

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2012

VINICIUS RORATO DA CRUZ

“AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE MICROCOGERAÇÃO EM
DESPACHO ECONÔMICO PARA ATENDIMENTO AOS REQUISITOS
DE ETIQUETAGEM DE EDÍFÍCIOS”

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de Graduação
em Engenharia Mecânica da
Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista,
como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri

Guaratinguetá
2012

C957a	<p>Cruz, Vinicius Rorato da</p> <p>Avaliação do potencial de microcogeração em despacho econômico para atendimento aos requisitos de etiquetagem de edifícios / Vinicius Rorato da Cruz – Guaratinguetá : [s.n], 2012.</p> <p>34 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 32-34</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri</p> <p>1. Energia elétrica e calor - Cogeração 2. Refrigeração I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 536.72</p>
-------	--

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE MICROCOGERAÇÃO EM DESPACHO
ECONÔMICO PARA ATENDIMENTO AOS REQUISITOS DE
ETIQUETAGEM DE EDÍFÍCIOS**


VINICIUS RORATO DA CRUZ

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

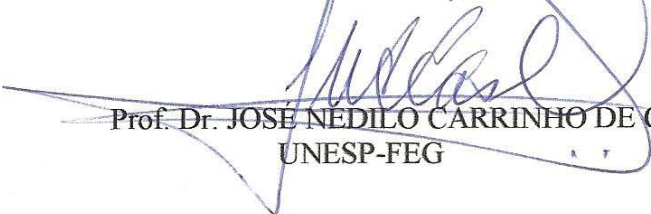
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO PERRELLA BALESTIERI
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI
UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ NEDILO CARRINHO DE CASTRO
UNESP-FEG

Dezembro de 2012

DADOS CURRICULARES

VINICIUS RORATO DA CRUZ

NASCIMENTO	12.08.1990 – GUARULHOS / SP
FILIAÇÃO	Antonio Carlos da Cruz Maria Aparecida Rorato da Cruz
2008/2012	Curso de Graduação Escola de Guaratinguetá – Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre possibilitar vida com muito amor e saúde com minha família e amigos.

Ao meu querido pai, Antonio Carlos, que sempre apoiou e apoia minhas decisões, mostrando todos os valores para me tornar uma pessoa cheia de caráter e perseverança.

À minha amada mãe, Maria Aparecida, simplesmente por fazer de sua existência meu porto seguro, que com todo seu amor e valor me fez enxergar nela uma base para prosseguir com a minha vida da melhor maneira possível.

À minha irmã, Patrícia, por sempre estar comigo e me ouvir nos momentos mais complicados que passei.

Ao meu orientador, José Antonio Perrella Balestieri, que além de ter um caráter excepcional, me orientou e incentivou com muita dedicação, mostrando não apenas os caminhos a seguir no trabalho, mas também no futuro como engenheiro.

À banca examinadora, especificamente José Alexandre Matelli e José Nedilo Carrinho de Castro por aceitarem fazer parte da mesma.

De maneira geral a FDCT, a UNESP e a todos que contribuíram para a minha formação, funcionários e professores.

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível,
e de repente você estará fazendo o impossível”.

São Francisco de Assis

CRUZ, V. R. **Avaliação do potencial de microcogeração em despacho econômico para atendimento aos requisitos de etiquetagem.** 2012. {34f.} Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

As discussões acerca da racionalização de energia vêm ganhando cada vez mais espaço no cotidiano de engenheiros e demais profissionais da área de energia. Um foco maior está sendo atrelado aos edifícios comerciais, por serem um dos grandes responsáveis pelo elevado consumo energético, principalmente pelo uso do ar condicionado para o conforto térmico das pessoas. Tal constatação levou o INMETRO a desenvolver um procedimento de etiquetagem para edificações através do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edifícios; por meio desta sistemática, classificam-se os ambientes construídos em níveis de A (melhor) a E (pior) considerando-se envoltória, sistema de iluminação e de condicionamento de ar. Um processo de bonificações baseadas em racionalização do uso de água, emprego de fontes renováveis de energia, de sistemas de cogeração ou inovações técnicas permite que a classificação seja alterada em até um nível. Um estudo realizado no edifício da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico e Científico, situado no campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, buscou identificar alternativas técnico/econômicas para a certificação da edificação, sendo que se recorreu à bonificação baseada em racionalização do uso da água. O presente estudo é baseado na análise de implantação de um sistema de cogeração composto por motor de combustão interna e um sistema de refrigeração por absorção como alternativa de bonificação, sendo para tanto analisados os custos referentes ao consumo de energia elétrica e à utilização do motor. Diante dos resultados obtidos, a viabilidade de que o prédio seja bonificado pelo INMETRO através do seu Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica em Edifícios é avaliada e a partir desse estudo concluiu-se não ser possível obter viabilidade no emprego desta tecnologia para o edifício em questão. A seleção de equipamentos comerciais de catálogo para que o projeto se aproximasse o máximo possível da condição operacional real revelou que a inviabilidade comprovada se deveu fortemente à indisponibilidade de equipamentos com capacidades condizentes com aquela representada pela edificação em estudo, e diante dessa conclusão são feitas algumas sugestões de tecnologias e de possíveis modificações para melhorar o conteúdo em trabalhos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Cogeração, Eficiência energética em edificações, Sistemas de refrigeração.

CRUZ, V. R. Evaluation of potential in micro economic dispatch to meet the requirements of labeling. {34s.} Graduation Work (Graduation in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

The discussions about the energy rationalization are gaining more and more space on the everyday of engineers and other professionals in the field of energy. A greater focus is being tied to commercial buildings, because they are one of the biggest responsible for the high energetic expenditure according to the National Energetic Balance, especially by the use of air conditioners for the people's thermal comfort. Such finding made INMETRO to develop a building labeling procedure through th National Program of Electric Energy Conservation in Buildings; by means of this systematic, the built areas are classified by levels that go from A(the best) to E(the worst), taking into account envelopment, illumination system and air conditioning. A bonus process based on water rationalization, use of renewable energy sources, cogeneration systems or technical innovations, allows the classification to be changed up to one level. A study made exactly on a commercial building, the building of Foundation for Technological and Scientific Development located inside of the College of Engineering of Guaratinguetá, sought to identify technical/economic alternatives for the building certification and appealed to the bonus based on water rationalization. The present study is based on analysis of deploying a cogeneration system formed by internal combustion engine and an absorption refrigeration system as bonus alternative, so that the costs are analyzed regarding energy consumption and use of the motor. With the calculations and results, the viability of the building to receive a bonus from INMETRO through its National Program for Energy Conservation in Buildings is studied and concluded from this study whether or not you can get a better level of energy efficiency for the building in question. A selection is made in the catalog for the project came close as possible to actual operating condition. From the results obtained, the infeasibility of the system to receive bonuses was proved and some suggestions of technologies and possible modifications to improve the content in future work.

KEYWORDS: Cogeneration, Energetic efficiency on buildings, Refrigeration systems

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Comparação entre geração convencional e distribuída.....	8
Figura 2.2 – Fluxo de energia de um ciclo (a)convencional e (b)em cogeração.....	9
Figura 2.3 – Composição setorial do consumo de eletricidade de 2010	10
Figura 2.4 – Fluxograma das etapas do RAC-C.....	18
Figura 2.5 – Perdas num motor de combustão interna	18
Figura 2.6 – Sistemas de refrigeração por compressão e absorção	20
Figura 3.1 – Esquema de cogeração para FDCT	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Eletricidade consumida por setor em GWh	11
Tabela 2.2 – Classificação geral	16
Tabela 2.3 – Especificações de alguns óleos vegetais in natura.....	22
Tabela 3.1 – Dados para a base de seleção.....	26
Tabela 3.2 – Chiller de absorção de duplo estágio Empresas Tuma modelo BE20	26
Tabela 3.3 – Valores do motor Cummins C50D6	26
Tabela 3.4 – Custo da energia elétrica comercial	28
Tabela 3.5 – Investimento inicial	28
Tabela 3.6 – Gasto anual de energia elétrica	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	- Agência Nacional de Petróleo
BEN	- Balanço Energético Nacional
COP	- Coeficiente de Performance
ENCE	- Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
FDCT	- Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico
INEE	- Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MCI	- Motor de Combustão Interna
PCI	- Poder Calorífico Inferior
PCS	- Poder Calorífico Superior
PNEf	- Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC-C	- Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-C	- Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SRA	- Sistema de Refrigeração por Absorção
SRC	- Sistema de Refrigeração por Compressão
TR	- Toneladas de Refrigeração

LISTA DE SÍMBOLOS

AC	Área de piso dos ambientes condicionados	m^2
ANC	Área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada	m^2
APT	Área de piso dos ambientes de permanência transitória, não condicionados	m^2
AU	Área útil	m^2
b	Pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1	-
C_{MS}	Custo médio do kWh para o período de seca	R\$/kWh
C_{MT}	custo médio total	
C_{MU}	custo médio do kWh para o período úmido	R\$/kWh
C_{fps}	custo do kWh para o horário fora de ponta seca	R\$/kWh
C_{fpu}	custo do kWh para o horário fora de ponta úmida	R\$/kWh
C_{ps}	custo do kWh para o horário de ponta seca	R\$/kWh
C_{pu}	custo do kWh para o horário de ponta úmida	R\$/kWh
COP_{SRA}	Coefficiente de Performance para SRA	-
COP_{SRC}	Coefficiente de Performance para SRC	-
C_{pg}	Calor específico médio dos gases	kJ/kgK
$EqNumCA$	Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar	-
$EqNumDPI$	Equivalente numérico do sistema de iluminação	-
$EqNumEnv$	Equivalente numérico da envoltória	-
$EqNumV$	Equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente	-
I	Perdas do sistema	kW
m_g	Vazão mássica de gases	kg/s
PT	Pontuação final	-
Q_{GER}	Calor fornecido no gerador do ciclo de absorção	kW
Q_L	Carga térmica a ser retirada do ambiente	kW
Q_a	Potência na água de arrefecimento	kW
Q_c	Potência da mistura combustível-ar	kW
Q_g	Potência térmica nos gases de exaustão	kW
Q_o	Potência térmica no óleo do motor	kW
Q_{rad}	Potência perdida por radiação	kW
T_{ge}	Temperatura de entrada dos gases no gerador	kW
T_{gs}	Temperatura de saída dos gases no gerador	kW
W_{CP}	Potência fornecida ao compressor	kW
W_e	Potência de eixo	kW

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	3
1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Objetivos.....	7
1.2 Justificativas	7
2 DESENVOLVIMENTO	8
2.1 Revisão Bibliográfica	11
2.2 Conceitos	14
2.3 Material.....	22
2.4 Métodos	23
3 ESTUDO DE CASO	24
3.1 Dados da FDCT	24
3.2 Esquema adotado para FDCT	24
3.3 Base para cálculos	25
3.4 Resultados e Discussões	25
4 CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, a demanda energética veio aumentando substancialmente, em parte pelo aumento do potencial das indústrias, através da implantação de novas unidades e decorrente aumento de produção. Tal crescimento no consumo energético industrial não tem apenas a influência desse setor, de modo que é possível afirmar que é decorrente de mudanças nos setores residencial e comercial.

O aumento do consumo de energia nesses dois setores implicou num uso inconsequente de recursos naturais para que fosse garantido o conforto necessário, seja ele térmico ou elétrico.

O Brasil, a partir das crises do petróleo na década de 1970, passou a adotar uma política de implantar planos relacionados ao meio ambiente e alguns exemplos desses projetos são:

- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel),
- Procel Edifica,
- Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
- Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

Segundo o INMETRO, o Procel Edifica - Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações - visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações do Brasil. Em uma de suas vertentes de ação – Subsídios à Regulamentação – são determinados os parâmetros referenciais para verificação do nível de eficiência energética de edificações.

Ainda em relação ao INMETRO, a partir desse plano de ação foram desenvolvidos os seguintes documentos: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C); o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C), ambos publicados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO); e finalmente o Manual para aplicação do RTQ-C.

1.1 Objetivos

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a implantação de um sistema de microcogeração no edifício da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FDCT – localizado no campus da UNESP em Guaratinguetá, com a utilização de um motor de combustão interna em conjunto com um sistema de refrigeração por absorção, visando a partir dos resultados obtidos na análise determinar se o sistema atende aos requisitos descritos no RTQ-C para que seja contemplado com uma bonificação.

1.2 Justificativas

Em recente estudo, Ruzene (2011) aplicou a metodologia descrita no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) do INMETRO à edificação da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FDCT), uma entidade de direito privado situada no Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista (UNESP) para o apoio às atividades de extensão desenvolvidas na Faculdade de Engenharia. Em busca de melhor classificação da edificação, uma bonificação foi alcançada com um estudo de aproveitamento de água de chuva e de reuso; entretanto, a alternativa de microcogeração não foi contemplada e é nesse contexto que se insere o atual trabalho.

O trabalho visa analisar a possibilidade de se implantar as técnicas da microcogeração a fim de conseguir bonificações na etiquetagem predial, para que assim a edificação alinhe o conceito de sustentabilidade com o momento que o mundo vive atualmente.

2 DESENVOLVIMENTO

Antes de dar início à revisão da literatura, é interessante ressaltar alguns conceitos que serão de fundamental importância para o entendimento do assunto abordado.

O INEE (Instituto Nacional de Eficiência Energética) é uma organização sem fins lucrativos que tem por objetivo promover o aumento da eficiência na utilização de energia. De acordo com INEE (s/d), por volta da década de 1940, a geração de energia para a indústria era quase que obrigatoriamente local, ou seja, o mais próximo possível de onde a eletricidade seria usufruída. A esse tipo de geração local deu-se o nome de geração distribuída. A figura 2.1 ilustra de forma visível a diferença entre a geração convencional e a distribuída.

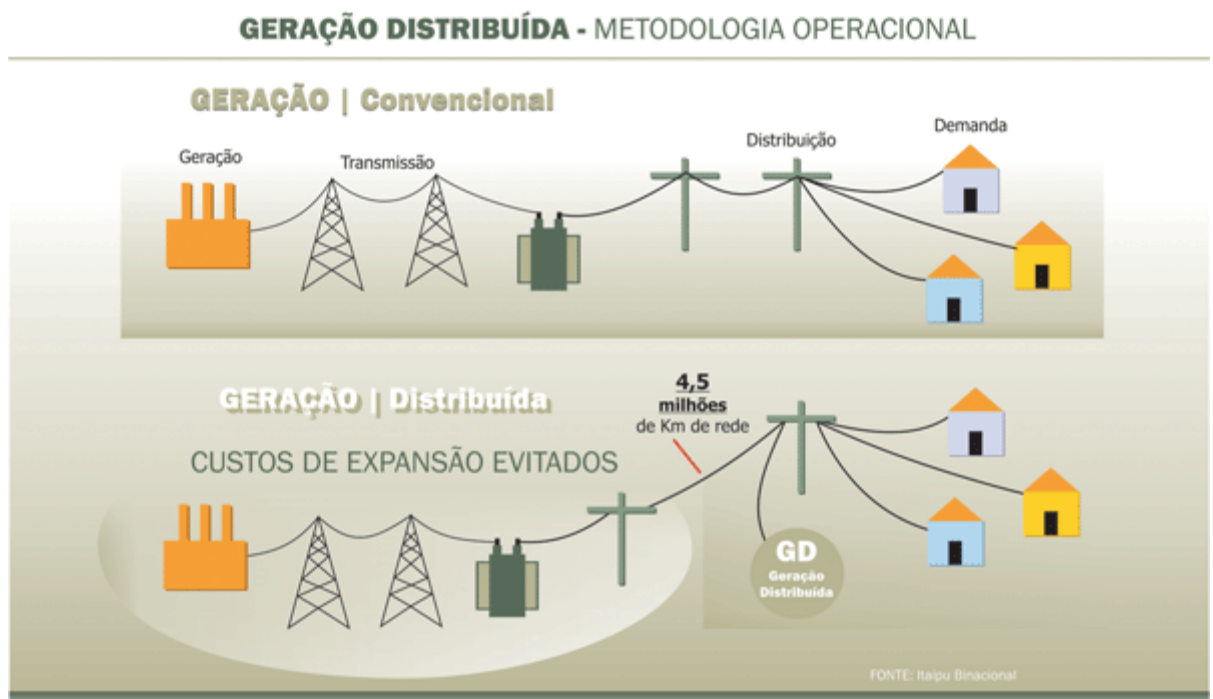


Figura 2.1 – Comparação entre geração convencional e distribuída (Itaipu Binacional, s/d)

Como é possível perceber, a geração distribuída é capaz de evitar alguns custos com a distribuição e transmissão da energia, sejam eles custos iniciais ou de perdas na operação.

Um sistema de geração distribuída, independente de sua capacidade, fonte de energia ou tecnologia, pode estar diretamente relacionado com outro tópico que será abordado nesse trabalho: a cogeração.

Em seu trabalho, Ruan et al (2005) expõem que a cogeração é um meio eficiente para gerar eletricidade e energia térmica a partir de um único combustível. Essa técnica é

responsável por evitar o desperdício de grande parte da energia do combustível, ainda mais quando a tecnologia utilizada para geração é o motor de combustão interna, uma máquina com altos valores de perdas térmicas. O calor recuperado pode ser usado tanto para o resfriamento de um ambiente quanto para o aquecimento de algum processo ou ambiente também. Ao reciclar essa energia que seria então desperdiçada no ambiente, o ciclo em cogeração é capaz de atingir eficiências termodinâmicas da ordem de 40 a 70%, representando uma melhora significativa quando comparado com os 35% de eficiência termodinâmica de um ciclo convencional.

Nesse âmbito de cogeração, Balestieri (2002) complementa que a mesma seria, portanto, o aproveitamento da parcela de energia que seria perdida devido à existência da Segunda Lei da Termodinâmica. A figura 2.2 retrata de forma visual as diferenças nos fluxos de energia de um sistema convencional e de um sistema em cogeração.

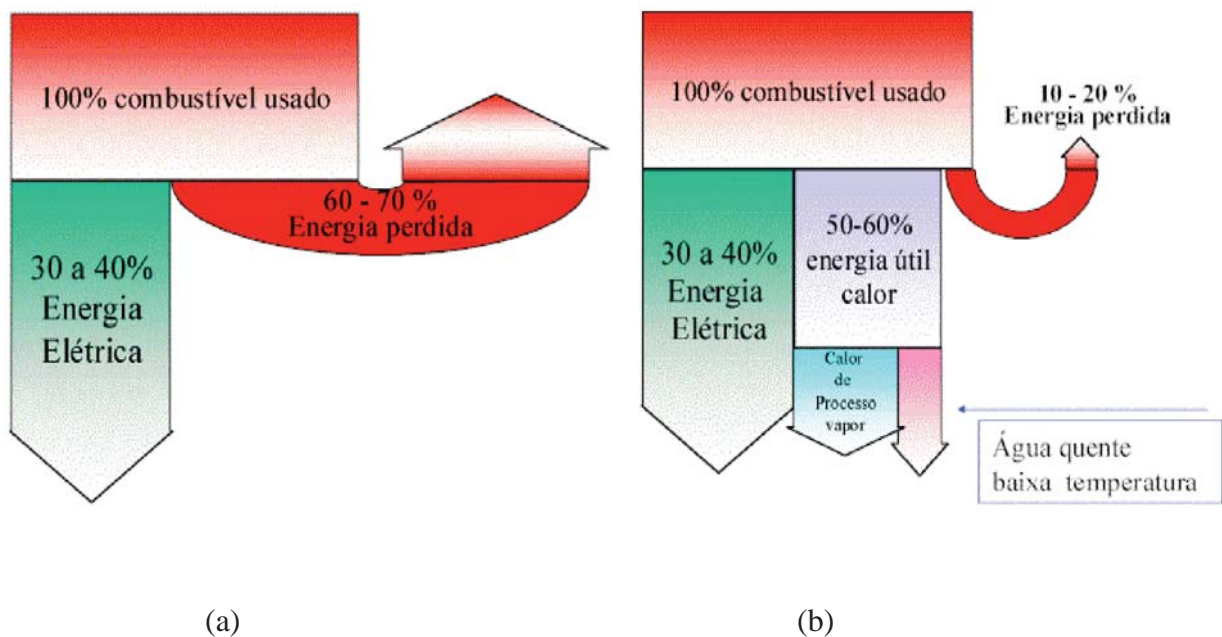


Figura 2.2 – Fluxo de energia de um ciclo (a) convencional (b) em cogeração (INEE, s/d)

A partir da figura 2.2 é possível visualizar que quando um sistema convencional de geração de energia é utilizado, ou seja, a máquina envolvida tem apenas o propósito de gerar energia elétrica, a percentagem de energia perdida para o ambiente atinge até 70% do que é armazenado no combustível. Por outro lado, quando um sistema de cogeração é implantado, essa energia perdida tem sua percentagem reduzida para 20 %, de modo que os outros 50% que antes eram perdidos agora são aproveitados em processos diversos.

Um ponto importante ressaltado por Balestieri (2002) é que a cogeração é uma tecnologia que pode ser utilizada em qualquer setor presente no país, seja ele industrial ou

então como no caso estudado no presente trabalho, setor terciário, englobando toda parte referente às instalações prediais.

A problemática encontrada nas edificações é devido ao grande aporte de energia utilizada para manter o conforto das pessoas e, de acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), esse conforto é dado a partir de variáveis térmicas, visuais, acústicas e de qualidade do ar, de forma que é dever do projetista do prédio encontrar meios para o mesmo prédio ter conforto e ser sustentável.

Observa-se na Figura 2.3 como a energia elétrica é gasta de acordo com cada setor a partir de uma análise realizada pelo Balanço Energético Nacional (BEN 2011).

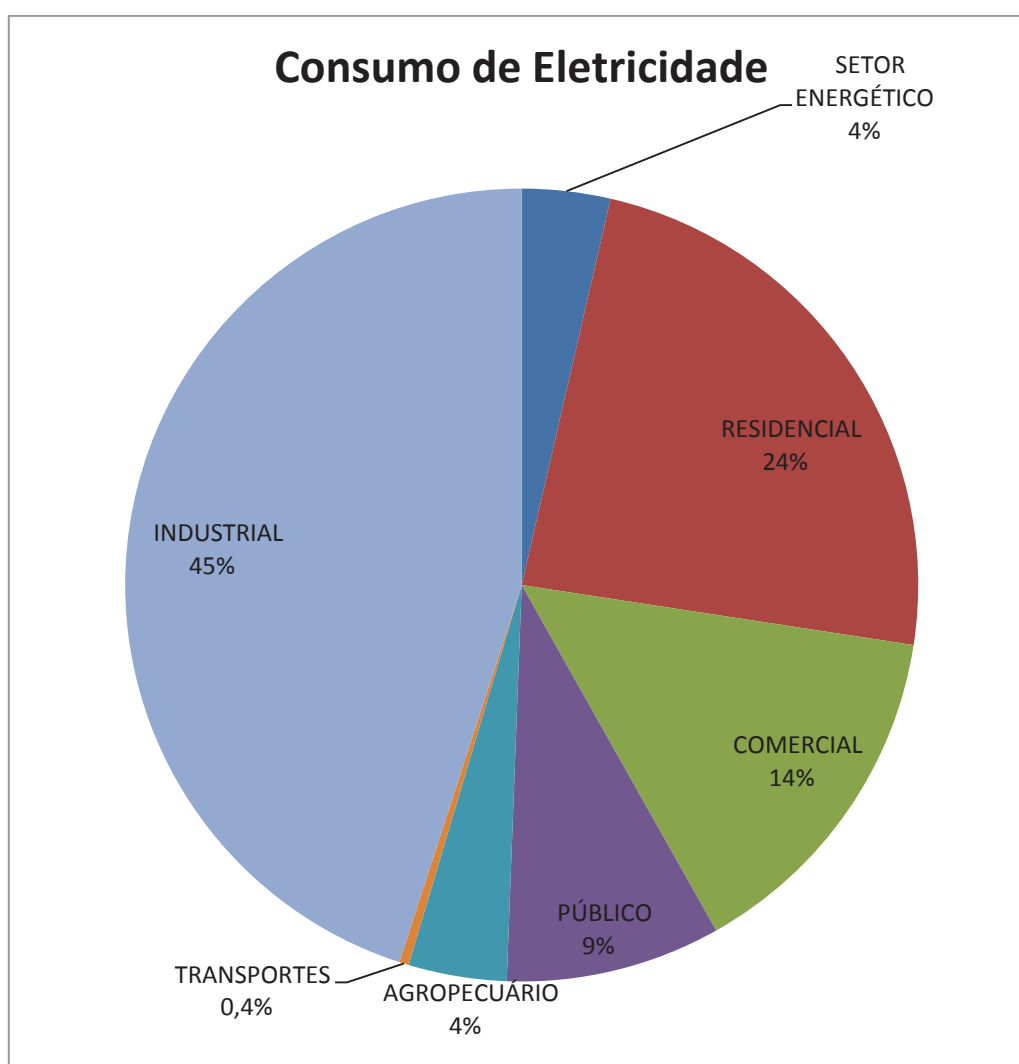


Figura 2.3 – Composição Setorial do Consumo de Eletricidade de 2010 (BEN, 2011)

Como é possível visualizar, a fatia total de gasto com eletricidade em edificações pode chegar até um percentual máximo de 47% se somadas às partes residenciais, comerciais e

públicas, ou seja, quase metade do gasto com eletricidade no país provém de edificações, o que mostra a importância que o ramo da sustentabilidade vem ganhando ao longo dos anos.

A tabela 2.1, referente aos valores em GWh consumidos desde a década de 1970.

Tabela 2.1 – Eletricidade consumida por setor em GWh (BEN 2011)

	1970	1980	1990	2000	2010
PRODUÇÃO	45.742	139.382	222.820	348.909	509.223
IMPORTAÇÃO	0	0	26.545	44.345	35.906
EXPORTAÇÃO	-20	-213	-7	-7	-1.257
CONSUMO TOTAL	39.668	122.705	217.657	331.638	455.660
SETOR ENERGÉTICO	2.080	4.171	6.837	10.479	21.517
RESIDENCIAL	8.365	23.263	48.666	83.613	108.457
COMERCIAL	5.158	13.804	23.822	47.510	68.192
PÚBLICO	3.565	10.386	18.133	29.200	37.016
AGROPECUÁRIO	317	2.038	6.666	12.856	17.572
TRANSPORTES	648	823	1.194	1.250	1.662
INDÚSTRIA	19.535	68.220	112.339	146.730	201.243

A partir da tabela 2.1 pode-se observar o aumento do consumo de energia elétrica pelo qual o país está passando e, com o padrão observado, esse número tende a aumentar cada vez mais. Vale ressaltar que de 1970 até os dias de hoje o consumo em todos os setores aumentaram no mínimo 10 vezes.

2.1 Revisão da Bibliografia

A questão energética é um assunto que tem despertado interesse mundial, uma vez que o emprego de fontes combustíveis de origem fóssil representa a geração de diversos passivos ambientais.

A revisão bibliográfica a seguir apresentada busca retratar a questão da energia no país e no mundo. De acordo com Da Mata (2008), o mercado interno de consumo energético do país está em constante crescimento, de modo que o antigo modelo seguido – o de combustível apenas para gerar eletricidade – já não será capaz de atender a todas as necessidades com a

devida confiabilidade, fato que dá então um espaço cada vez mais visível para práticas alternativas de geração elétrica.

Nesse contexto de crescimento da demanda e ao mesmo tempo preocupação ambiental é que entra a cogeração. A opção de aplicar tais conceitos só será escolhida caso haja alguma vantagem econômica para o usuário, o que deve ser analisada, segundo Huamini e Orlando (2006), com base em métodos econômicos e a partir das necessidades prediais, como as demandas elétricas e cargas térmicas.

Em Aussant et al. (2009) foram realizados estudos mais específicos e pertinentes ao contexto, pois foram realizadas análises comparativas da aplicação residencial de um ciclo de cogeração com motor de combustão interna no Canadá, em contrapartida com um ciclo convencional, apenas com queima de combustível para obtenção direta de água quente. Através de simulações em um programa de computador foi possível determinar as demandas térmicas e elétricas para os dois meios de obtenção de energia e concluiu-se que o sistema de cogeração tem sua viabilidade dependente do combustível utilizado e do preço da energia elétrica no país.

Em trabalho de Onovwiona, Ugursal e Fung (2006), é ressaltado que a eficiência termodinâmica de um ciclo em cogeração em comparação a um convencional atinge valores muito mais expressivos, de forma que para cogeração chega a 80% ou mais ao considerar a participação da energia térmica descartada dos ciclos térmicos convencionais; para os sistemas convencionais a eficiência termodinâmica encontra-se na faixa de 30-35%, o que no decorrer do tempo traz diminuição do desperdício de energia e, conseqüentemente, redução de custo e impactos ambientais.

Um dos tópicos mais abordados em países tropicais é a utilização da cogeração como meio de gerar tanto a energia elétrica quando a demanda térmica necessária para ativar um sistema de refrigeração.

Em Khan e Rasul (2002), a ideia de cogeração em prédios cresceu rapidamente após a introdução dos sistemas de refrigeração por absorção de duplo efeito. Numa instalação comercial em ciclo de compressão a vapor, o sistema de refrigeração que proporciona conforto para as pessoas é o responsável pela maior parte do gasto com eletricidade, de modo que com a inserção da cogeração é possível reduzir o pico de energia nas instalações.

Não é de agora que existem códigos e leis para incentivar a sustentabilidade em instalações prediais, a fim de criar os chamados *green buildings*, ou prédios verdes, pois estão ligados com a redução dos impactos ambientais ao redor do mundo.

No trabalho de Ortiz et al. (2010) é discutido que a promoção da eficiência energética é uma das principais metas da política energética no cenário atual, de modo que a maioria das nações desenvolvidas hoje em dia vem criando uma política muito forte acerca do assunto, apoiada por uma gama de leis, códigos, estratégias, regulamentações e meios de certificação.

O setor predial, seja ele comercial ou residencial, ocupa por volta de um terço do uso final global da energia elétrica, dado extremamente relevante uma vez que a tendência é que as cidades cresçam cada vez mais nos próximos anos, e esse consumo acentuado se dá principalmente devido ao design e construção do edifício. Diante disso, os certificados e leis se tornam relevantes na construção de uma nova estrutura, pois são responsáveis por ditar os requisitos mínimos para que o edifício seja considerado sustentável e que também seja possível realizar comparações entre os mesmos.

Ainda em Ortiz et al. (2010) é apresentado que esses códigos relacionados à sustentabilidade predial é algo que vem sendo trabalhado desde 1970, logo após a crise do petróleo, pois os governos perceberam que a ameaça de cessar as principais fontes de energia era pretexto suficiente para que começasse a pensar em evitar o desperdício de energia.

No Brasil, a crise do petróleo também despertou o interesse para a questão de utilizar melhor os recursos disponíveis. No final de 1975 foi criado o Pró-Álcool, programa que visava estimular a produção do etanol no país para atender o mercado interno e externo da política automotiva da época.

Já faz certo tempo que a eficiência energética vem sendo colocada em pauta nas discussões mundiais, pois de acordo com Balestieri (2002), foi na década de 1970, em decorrência das duas crises do petróleo, que o mundo realmente acordou para o fato de que os recursos naturais são finitos, o que antes não passava de um fato não concebido como possível, ou ao menos pouco considerado seriamente.

Com o problema exposto, e a partir do momento em que se tornou imperiosa a necessidade de buscar soluções, o mundo começou a se preocupar com a questão de desenvolvimento sustentável para um futuro melhor.

De acordo com Balestieri (2002), o Brasil iniciou seus programas de incentivo à redução da demanda de energéticos em momento defasado dos demais países, quando então foi lançado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), em 1985, que visava diminuir o desperdício de energia elétrica e aprimorar a eficiência na geração da mesma, com o slogan “Energia é dinheiro, não desperdice”.

Na sequência desse ambiente de racionalização, outros programas foram estabelecidos, entre eles o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás

Natural, o qual incentivava o uso mais eficiente de recursos não renováveis em diversos setores do país, e também o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, responsável por regulamentar a produção e distribuição do biodiesel no país.

Diante dos diversos avanços na redução dos gastos e demanda de energia elétrica, um novo segmento vem ganhando espaço cada vez maior no dia a dia de engenheiros e responsáveis pela energia do país: a sustentabilidade em edificações.

No âmbito do setor elétrico, esse ramo da eficiência é regido pelo Procel Edifica, programa executado pela Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras), que foca sua atenção no quesito eficiência em edificações.

A fim de incentivar e implantar o uso eficiente da energia foi estabelecida a lei nº10.295, de 17 de Outubro de 2001, a qual dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A partir dessa lei foi estabelecido então o programa de etiquetagem predial, a fim de ranquear as instalações de acordo com sua afinidade com o desenvolvimento sustentável.

Para que um edifício ostente a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), ele deve passar por um regulamento conhecido como Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), o qual tem por objetivo criar as condições necessárias para que um prédio possa ser julgado do ponto de vista energético e receba sua devida etiqueta. A classificação é feita em cinco níveis: A (mais eficiente) até E (menos eficiente).

2.2 Conceitos

Para dar continuidade ao trabalho, é necessário um entendimento maior acerca do regulamento que fornecerá a etiqueta ao edifício comercial, ou seja, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

De acordo com esse regulamento, o qual foi oficializado pela Portaria n.º 163, de 08 de Junho de 2009, o objetivo principal do programa de etiquetagem brasileiro é criar as condições necessárias para que edifícios comerciais, públicos ou de serviços possam ser avaliados de modo consistente acerca de sua eficiência energética.

A fim de incentivar e implantar o uso eficiente da energia foi criada a lei nº10.295, de 17 de Outubro de 2001, a qual dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A partir dessa lei foi estabelecido então o programa de etiquetagem

predial, a fim de ranquear as instalações de acordo com sua afinidade com o desenvolvimento sustentável.

Para que um edifício ostente a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), ele deve passar por um regulamento conhecido como Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), o qual tem por objetivo criar as condições necessárias para que um prédio possa ser julgado do ponto de vista energético e receba sua devida etiqueta. Esse regulamento é responsável por especificar requisitos técnicos e métodos para classificação quanto à eficiência energética

O RTQ-C faz suas especificações baseadas em 3 requisitos são eles: envoltória, sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar.

A classificação é realizada através de níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) até E (menos eficiente). Os requisitos acima citados são avaliados na edificação de acordo com o peso que oferecem ao resultado final, que no caso é distribuído da seguinte forma:

- Envoltória: 30%;
- Sistema de Iluminação: 30%;
- Sistema de condicionamento de ar: 40%

Para que se obtenha um veredito final sobre a pontuação e o nível que o prédio atinge, o regulamento segue uma fórmula, a qual é apresentada na equação 1.

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 \cdot (EqNumDPI) + 0,40 \cdot \left\{ \left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b \cdot \frac{1}{0}$$

Sendo:

PT = pontuação final;

EqNumEnv = equivalente numérico da envoltória;

AC = área de piso dos ambientes condicionados;

AU = área útil;

APT = área de piso dos ambientes de permanência transitória, não condicionados;

ANC = área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;

EqNumV = equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

EqNumDPI = equivalente numérico do sistema de iluminação;

EqNumCA = equivalente numérico;

b = pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1

Uma vez realizados os cálculos referentes à pontuação final do edifício, o nível referente à classificação é estabelecido conforme a tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Classificação geral

PT	Classificação Final
$\geq 4,5$ a $5,0$	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

O regulamento oferece a possibilidade de o prédio receber bonificações de acordo com alguns pré-requisitos por ele estabelecidos. De acordo com o RTQ-C, para que um prédio esteja apto para receber sua bonificação ele dispõe de quatro meios para obtê-la e suas respectivas metas a serem cumpridas:

- Racionalizar uso de água: 20% economia no consumo anual
- Sistemas ou fontes renováveis de energia
- Sistemas de cogeração: 30% economia no consumo anual
- Inovações técnicas: 30% economia no consumo anual

Ainda nesse âmbito da etiquetagem também deve-se conhecer os Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Público, ou então RAC-C.

Como foi dito anteriormente o RTQ-C estabelece a direção a ser tomada para o edifício se tornar sustentável, porém após o proprietário seguir esse regulamento ele precisa fazer com que o seu trabalho seja avaliado a fim de finalmente obter a etiqueta. É nessa hora que o RAC-C entra no trabalho, pois ele é o responsável por estabelecer os critérios necessários para avaliar os edifícios através dos mecanismos e etiquetagem e inspeção.

Essa avaliação é realizada pelo Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), o qual pode ser uma pessoa jurídica, de direito público ou privado, que tem o reconhecimento formal da

Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO quanto à sua capacidade de conduzir a avaliação do projeto ou edifício.

A avaliação é dividida em 4 etapas, ilustradas na Figura 2.4:

- 1ª Etapa: solicitação de início de processo
 - O proprietário deve encaminhar uma solicitação formal ao OIA contendo todos os documentos solicitados nos anexos do texto;
- 2ª Etapa: análise da solicitação e documentação
 - O OIA realiza uma análise da pertinência da solicitação e avalia a documentação enviada quanto à completeza e teor das informações disponibilizadas;
- 3ª Etapa: avaliação do projeto
 - Avaliação do nível de eficiência energética do edifício na fase de projeto;
- 4ª Etapa: avaliação do edifício
 - Solicitação da ENCE do edifício construído, etapa na qual o OIA agenda uma visita *in loco* para verificar a classificação.

Para o presente trabalho, é proposto estudar um sistema de cogeração composto por motor de combustão interna a partir de biodiesel e sistema de resfriamento (seja absorção ou compressão) operando juntos para atingir as necessidades do edifício.

Quando a cogeração é aplicada em uma escala menor, seja em edifícios comerciais ou residenciais, ela é chamada de microcogeração e já é amplamente utilizada na América do Norte, Europa e Japão. De acordo com Onovwiona, Ugursal e Fung (2006), essa técnica ganhou uma aceitação tão forte que nos Estados Unidos foi criado em 2003 um roteiro para esse tipo de cogeração.

A cogeração pode ser realizada com diferentes máquinas térmicas disponíveis no mercado, porém, nesse texto será discutida apenas a utilização de uma máquina convencional, o motor de combustão interna.

De acordo com Lora e Nascimento (2004), os motores de combustão interna foram desenvolvidos por volta de 1800 e desde então vêm sendo a máquina mais difundida dentre as tecnologias existentes devido à sua simplicidade, robustez e boa relação potência/peso. Porém, esse tipo de máquina sozinha atinge rendimentos baixos, da ordem de 25 a 35%, podendo ser maior dependendo do seu tamanho, de modo que oferecem muitas perdas ao

longo de uso, o que justifica a constante utilização dele para a cogeração. Uma representação de um motor de combustão interna pode ser exemplificada a seguir na figura 2.5.

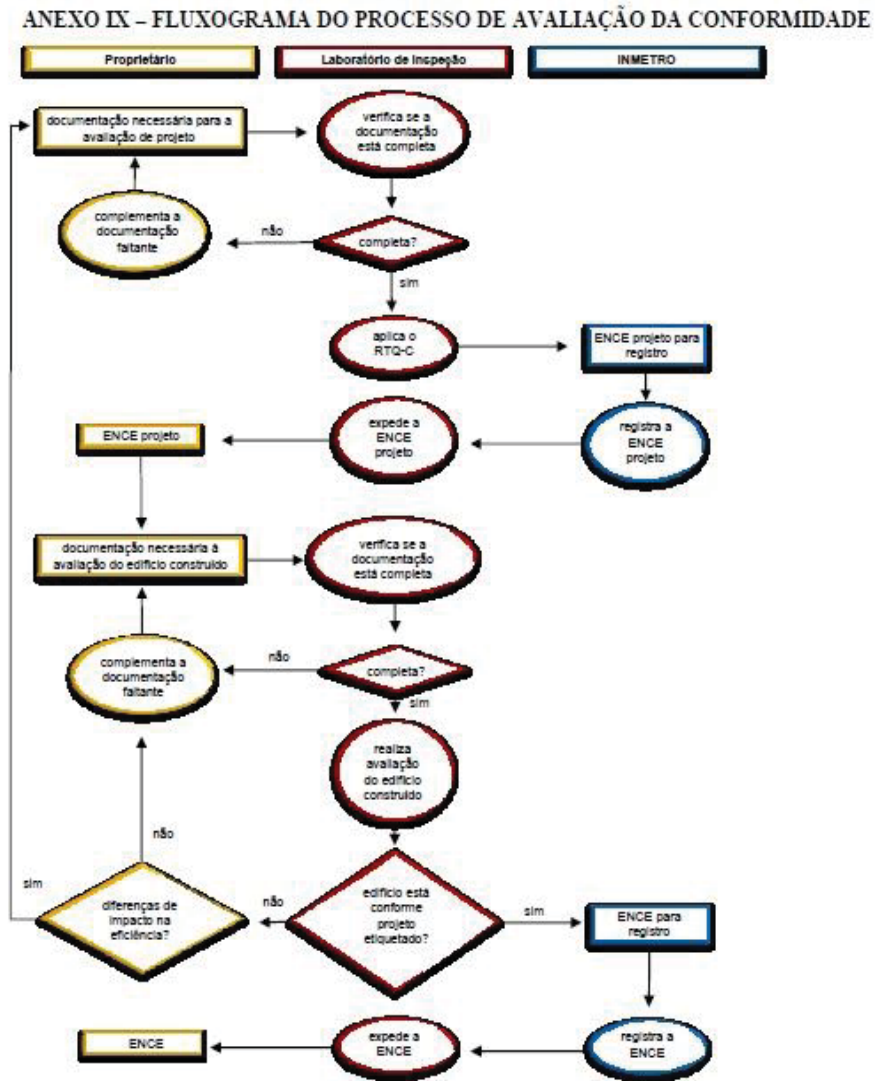


Figura 2.4 – Fluxograma das etapas do RAC-C

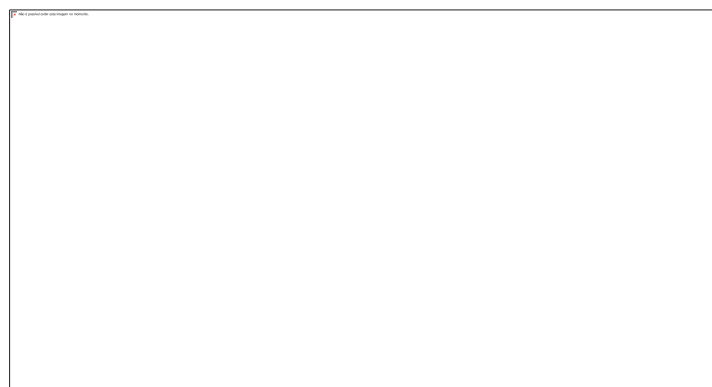


Figura 2.5 – Perdas num motor de combustão interna (autoria própria)

Como é possível perceber, num motor de combustão interna há diversas perdas de energia útil até que a potência de eixo seja aproveitada de modo que se aplicado um balanço de energia temos a equação (2).

$$Q_c = W_e + Q_g + Q_a + Q_o + Q_{rad} + I \quad (2)$$

sendo:

Q_c = potência da mistura combustível-ar, em kW;

W_e = potência de eixo, em kW;

Q_g = potência nos gases de exaustão, em kW;

Q_a = potência na água de arrefecimento, em kW;

Q_o = potência no óleo do motor, em kW;

Q_{rad} = potência perdida por radiação, em kW;

I = Perdas não mensuráveis do sistema, em kW.

Além do conhecimento de um motor de combustão interna, tem-se que citar os sistemas de resfriamento, importantes conhecidos das tecnologias de refrigeração. Existem dois tipos principais de ciclos para refrigeração comercialmente disponíveis no mercado: o sistema de refrigeração por compressão (SRC) e o sistema de refrigeração por absorção (SRA).

No SRC, tem-se o acionamento por potência mecânica ou elétrica, de forma que é o maior responsável pelo consumo de energia em prédios comerciais, o que força os engenheiros envolvidos em tais construções a buscarem alternativas cada vez mais compatíveis com o meio ambiente.

É nesse cenário que o SRA é inserido, pois não depende diretamente da energia elétrica para o seu funcionamento, razão pela qual pode ser acoplado num sistema de cogeração. Esses sistemas são muito semelhantes aos de compressão, de modo que ambos têm evaporador, condensador e válvula de expansão. Sua diferença reside no fato de que no sistema de compressão há um compressor para elevar a pressão do gás de refrigeração e no sistema por absorção esse compressor é substituído por um gerador, um absorvedor e uma bomba de solução (pelo fato de o líquido refrigerante ser uma mistura binária).

A figura 2.6 ilustra a composição desses dois sistemas de refrigeração.

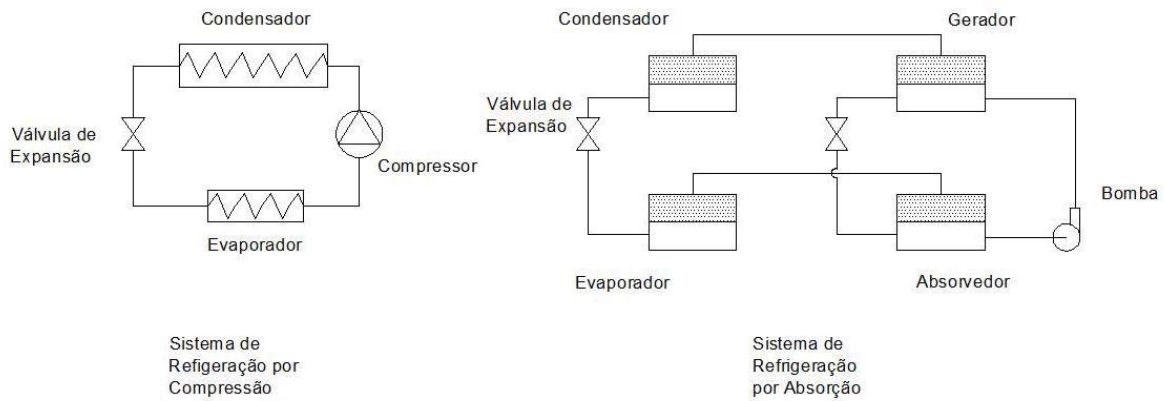


Figura 2.6 – Sistemas de refrigeração por compressão e absorção

No sistema por compressão o fluido passa pelo compressor e tem sua pressão elevada para chegar ao condensador, onde perde calor para o ambiente. Na válvula de expansão sua pressão diminui, transformando o refrigerante numa mistura binária e esse passa finalmente pelo evaporador onde absorve o calor do ambiente de modo a resfriá-lo.

Nos ciclos de refrigeração, o rendimento é fornecido pelo coeficiente de performance, ou apenas COP. No ciclo por compressão esse valor é obtido através da equação (3).

$$COP_{SRC} = \frac{Q_L}{W_{CP}} \quad (3)$$

sendo:

COP_{SRC} = coeficiente de performance;

Q_L = calor cedido pelo condensador, em kW;

W_{CP} = potência fornecida ao compressor, em kW

Num ciclo por compressão, o valor do COP pode chegar de 1,5 a 5,0. Os sistemas de refrigeração por absorção também têm o seu coeficiente para análise da eficiência do ciclo, sob o mesmo nome de COP, dado pela equação (4).

$$COP_{SRA} = \frac{Q_L}{Q_{GER}} \quad (4)$$

sendo:

COP_{SRA} = coeficiente de performance;

Q_L = carga térmica a ser retirada do ambiente, em kW;

Q_{GER} = calor fornecido no gerador do ciclo de absorção, em kW

Nesse sistema, o COP pode chegar a apresentar valores menores do que 1, o que é o mais comum para os ciclos de simples efeito, ou seja, um gerador, um evaporador, um absorvedor e um condensador.

Segundo Lora e Nascimento (2004), no gerador o calor é fornecido à mistura binária, o que leva à separação do refrigerante da substância absorvente. Esse calor pode ser fornecido de diversas formas para a mistura, das quais as mais importantes são: chama direta, fornecimento de vapor, água quente e gases de exaustão.

Para o estudo realizado é importante realizar o balanço de massa no SRA a partir dos gases de exaustão, de modo que o fornecimento do calor se dá através da equação (5).

$$Q_{GER} = m_g \cdot Cp_g \cdot (Tg_e - Tg_s) \quad (5)$$

sendo:

Q_{GER} = calor fornecido no gerador do ciclo de absorção, em kW;

m_g = vazão mássica de gases, em kg/s;

Cp_g = calor específico médio dos gases, em KJ/kgK;

Tg_e = temperatura de entrada dos gases no gerador, em °C;

Tg_s = temperatura de saída dos gases no gerador, em °C

Com relação ao combustível utilizado no motor em estudo, o óleo diesel é um produto de origem fóssil, que vem tendo na mistura com biodiesel, um derivado de biomassa renovável, entre elas óleos vegetais, mamona e gordura animal, dentre outros, uma possível fonte de melhoria na condição de sustentabilidade do produto.

Atualmente, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo (ANP), o diesel distribuído no país já contém 5% de biodiesel em sua fórmula em função da Resolução nº6/2009, de 26 de Outubro de 2009.

Além de propiciar um desenvolvimento sustentável sob aspectos ambientais, econômicos e sociais, o biodiesel ainda movimentava o mercado interno brasileiro, que passa a ser dessa forma cada vez mais independente da importação do diesel e força de uma forma sadia as economias locais e regionais, o que gera emprego e melhoria das condições para diversas famílias brasileiras.

O biodiesel propriamente puro ainda não é comercializado e está em fase de estudo, de modo que as misturas diesel e biodiesel são mais usualmente encontradas nas formas B5 e B20, ou seja, 5 e 20% de biodiesel no diesel, respectivamente.

No trabalho de Zagonel et al.(1999) há um levantamento das características do biodiesel de acordo com a fonte de extração vegetal, de modo que seus resultados são apresentados na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Especificações de alguns óleos vegetais in natura

Características	Tipos de Óleo					
	mamona	babaçu	dendê	soja	pequi	óleo diesel
Poder Calorífico (kcal/kg)	8913	9049	8946	9421	9330	10950
Densidade a 25°C	0,9578	0,9153	0,9118	nd	0,9102	0,8497
Viscosidade a 37,8°C(cSt)	285	30,3	36,8	36,8	47,0	2,0-4,3

Os custos são baseados no óleo diesel S-5, comumente encontrado nos postos, cujo valor médio adotado refere-se à cidade de Guaratinguetá.

2.3 Material

A realização desse estudo é baseada no prédio da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FDCT, que se trata de uma empresa de direito privado, sem fins lucrativos, instituída em 09 de junho de 1989 por docentes da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Ela colabora com programas de extensão universitária, através de consultoria, desenvolvimento de projetos, oferecimento de cursos de especialização, visando à difusão do conhecimento científico e tecnológico.

De acordo com pesquisa de campo realizada por Ruzene (2011), o prédio da FDCT possui uma área total construída de 111,75 m², composto pelos seguintes espaços:

- Sanitários;
- Escritório;
- Auditório;
- Copa;
- *Hall*

Com os dados retirados de Ruzene (2011), o prédio em questão tem a demanda elétrica de 6 kW total, de modo que esse valor serve como referência para especificar o motor de combustão interna mais apropriado para suprir tal necessidade.

A FDCT tem em sua instalação dois aparelhos de ar-condicionado tipo Split, localizados no auditório e no escritório. De acordo com os cálculos em Ruzene (2011), esse sistema de ar-condicionado precisa retirar do auditório e do escritório, 6.366,43 W e 2.187,47 W, respectivamente. Esses valores se tornam, então, a referência para a seleção de um *chiller* de absorção.

2.4 Métodos

A partir dos dados obtidos do trabalho de Ruzene (2011) com relação ao prédio da FDCT em Guaratinguetá, o estudo é realizado através de balanços de massa e energia aplicados a todos os equipamentos que venham a ser exigidos no projeto. A partir dessa análise dos dados já adquiridos, propõe-se realizar a seleção de equipamentos disponíveis no mercado e estimar preços para o estudo como um todo, a fim de concluir acerca da viabilidade ou não da bonificação por parte do sistema de certificação de edificações do INMETRO para etiquetagem predial.

3 ESTUDO DE CASO

Nesse t3pico s3o apresentados os dados do objeto de an3lise e os resultados obtidos atrav3s das t3cnicas utilizadas para os c3lculos do sistema.

3.1 Dados da FDCT

A necessidade energ3tica do pr3dio da FDCT foi obtida a partir de uma medi3o direta na pr3pria instala3o, ou seja, foi feito um acompanhamento por um per3odo pr3-estabelecido das cabinas prim3rias do local em estudo a fim de se obter informa3es precisas sobre o consumo di3rio de energia (RUZENE, 2011).

A partir dos dados obtidos com esse levantamento, chegou-se 3 conclus3o de que o pico de demanda exigido pela instala3o atinge o valor de 6 kW, ou seja, o pr3dio necessita diariamente que a concession3ria local de energia entregue esse valor para que todos os equipamentos com consumo el3trico existentes no interior do pr3dio sejam utilizados da forma requerida, desde equipamentos de ar condicionado at3 a ilumina3o das salas. Esse consumo 3 dividido de modo que para suprir a demanda t3rmica tem-se o valor de 3,7 kW, referentes 3 pot3ncia solicitada pelos dois aparelhos de ar condicionado j3 instalados no pr3dio, restando portanto, 2,3 kW referentes 3 demanda exigida por ilumina3o e outras fontes que necessitam de eletricidade.

3.2 Esquema adotado para a FDCT

A figura 3.1 ilustra de forma simplificada qual ser3 o modelo adotado para aplica3o da microgera3o nesse estudo de caso.

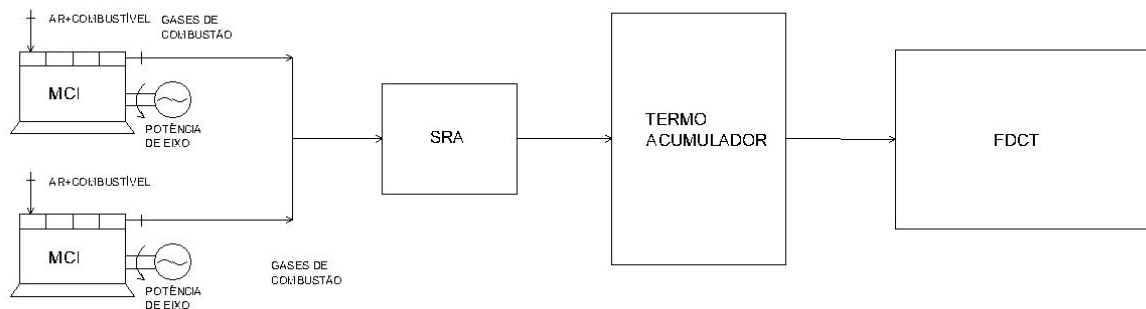


Figura 3.1 – Esquema de cogera3o para FDCT (Autoria pr3pria)

3.3 Base para os cálculos

A partir das necessidades requeridas pelo bloco da FDCT em questão, constatou-se que os valores são muito pequenos, de modo que foi necessário estudar uma alternativa diferente para suprir essa baixa demanda e mesmo assim utilizar as máquinas selecionadas com sua capacidade otimizada.

A idéia proposta para esse caso foi então a utilização também de um termoacumulador, para que uma grande quantidade de água possa ser gerada a partir de um *chiller* com capacidade relativamente grande quando comparado à demanda diária do prédio analisado.

3.4 Resultados e discussões

Para dar continuidade no trabalho foi dada preferência para a paridade térmica do prédio da fundação. Essa opção é escolhida pela própria demanda da Fundação, pois se trata de valores muito pequenos, o que diminui bastante a disponibilidade comercial de equipamentos com características de potência tão baixas.

A busca por equipamentos que suprissem exatamente os valores de carga térmica da edificação se tornou bastante difícil como já era previsto, sendo que outras alternativas deveriam ser estudadas. Outra possibilidade de estrutura operacional para uma unidade de cogeração seria o despacho térmico, que consiste em colocar o sistema em operação em horas específicas do dia nas quais a geração distribuída de energia se revela mais atrativo do ponto de vista econômico.

A alternativa escolhida foi então trabalhar com um *chiller* de absorção que fosse ligado apenas uma vez durante a semana e, juntamente com um acumulador de água fria, fosse capaz de manter o ambiente da FDCT refrigerado durante a semana, sem a necessidade de utilizar energia elétrica para o ar condicionado.

Desse modo, os valores necessários para se basear na hora de selecionar equipamentos são apresentados na tabela 3.1. Diante dessa solução e depois de um tempo na procura de algum equipamento que atendesse as necessidades, foi encontrado um *chiller* de absorção da marca Empresas Tuma que apresenta as características descritas na tabela 3.2.

Tabela 3.1 – Dados para base de seleção

Demanda (TR)	2,5
Período de funcionamento	08:00 – 23:00 (15 horas)
Demanda diária (TRh/dia)	37,5

Tabela 3.2 – *Chiller* de absorção de duplo estágio Empresas Tuma modelo BE20

Capacidade de resfriamento (kW/TR)	233/67
COP	1,4
Calor de geração (kW)	167,3
Temperatura de entrada dos gases (°C)	500
Temperatura de saída dos gases (°C)	130

Com a escolha de tal *chiller* era necessário também fazer os cálculos de quanto tempo ele ficaria ligado e por quantos dias seria estocada a água fria por ele gerada. Dessa forma, optou-se por deixá-lo ligado durante 3 horas no início da semana (segunda-feira de manhã), pois assim ele fornecerá uma capacidade diária de 201 TRh, a qual é 5 vezes maior do que a requerida pelo prédio da FDCT, ou seja, essa geração é capaz de atender o sistema de resfriamento do prédio por 5 dias sem que a máquina seja ligada novamente.

Escolhido o *chiller*, a necessidade maior era encontrar um motor de combustão interna que suprisse a necessidade do calor necessário nos gases de combustão para que o sistema de refrigeração fosse acionado corretamente e ao mesmo tempo fornecesse energia elétrica para o bloco. Através de pesquisa de fornecedores foi definida a empresa Cummins Power, para a qual se optou por um modelo de motor robusto, o Cummins C50D6, com as características principais indicadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Valores do motor Cummins C50D6

Temperatura de exaustão (°C)	475
Vazão mássica de gases (kg/s)	0,22
Potência (kW)	50
Calor gerado pelos gases (kW)	86,1
Consumo de combustível (L/h)	16

A partir da tabela 3.3, é possível notar que um motor Cummins C50D6 não é capaz de atender a demanda exigida pelo *chiller* Empresas Tuma BE20. Porém, ao selecionar dois desses motores, chega-se num calor gerado suficiente para colocar o *chiller* em funcionamento, atingindo um valor de 172,2 kW contra os necessários 167,3 kW.

O motor consegue ligar a máquina refrigeradora, mas algo que chama a atenção é a potência fornecida por cada motor, 50 kW, pois é muito maior do que o necessário para as instalações da FDCT. Diante dessa questão, uma alternativa que pode ser estudada é fazer esse motor funcionar apenas nos horários de ponta da rede elétrica e não somente para a Fundação, mas sim para todo o campus de Guaratinguetá, o qual necessita de aproximadamente 300 kW no total.

Para a questão do termoacumulador, os cálculos realizados basearam na demanda diária de TRh e em seguida multiplicada por 5 (dias de funcionamento) para que um tanque fosse suficientemente grande para atender às necessidade estipuladas. Desse modo, a dimensão do tanque calculada foi de 40 m³. Comparado com o volume da Fundação, esse valor corresponde a aproximadamente 15%.

Após realizados os cálculos, algumas planilhas de custos foram geradas, as quais serão apresentadas a seguir na forma de tabelas. A FEG tem um modelo de cobrança de energia elétrica horosazonal verde, pertencente ao grupo A4 (de 2,3kV a 25kV) de acordo com a tarifa de energia elétrica do Grupo Edp Bandeirante, fornecedor da faculdade.

Como as tarifas variam tanto com o horário de pico quanto com a época do ano (seco ou úmido), os cálculos para o preço da energia elétrica cobrada foram realizados a partir de dois critérios: um levando em conta a média ponderada das tarifas de acordo com as equações (6), (7) e (8) e o outro levando em conta o caso mais crítico, ou seja, o horário de ponta seca.

$$C_{MS} = (C_{ps} * 3 + C_{fps} * 21)/24 \quad (6)$$

$$C_{MU} = (C_{pu} * 3 + C_{fpu} * 21)/24 \quad (7)$$

$$C_{MT} = (C_{MS} * 7 + C_{MU} * 5)/12 \quad (8)$$

sendo:

C_{MS} = custo médio do kWh para o período de seca, em R\$/kWh;

C_{ps} = custo do kWh para o horário de ponta seca, em R\$/kWh;

C_{fps} = custo do kWh para o horário fora de ponta seca, em R\$/kWh;

C_{MU} = custo médio do kWh para o período úmido, em R\$/kWh ;

C_{pu} = custo do kWh para o horário de ponta úmida, em R\$/kWh;

C_{fpu} = custo do kWh para o horário fora de ponta úmida, em R\$/kWh;

C_{MT} = custo médio total, em R\$/kWh

Diante disso, apresentam-se os valores devidamente calculados na tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Custo da energia elétrica comercial

Custo Médio (R\$/kWh)	0,2529
Custo Ponta Seca (R\$/kWh)	0,9604

Com os valores de energia elétrica estipulados, pode-se voltar a atenção para os valores de investimento das máquinas selecionadas. São valores médios encontrados em diversos trabalhos consultados. Dessa forma, na tabela 3.5 serão mostrados os valores para aquisição das máquinas estudadas.

Tabela 3.5 – Investimento inicial

	Quantidade	Investimento
MCI	2	R\$52.000,00
SRA(duplo efeito)	1	R\$101.587,20
Termoacumulador	1	R\$37.648,00

Os valores acima tabelados referem-se aos preços do kW do motor, da TR do sistema de absorção e do volume do tanque requerido. Para o motor estimou-se R\$520/kW, para o SRA estimou-se R\$1539,20/TR e para o tanque os valores foram retirados de um site de avaliação de custos de equipamentos, disponível em <<http://matche.com/EquipCost/Tank.htm>>.

A comparação de gastos será realizada entre o combustível consumido pelo motor durante seu uso e a energia elétrica gasta com o prédio no decorrer do ano. Desse modo, na tabela 3.6 é assumido o valor para os gastos apenas com a energia elétrica e quando ela é utilizada por 12 horas diárias.

Tabela 3.6 – Gasto anual de energia elétrica

	Apenas energia elétrica	12 horas de energia elétrica
Custo Médio (R\$/ano)	5.546,35	4.369,88
Custo Crítico (R\$/ano)	20.745,28	16.596,23

No estudo são considerados os valores gastos com o motor de combustão interna, ou seja, os gastos referentes a 3 horas de uso diário de terça a sexta-feira e 6 horas de uso na segunda-feira. Os gastos são baseados no valor médio do combustível diesel S-5 encontrado nos postos de Guaratinguetá e em cima do consumo do motor, o qual de acordo com as informações já apresentadas é de 16 L/h e um total de 288 litros por semana. A partir disso o custo anual relacionado ao combustível do motor de combustão interna é de R\$138.240,00.

A partir dos valores calculados e expostos nas tabelas anteriores é possível afirmar que o sistema de cogeração utilizando um motor de combustão interna e um sistema de refrigeração é inviável para ser instalado nas condições propostas para este trabalho, pois além de ter um elevado custo inicial, seu custo ao longo do tempo não é menor que o da energia elétrica, de forma que o tempo de *pay-back* se torna muito alto.

Uma vez provada a inviabilidade de se obter bonificação com a cogeração, é interessante ressaltar que durante o percurso foram feitas algumas aproximações e suprimidos alguns itens que possam fazer diferença para estudos futuros.

Uma primeira ressalva a ser feita é com relação ao sistema de refrigeração por absorção. No catálogo do produto é informado que a temperatura necessária para ativar o chiller é de 500°C, porém o motor de combustão interna selecionado libera seus gases a uma temperatura média de 470°C, o que gera uma diferença de 30°C. Tal diferença pode influenciar diretamente no COP da máquina, pois a uma temperatura menor, o calor trocado conseqüentemente será menor e assim a máquina não funcionaria conforme o estipulado. O mais correto nesse caso seria entrar em contato com o fabricante e solicitar maiores informações (por exemplo, um gráfico do comportamento do COP com a queda de temperatura de entrada) e a partir disso recalculando todo o sistema, o qual provavelmente terá um rendimento mais baixo e consumirá mais energia. O contato com o fabricante não foi possível e assim foi assumido que essa diferença não influenciou no cálculo do sistema.

Um segundo ponto que não foi abordado, mas que tem importância para o projeto, é o cálculo do isolamento térmico do termoacumulador. Para que ele consiga manter 5 dias a água na temperatura ideal para o uso do resfriamento ele necessita de um sistema de isolamento

bem projetado para que perca a menor quantidade possível de calor para o meio ambiente. Embora não tenha sido realizado, é algo que deve ser incluído tanto tecnicamente quanto economicamente, pois isolamentos costumam ter um custo significativo.

Outro ponto que influenciou nos custos finais foram os valores dos equipamentos. Por se tratar de uma média de mercado, tais valores podem não ser tão precisos quanto seriam se tivesse tido contato com os fornecedores ou fabricantes, porém novamente esse contato não foi estipulado por mais que tenha sido tentado.

4 CONCLUSÕES

O objetivo inicial do trabalho era estudar um sistema de cogeração aplicado no prédio da Fundação situado no campus da UNESP – Guaratinguetá para que com sua economia no consumo de energia pudesse ser atrelado bônus na etiquetagem do edifício. Algumas dificuldades no projeto com relação à seleção de equipamentos foram encontradas no decorrer do trabalho, de modo que a principal foi elaborar um sistema que tentasse suprir a baixa demanda e ainda assim ser vantajoso a ponto de receber uma bonificação e melhorar a classificação do bloco a partir dos estudos de Ruzene (2011).

Como pode ser observado nos cálculos e tabelas com os resultados alcançados, o esquema adotado para a cogeração não obteve resultados satisfatórios, apresentando valores muito superiores aos da utilização de apenas energia elétrica da rede, superando os gastos em quase 8 vezes. Com resultados dessa ordem de grandeza, não é possível o prédio receber bonificações relacionadas à microcogeração, mantendo assim o nível calculado no trabalho de Ruzene (2011).

Tais valores elevados se deram pelo fato das máquinas selecionadas para o trabalho terem uma capacidade muito acima do que era necessário, de modo que com isso os custos iniciais e de manutenção se tornaram muito elevados para serem utilizados nessa aplicação.

Para futuros estudos como sugestão poderiam ser feitas algumas mudanças nas tecnologias utilizadas a fim de encontrar alguma mais barata ou até mesmo desenvolver algum protótipo que atenda especificamente as necessidades da FDCT, além de levar em conta todas as ressalvas discutidas nos parágrafos acima, pois elas são de suma importância num projeto de engenharia que envolve diretamente a questão da energia.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **Air-Conditioning System Design Manual**. 2 ed. 401p.

AUSSANT, C.D.; FUNG, A.S.; UGURSAL, V.I.; TAHERIAN, H. Residential application of internal combustion engine based cogeneration in cold climate. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 1288-1298, 2009.

BALESTIERI, J.A.P. Anotações de aula de Máquinas Térmicas. 2011.

BIDINI, G.; DESIDERI, U.; SAETTA, S.; BOCCHINI, P.P. Internal combustion engine combined heat and power plants: case study of the University of Perugia power plant. **Applied Thermal Energy**, v. 18, p.401-412, 1998.

HUAMANI, M.M.; ORLANDO, A.F. Methodology for generating thermal and electric loads profiles for designing a cogeneration system. **Energy and Buildings**, v. 39, p.1003-1010, 2007.

MONTEIRO, E.; MOREIRA, N.A.; FERREIRA, S. Plannig of micro-combined heat and power systems in Portuguese scenario. **Applied Energy**, v. 86, p.290-298, 2009.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 163, de 08 de junho de 2009. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf> Acesso em 30 nov. 2011.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria 185, de 22 de junho de 2009. Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Rio de Janeiro, 2009b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001465.pdf>. Acesso em 30 nov. 2011.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Manual para aplicação dos regulamentos: RTQ-C e RAC-C**. Rio de Janeiro, 2009b. v.4.

BRITTO, R.F. **Análise de sistemas híbridos de produção de energia em condomínios residenciais horizontais**. 2010. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratingetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

CARESANA, F.; BRANDONI, C.; FELICIOTTI, P.; BARTOLINI, C.M. Energy and economic analysis of an ICE-based variable speed-operated micro-cogenerator. **Applied Energy**, v. 88, p.659-671, 2011.

CARRIER, A.C.C. **Handbook of Air Conditioning System Design**. Nova Iorque: McGraw-Hill. 780p.

Catálogo de motores de combustão interna para geração de energia. Disponível em: <http://www.cumminspower.com.br/geradoresdiesel.asp> Acesso em: 01/11/2012.

Catálogo de sistemas de refrigeração por absorção. Disponível em: http://www.empresastuma.com.br/broad/produtos/index_be_dados.php Acesso em: 01/11/2012.

EDP Bandeirando Energia. Acesso à tarifação de energia elétrica. Disponível em: www.bandeirante.com.br Acesso em: 18/11/2012.

Estimativa de preços para termoacumuladores. Disponível em: <http://matche.com/EquipCost/Tank.htm> Acesso em: 14/11/2012.

GOMAZAKO, M.S. **Conservação de energia em edifícios comerciais através da implementação de dispositivos de automação**. 2007, 195f. Dissertação (Tese de Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

JUNIOR, A.F.B. **Estudo da viabilidade técnica e econômica em sistemas de cogeração com a instalação de chiller de absorção em grupos motores geradores para produção de energia térmica**. 2006. 91f. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2006.

KHAN, K.H.; RASUL, M.G.; KHAN, M.M.K. Energy conservation in buildings: cogeneration and cogeneration coupled with thermal-energy storage. **Applied Energy**, v. 77, p.15-34, 2004.

LOMBARD, L.P.; ORTIZ, J.; CORONEL, J.F.; MAESTRE, I.R. A review of HVAC systems requirements in building energy regulations. **Energy and Buildings**, v. 43, p.255-268, 2011.

LORA, E.E.S.; NASCIMENTO, M.A.R. **Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação. Vol. 1 e 2**. Rio de Janeiro: Editora Interciencia, 2004. 1246p.

MATA, C.R. **Análise econômica de sistemas de co-geração de energia elétrica no setor terciário**. 15f. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá.

MATHEWS, E.H.; ARNDT, D.; GEYSER, M.F. Reducing the energy consumption of a conference centre – a case study using software. **Building and Environment**, v. 37, p.437-444, 2002.

Ministério de Mina e Energia. Plano de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf> Acesso em: 05/11/2012.

MISE, A.; SATO, H. Effective introduction of cogeneration system on university campuses. **Journal of environment and engineering**, v.3, N°1, 2008.

NETO, P.R.C.;ROSSI, L.F.S.; ZAGONEL, G.F.;RAMOS,L.P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v.23, N°4, 2000.

OH, S.D.; LEE, H.J.; JUNG, J.Y.; KWAK, H.Y. Optimal planning and economic evaluation of cogeneration system. **Energy**, v. 32, p.760-771, 2007.

OH, S.D.; OH, H.S.; KWAK, H.Y. Economic evaluation for adoption of cogeneration system. **Applied Energy**, v.84, p.266-278, 2007.

ONOVWIONA, H.I.; UGURSAL, V.I. Residential cogeneration systems: review of the current technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, p.389-431, 2006.

ONOVWIONA, H.I.; UGURSAL, V.I.; FUNG, A.S. Modeling of internal combustion engine based cogeneration systems for residential applications. **Applied Thermal Engineering**, v. 27, p.848-861, 2007.

PAEPE, M.D.; D'HERDT, P.; MERTENS D. Micro-CHP systems for residential applications. *Energy and Conversion Management*, v. 47, p. 3435-3446, 2006.

RAJ, N.T.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of renewable energy based cogeneration technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p.3640-3648, 2011.

Relatório Final do Balanço Energético Nacional. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf Acesso em: 10/10/2012.

REN, H.; GAO, W. Economic and environmental evaluation of micro CHP systems with different operating modes for residential buildings in Japan. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 853-861, 2010.

RUAN, Y.; BATTY, B.; GAO, W.; SAGARA, N.; RYU, Y. Examination of the viability of cogeneration for a small-scale housing development in Kitakyushu. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v.4, n°1, 2005.

RUZENE, J.S. **Gestão energética e ambiental de edificações: avaliação de metodologias para certificação**. 2011. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

SEO, H.; SUNG, J.; OH, S.D.; OH, H.S.; KWAK, H.Y. Economic optimization of a cogeneration system for apartment houses in Korea. **Energy and Buildings**, v. 40, p.961-967, 2008.

SOMCHAROENWATTANA, W.; MENKE, C.; KAMOLPUS, D.; GVOZDENAC, D. Study of operational parameters improvement of natural-gas cogeneration plant in public buildings in Thailand. **Energy and Buildings**, v. 43, p.925-934, 2011.

SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C.; WYLEN, G.J.V. **Fundamentos da Termodinâmica**. 6 ed. São Paulo: Blucher, 2003. 577p.

SZKLO, A.S.; SOARES, J.B.; TOLMASQUIM, M.T. Energy consumption indicators and CHP technical potential in the Brazilian hospital sector. **Energy Conversion and Management**, v. 45, p.2075-2091, 2004.