocupados, se comparados aos sistemas de acumulação.

Os aquecedores de passagem são aparelhos que funcionam para atender um consumo imediato, apenas a demanda no instante da solicitação. O acionamento destes aparelhos é feito por meio do fluxo da água que percorre pela tubulação, ocorrendo no momento da solicitação de água no ponto de consumo, e acaba quando o ponto de consumo é fechado, desligando automaticamente o aparelho. Na existência de sistemas de recirculação interna à unidade, quando a distância do aquecedor até os pontos de consumo causam desconforto aos usuários, as bombas de circulação utilizadas fazem a operação de acionamento e desligamento do aparelho automaticamente por meio do fluxo.

O acionamento e o desligamento do queimador nos aquecedores de passagem são feitos por meio de um queimador piloto que fica constantemente aceso para, quando solicitado, inflar o queimador principal. Contudo, novas tecnologias permitem que este acionamento seja feito através da ignição provocada por uma pilha, ou por uma fonte de energia elétrica, permitindo que o sistema não mantenha um consumo de gás permanente, inutilizando a função do queimador piloto constantemente aceso.

Podemos simplificar o conceito dos aquecedores de passagem visualizando-o como uma serpentina, onde a água que passa por dentro é aquecida por meio do calor gerado pelo queimador localizado na parte de baixo do equipamento, conforme figura 28.

Figura 28 - Esquema de funcionamento de aquecedores a gás

Fonte: Chaguri, 2009

Além da serpentina e do queimador, o aquecedor de passagem é constituído de um sistema de controle de fluxo e segurança - que faz o acionamento e o bloqueio de água e gás e um sistema de exaustão, por meio de elementos fixos, permitindo a saída dos gases queimados para a chaminé da forma mais eficiente.

Devido à sensibilidade dos dispositivos de controle e segurança que reduz os riscos de operação, e às perdas de carga do aparelho, estes funcionam com uma pressão mínima na entrada de água fria, podendo variar de 5 a 20 mca (0,5 a 2,0 bar), o que dificulta a sua aplicação em redes com pouca pressão de água, como é o caso de casas e apartamentos em andares altos (próximo às caixas d'água). Em alguns casos é realizada a pressurização dos últimos andares apenas para possibilitar a instalação dos aquecedores de passagem.

Este equipamento, apesar da possível economia gerada com o acionamento instantâneo, se comparado com os sistemas de acumulação, possui limitações físicas em função da relação da vazão instantânea da água que passa pelo aparelho, da potência do aparelho e da temperatura de trabalho.

Essa limitação de vazão pode ser restritiva quando se deseja dimensionar o sistema para o consumo simultâneo de diversos pontos de aquecimento, ou até mesmo a utilização para aquecimento de banheiras, quando são necessárias grandes vazões em pequeno espaço de tempo.

Alguns modelos de aparelhos possuem dispositivos que variam a potência conforme a vazão solicitada, denominado chama modulável. Com isso, evita-se que pequenas vazões gerem consumos desnecessários de combustível, ou que um superdimensionamento do aparelho resulte em aumento de consumo.

Para o dimensionamento dos aquecedores de passagem é importante analisar o rendimento desses aparelhos, sendo o rendimento de um aparelho, dado pela razão entre o poder calorífico superior do gás combustível usado e a quantidade de calor transferida para a água, assim como a vazão máxima de funcionamento e as temperaturas de trabalho.

Devido a esta característica, os aquecedores são dimensionados para o pico de consumo, no instante em que ocorre a maior vazão.

Estes aparelhos, apesar de considerados por muitos autores como aquecedores individuais, podem ser aplicáveis em sistemas centrais coletivos, aquecimento de piscina, vestiários e outras aplicações específicas, desde que consideradas as características e especificidades dos aparelhos.

O aquecimento de passagem coletivo é utilizado quando a somatória das potências dos aquecedores de passagem é maior que a demanda de energia calculada para o horário de pico do sistema, o que às vezes pode ser de difícil obtenção.

Para esta aplicação, os aquecedores de passagem utilizam em determinadas aplicações, trocadores de calor, principalmente devido à limitação de vazão dos aparelhos, com o objetivo de transferir a energia gerada pelos aquecedores para a água de consumo. Com isso, não há contato da água do sistema de distribuição, que atende os pontos de consumo, com a água do sistema de aquecimento, que interliga os aquecedores com os trocadores de calor.

6.4.1.2 Aquecedores a gás por acumulação

Os aquecedores de acumulação são aparelhos que mantêm um volume de água quente armazenado, disponível para atender a demanda nos horários de maior consumo, sendo para isso constituído de um reservatório, uma unidade de aquecimento e acessórios.

São constituídos, basicamente, de um reservatório de água, unidade de aquecimento e acessórios, que mantêm um volume de água quente armazenado disponível para consumo.

O aquecedor de acumulação funciona com um termostato ligado ao reservatório, que aciona o queimador (unidade de aquecimento), ou dispositivo de acionamento do sistema, que liga e desliga conforme a temperatura da água definida pelo usuário. Quando a temperatura do reservatório cai abaixo da temperatura pré-definida é acionado o dispositivo de aquecimento, que aquece a água armazenada até atingir a temperatura selecionada.

Em um aquecedor de acumulação, o tamanho do reservatório e a vazão de água quente fornecida são fatores importantes no dimensionamento.

No sistema de acumulação há uma entrada de água fria, que ocorre na parte de baixo do reservatório (parte mais fria) e uma saída na parte superior de água quente, que distribui para os pontos de consumo a água com a temperatura mais elevada do reservatório. Essa diferença de temperatura ocorre devido à diferença de densidade entre a água fria (mais pesada) e a água quente (mais leve), provocando sempre a estratificação térmica do reservatório em diferentes níveis.

Alguns dispositivos e acessórios são instalados com o objetivo de garantir o bom funcionamento do sistema, como, por exemplo, as válvulas de segurança, sifão e válvulas eliminadoras de ar.

As válvulas de segurança são instaladas com o objetivo de proteger o reservatório no caso de uma sobrepressão, acima da permitida pelo sistema.

Essa sobrepressão pode ocorrer por uma desregulagem na pressão da rede de água fria, ou devido à expansão da água durante o processo de aquecimento do reservatório. Para evitar dano ao equipamento devido à expansão, além da necessidade da válvula de segurança, é proibida a instalação de válvulas de retenção na entrada de água fria do equipamento, conforme ABNT NBR 7198 (1993), permitindo assim a expansão da água quente para a rede de água fria.

Como o reservatório mantém a água quente constantemente armazenada, estes equipamentos são isolados termicamente para reduzir as perdas térmicas com o ambiente.

A vantagem desse tipo de aquecedor é o de manter um volume de água quente armazenado (em função da capacidade do aquecedor), disponibilizando este volume para consumo imediato, não havendo limitações de vazão por parte do aparelho, sendo a limitação o tempo de recuperação do volume consumido.

O aquecedor de acumulação é dimensionado conforme o padrão de uso a que se destina, podendo atender à variadas demandas de água quente, desde uma residência com apenas um morador, figura 29 até centros hoteleiros, figura 30. O que diferencia os dois extremos é a quantidade de água quente armazenada (volume armazenado) e a potência do(s) aquecedor(es), ou a capacidade de recuperação do volume armazenado conforme a demanda.

Figura 29 – Aquecedor de acumulação em uma unidade habitacional

Fonte: Chaguri, 2009

Figura 30 – Sistema central a gás coletivo

Fonte: Chaguri, 2009

Conforme as características de uso do sistema de aquecimento são possíveis a utilização de um fator de simultaneidade que prevê o uso concomitante - definido probabilisticamente da demanda dos pontos de consumo, podendo ser previsto o atendimento de apenas uma parte da demanda instalada ao mesmo tempo. As aplicações destes fatores devem avaliadas em função do perfil de consumo de água quente.

Existe ainda a possibilidade de união dos dois sistemas de aquecimento, passagem e acumulação, denominado sistema conjugado, que consiste basicamente na utilização de reservatórios térmicos para o armazenamento da água quente (sem queimadores acoplados), e aquecedores de passagem ligados a uma bomba mantendo a temperatura da água no reservatório sempre constante.

6.4.2 Aquecedores elétricos

Assim como os aquecedores a gás, os aquecedores elétricos também podem ser divididos entre de passagem e acumulação.

6.4.2.1 Aquecedores elétricos de passagem ou aquecedores instantâneos

Aquecedores elétricos de passagem ou aquecedores instantâneos são os mais conhecidos no Brasil, pela ampla difusão desta tecnologia. Geralmente são instalados diretamente no ponto de uso, eliminando a necessidade de redes de água quente para o transporte do fluido. Entre as vantagens destes equipamentos são o baixo custo e a facilidade de instalação e operação.

Os aquecedores instantâneos aparecem no mercado com diversas denominações e diferentes aspectos físicos devido aos variados locais de instalação nos ambientes, entre eles há a denominação de chuveiros elétricos, figura 31, torneiras elétricas e etc.

Figura 31 – Esquema chuveiro elétrico

Fonte: Chaguri, 2009

O funcionamento do aquecedor elétrico de passagem consiste em um diafragma interno que sofre a pressão da água ao abrir o registro, e o mesmo move-se fazendo os contatos entre os terminais da resistência interna com a alimentação elétrica, normalmente 220V, este contato elétrico causa uma diferença de potencial nos terminais da resistência, por onde passa uma corrente elétrica, aquecendo a resistência, e o calor da resistência em contato com a água aquece-a.

Assim como os aquecedores de passagem a gás, os elétricos possuem limitações de vazões de água quente atrelados à potência do aparelho e à diferença de temperatura entre a água fria (aproximadamente igual a temperatura ambiente) e a água de consumo, desejada pelo usuário.

Devido às limitações de potência elétrica instalada, esses aparelhos são comercializados com potências que variam de 2 a 9 kW, bem abaixo dos aquecedores de passagem a gás que possuem variações de potência de 9,5 a 80 kW, segundo o Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO.

6.4.2.2 Aquecedores elétricos de acumulação

Os aquecedores elétricos de acumulação são similares aos aquecedores a gás de acumulação, porém, como há uma ausência de queimadores a gás, são utilizadas resistências elétricas submersas, permitindo, dessa forma, serem encontrados no mercado na posição vertical e horizontal.

A água fica acumulada dentro deste cilindro e permanece aquecida através de uma resistência elétrica. Assim como o sistema de acumulação a gás, os reservatórios elétricos mantêm um volume de água quente armazenado constantemente, o que pode ser considerado uma desvantagem com relação aos aparelhos de passagem por incorporar aos sistemas uma perda constante de calor com o ambiente, apesar dos reservatórios possuírem isolamento térmico.

O aquecedor de acumulação é composto, basicamente, pelo reservatório, resistência elétrica e termostato, conforme figura 32.

Figura 32 – Esquema aquecedor de acumulação elétrico

Fonte: Chaguri, 2009

O reservatório é o local de acumulação e aquecimento de água para o consumo, é constituído de três camadas: tanque interno que fica em contato direto com a água, isolamento

térmico, que é a camada responsável pela manutenção da temperatura no interior do reservatório, sendo feita de material de baixa condutividade térmica tais como poliuretano injetado, lã de vidro e de rocha, e revestimento externo que tem como função proteger a camada isolante, dar acabamento estético ao produto e servir de base de fixação de cintas para instalação do equipamento.

A resistência elétrica, que é a fonte geradora de calor do sistema de acumulação, possui atualmente no mercado uma variação de potência de 2 a 3 kW, conforme o volume de água do reservatório, e as características do fabricante.

O termostato controla o acionamento da resistência elétrica. Este dispositivo monitora a temperatura da água, caso a temperatura esteja abaixo da temperatura mínima configurada, ele energiza a resistência e desliga no caso da temperatura acima da máxima configurada.

6.5 Análise da eficiência na transformação de energia primária em útil com o foco em aquecimento de água

A consideração da transformação completa da energia primária em energia final e desta em energia útil conduz a uma abordagem ampliada da eficiência energética. Pode-se privilegiar (ou penalizar) determinados equipamentos, processos, sistemas e até mesmo fontes de energia, adequando o conceito de eficiência a outros elementos do planejamento energético.

Entende-se que a não consideração do consumo de energia primária associada ao consumo de energia útil pode fazer com que a avaliação da eficiência gere distorções sobre quais tecnologias são realmente mais eficientes, principalmente quando diferentes rotas tecnológicas, operando com diferentes energéticos, são comparadas.

Na análise da fonte de geração de energia elétrica a partir de termelétricas com o uso de gás natural, pode-se observar que as perdas na cadeia envolvida são maiores que na aplicação direta em sistema de aquecimento de água, conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 33 – Perdas na geração termelétrica

Fonte: Elaboração própria a partir de Mello Jr. 2007 e Cursino, 2011

Para o cálculo do item, conversão foi utilizado a média da eficiência do parque termoeletrico entre 2005 e 2009. (MME 2010)

No item T&D, foi obtido pelo relatório do MME 2009.

Entretanto quando analisa as perdas no processo de aquecimento de água utilizando o gás diretamente aplicado ao processo, encontra-se uma eficiência superior ao da geração de energia elétrica por térmicas, conforme figura abaixo.

Figura 34 – Perdas no uso do gás LP para aquecimento água

Fonte: Elaboração própria a partir de Mello Jr. 2007 e Cursino, 2011

7. Sistemas em estudo

7.1 Metodologia

A metodologia aplicada na elaboração deste trabalho foi feita com pesquisa bibliográfica, contatos com fabricantes e fornecedores de equipamentos, sitios da internet e visitas em campo, abrangendo as configurações das instalações utilizadas no setor hoteleiro.

Adota-se o perfil do hotel como de negócios na cidade de São Paulo, principalmente devido às visitas técnicas em campo serem realizadas neste modelo.

7.2 Premissas do estudo

Realiza-se inicialmente uma pesquisa na bibliografia do Valor Econômico, Segmento Hoteleiro 2010, e também visitas técnicas e foi adotado a unidade hoteleira com 250 apartamentos, prédio este configurado em torno de 18 andares.

Na definição do fator de utilização do sistema de climatização foi estimado o perfil de carga mensal baseado em conhecimento adquirido nas visitas técnicas e com capacidade instalada de 270 TR's.

Da mesma forma para o sistema de aquecimento de água.

7.3. Configuração dos sistemas

Elabora-se a configuração dos sistemas analisados, conforme segue.

7.3.1 Configuração do sistema convencional – SC

A configuração SC de geração de fonte quente e fria é totalmente independente, não aproveita os rejeitos térmicos existentes.

Sistema aquecimento de água:

- 08 Aquecedores de passagem de 22.000 kcal/h, modelo REU 16, marca Rinnai, sendo que dois equipamentos ficam de reserva de segurança.
- 01 Reservatório de 3000 litros;

Sistema de chiller:

- 02 Chiller Elétrico, modelo RCU 280 SAZ, marca Hitachi, onde um equipamento fica de reserva na função de segurança operacional.

A configuração SC disponibiliza em fonte quente o valor de 112.000 kcal/h e 270 TR's de fonte fria, apresentada abaixo.

Chiller de compressão elétrico e aquecedores de passagem

Figura 35 – Configuração do Sistema Convencional

Fonte: Própria 2013

O fator de utilização para o sistema de aquecimento de água foi calculado conforme pesquisa em bibliografia sobre o dimensionamento dos sistemas de aquecimento de água e obteve-se o valor de 30% de utilização do sistema, ou seja, 07 horas de utilização por dia.

O fator de utilização para o sistema de chiller foi calculado conforme o anexo H, e resulta em 50% de utilização do sistema, ou seja, 12 horas por dia.

7.3.2 Configuração do sistema proposto – SP

Esta configuração busca combinar os energéticos e equipamentos com a melhor eficiência e economia.

O sistema de geração de chiller é realizado de forma elétrica e gás LP, combinando dois equipamentos, chiller compressão e chiller de absorção de pequeno porte.

No sistema de aquecimento de água é totalmente a gás LP, combinando a fonte quente do sistema do chiller de pequeno porte e como equipamento reserva um sistema de aquecedor de passagem industrial.

A sinergia deste sistema converge para a melhor prática na área de eficiência energética devido à redução do consumo nos energéticos para geração das fontes quente e fria.

Entretanto temos limitação no dimensionamento da quantidade de equipamentos devido à busca do equilíbrio entre a geração de fonte quente e fria, pois o equipamento disponibiliza as fontes de calor simultaneamente.

Para adequar a melhor relação do número de chiller de absorção de pequeno porte foi necessário realizar cálculos para a busca do ponto ótimo de consumo dos energéticos envolvidos e seus referidos gastos.

Foi identificada a melhor configuração através de uma simulação em três modelos, da seguinte forma, variando a quantidade do chiller de absorção de pequeno porte e consequentemente adequou a potência do chiller de grande porte, onde se apresenta a tabela abaixo:

Tabela 11 – Simulação para escolha da melhor configuração proposta

Configurações	SP1	SP2	SP3
Fonte Quente (KW)	116	272	504
Fonte Fria TR (CGP)	255	235	205
Fonte Fria TR (CPP)	15	35	65
CGP - Chiller de grande porte			
CPP - Chiller de pequeno porte			

Nota-se que conforme aumenta a quantidade de chiller por absorção de pequeno porte obtém um incremento considerável na geração de fonte quente.

Através da necessidade de fonte quente é o fator determinante para o dimensionamento do sistema.

Pode se explicar a escolha do SP1 com a análise da tabela 12, onde, conforme aumenta o número de equipamentos de chiller por absorção de pequeno porte, a geração de fonte quente passa a consumir muito mais gás LP, desequilibrando o balanceamento térmico entre a configuração modular.

Tabela 12 – Análise da configuração proposta por fonte

Análise Sobre o gasto por fonte		
	Fonte Quente	Fonte Fria
	Gasto Energia R\$/ano	Gasto Energia R\$/ano
Convencional (270 TR)	83.592	551.237
Proposto 1 (255+15 TR)	44.064	431.516
Proposto 2 (235+35 TR)	102.816	430.134
Proposto 3 (205+65 TR)	190.444	419.351

A configuração do sistema proposto, SP1, é a que apresenta a melhor economia.

Foi calculado o gasto total de energia e sua diferença e compara-se com o sistema convencional com a finalidade de identificar a melhor economia obtida.

Através da identificação da economia obtida, de forma indicativa resulta na escolha para utilização do melhor sistema.

Tabela 13 – Análise da melhor configuração proposta

Análise do nr. de chiller pequeno porte ideal para o sistema				
	Valor Inv.	Gasto Total Energia R\$/ano	Dif.	Gasto
Convencional (270 TR)	1.077.000	634.829		
Proposto 1 (255+15 TR)	1.017.500	475.580	-159.249	
Proposto 2 (235+35 TR)	1.071.000	532.950	-101.879	
Proposto 3 (205+65 TR)	1.113.000	610.295	-24.534	

A configuração SP1, figura 36, disponibiliza em fonte quente 83 Mcal/h e 270 TR's de fonte fria, sendo que o chiller elétrico de grande porte disponibiliza 255 TR's e complementado com 15 TR's pelo chiller de absorção de pequeno porte à gás LP.

Sistema aquecimento de água:

- Aproveita-se o rejeito de calor dos chiller absorção de pequeno porte.
- 01 Aquecedor de passagem industrial de 90.000 kcal/h, modelo RHT 4000, marca Orbitek, onde este fica como reserva de segurança operacional.
- 02 Reservatórios de 3000 l.

Sistema de chiller:

- 02 Chiller Elétrico, modelo RCU 140 SAZ 4AP, marca Hitachi, onde um equipamento fica de reserva na função de segurança operacional.
- 04 chiller absorção modelo GHAW, marca Robur de 5 TR's, cada equipamento, onde 01 Robur fica como reserva de segurança operacional.

Chiller Elétrico com complemento de chiller de absorção a GLP e aquecedores de passagem industrial

Figura 36 – Configuração do Sistema Proposto
Fonte: Própria, 2013)

O fator de utilização para o sistema de aquecimento de água foi calculado conforme pesquisa em bibliografia sobre o dimensionamento dos sistemas de aquecimento de água, obteve-se o valor de 50% de utilização, ou seja, 12 horas de utilização por dia, devido sua menor potência instalada e a inclusão de mais um reservatório de água quente.

No sistema de chiller o fator de utilização foi calculado conforme o anexo H, e resulta em 40% de utilização do sistema de chiller, ou seja, em torno de 9,6 horas por dia, isto porque em 2,4 horas do dia o sistema por absorção de pequeno porte realiza a produção de fonte fria, com fator de utilização em 50%.

Para perfeito equilíbrio do sistema utiliza-se como prioridade o funcionamento do sistema por absorção de pequeno porte e de acordo com o aumento da demanda utiliza-se o chiller de compressão elétrico.

7.3.3 Configuração do sistema retrofit – CR

Elabora-se uma configuração com sistema de chiller elétrico de 270 TR's e aquecedores de passagem que se encontra em operação, ou seja usados, e instalação do chiller de pequeno porte, Robur, novo, para substituir os aquecedores de passagem e complementar ao chiller elétrico aliviando o seu funcionamento em necessidades de baixa carga, denominado configuração de sistema retrofit, CR.

Esta configuração contribuirá na complementação de perda de eficiência nos sistema de chiller de grande porte com o passar dos anos e também para a redução do consumo dos energéticos.

Chiller de compressão elétrico 270 TR's e aquecedores de passagem usado e Robur Novo - CR

Figura 37 – Configuração do Sistema Retrofit
Fonte: Própria, 2013)

8. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Realizou-se o cálculo envolvendo o sistema convencional e o proposto e na sequência apresenta-se o comparativo da configuração retrofit.

8.1 Investimento

Apresenta-se abaixo o resultado do cálculo referente ao investimento da configuração do sistema convencional e proposto, tabelas 14 e 15.

Tabela 14 – Cálculo do investimento da configuração Convencional

Configuração Sistema Convencional			
	Aquecedor de Passagem Convencional	Chiller Compressão Elétrico	
	Fonte Quente (GLP)	Fonte Fria (E.E.)	TOTAL
Investimento total R\$	24.000	1.053.000	1.077.000

Tabela 15 – Cálculo do investimento da configuração proposta

Configuração Sistema Proposto					
	Chiller Absorção Peq. Porte		Chiller Compressão Elétrico	Aquecedor de Passagem Industrial	
	Fonte Quente (GLP)	Fonte Fria (GLP)	Fonte Fria (E.E.)	Fonte Quente (GLP)	TOTAL
Investimento total R\$	85.000	32.000	892.500	8.000	1.017.500

No comparativo das configurações identifica-se uma redução de 5,5% nos investimentos, menor valor de aquisição no chiller de grande porte, que devido à redução de potência implica em motores de menor capacidade.

8.2 Consumo de energia

Apresenta-se na tabela 16 o resultado do cálculo do consumo de energia das configurações.

Tabela 16 – Cálculo do consumo de energia

Comparativo do Consumo de energia				
Fonte Quente			Fonte Fria	
	SC	SP	SC	SP
Energia em kWh	431.568	227.493	1.312.470	1.085.104

Foi realizado a análise referente suas diferenças e percentuais envolvidos apresentado na tabela 17.

Tabela 17 – Análise do consumo de energia

Análise entre as configurações				
	Diferença (SP-SC)		% (SP/SC)	
	Fonte Quente	Fonte Fria	Fonte Quente	Fonte Fria
Energia em kWh	-204.075	-227.366	-47	-17

Identifica-se uma redução de 47 % no consumo de energia da geração de fonte quente e 17 % no consumo de energia da geração de fonte fria.

É evidenciado a maior diferença pela fonte quente devido a combinação de geração das fontes, que resulta neste caso o aproveitamento dos rejeitos térmicos do chiller de pequeno porte.

A redução encontrada no consumo de energia da geração da fonte fria é identificada pelo alívio da demanda do sistema de chiller de grande porte gerado pelo chiller de pequeno porte, buscando a melhor eficiência entre e flexibilidade de funcionamento entre os sistemas.

8.3 Gasto de energia

Apresenta-se na tabela 18, o resultado do cálculo do gasto com energia das configurações.

Tabela 18 – Cálculo do gasto com energia

Comparativo do Gasto de energia				
Fonte Quente		Fonte Fria		
	SC	SP	SC	SP
Gasto em R\$	83.592	44.064	551.237	431.516

Foi realizada a análise sobre as diferenças e percentuais envolvidos no gasto de energia apresentado na tabela 19.

Tabela 19 – Análise do gasto com energia

Análise entre as configurações				
	Diferença (SP-SC)		% (SP/SC)	
	Fonte Quente	Fonte Fria	Fonte Quente	Fonte Fria
Gasto em R\$	-39.528	-119.721	-47	-22

Nesta análise foi identificado uma redução do gasto com energia na geração de fonte quente de 47 % e na geração de fonte fria em 22 %, devido ao consumo e os valores das energias envolvidas.

8.4 Consumo e gasto total de energia

O comparativo entre as configurações quanto ao consumo e gasto total de energia foi realizado para entender o impacto do sistema de uma forma completa, apresentado na tabela 20.

Tabela 20 – Cálculos de consumo e gasto de energia total

Consumo e gasto total das configurações		
	Configuração SC	Configuração SP
Energia em kWh	1.744.038	1.312.597
Gasto em R\$	634.829	475.580

Pode-se identificar o percentual de representatividade para cada fonte sobre o consumo total de energia, apontado para a configuração convencional de 25% para fonte quente e 75 % para fonte fria e na configuração proposta de 17% para fonte quente e 83 % para fonte fria, evidenciado pelo aproveitamento dos rejeitos térmicos do chiller de pequeno porte.

Foi realizada a análise sobre o consumo e gasto de energia total sobre as diferenças e percentuais envolvidos.

Tabela 21 – Análise do consumo e gasto total com energia

Análise entre as configurações	
Diferença (SP-SC)	% (SP/SC)
-431.441	-25
-159.249	-25

Foi obtido 25% de redução no consumo e gasto total de energia, consolidando a proposta de redução no consumo dos energéticos.

8.5 Impacto do gasto dos energéticos em diferentes cenários de preços de energia

Os cenários são avaliados sobre os possíveis aumentos nos preços dos energéticos e seus impactos nos gastos nas configurações.

A primeira análise adotou o valor da energia elétrica com o preço fixo e variou-se o valor do gás LP.

Na segunda análise adotou o valor do gás LP com o preço fixo e variou-se o valor da energia elétrica.

Desta forma pode-se entender a influência dos preços nas configurações estudadas.

8.5.1 Análise do gasto com energia para o preço do gás LP variável

Foi realizada a análise com o preço fixo da energia elétrica em R\$ 0,42 /kWh (valor médio observado em conta de energia elétrica com o consumo de ponta e fora de ponta) e foi

variado o de preço do gás LP, em relação ao preço praticado no mercado, hoje em torno de R\$2,50 / kg.

No primeiro valor de preço de gás LP foi aplicado uma redução de 20% sobre o valor de R\$ 2,50, praticado em mercado e a próxima variação foi acrescido em 20%.

Na última variação foi aplicado o valor de 100% no preço praticado atual, para avaliação extrema da influência do preço no sistema.

Segue na tabela 22 a variação de preço do gás LP e o impacto no gasto de energia em sua operação.

Tabela 22 – Cálculo do gasto com energia variando o preço do gás LP

Gasto Energia R\$ / Ano variando o Gás LP				
EE Fixo = 0,42 kWh				
GLP Variável R\$/kg	2,00	2,50	3,00	5,00
Convencional	618.111	634.829	651.548	718.421
Proposto	462.620	475.580	488.540	540.380
Diferença SP-SC	-155.491	-159.249	-163.008	-178.041

Observa-se que a variação de preços entre as configurações segue a mesma tendência, com leve afastamento conforme se aumenta os valores de gás LP, figura 38.

Figura 38 – Preço da energia elétrica fixo e gás LP variável

8.5.2 Análise do gasto com energia para o preço da energia elétrica variável

Foi realizada a análise com o preço fixo do gás LP em R\$ 2,50 /kg (valor médio de mercado) e foi variado o preço da energia elétrica, em relação ao preço praticado no mercado hoje em torno de R\$ 0,42 / kWh para as configurações.

No primeiro valor de preço de energia elétrica foi aplicada uma redução de 20% sobre o valor de R\$ 0,42, praticado em mercado e a próxima variação foi acrescido em 20%.

Na última variação foi aplicado o valor de 100% no preço praticado atual, para avaliação extrema da influência do preço da energia.

Segue a tabela 23 com a variação de preço da energia elétrica e o impacto no gasto de energia em sua operação.

Tabela 23 – Cálculo do gasto com energia variando o preço da energia elétrica

Gasto Energia R\$ / Ano variando a Energia Elétrica				
EE Variável	0,34	0,42	0,50	0,84
GLP Fixo = 2,50/Kg				
Convencional	529.832	634.829	739.827	1.186.067
Proposto	397.336	475.580	553.824	886.360
Diferença SP-SC	-132.496	-159.249	-186.003	-299.707

Observa-se que a variação de preços entre as configurações segue a mesma tendência, com leve afastamento superior ao avaliado quando se varia o gás LP, conforme figura 39.

Figura 39 – Preço da energia elétrica variável e GÁS LP fixo

8.6 Comparativo da configuração retrofit

Para a elaboração deste comparativo utiliza uma simulação do modelo com o conceito de Retrofit, uma configuração com sistema de chiller elétrico de 270 TR's usado com complemento do chiller de pequeno porte.

Retrofit é uma modificação de um equipamento ou instalação existente, visando à melhoria de seu desempenho, de sua operação ou de ambos.

Surgiu em meados da década de 70 nos Estados Unidos, pois até 1973 não havia preocupação com o consumo de energia nos projetos de edifícios. A partir deste ano, as fontes de energia foram rapidamente se esgotando e com o crescente aumento no custo de energia, os proprietários dos edifícios tornaram-se conscientes da necessidade de sua conservação nas instalações.

A configuração com sistema de chiller elétrico de 270 TR's e aquecedores de passagem já em uso no hotel e complementação com sistema chiller de pequeno porte, novo, denominado configuração retrofit, CR.

Para a elaboração dos cálculos foi utilizado o valor de investimento, gasto com energia e manutenção, apresentado na tabela 24.

Tabela 24 – Valores das configurações

Configurações			
	SC	SP	Retrofit
Investimento total R\$	1.077.000	1.017.500	92.000
Gasto Energia R\$/ano	634.829	475.580	560.914
Gasto Manutenção R\$/ano	48.000	31.000	43.000
Gasto O & M Total R\$/ano	682.829	506.580	603.914

No sistema proposto ainda mantém-se com vantagens sobre os demais sistemas, sendo menor em seu custo de operação e manutenção em 8,3%.

Este resultado do sistema proposto apresenta a melhor solução de balanceamento de energia devido aos sistemas estudados, busca a sinergia entre eles evitando o máximo de perdas.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O consumo de energia no setor comercial, entre eles os hotéis e as demais edificações e os cenários de evolução da matriz de geração elétrica, permite concluir que a utilização direta dos gases combustíveis pode contribuir para a racionalização energética no país.

A energia elétrica é uma forma de energia de alta qualidade, devendo assim ser destinada a aplicações nobres, ou seja, onde não podemos substituir por outra fonte de energia.

O setor hotelaria vem crescendo ano a ano em sua taxa de ocupação, podendo necessitar de complementação nos sistemas de climatização e água quente, onde nas análises de investimentos temos que considerar o gasto com os energéticos envolvidos.

A configuração proposta é reconhecida na regulamentação do PROCEL, Edificações Eficientes, para o setor comercial para geração de fonte quente e fria, contribuindo para melhoria de classificação no sistema de etiquetagem das edificações.

Conforme mencionado anteriormente pode-se afirmar que uma UH consome 695 kWh/ano na região nordeste, aplicando a configuração proposta pode-se obter uma redução no consumo de energia elétrica de 25% e no consumo de gás LP de 47%. (Adaptado de Baptista, Alessandra S.C. 2006).

A associação de geração de fonte quente e fria através da utilização do gás LP resulta em uma redução no consumo de energia nos horários de ponta, onde na expansão desta aplicação contribuiria na redução dos pesados investimentos no setor de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Apesar dos valores financeiros apresentados sobre o sistema proposto ser inferior aos demais, verifica-se que a tecnologia não é muito difundida comercialmente citando algumas dificuldades de expansão tais como, rede de assistência técnica e representantes comerciais nacional, tempo de importação do equipamento, desconhecimento da sociedade técnica envolvida.

Recomenda-se um estudo para verificar na configuração proposta o impacto na substituição dos fluidos refrigerantes, CFC, HFC e HCFC, de grande importância ao meio ambiente.

Também um estudo do aquecimento de água através do sistema solar, com significativa redução no consumo de energia e um dimensionamento mais adequado da configuração.

Foi identificada a limitação quanto ao cálculo realizado no dimensionamento dos sistemas, devido à falta de um banco de dados sobre o perfil detalhado de demanda das fontes quente e fria, sendo que estas informações são obtidas através de monitoramento contínuo com equipamentos de medições das grandezas elétricas, de fluxo e térmicas, ao longo do tempo.

Nota-se que a caracterização do tipo de hotel, como pode-se verificar em sua utilização, ou seja, hotel de eventos de semana, eventos de fim de semana, negócios, turismo, resorts, entre outros, influencia nas demandas de fonte quente e fria, e no cálculo para identificar o ponto de equilíbrio entre o número de equipamentos a ser utilizado.

Também a análise da melhor definição das diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

Essas limitações requerem o levantamento de uma base de dados considerando diversas unidades hoteleiras em regiões do país identificando suas variações climáticas e por um período de tempo longo, para realizar a curva de carga das fontes quente e fria.

O desenvolvimento de uma regulamentação ampliada quantitativa sobre a utilização de um conceito mais abrangente de eficiência energética permitiria quantificar o consumo de energia primária e assim identificar quais as rotas tecnológicas e os energéticos mais apropriados para a produção de energia útil, caracterizando-se assim como uma importante ferramenta para as políticas de eficiência energética.

10 REFERÊNCIAS

ABREU, A. F. - **Sistema de refrigeração por absorção intermitente: concepção, Dimensionamento, construção, ensaio e considerações econômicas** - São Paulo, 1999, Tese Doutorado em Energia. Universidade Federal de São Paulo.

ABBUD, OMAR e TANCREDI, MÁRCIO - **Texto para Discussão nº 69 – Transformações Recentes da Matriz Brasileira de Geração de Energia Elétrica – Causas e Impactos** – Núcleo de Pesquisas e Estudos do Senado -
http://www.senado.gov.br/senado/conleg/textos_discussao visitado em novembro 2012.

ABNT NBR 7198, **Projeto e execução de instalações prediais de água quente - 1993**

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – **Resolução RE9. Orientação técnica sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo.** - Brasília: ANVISA, 2003. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/3523_98.htm visitado em março de 2011.

ANÁLISE SETORIAL - **A indústria hoteleira no Brasil** - Valor Econômico, São Paulo 2010.

ANDREOS, RONALDO – **Panorama energia elétrica e o uso de chiller à gás** - Seminário técnico, COMGAS, 2007.

ANDREOS, RONALDO - **Equipamentos de climatização à gás** - Seminário técnico, COMGAS, 2007.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br> visitado em novembro de 2010.

ANP - Agência Nacional do Petróleo. Disponível em: <http://www.anp.gov.br> visitado em novembro de 2011.

ASHRAE - Standard 55 – **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, 2004.

BAPTISTA, ALESSANDRA SLEMAN CARDOSO - **Análise da Viabilidade Econômica da utilização de Aquecedores Solares de Água em Resorts no Nordeste do Brasil** – Dissertação Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

BUORO, ANARRITA BUENO - **Conforto térmico e eficiência energética em hotéis econômicos** – Dissertação de mestrado – FAU USP, São Paulo 2008.

CEMIG - **Estudo Hotel Vila Rica**, 2005.

CORREIA, E. L. - **Os Preços dos Derivados de Petróleo do Brasil** - Tese de Mestrado IE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1993.

CURSINO DOS SANTOS, ARTHUR HENRRIQUE - **Eficiência energética e a contribuição dos gases combustíveis: análise de caso das políticas de avaliação de edificações** – Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

DATAMONITOR - **Statistical Review of Global LP Gas**, 2010.

DOSSAT, R. J.; HORAN, T. J. - **Princípios da refrigeração** - 2001.

CHAGURI JUNIOR, JOSÉ JORGE - **Sistemas prediais de aquecimento de água a GÁS: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento** - Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de pós graduação em energia – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo, 2009.

CORREIA, E. L. - **Os Preços dos Derivados de Petróleo do Brasil**. Tese de M.Sc.. IE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1993.

DATAMONITOR - **Statistical Review of Global LP Gas** - 2010.

EPE – **Plano Nacional de Energia 2030 - 2007**. 2010

EPE - **Informe a imprensa, Demanda de energia elétrica – 10 anos**, Nota Técnica 2012.

EPE - **Balanço Energético Nacional, 2006 e 2011**.

HITACHI – **Catálogo Técnico**, 2010.

ILHA, MARINA SANGOI DE OLIVEIRA – **Sistemas prediais de água quente** - Texto técnico, EPUSP, Universidade de São Paulo, 1994.

LAMBERTS, ROBERTO – **Etiquetagem de eficiência energética em edifícios comerciais de serviços e públicos – Seminário Técnico** - Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de eficiência Energética em Edificações, Florianópolis – SC. 2010.

LIMA, R. A. P. F. O - **Avanço das redes hoteleiras internacionais no Brasil**. - Tese (Doutorado) - Escola de Comunicação e Artes (ECA), Universidade de São Paulo (USP), 2003.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço de Energia Útil** – 2009 - 2010

MELLO JR., ANTONIO GONÇALVES - **Acionamento de máquinas de fluxo por motores de combustão interna a gás natural** – Tese Doutorado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PBE – **Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO** - Disponível em:
<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/> , visitado em maio de 2012.

PIRANI, MARCELO JOSÉ – **Sistema de refrigeração – Apostila Técnica** – UFBA - Universidade Federal da Bahia - DEM – Departamento de Engenharia Mecânica, 2009.

POTEN, 2004, Consulta ao site: <http://www.poten.com> [acessado em 22/01/2009].

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Apresentação Procel - Eng. Hamilton Pollis - 2010

ROBUR – **Catálogo técnico**, 2009.

SAIDEL, MARCO ANTONIO – **Modalidades tarifárias de energia elétrica** - 2005.

SINDIGAS, Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de GÁS Liquefeito de Petróleo, **Boletim Informativo**, 2007, 2011.

SENER - **Prospectiva del mercado de gas licuado de petróleo** - 2004-2013. Secretaria de Energia, México, DF. 2004

STATISTICAL REVIEW OF GLOBAL LP GAS – **Fórum Word LPG**, 2011.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. - **Refrigeração e Ar-Condicionado** - McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1985.

TRACTEBEL ENERGIA - **Seminário Técnico** - São Paulo - 2010. LACERDA, JOSÉ NEVES - **Cenários de preços futuro da energia** - Seminário de energia realizado pela Tractebel, São Paulo – 2010.

Ultragaz – **Anotações técnicas** - São Paulo - 2011.

11 ANEXOS

ANEXO A – Visitas Técnicas Realizadas.....	100
ANEXO B - Tabela de cálculo das Configurações SC e SP.....	100
ANEXO C – Especificação Técnica do Aquecedor de Passagem Convencional.....	100
ANEXO D – Especificação Técnica do Chiller de Grande Porte Elétrico.....	100
ANEXO E – Especificação Técnica do Chiller de Pequeno Porte a gás LP.....	100
ANEXO F – Tarifa de Energia Elétrica Eletropaulo.....	100
ANEXO G – Preço dos equipamentos.....	100
ANEXO H – Curva de carga térmica teórica do hotel.....	100

ANEXO – A – VISITAS TÉCNICAS REALIZADAS

- Hotel Meliá – Jardim Europa – São Paulo
- Hotel Meliá – Tatuapé – São Paulo
- Hotel Meliá – Iguatemi – São Paulo
- Hotel Meliá – Berrini – São Paulo
- Hotel Pestana – Tutóia – São Paulo
- Hotel Ibis – Alphaville – São Paulo
- Hotel Ibis – Interlagos – São Paulo

ANEXO – B - CÁLCULO DA CONFIGURAÇÃO

Configuração Sistema Convencional – SC

Configuração Sistema Convencional					
Sistema AQ Passagem + Chiller compressão Elétrico					
	Aquecedor de Passagem Convencional		Chiller Compressão Elétrico		
	Fonte Quente (GLP)		Fonte Fria (E.E.)		TOTAL
Qtd. Investimento (Eq. Reserva)	8		2		
Qtd. Uso	6		1		
Investimento total R\$	24.000		1.053.000		1.077.000
Potência útil unitária	18.600	Kcal/h	270	TR	
Potência total	111.600	Kcal/h	270	TR	
Consumo glp ou energia elétrica unitário	2,15	kg/h	304	kWh	
Horas /ano	8640				
Fator Utilização fu (%)	30%		50%		
Consumo Energia Anual FRIO	----		1.312.470	kWh/ano	
Consumo Energia Anual Quente	33.437	kg / mês	----		
Preço Energia (Tarifa + Impostos)	2,50	R\$ / kg	0,42	kWh	
Gasto Energia R\$/ano	83.592		551.237		634.829
Gasto Manutenção R\$/ano	6.000		42.000		48.000

Configuração Sistema Proposto - SP

Configuração do Sistema Proposto									
Sistema Robur + Chiller Compressão Elétrico + Aq. Passag. Industrial									
	Chiller Absorção Peq. Porte + Reserv				Chiller Elétrico	Compressão	Aquecedor de Passagem Industrial		
	Fonte Quente (GLP)		Fonte Fria (GLP)		Fonte Fria (E.E.)		Fonte Quente (GLP)		TOTAL
Qtd. Investimento (Eq. Reserv	4				2		1		
Qtd. Uso	3				1		1		
Investimento total R\$	85.000	R\$	32.000	R\$	892.500	R\$	8.000	R\$	1.017.500
Potência útil unitária	27.695	Kcal/h	5	TR	235	TR	90.000	Kcal/h	
Potência total	83.085	Kcal/h	15	TR	235	TR	90.000	Kcal/h	
Consumo glp ou energia elétrica unitário	1,36	kg/h	0,64	kg/h	283	kWh	8,1	kg/h	
Horas /ano	8640								
Fator Utilização fu (%)	50%				40%		0%		
Consumo Energia Anual FRIO	----		8.294	kg / ano	978.048	kWh/ano	----		
Consumo Energia Anual Quente	17.626	kg / Ano	----		----		-	kg / Ano	
Preço Energia (Tarifa + Impostos)	2,50			R\$ / kg	0,42	kWh	2,50	R\$ / kg	
Gasto Energia R\$/ano	44.064		20.736		410.780		-		475.580
Gasto Manutenção R\$/ano	1.000				30.000		-		31.000

ANEXO – C – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO AQUEDOR DE PASSAGEM CONVENCIONAL

Aquecedor de Passagem Rinnai REU 16 FEA BE

REU 16 FEA BE

Vazão 23,5 l/min. GLP

Vazão 23,5 l/min. GN

Garantia de 3 anos

Exaustão forçada

Chama auto modulante

Controle digital com auto diagnóstico

Chaminé Ø 60/80mm

Timer de 60 minutos

Características técnicas		
Dimensões	523 x 350 x 130	
Peso	15 Kg	
Tipo de Gás	GLP	GN
Potência Nominal	39,9 (kW)	39,90 (kW)
Condição Padrão	34.320(kcal/h)	34.301 (kcal/h)
Consumo Máximo de Gás	2,90 kg/h	3,60 m³/h
Vazão aproximada de Água (com misturador)	23,5 l/min	23,5 l/min
Pressão mínima e máxima de Água	7 mca - 40 mca	
Sistema de Ignição	Acendimento Eletrônico	
Diâmetro da Chaminé	60/80 mm	
Sistema de Segurança	Sensor iônico/ Bimetálico/Fusível térmico/ Válvula de alívio de pressão/ Timer	
Vazão/Pressão Mínima para Acionamento	3 l/min - 1,0 Mca	
Pressão de gás	GLP	GN
	280 mmca	200 mmca

Fonte: Catálogo Rinnai

<http://www.rinnai.com.br/linha+digital+REU+16+FEA+BE.html>, acesso em outubro 2010.

ANEXO – D – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO CHILLER DE GRANDE PORTE

Chiller Hitachi – Série SAZ

Potência: 205, 235 e 255 TR

Item			Unid.	RCU120SAZHE4A	RCU140SAZHE4A	RCU180SAZHE4A	RCU210SAZHE4A	RCU240SAZHE4A	RCU260SAZHE4A
Capacidade Nominal (60Hz)			kW	417,7	485,9	626,2	728,9	835,4	903,6
			kcal/h	359.251	417.917	538.574	626.875	718.502	777.168
Acabamento Externo			-	A estrutura é construída em chapa de aço tratada contra corrosão, pintura a pó eletrostática à base de poliéster na cor bege aplicada em chapa de aço curada em estufa					
Dimensões	Largura		mm			1.991			
	Profundidade			5.783		7.480		11.666	
	Altura					1.384			
Compartimento Frigorífico	Economizer			N	S	N	S	N	S
	Compressor	Tipo	-	Semi Hermético - Parafuso HITACHI					
		Modelo	-	ASC-Z					
	Condensador	Tipo	-	Tubular de cobre com aletas de alumínio em corrente cruzada (Ø7mm)					
		Ventilador	Tipo	-	Axial				
	Resfriador	Tipo	-	SHELL & TUBE					
		Vazão de Água	m³/h	65,3	76,0	97,9	114,0	85,3 + 65,3	65,3 + 76,0
	Dispositivo de Controle de Refrigeração		-	Válvula de expansão ELETRÔNICA					
	Nº de Ciclos			-	2		3		4
Refrigerante		Tipo	-	R-407 C					
	Faixa de Controle de Capacidade (possível expansão)			%	15 a 100 [7,5]*	13 a 100 [6,5]*	15 a 100 [5,0]*	13 a 100 [4,5]*	15 a 100 [7,5]*
Dispositivo Anti-Vibração			-	Borracha Anti-Vibração sob o Equipamento					
Controle de Operação	Controle de Capacidade		-	Transmissores de Temperatura na Entrada e Saída de Água					
	Comando		-	IHM - Display LCD Alfa Numérico					
Características Elétricas	COP		kW _o /kW _i	3,16	3,21	3,19	3,20	3,17	3,19
	IPLV		Btu/h.W	15,1	15,2	15,1	15,2	15,1	15,1
	Fonte de Energia		Força	220V / 380V / 440V / 60 Hz - Trifásico + ou - 10%					
Nível de Ruído Standard (**)				220 V / 60 Hz - Monofásico + ou - 10%					
	1,5m Altura e 1,0m Distância		dB(A)	75		76		77	
	1,5m Altura e 1,0m Distância			63		64		65	
Conexões do Resfriador		Entrada de Água e Saída de Água	-	Contra flange - Ø Interno = 129,6mm			Contra flange - Ø Interno = 170,7mm		
				ANSI B 16.5 - # 150 PSI - Ø5"			ANSI B 16.5 - # 150 PSI - Ø6"		
Faixa de Trabalho	Temp. da entrada do Ar no Condensador		°C	-5 a 40					
	Temp. da saída de Água Resfriada			-10 a 15					
Peso Líquido			kg	3.713	3.835	5.500	5.575	3.713+3.713	3.835+3.713

Fonte: Catálogo Hitachi

Chiller Hitachi – Série SAZ

Potência: 270 TR

Item			Unid.	RCU280SAZHE4A	RCU300SAZHE4A	RCU320SAZHE4A	RCU350SAZHE4A	RCU390SAZHE4A	RCU420SAZHE4A
Capacidade Nominal [60Hz]			kW	972,2	1.044,6	1.112,8	1.215,1	1.355,8	1.458,1
			kcal/h	836.136	898.430	957.096	1.045.094	1.166.054	1.254.053
Acabamento Externo			-	A estrutura é construída em chapa de aço tratada contra corrosão, pintura a pó eletrostática à base de poliéster na cor bege aplicada em chapa de aço curada em estufa					
Dimensões	Comprimento		mm	1.891					
	Profundidade			11.666		14.363		17.060	
	Altura			2.384					
Compartmento Fridge	Economizer		S	N	S	S	S	S	
	Compressor	Tipo	Semi Hermético - Parafuso HITACHI						
		Modelo	ASCZ						
	Condensador	Tipo	Tubular de cobre com aletas de alumínio em corrente cruzada (Ø7mm)						
	Ventilador	Tipo	Axial						
			SHELL & TUBE						
	Resfriador	Vazão de Água	m³/h	76,0 + 76,0	5,3 + 97,9	76,0 + 97,9	76,0 + 114,0	97,9 + 114,0	114,0 + 114,0
	Dispositivo de Controle de Refrigeração		-	Válvula de Expansão ELETRÔNICA					
	Nº de Ciclos		-	4	5			6	
	Refrigerante		-	R-407 C					
		-							
Faixa de Controle de Capacidade [possível expansão]			%	13 a 100 [6,5]*	13 a 100 [6,0]*	14 a 100 [5,5]*	15 a 100 [5,0]*	14 a 100 [7,0]*	13 a 100 [6,5]*
Dispositivo Anti-Vibração			-	Borracha Anti-Vibração sob o Equipamento					
Controle de Operação	Controle de Capacidade		-	Transmissores de temperatura na entrada e saída de água					
	Comando		-	IHM - Display LCD Alfa Numérico					
Características Elétricas	COP		kW/kW	3,20	3,17	3,18	3,22	3,19	3,21
	IPLV		Btu/h.W	15,2	15,1	15,2	15,1	15,2	15,1
	Fonte de Energia	Força		220V / 380V / 440V / 60 Hz - Trifásico + ou - 10%					
Comando			-	220 V / 60 Hz - Monofásico + ou - 10%					
Nível de Ruído Standard (**)	1,5m Altura e 1,0m Distância		dB(A)	78				79	
	1,5m Altura e 1,0m Distância			66				67	
Conexões do Resfriador	Entrada de Água e Saída de Água		-	Contra flange - Ø Interno = 1 x E/S 129,6 + 1 x E/S 170,7mm					
			-	ANSI B 16,5 - Ø6"					
Faixa de Trabalho	Temp. de entrada do Ar no Condensador		°C	-5 a 40					
	Temp. da saída de Água Resfriada		°C	-10 a 15					
Peso Líquido			kg	835+3.835	5.500+3.713	5.500+3.835	5.575+3.835	5.575+5.500	5.575+5.575

Fonte: Catálogo Hitachi

ANEXO – E – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO CHILLER DE PEQUENO PORTE À GÁS LP

Fonte: Catálogo Robur

ANEXO – F – TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA ELETROPAULO

TARIFAS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA RESOLUÇÃO Nº 1319 DE 03/07/12 DA ANEEL - VÁLIDA PARA AS LEITURAS A PARTIR DE 04/07/2012

Tarifas Grupo A

GRUPO "A" ALTA E MÉDIA TENSÃO	SUBGRUPO A5		SUBGRUPO A1		SUBGRUPO A2		SUBGRUPO A3a		SUBGRUPO A4	
	PORT. 456/00 - ART.82		(230 KV ou mais)		(88 KV à 138 KV)		(30 KV a 44 KV)		(2,3 KV a 25 KV)	
	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh	DEMANDA R\$ / KW	CONSUMO R\$ / MWh
CONVENCIONAIS	26,57	197,06	-	-	-	-	19,32	187,46	19,32	187,46
HORO-SAZONAIS										
TARIFA AZUL										
PONTA SECA	23,93	279,68	-	-	11,41	265,22	16,07	270,07	16,07	270,07
PONTA ÚMIDA	23,93	279,68	-	-	11,41	265,22	16,07	270,07	16,07	270,07
FORA DE PONTA SECA	9,34	189,55	-	-	4,51	175,09	7,74	179,94	7,74	179,94
FORA DE PONTA ÚMIDA	9,34	189,55	-	-	4,51	175,09	7,74	179,94	7,74	179,94
ULTRAPASSAGEM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(PS ou PU)	47,86	-	-	-	22,82	-	32,14	-	32,14	-
(FPS ou FPU)	18,68	-	-	-	9,02	-	15,48	-	15,48	-
TARIFA VERDE										
PONTA SECA	9,34	855,15	-	-	-	-	7,74	656,6	7,74	656,6
PONTA ÚMIDA	9,34	855,15	-	-	-	-	7,74	656,6	7,74	656,6
FORA DE PONTA SECA	9,34	189,55	-	-	-	-	7,74	179,94	7,74	179,94
FORA DE PONTA ÚMIDA	9,34	189,55	-	-	-	-	7,74	179,94	7,74	179,94
ULTRAPASSAGEM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SECO E ÚMIDO	18,68	-	-	-	-	-	15,48	-	15,48	-

Fonte: Eletropaulo 2012

<http://www.aeseletropaulo.com.br/clientes/ClientesCorporativos/informacoes/Paginas/TarifasdeEnergia.aspx>,

acessado em novembro 2012.

ANEXO – G – PREÇO DOS EQUIPAMENTOS

Preço dos Equipamentos			
	Valor R\$ unit	Qtd.	Valor Total R\$
Aquecedor de Passagem Rinnai REU	3.000	8	24.000
Aquecedor de Passagem Industrial RHT 4000	8.000	1	8.000
Reservatório com isolante de 3000L	15.000	1	17.000
Chiller de absorção de pequeno porte	25.000	4	100.000
Chiller elétrico Hitachi 205 TR	369.000	2	738.000
Chiller elétrico Hitachi 235 TR	423.000	2	846.000
Chiller elétrico Hitachi 255 TR	446.250	2	892.500
Chiller elétrico Hitachi 270 TR	526.500	2	1.053.000

Fonte: Vitalis – Equipamentos e Projetos de ar-condicionado e aquecimento de água – São Paulo - 2011

ANEXO – H – CURVA DE CARGA DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DO HOTEL

Cálculo do fator de utilização para chiller.

Horas	Consumo TRh	Fator Utilização
1	216	80%
2	162	60%
3	68	25%
4	68	25%
5	68	25%
6	176	65%
7	221	82%
8	216	80%
9	189	70%
10	81	30%
11	41	15%
12	54	20%
13	27	10%
14	27	10%
15	14	5%
16	14	5%
17	14	5%
18	122	45%
19	230	85%
20	243	90%
21	243	90%
22	243	90%
23	243	90%
24	243	90%
Fator Utilização Conf. Convencional = 50%		
Fator Utilização Conf. Proposta = 40%		