

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**APROVEITAMENTO DE FONTES ALTERNATIVAS
PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA E REFLEXOS NOS SEUS CUSTOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Adriane Dutra

SANTA MARIA, RS, BRASIL

2010

**APROVEITAMENTO DE FONTES ALTERNATIVAS
PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA E REFLEXOS NOS SEUS CUSTOS**

por

Adriane Dutra

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Processamento de Energia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Felix Alberto Farret, PhD.

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**APROVEITAMENTO DE FONTES ALTERNATIVAS PARA
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E
REFLEXOS NOS SEUS CUSTOS**

elaborado por

Adriane Dutra

como requisito parcial para a obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Elétrica

COMISSÃO EXAMINADORA:

Felix Alberto Farret, PhD. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Ademar Michels, Dr. (UFSM)

Diego Berlezi Ramos, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 17 de Setembro de 2010.

Dedico esta dissertação a Deus, aos meus pais, João e Dalva, por terem dedicado suas vidas a mim, pelo amor, carinho e estímulo que me ofereceram, dedico-lhes essa conquista como gratidão.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Felix Alberto Farret, pela sua orientação, incentivo e companheirismo no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas do CEEMA Henrique Wild Stangarlin, Luciano Porto de Lima, Jordan Gustavo Trapp, Álvaro Brezolin Serdotte, Renata Carnielletto, Fredi Zancan Ferigolo, Diego Berlezi Ramos, e todos os demais colegas do grupo, pelo auxílio a este trabalho e pelos momentos de descontração e estudo.

Aos meus pais João e Dalva, que acreditaram que um dia tudo seria possível, somente eles sabem do esforço e dedicação aplicados a este trabalho. Amo vocês.

A minhas irmãs Cristiane e Josiane, e meu sobrinho Renan, pelas horas de conversas e discussões que sempre foram úteis e me mostraram um jeito diferente de entender as atribuições do dia a dia.

E em especial ao meu namorado e companheiro Leonardo, pelo incentivo, carinho e amparo em todos os momentos.

A CAPES, a Universidade Federal de Santa Maria e ao CEEMA (Centro de Estudos em Energia e Meio Ambiente) pelo apoio financeiro na realização deste projeto.

“Em que te faz pensar naqueles peixes?”

“Em outros peixes.”

“E em que te fazem pensar os outros peixes?”

“Em outros peixes.”

Joseph Heller

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

APROVEITAMENTO DE FONTES ALTERNATIVAS PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E REFLEXOS NOS SEUS CUSTOS

AUTORA: ADRIANE DUTRA
ORIENTADOR: FELIX ALBERTO FARRET, PhD

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de Setembro de 2010.

O consumo residencial representa em torno de um terço do total de energia consumida no Brasil. O chuveiro elétrico é o principal componente deste consumo, juntamente com o ar condicionado. Assim, muitas pesquisas têm sido realizadas, visando à diminuição do consumo deste setor e o aproveitamento de fontes de energia alternativas. Dentre as quais se destacam a energia solar e geotérmica. Esta dissertação tem como objetivo estabelecer as bases da avaliação da estrutura de consumo residencial visando à obtenção de uma metodologia para reduzir o consumo de energia elétrica. Foi desenvolvido um protótipo habitável de residência no Campus Experimental do CEEMA (UFSM), com a montagem de dois protótipos: um com coletor solar associado a dois tipos de aquecimento, elétrico e a gás, outro, um protótipo de sistema geotérmico superficial para condicionamento de ambientes e pré-aquecimento de água. Foi feita uma retrospectiva nas principais alternativas para a substituição do chuveiro elétrico tradicional e do condicionador de ar bem como das formas de redução de perdas para aquecimento. Dados práticos foram coletados automaticamente para demonstrar a efficientização energética do ambiente estudado que pode ser residencial, buscando a redução do consumo de potência e energia térmica e os reflexos nos custos finais com energia elétrica. O aproveitamento das fontes térmicas vistas nessa dissertação foi utilizado para demonstrar as alternativas viáveis e resultados concretos na redução do consumo e potência elétrica. Estes resultados foram extrapolados para a região Sul do país indicando a possibilidade de diminuição da utilização primária de energia e, por consequência, a conservação do meio ambiente.

Palavras chaves: Fontes alternativas, solar, geotérmica, custos de energia.

ABSTRACT

MSc Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

**UTILIZATION OF ALTERNATIVE SOURCES FOR REDUCING
POWER CONSUMPTION AND ITS CONSEQUENCES IN COSTS**

AUTHOR: ADRIANE DUTRA
SUPERVISOR: FELIX ALBERTO FARRET, PhD

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de Setembro de 2010.

Residential consumption accounts for around one third of total energy consumed in Brazil. The electric shower is the main component of this consumption, along with air conditioning. Hence, much research has been conducted in order to reduce the consumption of this sector and the use of alternative energy sources. Among these include mainly solar and geothermal. This thesis aims to establish the bases for assessing the structure of household consumption in order to develop a methodology to reduce power consumption. A prototype was developed in the CEEMA experimental area (UFSM), with the assembly of two prototypes: a solar collector associated with the two types of heating, electric and gas, the other, a geothermal prototype system for surface environments conditioning and pre-heating water. A retrospective on the main alternative to replace the traditional electric shower and air conditioner was conducted as well as ways to reduce heating losses. Practical data were automatically collected to demonstrate the energy efficiency of the studied environment which can be residential, seeking to reduce power consumption and thermal energy and the reflections in the final cost of electric power. The use of thermal sources seen in this thesis was used to demonstrate viable and tangible results in reducing energy consumption and electric power. These results were extrapolated to the region south of the country indicating the possibility of reducing the use of primary energy and, consequently, the conservation of the environment.

Keywords: Alternative sources, solar, geothermal, energy costs.

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Modelo de cadeia de energia	15
Figura 1.2 - Consumo por setor (Fonte BEN, 2008)	16
Figura 1.3 - Objetivos da dissertação	18
Figura 2.1 - Modelo da parede de Trombe. (Fonte: GAN, 1998).....	23
Figura 2.2 - Fluxo de ar para resfriamento e aquecimento do ambiente.....	24
Figura 2.3 - Consumo de energia elétrica Brasil 2008 (Total 392.674 GWh) (Fonte: EPE Resenha mensal do mercado de energia elétrica)	25
Figura 2.4 - Uso final no setor elétrico residencial (Fonte: Avaliação de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de Classe Residencial PROCEL - Eletrobrás 2007)	26
Figura 2.5 - Uso final no setor elétrico residencial por região (a) Nordeste; (b) Norte; (c) Sudeste; (d) Sul (Fonte: Avaliação da Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de Classe Residencial PROCEL – Eletrobrás 2007)	27
Figura 3.1 - Croqui da residência ou pequena empresa estudada.....	31
Figura 3.2 - Sistema de aquecimento de água doméstica (coletor solar).....	39
Figura 4.1 - Pontos de iluminação do protótipo	42
Figura 4.2 - Software RADIASOL	43
Figura 4.3 - Gráfico obtido com o programa RADIASOL para Santa Maria – RS	44
Figura 4.4 - Tabela obtida do software RADIASOL para Santa Maria – RS	44
Figura 4.5 - Mapa solar de janeiro (verão) típico e de viabilidade (Fonte: Software RADIASOL).....	45
Figura 4.6 - Mapa solar de julho (inverno) típico e de viabilidade (Fonte: Software RADIASOL).....	45
Figura 4.7 - Mapa solar de outubro (primavera) típico e de viabilidade (Fonte: Software RADIASOL).....	45
Figura 4.8 - Quantidade de calor do coletor solar	48
Figura 4.9 - Circuito hidráulico do chuveiro híbrido.....	49
Figura 4.10 - Mapa geotérmico superficial do Brasil. (Fonte: HANZA, 2005).....	51
Figura 4.11 - Estrutura do sistema geotérmico.....	54
Figura 4.12 - Localização do sistema geotérmico e montagem	55
Figura 4.13 - Foto do sistema geotérmico interno.....	55

Figura 4.14 - Foto do sistema geotérmico, profundidade de 4 metros, e trocador de calor com 12 metros de comprimento (serpentina).	56
Figura 4.15 - Temperaturas de saída do SG após a troca de calor com o solo, entrada após a troca com o ambiente, ambiente condicionado, e ambiente externo ao ambiente57	57
Figura 4.16 - Quantidade de calor retirado do ambiente para resfriamento.....	57
Figura 5.1 - Gráfico da economia de energia com iluminação na região sul.....	61
Figura 5.2 - Gráfico da economia de energia com a substituição do chuveiro elétrico, por coletores solar na região sul	63
Figura 5.3 - Gráfico da economia de energia na região sul, com a substituição do ar condicionado por um sistema geotérmico de baixo custo.....	64
Figura 5.4 - Gráfico da economia de energia total na região sul.....	65
Figura 5.5 - Gráfico da economia de energia expandido ao Brasil.....	65

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Cálculo Simplificado de Carga Térmica.....	35
Tabela 3.2 - Comparativo dos tipos de sistemas de condicionamento de ambientes.	36
Tabela 3.3 - Custo mensal do chuveiro elétrico, uso médio de 10 minutos por dia residência com 4 pessoas.....	38
Tabela 3.4 - Comparativo de aquecimento residencial de água.	40
Tabela 4.1 - Caracterização da iluminação nos ambientes da residência estudada.	42
Tabela 4.2 - Dados comparativos entre sistemas de aquecimento de água.....	50
Tabela 4.3 - Dados para o cálculo do Número de Nusselt (Ozisik, 1990).....	53
Tabela 5.1 - Comparativo de economia da substituição de lâmpadas da instalação atual do protótipo, por lâmpadas de baixo consumo.	61
Tabela 5.2 - Comparativo do chuveiro elétrico com o sistema de coletores solar.	62
Tabela 5.3 - Comparativo do ar condicionado com o sistema geotérmico	64

Sumário

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
SUMÁRIO.....	XII
CAPÍTULO 1	14
INTRODUÇÃO	14
ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS	19
CAPÍTULO 2	20
2.1 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA	21
2.2 CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL	24
2.2.1 Aspectos Gerais.....	24
2.2.2 Consumo no setor residencial	25
2.3 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	27
CAPÍTULO 3	29
3.1 ILUMINAÇÃO	30
3.1.1 Iluminação natural	31
3.1.2 Iluminação artificial.....	32
3.2 CONDICIONAMENTO.....	32
3.3 AQUECIMENTO DE ÁGUA	37
CAPÍTULO 4	41
4.1 CONSUMO DE ENERGIA EM RESIDÊNCIAS E PEQUENAS EMPRESAS. 41	
4.1.1 Iluminação.....	41

4.1.1.2 – Outras alternativas para iluminação.....	42
4.1.2 Chuveiro.....	43
4.1.2.1 Chuveiro Híbrido.....	48
4.1.2.2 Análise comparativa dos tipos de aquecedores.....	50
4.1.2.3 Energia geotérmica para aquecimento de água.....	50
4.1.3 Condicionamento térmico.....	50
4.2 APROVEITAMENTO DAS FONTES INTERNAS DE CALOR NAS RESIDÊNCIAS.....	58
4.2.1 Outras fontes de consumo e de energia.....	58
CAPÍTULO 5.....	60
5.1 ILUMINAÇÃO.....	60
5.2 CHUVEIRO.....	62
5.3 CONDICIONAMENTO.....	63
5.4 REFLEXOS NOS CUSTOS.....	64
CAPÍTULO 6.....	67
6.1 CONCLUSÃO.....	67
6.2 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO.....	68
6.3 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DESTE TRABALHO.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	73
ANEXO A.....	73
ANEXO B.....	74
B.1 Consumo por setor.....	74
B.1.1 Comercial e setores públicos.....	74
B.1.2 Industrial.....	75
ANEXO C.....	76
ANEXO D.....	80
ANEXO E.....	83
ANEXO F.....	87
ANEXO G.....	91
ANEXO H.....	95
ANEXO I.....	95

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Em tempo de crescimento e desenvolvimento mundial, a energia elétrica torna-se um combustível imprescindível. Porém, o crescimento traz a questão da escassez deste combustível, e há que se procurarem alternativas e estudos para que seu uso seja racional, observa-se que a capacidade de regeneração dos recursos energéticos e mesmo da natureza, não acompanha a velocidade com que os recursos são utilizados, caracterizando o consumo predatório. Podemos então definir Eficiência Energética como, o aproveitamento e uso racional da energia elétrica através da adoção de medidas para a redução do consumo da mesma.

O desperdício existe, e visto de diversas maneiras como, por exemplo, lâmpadas ligadas quando ninguém está no ambiente; ou então casas e edifícios construídos sem levar em consideração a incidência solar, ou mesmo materiais que isolem paredes e pisos, adaptando-se as mudanças climáticas, diminuindo assim o uso de ar condicionado e aquecedores de ambientes; também , a utilização do chuveiro elétrico quando se sabe que ele consome uma grande quantidade de energia.

Segundo Panesi (2006) a Eficiência Energética é “uma redução da energia para um mesmo serviço. Melhorar a eficiência energética faz diminuir o consumo de energia primária necessária para produzir um determinado serviço de energia, independente em que ponto da cadeia ocorreu a redução de energia.” Dessa maneira podemos analisar não apenas a redução de energia em um determinado ponto do sistema, e sim em todo o sistema elétrico de potência. A figura 1.1 ilustra uma cadeia de energia ou sistema elétrico de potência, e como estão interligados, ilustrando o que Panesi (2006) definiu como a eficiência energética.

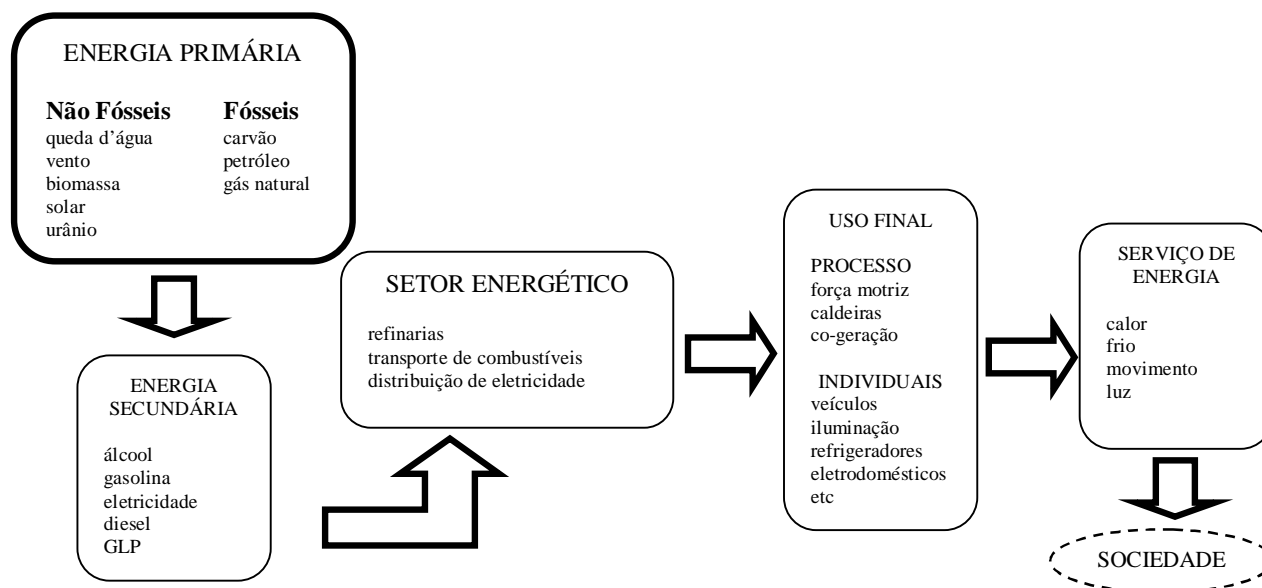


Figura 1.1 - Modelo de cadeia de energia

No Brasil o conceito de Uso Racional de Energia e Eficiência Energética, surgiu a partir das crises de petróleo de 1973 e 1979. Contudo esse processo estagnou no final da década de 80. Com a guerra do Golfo em 1991, o Brasil se viu novamente dependente do petróleo, o que desencadeou grandes dificuldades para as empresas de energia. Nos últimos anos, surgiu a preocupação com a escassez da energia elétrica no Brasil, de forma preocupante a partir de 2001 com a ameaça de "apagão" elétrico, que deu início então a campanhas para redução do consumo de energia elétrica residencial. Neste mesmo ano surge o Decreto Lei 10.295 enfocando a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, instituindo o selo PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica para equipamentos eletroeletrônicos (ELETROBRAS, 2009).

No combate ao desperdício, o uso racional de energia associado à eficiência energética passa por duas vertentes: humana e tecnológica. Segundo Silva Junior (2005), a vertente humana é a mudança de hábitos de consumo, formação e qualificação profissional. Ainda Silva Junior (2005) destaca, a vertente tecnológica que se refere à aplicação de novas tecnologias para produção e manutenção de equipamentos e ambientes, o que acarreta no desenvolvimento das mesmas atividades propostas, mas com um consumo menor de energia. Este trabalho aborda a questão da vertente Tecnológica, onde se têm o aproveitamento de calor do ambiente externo canalizado para a utilização na residência, tanto para aquecimento de água quanto para refrigeração de ambientes, contribuindo para a diminuição do consumo de energia elétrica.

A figura 1.2 mostra o consumo por setores no país, o residencial é o segundo setor em consumo de energia representando 24% do total segundo ANEEL (2008), caracterizando então o estudo da redução de energia elétrica.

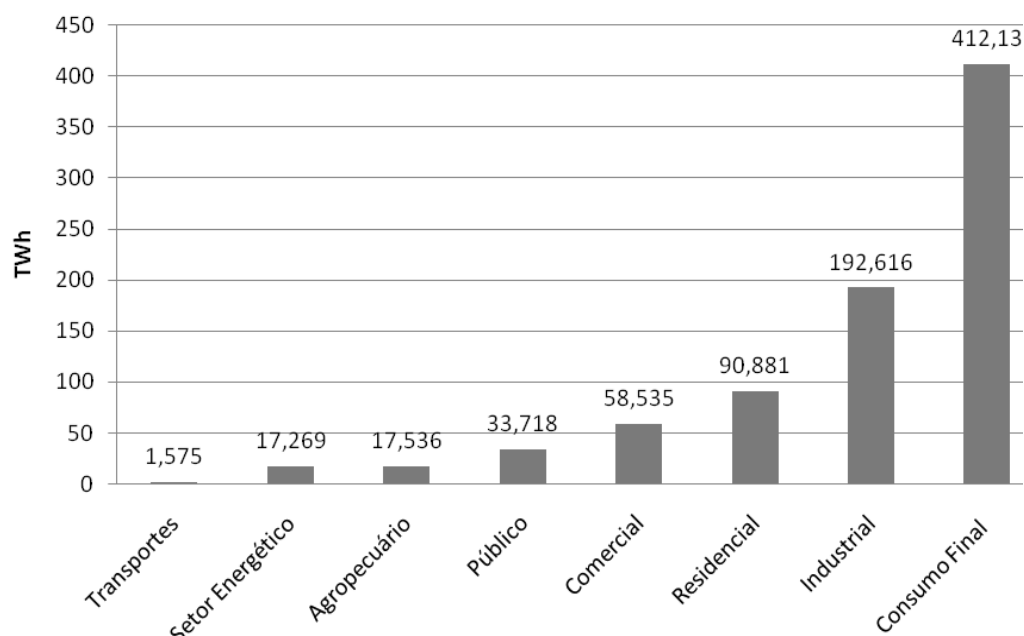


Figura 1.2 - Consumo por setor (Fonte BEN, 2008)

OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Esta dissertação tem como objetivo determinar e analisar a estrutura de consumo de uma residência, onde se pretende obter a diminuição do consumo de energia através de medidas ativas (geração ou conversão) e passivas (eficientização) da utilização de energia. A idéia deste trabalho surgiu da necessidade de se fazer o aproveitamento de fontes de energia ainda pouco exploradas no Brasil, que é o caso da energia geotérmica para climatização de ambientes partir daí, observa-se a exigüidade de estudos sobre esse tipo de fonte de energia no Brasil. Desta forma, a visão deste estudo torna-se importante quando se analisa a relação entre o uso racional de energia e a redução do valor da conta de energia elétrica.

Objetivos Específicos:

- Utilizar a energia geotérmica superficial e solar para condicionar ambientes;
- Buscar alternativas para reduzir o consumo de energia elétrica no aquecimento da água;
- Aumentar a eficiência do consumo na iluminação;
- Integrar o conjunto das alternativas de efficientização estudadas;
- Realizar uma análise econômica destas medidas para a redução do consumo de energia elétrica, visando diminuir custos.

A figura 1.3 representa um diagrama sobre os tópicos abordados nesta dissertação, indicando os fatores que influenciam no consumo de energia elétrica em uma residência.

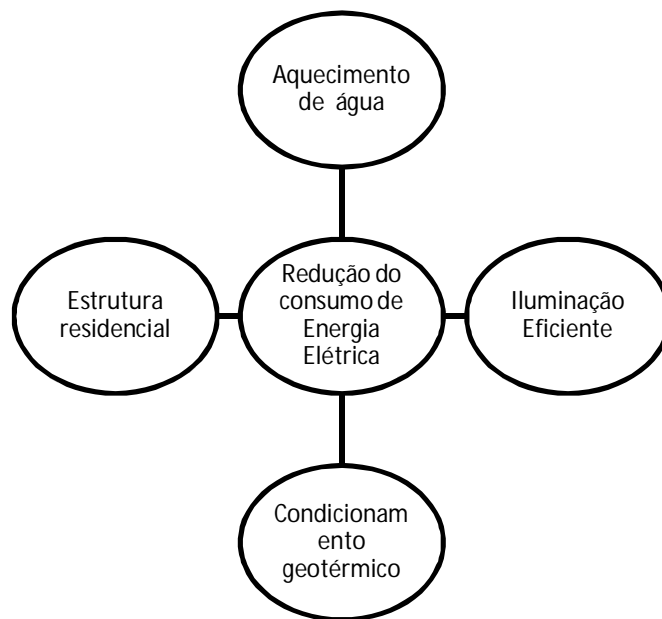


Figura 1.3 - Objetivos da dissertação

As medidas mais específicas que podem diminuir de forma mais significativa a conta de energia elétrica são fundamentadas em equipamentos de alto rendimento (como os motores de alto rendimento, e outros equipamentos eletroeletrônicos com a certificação pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) que garante o consumo eficiente de energia em cada um. Itens relacionados com a construção civil também podem contribuir neste particular, mantendo um equilíbrio entre o desenvolvimento e o meio ambiente (PROCEL, 2009).

Nesta pesquisa é enfocada a questão da redução do consumo de energia de uma residência, através do aproveitamento do calor existente no seu ambiente interno e externo. O aproveitamento de calor do ambiente externo se dá através da energia geotérmica e solar. A energia geotérmica foi utilizada para dissipação de calor no condicionamento dos ambientes, já que podemos afirmar que este tipo de energia é limpo, silencioso e com baixo consumo de energia. A energia solar foi utilizada para aquecimento da água usada no chuveiro por ser uma fonte de energia térmica, disponível praticamente todos os dias do ano. Estudos sobre a possibilidade de reaproveitamento de calor do chuveiro por sua vez foi para reduzir a potência do mesmo e garantir o balanço térmico necessário. Para o ambiente interno será feito um estudo de alternativas para eficientização do consumo de energia com os equipamentos existentes no mesmo. Por último, foi feita uma análise econômica de todas as medidas

aplicadas para se avaliar a possível redução de consumo de energia elétrica visando a diminuição de custos na conta mensal.

ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

Esta dissertação está organizada como segue:

Este capítulo contempla a introdução ao tema da dissertação, sua relevância, objetivo e estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica, a caracterização dos aspectos gerais de consumo de energia elétrica no Brasil e a distribuição deste consumo nos diversos setores. Dentro deste capítulo está focado mais detalhadamente o consumo de energia do setor residencial que é o tema principal do trabalho, sendo abordados os usos finais e a distribuição de consumo de equipamentos triviais em uma residência.

O terceiro capítulo aborda os aspectos arquitetônicos da eficiência energética, enfocando a questão da iluminação e condicionamento de ambientes, caracterizando o objeto de estudo.

O quarto capítulo aborda as alternativas estudadas para a diminuição do consumo de energia elétrica em uma residência, sendo: aquecimento de água (chuveiro elétrico, torneira elétrica), condicionamento (ar condicionado, aquecedores), iluminação (lâmpadas), entre outras fontes de consumo de energia.

No quinto capítulo é feita a análise econômica e do retorno do investimento de todos os métodos aplicados para a redução do consumo de energia elétrica, visando à diminuição da conta de energia.

Finalmente, no sexto capítulo, tecem-se algumas considerações e apresentam-se as conclusões do trabalho, a partir das quais se tem uma base para elucidar algumas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O aumento da demanda por energia elétrica trouxe à tona a questão da escassez de combustível. Nos últimos 30 anos, iniciou-se um grande movimento de governo, não só brasileiro, mas mundial, de adotar políticas públicas de conservação de energia. Viu-se que a dependência do petróleo é um cenário que deve ser mudado. Abreu e Sant'Anna (2009), destacam que o setor elétrico brasileiro passou na década de 90 por importantes alterações estruturais a partir das privatizações, introduzindo modelos de regulação.

Segundo Jannuzzi (2001), existem várias maneiras de se implementar melhorias no uso de energia divididas em três categorias de ações: as que visam melhorar a qualidade das tecnologias de energia (equipamentos, processos e sistemas energéticos); medidas que garantam a qualidade de energia (tensão uniforme, harmônicos, etc) e por fim a “qualidade” do consumidor (nível de informação que permite operar equipamentos e também realizar consumo adequado de energia, evitando o desperdício). A categoria que tem uma resposta

mais rápida é a primeira citada por Jannuzzi (2001), porque não necessita de uma mudança na operação de equipamentos, facilitando então o usuário final.

O elevado consumo de energia no setor residencial para o processo de aquecimento de água, principalmente no processo do uso do chuveiro elétrico é analisado por Strapasson (2004). Analisando esta afirmação tem-se que a substituição do chuveiro elétrico por um sistema a gás ou com coletores solares no Brasil, poderia obter uma economia considerável de energia elétrica, não tendo sido citado aqui o uso da energia geotérmica superficial.

Pode-se considerar que o consumo de energia em uso residencial está direcionado ao aquecimento da água onde ela representa uma parcela bastante significativa. Assim, minimizar essa questão integrando fontes é uma alternativa limpa e segura.

A adequação às necessidades da redução de consumo, com menores investimentos e retorno em curto prazo é o que constata Costa (2005), em relação à iluminação mais eficiente. A iluminação em residências é o item dentro da eficiência energética onde podemos visualizar de forma rápida as mudanças de hábitos (vertente humana), além de ser um setor onde encontramos com maior facilidade equipamentos com consumo reduzido, como por exemplo, as lâmpadas fluorescentes compactas, ou lâmpadas econômicas, já difundidas em grandes projeções.

2.1 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

Para Goldemberg e Lucon (2007) os padrões mundiais atuais de produção e consumo de energia são as fontes fósseis, que geram poluentes e podem se esgotar em longo prazo. O Brasil apresenta uma condição favorável em relação ao resto do mundo, pois as energias renováveis representam 41,3% do consumo total, sendo no restante do mundo apenas 14,4%. Este consumo elevado se deve ao fato de que no Brasil a matriz energética é baseada em hidrelétricas, considera energia limpa.

Ainda Goldemberg e Lucon (2007) demonstram o retrocesso do país em relação a políticas de construção de novas usinas térmicas movidas a carvão, ainda que existam grandes potenciais hidrelétricos não explorados. As políticas governamentais em relação à eficiência energética e diminuição do consumo de energia continuam a não incentivar a utilização de

todo o potencial de fontes alternativas existentes no país. A conservação de energia posterga a necessidade de investimento na expansão da capacidade instalada.

Sobre o uso racional de energia e a construção de novas usinas Sales (2008 apud MILLER, 1985), apesar de não citar a energia geotérmica, afirma que:

Os membros da linha do mundo em crescimento enfatizam de imediato a necessidade de medidas de incentivo para que as companhias de energia aumentem seus suprimentos de combustíveis não-renováveis: petróleo, gás natural, carvão e urânio. Além disso, defendem a construção de grandes usinas termoeletricas (a carvão e combustível nuclear) para entender a demanda nos próximos 25 anos. [...] As linhas de crescimento sustentável, argumenta, que o caminho mais rápido, eficiente e barato para prover a energia necessária para o futuro é uma combinação das seguintes medidas:

1. Aumentar a eficiência no uso de energia;
2. Diminuir o emprego de óleo, carvão e gás natural não-renováveis;
3. Eliminar as usinas nucleares, pois estas seriam antieconômicas, inseguras e desnecessárias e
4. Aumentar o emprego de recursos energéticos solares diretos e indiretos.

As casas e edifícios seriam aquecidos por sistemas que aproveitam a luz solar direta; a eletricidade seria gerada por usinas térmicas existentes (devidamente equipadas para não lançar resíduos para a atmosfera), por co-geração nas indústrias, por geradores associados pela força do vento, pela restauração de antigas hidrelétricas, e finalmente, por células fotoelétricas. O calor de alta temperatura seria obtido por caldeiras, alimentadas por gás natural, restos vegetais e lixo urbano. O resíduo de calor dessas caldeiras poderia ser usado para co-geração.

Pereira et al (2006), descreve porque a energia solar, apesar das vantagens encontradas, não tenha sido desenvolvido em grande escala no país, a falta de planejamento governamental, regras de construção civil que induzem a instalação de chuveiros elétricos, financiamentos caros e escassos. Os aquecedores solares apresentam grandes vantagens em relação à redução da conta de energia.

Já a energia geotérmica profunda e a superficial são fontes renováveis de energia pouco difundida no país, e necessitam de investimento e pesquisa. Hanza (2005) explica que uma visão geral do governo e a definição de políticas de interesse à evolução geotérmica é fornecida juntamente com um avaliação atualizada dos recursos geotérmicos e uso de energia no Brasil. Através deste estudo constatou-se que a maioria dos recursos geotérmicos profundos está localizada no Centro-Oeste (nos estados de Goiás e Mato Grosso) e no sul (nos estado de Santa Catarina). O potencial de grande escala na exploração da energia geotérmica de baixa temperatura da água para uso industrial e aquecimento é considerado significativo na parte central da bacia do Paraná (situado no sul e sudeste do Brasil), onde o inverno frio prevalecer sob condições climáticas subtropicais.

O condicionamento com energia solar pode se apresentar de várias maneiras, através de medidas ativas e passivas. O objetivo da climatização passiva é a criação de um micro clima, sem o uso de equipamentos de condicionamento como o ar condicionado ou aquecedores elétricos. Um método de fácil aplicação da climatização passiva é a parede de Trombe, idealizada pelo professor Félix Trombe na França em 1967 que consiste em utilizar a energia solar para aquecer ou resfriar o ambiente (Lourenço, 2007).

Na figura 2.1 tem-se o modelo da parede de Trombe com os controles de tomada de ar, posicionados de acordo com a necessidade de resfriamento ou aquecimento do ambiente.

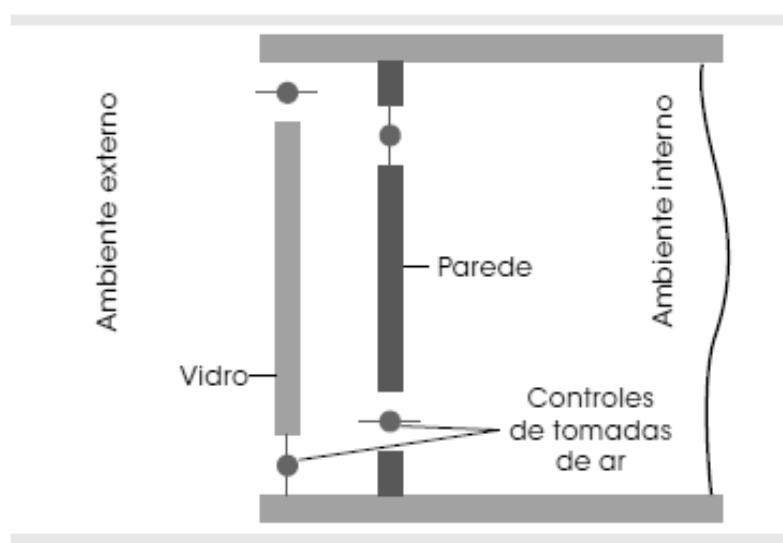


Figura 2.1 - Modelo da parede de Trombe. (Fonte: GAN, 1998)

O princípio de funcionamento deste mecanismo consiste da circulação de ar entre a parede e a lâmina de vidro. Este ar é aquecido diretamente pela radiação solar, sendo introduzido no ambiente pelo efeito de termossifão, para condicionamento dos dias frios. A função do vidro é evitar a perda de calor por convecção pela parede, estabelecendo o efeito estufa, onde o calor fica confinado entre o vidro e a parede, podendo ser transmitido ao ambiente interno. O princípio de funcionamento é o mesmo tanto para aquecer quanto para resfriar (Figura 2.2) o ambiente. Outra característica importante é que o sistema Trombe pode ser tanto manual como automatizado. O fato de ser manual torna-o ainda mais interessante para a racionalização da energia.

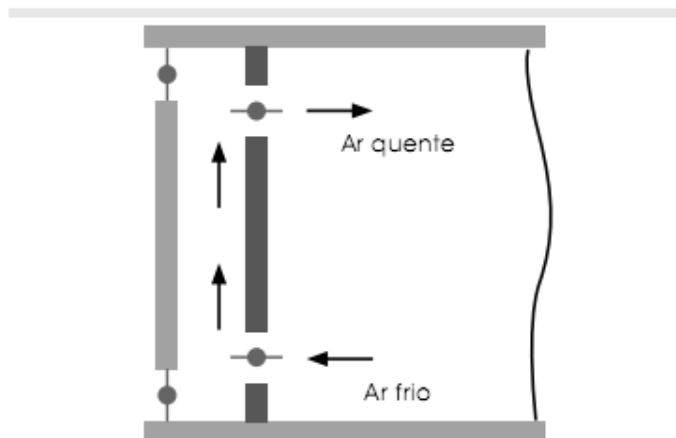


Figura 2.2 - Fluxo de ar para resfriamento e aquecimento do ambiente

Outra forma de aquecimento de ambientes é o uso de aquecedores de passagem. Este aquecimento se dá por um conjunto de serpentinas instaladas sobre o telhado da residência ou em local com alto índice de radiação solar durante o dia. A água é aquecida pelo sol e passa por dentro da estrutura (paredes e pisos) da residência. Este é o mesmo sistema utilizado para aquecimento de água de piscinas. Não necessita de bombas, apenas a pressão da água já é suficiente para fazer o percurso na residência, não sendo, porém é recomendado para resfriamento de ambientes.

2.2 CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL

2.2.1 Aspectos Gerais

O fornecimento de energia elétrica universal e de pouco custo está se tornando cada vez mais indispensável para o conforto e para o desenvolvimento sócio-econômico do Brasil. Apesar das iniciativas governamentais, ainda apresenta escassez em várias regiões, seja pelo acesso dificultado pela distância das fontes geradoras, como por questões financeiras. Desafios como a extensão territorial, a distribuição dos recursos energéticos e as características regionais, impedem a oferta e o gerenciamento da demanda de energia.

Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), a região sudeste concentra o maior consumo de energia no setor industrial. O gráfico da figura 2.3 mostra o consumo percentual por classe de consumo no país. Podemos verificar que o consumo residencial, foco deste

estudo, representa o segundo maior consumo de energia no país, daí sua importância de um estudo para a possível redução deste consumo.

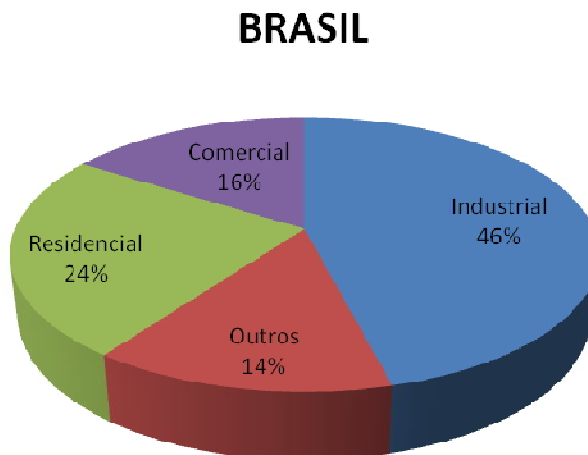


Figura 2.3 - Consumo de energia elétrica Brasil 2008 (Total 392.674 GWh) (Fonte: EPE Resenha mensal do mercado de energia elétrica)

2.2.2 Consumo no setor residencial

O consumo de energia residencial é caracterizado, principalmente, pelo poder econômico da população. A estabilidade da moeda, financiamentos de longo prazo, desvalorização dos eletroeletrônicos e eletrodomésticos e as novas tecnologias fizeram com que a população aumentasse o consumo de energia. Observa-se também, que as regiões sul e sudeste, concentram a maior densidade demográfica, além de serem as regiões onde a renda *per capita* é a maior do país (Ver Anexo C). Com isso pode-se observar as diferenças de consumo de cada equipamento encontrado em residências, por região demográfica, nos gráficos das figuras 2.4 e 2.5. Devido às diferenças climáticas, notam-se as diferenças de consumo em cada região do país. Nos estados do Norte e Nordeste do país, o tipo de equipamento que apresenta maior consumo de energia é o ar condicionado, já nos estados do Sul e Sudeste, temos a maior incidência de consumo do chuveiro e do ar condicionado.

BRASIL

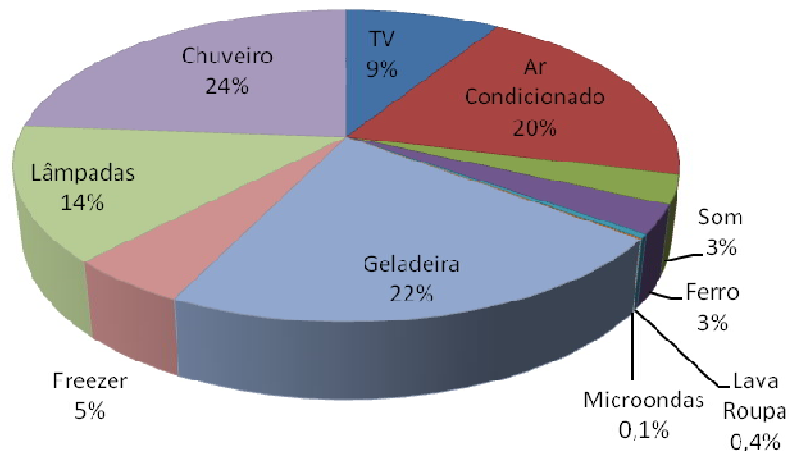
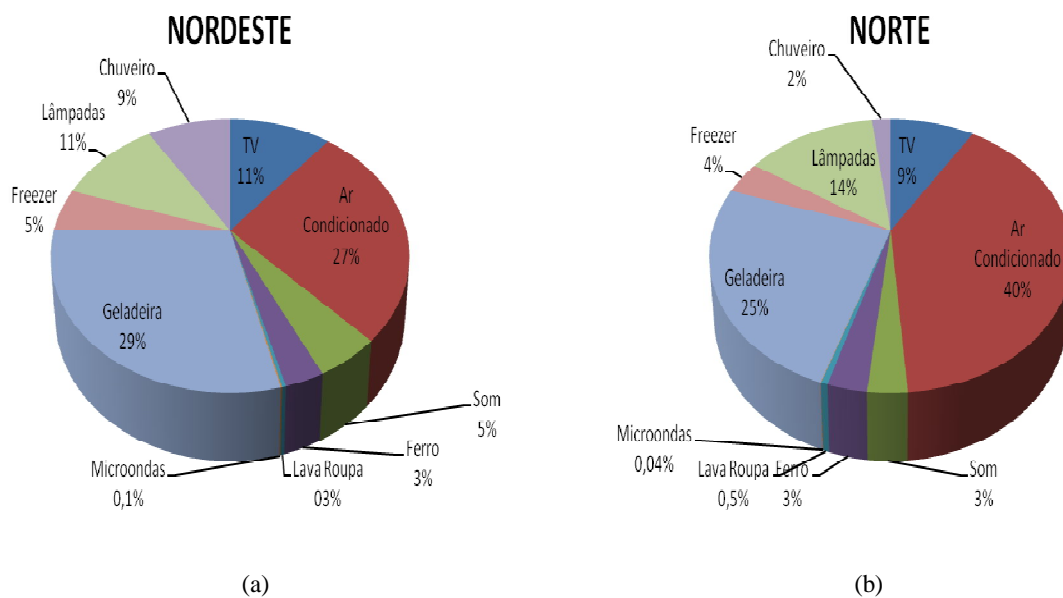


Figura 2.4 - Uso final no setor elétrico residencial (Fonte: Avaliação de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de Classe Residencial PROCEL - Eletrobrás 2007)



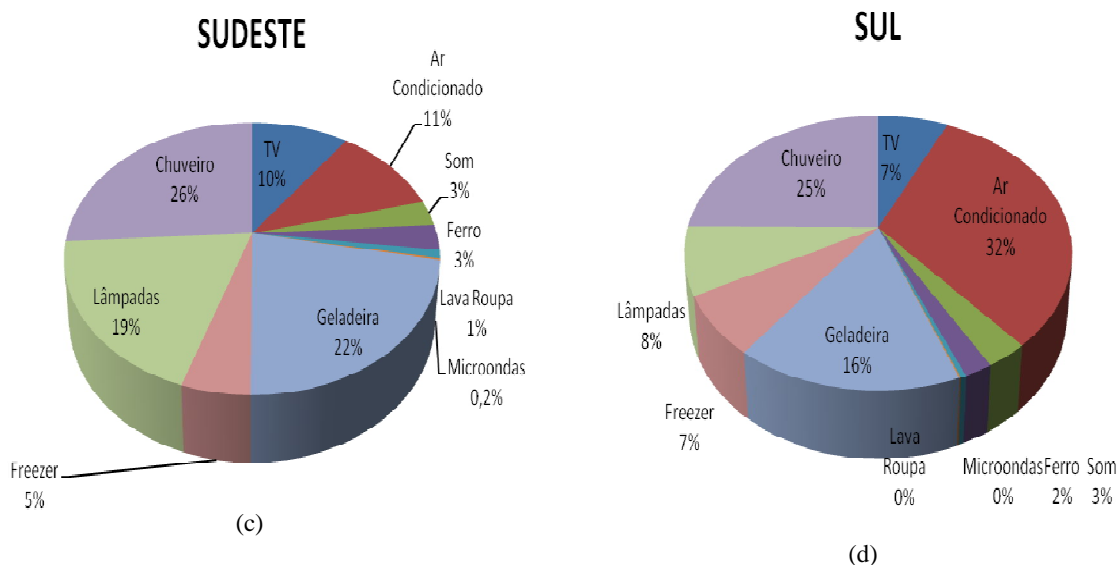


Figura 2.5 - Uso final no setor elétrico residencial por região (a) Nordeste; (b) Norte; (c) Sudeste; (d) Sul (Fonte: Avaliação da Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de Classe Residencial PROCEL – Eletrobrás 2007)

2.3 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

A eficiência no uso de energia no mundo todo, já está em discussão desde a crise do petróleo na década de 70, quando se constatou a diminuição das reservas e conseqüentemente o aumento nos preços do próprio petróleo e de seus derivados. A partir disso, o uso final da energia entrou em pauta, pois seria necessário investir em outras formas de energia para que o sistema econômico, ambiental, social e cultural tivesse menor custo no uso dos serviços de energia.

No Brasil, este pensamento conservacionista tomou grandes proporções, por se encontrar cada vez mais ligado com o “desenvolvimento sustentável”. O PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, criado pelo governo federal, em 1985, é executado pela Eletrobrás com recursos da própria empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e de entidades internacionais (PROCEL, 2009).

Instituído em 1993, o Selo PROCEL de Economia de Energia indica ao consumidor, no ato da compra, os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. O principal objetivo deste selo é incentivar a fabricação de

equipamentos cada vez mais eficientes, com isto estimulando o desenvolvimento tecnológico e a redução dos impactos ambientais (PROCEL, 2009).

Em 2001, o Brasil passou por uma crise energética devido a fatores climáticos como a falta de chuva que deixaram os reservatórios de água muito baixos, má conservação do sistema de transmissão, produção de energia elétrica centralizada, entre outros fatores que desencadearam essa crise. Por outro lado, esta crise no setor elétrico impulsionou mais projetos e pesquisas na área de conservação e racionalização de energia, assim como pesquisas na área de geração e fontes alternativas de energia como, por exemplo, co-geração, solar, eólica, e PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas).

Após o susto do “apagão” e a fim de modernizar o setor elétrico brasileiro, em 1996 foram criadas agências reguladoras: a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, e também o ONS – Operador Nacional do Sistema, responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) ONS (2009). Também, buscando a modernização do setor elétrico, e para a adequação a nova estrutura, criou-se programas de combate ao desperdício e programas de pesquisa e desenvolvimento P&D.

CAPÍTULO 3

ASPECTOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM RESIDÊNCIAS

Caracterização do protótipo estudado

A caracterização da aplicação de eficiência energética em residências inicia-se com uma auditoria energética (ver ANEXO A), para que se tenham as informações necessárias sobre as instalações na residência, fazendo assim sua caracterização (PANESI, 2006).

A eficiência energética em uma residência, parte não somente da substituição dos equipamentos elétricos, mas também, do projeto de construção da mesma. A eficiência deve estar sempre relacionada com a eficiência da construção, ou seja, ao material utilizado e à localização geográfica das janelas e portas. Quando se tem esta preocupação no início da obra a economia de energia fica já inserida no contexto geral da construção. Mas, apesar dos esforços em divulgar a questão da economia de energia, ela ainda não é aplicada na grande maioria das construções atuais.

Para a elaboração deste trabalho, partiu-se de um protótipo de residência para melhorar suas condições ambientais através das fontes alternativas de energia e, por conseqüência, a redução do consumo de energia elétrica. A seguir está feita uma descrição de cada aspecto a ser estudado neste sentido.

O objeto de estudo desta dissertação, é uma residência já construída e está localizado no sítio Campus Experimental do CEEMA (Centro de Estudos em Energia e Meio Ambiente), da Universidade Federal de Santa Maria. O protótipo é um ambiente de 25m², com as seguintes características:

- Três divisórias: duas salas independentes e um banheiro;
- Paredes simples com tijolos de 6 furos;
- Aberturas de metal com vidro;
- Telhado com forro de PVC isolado com isopor;
- Piso de concreto.

A residência que serviu de base para este estudo, foi construída por volta do ano 2000 e não foi considerados aspectos como localização de janelas, ou materiais que remetem ao conceito de efficientização energética. Apesar de não seguir um padrão energético, pode-se analisar a aplicação real das medidas estudadas, levando em consideração que a grande maioria das residências são construídas, sem seguir o padrão visando a eficiência energética como o objeto de estudo.

3.1 ILUMINAÇÃO

Para se avaliar o quanto a iluminação é imprescindível buscou-se aproveitar as tecnologias existentes no mercado tanto quanto possível e utilizar equipamentos com melhor qualidade no aproveitamento da energia elétrica em luz visível, o que é decisivo no que diz respeito ao desempenho das atividades relacionadas ao bem-estar e ao estado emocional dos seus habitantes. Assim sendo, considera-se que os problemas mais freqüentes encontrados nas edificações sejam:

- Iluminação em excesso;
- Falta de aproveitamento da iluminação artificial;
- Uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa;

- Ausência de manutenção, depreciando o sistema;
- Hábitos de uso inadequados.

3.1.1 Iluminação natural

Um dos aspectos de iluminação analisado no objeto de estudo desta dissertação é a iluminação natural, levando em consideração a localização geográfica das aberturas. O protótipo da residência possui três aberturas do tipo janela e uma porta de entrada, a parede do lado norte, está localizada a porta de entrada de metal com vidro transparente, o que facilita a entrada de luz natural. No lado leste recebe o sol pela parte da manhã. Nesta parede estão localizadas duas janelas, uma do tipo bascula e uma janela comum de metal e cor escura. Na parede sul não existe aberturas, e na parede no lado oeste tem-se uma janela do tipo comum, localizada no lado oposto ao da janela tipo bascula. Ver orientação solar no croqui mostrado na figura 3.1.

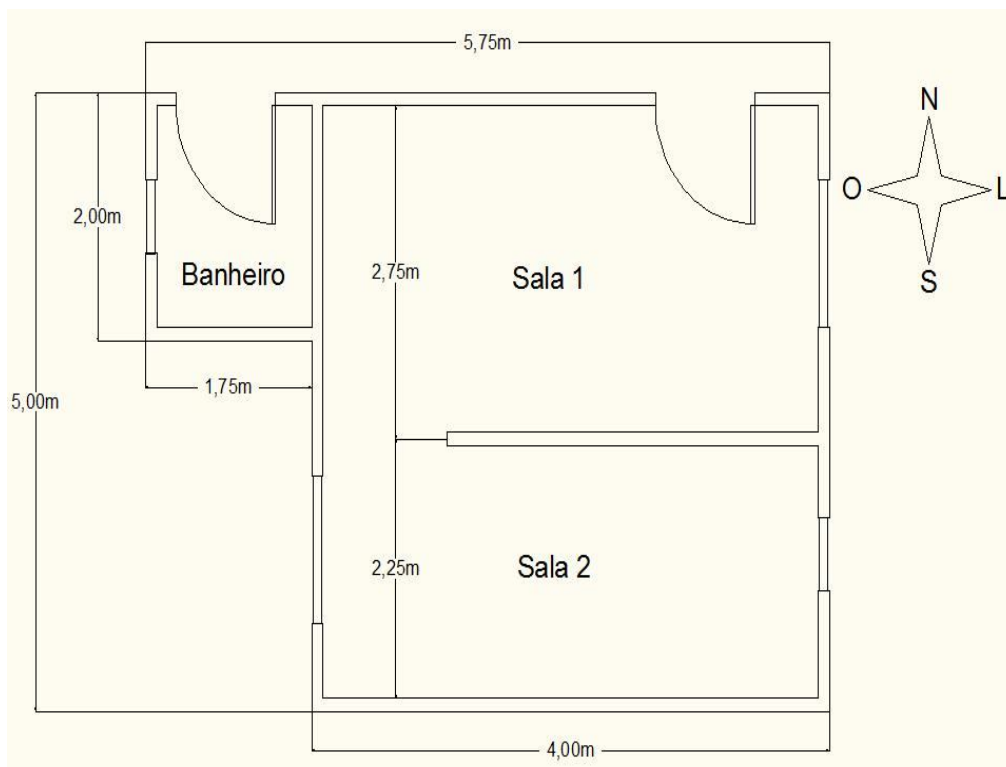


Figura 3.1 - Croqui da residência ou pequena empresa estudada.

Desta maneira, quando as janelas estiverem abertas, a iluminação do horário das 8hs até as 17hs no inverno, e das 7hs até as 19hs no horário de verão não é necessário iluminação artificial, salvo em dias nublados e chuvosos que representam menos de 50% dos dias do ano naquela localização geográfica.

3.1.2 Iluminação artificial

Na residência estudada (ver croqui da figura 3.1) existem duas peças independentes, cada uma com um ponto de iluminação e um banheiro com um ponto único de iluminação. As peças independentes possuem seus pontos de luz no meio do teto, assim como no banheiro. As lâmpadas usadas são do tipo incandescente tradicional que possui baixa vida útil, assim como baixa eficiência (relação energia aplicada x iluminamento) típica das casas comumente encontradas no Rio Grande do Sul.

Para aumentar a eficiência do consumo de energia na iluminação, foi empregado o método de cálculo luminotécnico previsto na NBR 5413 (etapas do cálculo ver ANEXO E) e a revitalização do sistema de iluminação. Após a realização do cálculo para adequação da luminosidade, foi feita a análise econômica do investimento.

3.2 CONDICIONAMENTO

Foi seguida a forma geral de condicionamento de ambientes que podem ser divididos basicamente em dois tipos:

- Sistema artificial (ventiladores, ar condicionado, exaustores, etc.);
- Sistema natural (através de aberturas).

Na residência os ambientes eram climatizados com sistema natural pela abertura das janelas, e com ventilador através no método de condicionamento artificial, também no local não foi encontrado nenhum tipo de climatização do ambiente com ar condicionado.

Características térmicas da residência

Cada material possui propriedades térmicas que pode fazer a diferença no consumo de energia em residências e pequenas instalações habitadas. Analisando separadamente a residência temos:

- Telhado

Normalmente, nas edificações térreas a superfície de exposição ao calor ou frio tem 70% da troca de calor através do telhado. Em sobrados, em média é de 50%. Assim sendo a cobertura é a maior responsável pelas perdas ou ganhos de calor em edifícios de 1 ou 2 pavimentos.

Segundo a organização One Degree Less, as “ilhas de calor” encontradas nos conglomerados das cidades apresentam temperatura de 1 a 6°C maiores que as áreas rurais; com tetos frios (ou brancos) é possível diminuir a temperatura das ilhas de calor em 1°C e economizar de 20% a 70% do uso anual de energia de resfriamento.

A cobertura da residência protótipo usada é feita com telhas de amianto devido ao baixo custo em relação a telhas de barro. O forro é feito de material de PVC, leve e de fácil manutenção com revestimento interno de isopor, o isopor em forma de placas é leve, prático, e encontrado até em papelarias, além de ser um ótimo isolante térmico.

- Paredes

As paredes do protótipo são de alvenaria com tijolos de seis furos, sem reboco e pintadas na cor branca. O uso de tijolos com seis furos tem como vantagens: alvenaria com aspecto mais uniforme; menor peso por unidade de volume de alvenaria; dificulta a propagação de umidade e é um bom isolante térmico e acústico.

- Aberturas

Janelas do tipo bascula – apresenta pequena projeção para ambos os lados, fácil limpeza. Porém, possui reduzida estanqueidade térmica.

Janelas comuns de correr – são do tipo metálica, de folha dupla com simplicidade de manobra, ventilação regulada conforme a abertura das folhas e não ocupa áreas internas ou

externas. Sofre alterações de temperatura conforme o ambiente externo, reproduzindo esta mudança para o ambiente interno. Com o decorrer do tempo, reduz a estanqueidade.

Portas – são do tipo metálico, com vidro na parte superior, possuem basicamente as mesmas características das janelas comuns, também sofrendo alterações com a temperatura.

Carga térmica

O cálculo térmico da residência serve como auxílio para verificar a quantidade de fontes de calor existentes no ambiente e também para dimensionar o sistema de refrigeração. A carga térmica ou potência térmica do ambiente, é classificada conforme o modo (radiação, transmissão, geração interna, etc.) e tipo (calor sensível, calor latente).

A potência térmica de entrada resulta dos seguintes itens:

- Radiação solar através de superfícies transparentes;
- Condução de calor do exterior para o ambiente através das paredes ou telhados
- Condução ou distribuição interna de calor através de paredes, divisórias, tetos, pisos internos;
- Calor gerado no ambiente por ocupantes, animais, luzes e equipamentos;
- Transferência de calor devido à ventilação, renovação e infiltração de ar externo;
- Outros.

Para analisar que tipo de sistema de condicionamento pode ser usado com maior eficiência na residência realizou-se o cálculo da carga térmica, levando em consideração os aspectos mostrados na tabela 3.1, construída a partir da tabela do ANEXO D.

Tabela 3.1 - Cálculo Simplificado de Carga Térmica

Cliente:		Campus Experimental CEEMA	
Local:		Santa Maria-RS	
Carga Térmica	Procedências do Calor		Watt
	1	Janelas: insolação	1785.52
	2	Janelas: transmissão	30.75
	3	Paredes	629.74
	4	Teto	3731.26
	5	Piso	380.77
	6	Pessoas	738.11
	7	Iluminação e aparelhos	40225.71
	8	Portas ou vãos abertos	553.58
	Fator climático da região	0,9	
Resultado da Carga Térmica (Watt)		43267.77	
Resultado da Carga Térmica (kcal/h)		140041	

A partir deste cálculo, verificamos a quantidade de carga térmica em Watt, e levantamos os tipos possíveis de equipamentos de condicionamento a ser usados.

Na literatura foram analisados os tipos mais comuns de equipamentos reunidos na tabela 3.2 em uso em residências, onde é feito uma comparação de investimentos e impactos ambientais.

Geotermia

A energia geotérmica é aquela energia térmica retirada terra. Ela pode ser profunda ou superficial. A energia geotérmica profunda é disponível no núcleo da terra (magma) e responsável pelos vulcões e terremotos. A energia superficial é aquela encontrada a poucos metros da superfície da terra e se deve principalmente ao calor direto do sol. A energia superficial no setor residencial permite o condicionamento térmico de habitações, assim como o aquecimento de água para piscinas, banho e outros usos. Atualmente o desenvolvimento de tecnologias para utilização desta fonte pode ser notada em diversas aplicações em edificações, indústrias alimentícias e comércio.

A idéia de se aproveitar o calor da terra é antiga, e a tecnologia básica já existe há décadas. Porém, apenas recentemente, as várias vantagens da geotermia começaram a atrair mais a atenção por parte da sociedade. Os sistemas geotérmicos estão ficando cada vez mais competitivos nos Estados Unidos e na Europa. Mesmo considerando-se residências nas quais

o aquecimento e refrigeração de ar são obsoletos e necessitem, inicialmente, serem removidos. No Brasil especialmente, esta energia pode ser muito bem aproveitada para o resfriamento de ambientes uma vez que 75% de sua área é tropical, como está visto nos capítulos que se sucedem nesta dissertação.

Tabela 3.2 - Comparativo dos tipos de sistemas de condicionamento de ambientes.

	Climatizador evaporativo	Ar condicionado convencional e split	Climatizador evaporativo por nebulização	Ventilador / exaustor	Sistema Geotérmico
Custo	Baixo	Alto	Baixo	Muito baixo	Médio
Consumo de energia	Baixo	Muito alto	Baixo	Baixo	Baixo
Requisitos do ambiente	Ambiente aberto por trabalhar com grande renovação de ar (próxima a 100%)	Deve ser fechado o máximo possível por trabalhar com pouca renovação de ar	Deve ter pé direito (altura) alto ou ser ao ar livre	Sem requisitos específicos	Ambiente fechado, trabalha com troca de calor.
Efeito na temperatura	Resfria o ar de acordo com a temperatura de bulbo úmido local	Esfria o ar de acordo com a temperatura selecionada no termostato	Resfria o ar de acordo com a umidade relativa do ambiente Aumenta a umidade relativa; muito difícil evitar a saturação; em dias mais úmidos molha o ambiente.	Não altera temperatura do ar, apenas movimenta o ar quente	Refresca o ar, trocando calor.
Efeito na umidade	Aumenta a umidade relativa do ar sem atingir a saturação	Seca o ar	A umidificação do ar é benefício em climas muito secos	Não altera a umidade São úteis na redução dos efeitos prejudiciais do calor excessivo. A exaustão é fundamental em ambientes com geração de calor ou de poluentes	Não altera significativamente a umidade do ar
Efeito na saúde	Bom devido a grande renovação de ar. A umidificação do ar é um benefício adicional em climas muito secos.	Ar muito seco e a baixa taxa de renovação do ar são prejudiciais a saúde.	A umidificação do ar é benefício em climas muito secos	São úteis na redução dos efeitos prejudiciais do calor excessivo. A exaustão é fundamental em ambientes com geração de calor ou de poluentes	Ameniza a sensação de calor no ambiente, não resseca o ar.
Impactos no Meio Ambiente	Nenhum impacto negativo	O alto consumo de energia pode acarretar pesado ônus para o meio ambiente. Os gases CFC e o HCFC são prejudiciais à camada de ozônio	Nenhum impacto negativo.	Nenhum impacto negativo.	Nenhum impacto negativo.
Manutenção	Baixa e simples	Alta e especializada	Alta (bicos entopem com frequência e precisam ser limpos ou substituídos)	Muito baixa	Média, é necessário verificar o fluido de refrigeração periodicamente.

No Brasil, a energia geotérmica é uma fonte renovável de energia pouco difundida, e necessita de investimento e pesquisa para se adequar ao tipo de ambiente local. Neste trabalho é focada em especial a questão do uso da energia térmica para condicionamento de ambientes. Para tanto, foram analisadas as operações em baixas temperaturas, consideradas como energia geotérmica superficial. O equipamento utilizado promove a troca de calor do ambiente interno

com o solo, propiciando uma refrigeração mais adequada. O aproveitamento deste calor pode ser aplicado no aquecimento de ambiente, da água, na piscicultura, em estufas ou outros ambientes domésticos.

Nos processos geotérmicos existe uma transferência de energia por convecção que torna útil o calor produzido e contido no interior da terra. O aproveitamento pode ser feito utilizando a tecnologia de serpentinas com gás refrigerante ou água, trocando calor com o solo que utiliza a energia geotérmica, com temperaturas progressivamente mais baixas, até cerca dos 20°C. Atualmente, existe também a utilização de ciclos binários na produção de energia elétrica e de bombas de calor (BCG) no caso de utilizações diretas.

3.3 AQUECIMENTO DE ÁGUA

- Chuveiro

Desenvolvido no Brasil, na década de 1940, o chuveiro elétrico tem sido usado como a fonte principal de calor em residências e pequenas empresas – uma vez que as redes de gás eram praticamente inexistentes nas grandes cidades – ao contrário da energia elétrica.

Tipicamente no Brasil, o chuveiro elétrico fica ligado em média por 40 minutos (0,66 horas) por dia, atendendo a uma família média de 3,8 pessoas. A potência média comercial chuveiro é de 5,00 kW. Assim sendo, em um ano o chuveiro é o responsável por um consumo familiar de $(365 \text{ dias} \times 5,0 \text{ kW} \times 0,66 \text{ horas}) = 1204 \text{ kWh}$. Pode-se estimar com boa segurança que cerca de 40.000.000 famílias usam diariamente o chuveiro elétrico para banho (dados do IBGE, ver ANEXO C).

No Brasil o uso do chuveiro elétrico ainda é usado em grande escala, devido ao baixo custo de instalação e manutenção. As grandes vantagens do chuveiro elétrico é o baixo custo, fácil instalação, evita perdas de calor por armazenamento e o aquecimento é quase que instantâneo da água. Porém, o chuveiro elétrico é o responsável por 24% do consumo de energia da residência conforme visto na figura 2.4, e contribui fortemente para a deformidade da curva de carga durante este horário, principalmente no inverno. A tabela 3.3 mostra o Custo Mensal (R\$) aproximado, calculado ao preço médio de R\$ 0,40 por kWh por mês.

Tabela 3.3 - Custo mensal do chuveiro elétrico, uso médio de 10 minutos por dia residência com 4 pessoas.

Chuveiro (W)	Consumo kW.h por mês	Custo Mensal (R\$)
2.000	40	6,67
4.000	80	13,33
6.000	120	20,00

- Gás

O uso de gás para aquecimento de água está se consolidando no país devido a ampliação das redes de gás natural. Este fato deve-se a preocupação com a segurança das instalações de chuveiros elétricos com fios inadequados, ligações sem isolamento correto e ao alto consumo nos horários de pico da rede elétrica. Associado a isto, o chuveiro a gás tem grande economia de energia elétrica, acrescentando-se a economia para o próprio usuário.

O sistema de aquecimento de água doméstica a gás instalado para os fins desta dissertação é composto por um acumulador de água quente, acoplado a um botijão de gás (GLP) padrão como suporte a um coletor solar e um chuveiro elétrico (ver detalhes na foto mostrada na figura 3.5). A tabela 3.4 mostra um quadro comparativo entre as soluções de aquecimento usadas nesta dissertação.

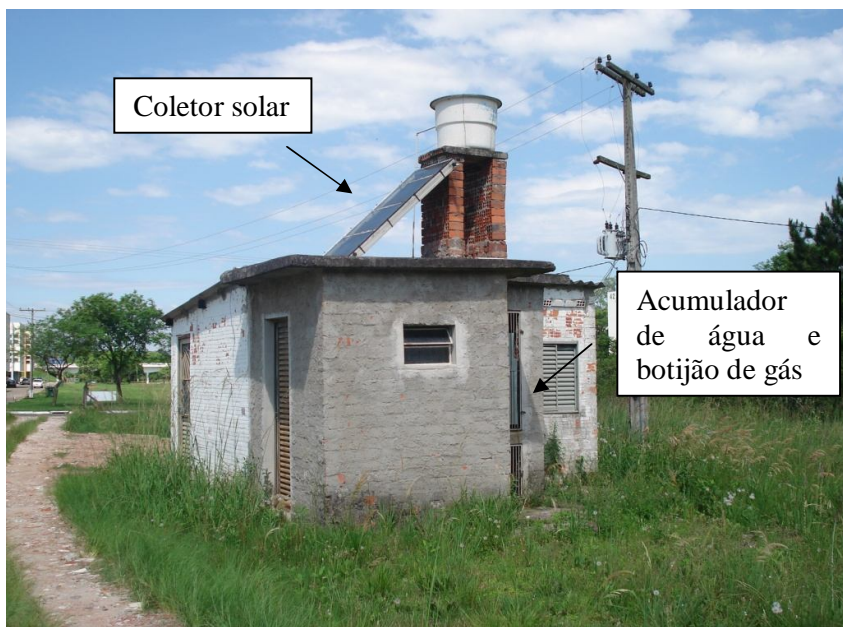


Figura 3.2 - Sistema de aquecimento de água doméstica (coletor solar)

- solar

Trata-se de um conjunto de painéis incluindo um coletor, um boiler isolado termicamente e um sistema de aquecimento elétrico acoplado. O coletor é usado como placa para captação da energia dos raios solares, transformando-a no calor que aquece a água fria. (Via de regra, o número de placas varia de acordo com a capacidade do boiler o reservatório que armazena a água quente: uma ou duas placas para boilers de 150 litros, duas para 200 litros, duas ou três para 250 litros e quatro a cinco para 300 litros, e assim por diante, segundo fabricantes de coletores solar). No projeto solar usado experimentalmente desta dissertação, o boiler foi instalado numa posição logo acima dos coletores. Ele está voltado para o norte, e sua inclinação pode ser ajustada ao ângulo da latitude local acrescido de 5 a 10 graus.

Tabela 3.4 - Comparativo de aquecimento residencial de água.

Chuveiro Elétrico			
	Passagem individual	Passagem central	Acumulação
Vantagens	compacto e fácil de instalar,	compacto	água quente para uso imediato
Desvantagens	custo do kWh, baixa pressão e pouca vazão de água	custo do kWh	custo do kWh

Chuveiro a gás			
	Passagem		Acumulação
Vantagens	pressão de água melhor que nos modelos de passagem elétricos		água quente para uso imediato
Desvantagens	risco de vazamento se não seguir especificações; dificuldade em manter a temperatura baixa	risco de vazamento se não forem seguidas rigorosamente as especificações técnicas, perdas por acumulação prolongada de calor	

Coletor Solar	
	Acumulação
Vantagens	Baixo custo de aquecimento, em regiões com sol disponível em boa parte do dia
Desvantagens	custo do aparelho; em regiões pouco ensolaradas, o sistema elétrico é acionado constantemente

Para a efficientização da energia de aquecimento de água, foi utilizado um sistema integrado para substituição do chuveiro elétrico que pode utilizar energia solar, gás e ainda o suporte de um chuveiro elétrico de menor potência e, portanto menor consumo de energia elétrica. Neste capítulo foi apreciada a caracterização do protótipo residencial estudado, é necessário para iniciar a aplicação das alternativas para a redução do consumo. Após este estudo do ambiente segue a construção dos protótipos no capítulo 4.

CAPÍTULO 4

ALTERNATIVAS PARA DIMINUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS

Neste capítulo são demonstrados resultados a partir do aproveitamento das fontes alternativas e medidas corretivas nas instalações do protótipo de residência proposto nesta dissertação. A caracterização feita no capítulo anterior estabelece as bases para as atividades práticas deste assunto e para a redução dos custos com energia elétrica.

4.1 CONSUMO DE ENERGIA EM RESIDÊNCIAS E PEQUENAS EMPRESAS

4.1.1 Iluminação

A planta baixa mostrada na figura 4.1, ilustra a instalação da iluminação. O ambiente é iluminado por uma lâmpada incandescente de 40 W e está dividido em duas salas, aqui denominadas Sala 1 e Sala 2. Há também um banheiro com uma lâmpada incandescente de 40 W. Buscando a melhoria da iluminação e a redução no custo da energia elétrica, iniciou-se a formulação do projeto para o cálculo luminotécnico deste ambiente protótipo (ver ANEXO E), na tabela 4.1, temos o resultado da quantidade lâmpadas referente ao cálculo luminotécnico e o custo de energia com as diferentes composições da instalação elétrica.

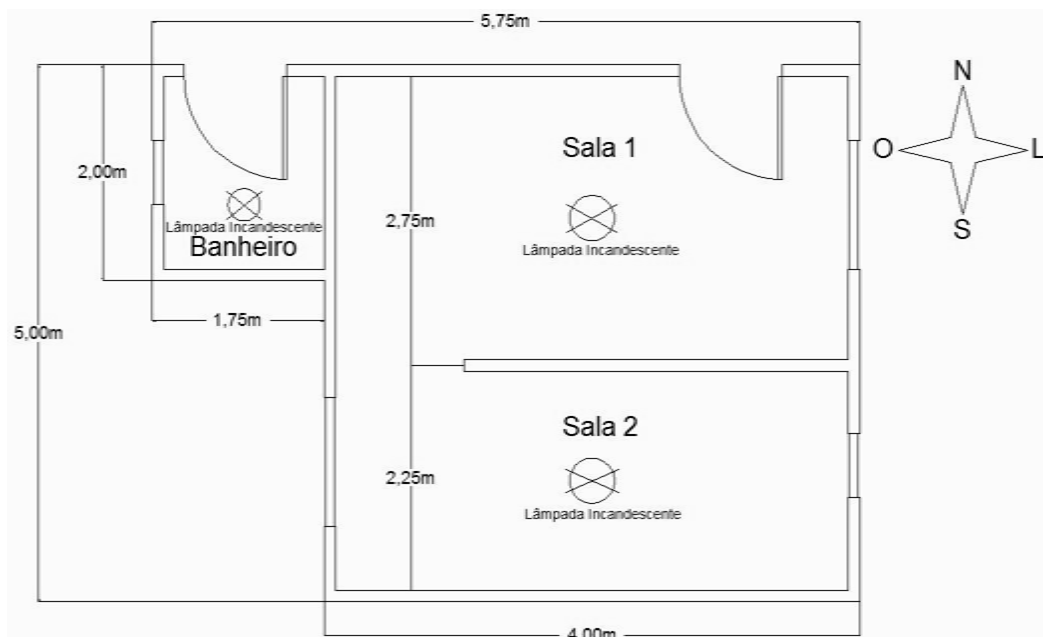


Figura 4.1 - Pontos de iluminação do protótipo

Tabela 4.1 - Caracterização da iluminação nos ambientes da residência estudada.

Sala 1 e 2	<i>Quantidade/Potência</i>	<i>Consumo de energia (W) (*)</i>	<i>Custo (R\$) (**)</i>	<i>Total ano (R\$)</i>
Instalação atual	1/40W	9.600	3,84	7,68
Cálculo Luminotécnico	2/60W	28.800	11,52	23,08
Substituição por lâmpadas fluorescentes compactas	1/20W	4.800	1,92	3,84

(*) consumo estimado para 8 horas diárias em 30 dias

(**) valor da tarifa R\$ 0,40kW.h

4.1.1.2 – Outras alternativas para iluminação

Além do uso de lâmpadas econômicas, fluorescentes compactas, lâmpadas de LED estão sendo incorporadas no mercado. Alguns fabricantes já disponibilizam lâmpadas de LED para o uso de forma direcionada como, por exemplo, em luminárias, ou então em suportes portáteis para uso indireto. As lâmpadas de uso direto estão sendo introduzidas aos poucos no

mercado devido ao alto custo, custando até 10 vezes mais que uma lâmpada fluorescente compacta, porém a vida útil pode chegar até 19 anos.

Devido ao foco principal do trabalho ser alternativas acessíveis para redução de consumo a qualquer região, as lâmpadas de LED não foram incluídas de forma direta no estudo.

4.1.2 Chuveiro

O estudo da radiação solar no local da aplicação do sistema foi realizado através do programa RADIASOL do laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a opção pela utilização deste programa, se deve ao fato de ser um programa de acesso livre, e de uso fácil. Os resultados obtidos estão sintetizados nas figuras 4.2 a 4.7, nestas figuras encontram-se os passos realizados para obtenção da radiação solar na cidade de Santa Maria, para deste modo verificar a aplicabilidade de um sistema de coletores solar.

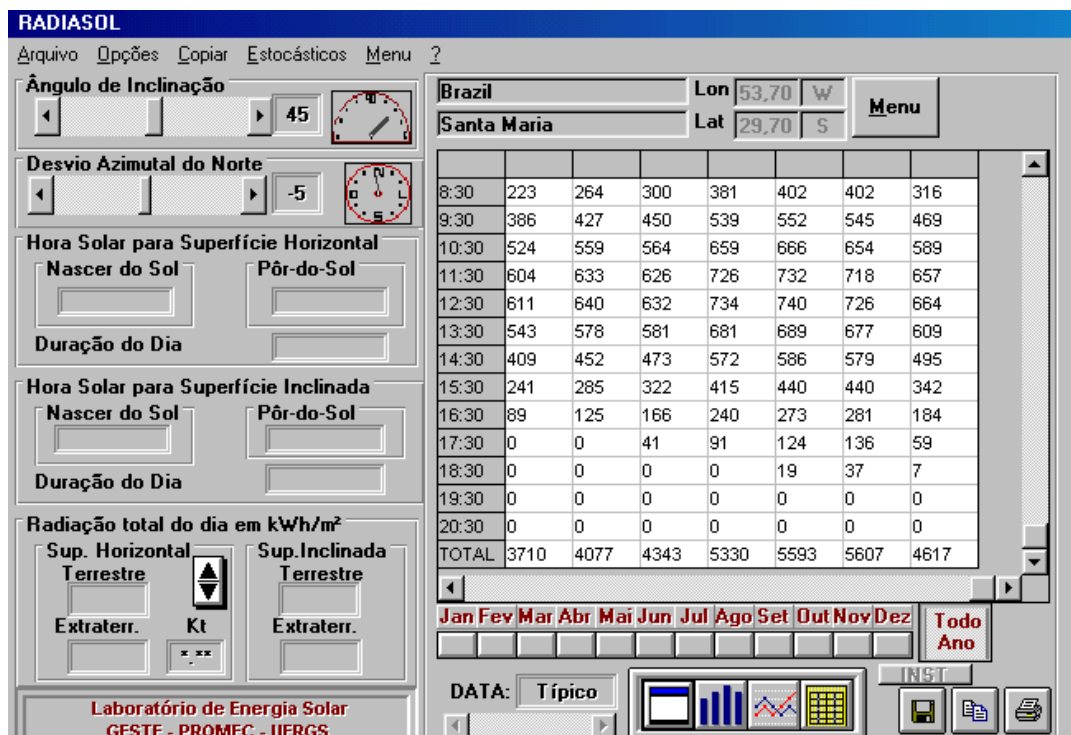


Figura 4.2 - Software RADIASOL

Radiação Solar Diária (kWh/m²)

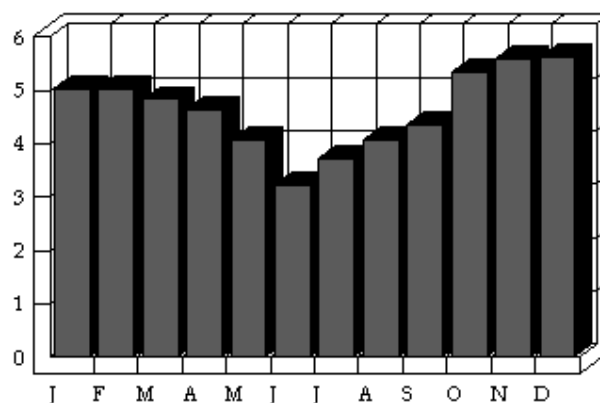
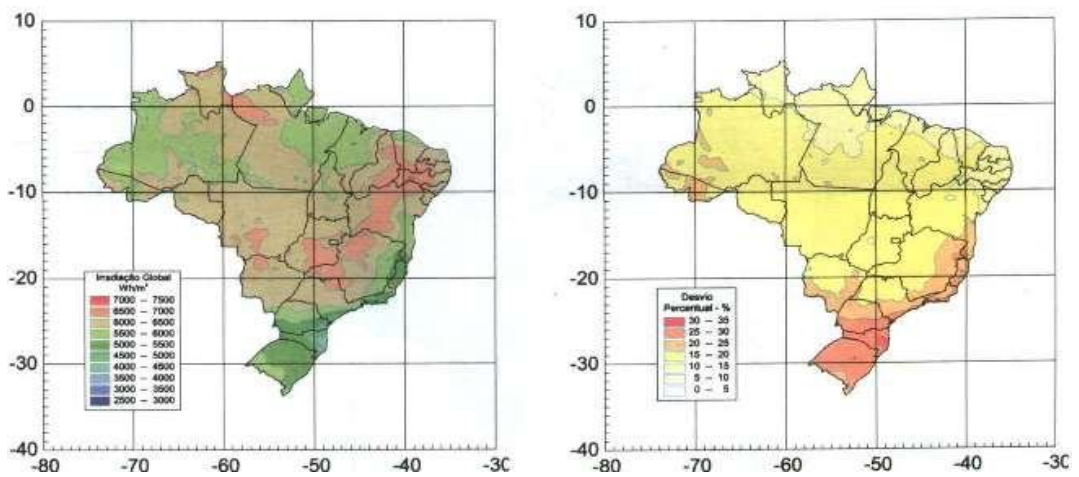
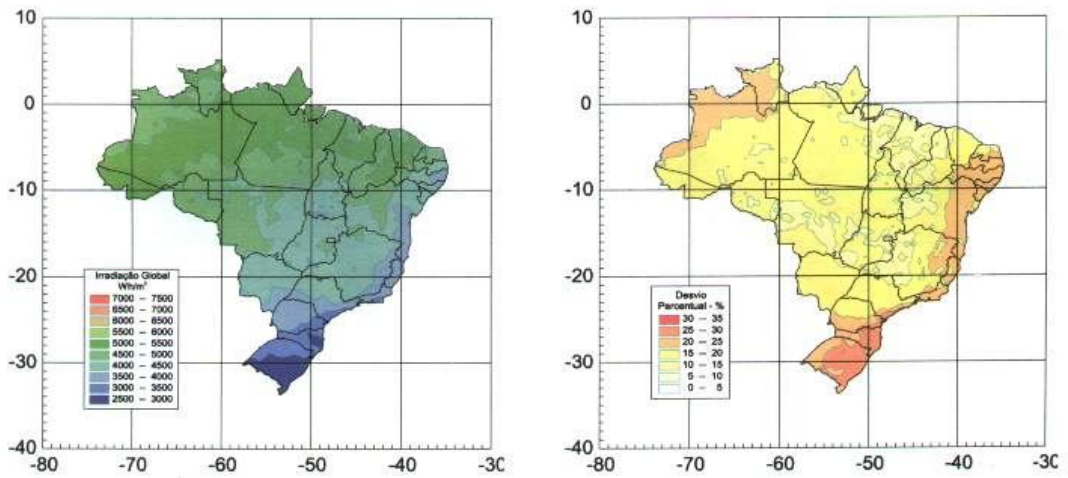
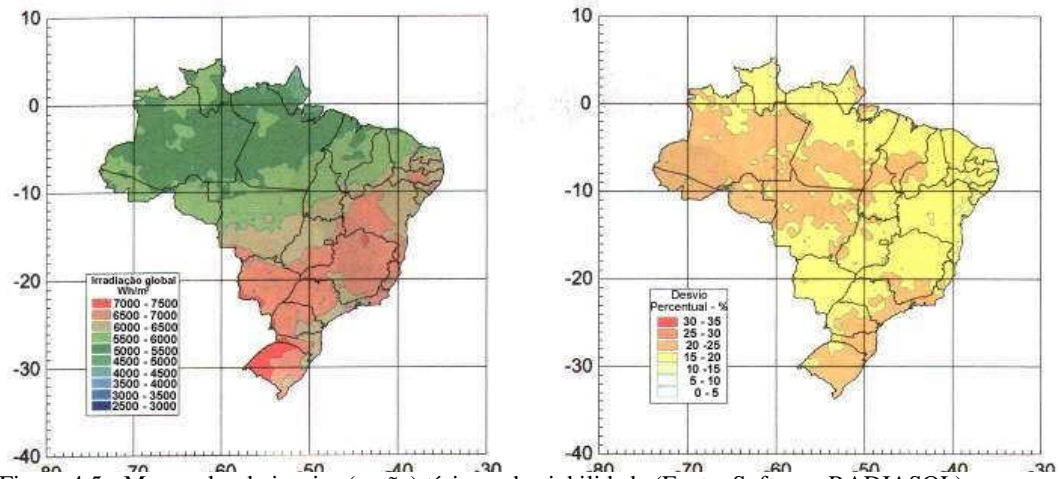


Figura 4.3 - Gráfico obtido com o programa RADIASOL para Santa Maria – RS

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir		Sair											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	38	7
6:30	117	90	55	18	0	0	0	0	35	77	108	124	52
7:30	235	218	184	143	98	63	80	114	153	215	243	250	166
8:30	369	366	340	308	251	189	223	264	300	381	402	402	316
9:30	494	505	495	480	422	334	386	427	450	539	552	545	469
10:30	586	609	611	616	564	460	524	559	564	659	666	654	589
11:30	638	667	674	692	645	533	604	633	626	726	732	718	657
12:30	643	672	681	699	653	539	611	640	632	734	740	726	664
13:30	600	626	629	638	585	475	543	578	581	681	689	677	609
14:30	515	530	521	509	448	351	409	452	473	572	586	579	495
15:30	392	392	366	334	272	202	241	285	322	415	440	440	342
16:30	253	237	201	159	109	69	89	125	166	240	273	281	184
17:30	125	100	64	24	0	0	0	0	41	91	124	136	59
18:30	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	37	7
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5023	5012	4821	4620	4047	3215	3710	4077	4343	5330	5593	5607	4617

Figura 4.4 - Tabela obtida do software RADIASOL para Santa Maria – RS



A viabilidade de aplicação de coletores solares para a cidade de Santa Maria – RS, foi realizada com base no software RADIASOL que possui todos os requisitos necessários para este estudo.

Cálculo para o coletor solar

O sol irradia 677 W/m^2 sobre a superfície da Terra. No Brasil a média é de aproximadamente $5,2 \text{ kWh/m}^2$ por dia (dados MANCINI 2008). A energia solar tem sido utilizada para aquecimento de água com a ajuda de coletores solares por onde circula água. A água assim aquecida é levada para um armazenador de água quente. Desta maneira, para obter 4 kW do sol e substituir um chuveiro elétrico, é necessário uma instalação média de $5,5 \text{ kWh/m}^2$ ou $2 \times 10^7 \text{ J/m}^2$ por dia. Portanto, para $1 \text{ m}^2 = 231 \text{ j/s} = 231 \text{ W}$ é necessário 17 m^2 (de canos) por passagem para a recirculação.

Para obter o melhor aproveitamento dos coletores solares, primeiramente define-se o modelo matemático para que atenda as necessidades das temperaturas de banho: quente ($>32^\circ\text{C}$), morno ($18\text{-}32^\circ\text{C}$) e frio ($10\text{-}18^\circ\text{C}$).

Via de regra, o dimensionamento do coletor solar pode ser feito primeiramente dimensionando o volume de água quente seguindo a equação 4.1.

$$V_{consumo} = \sum_{n=i} V_p \times T_u \times f_u \quad (4.1)$$

onde:

$V_{consumo}$ – é o volume do consumo diário em m^3 ;

V_p – vazão do ponto de utilização em $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$;

T_u – tempo de utilização em segundos;

f_u – frequência de uso;

A partir dessa equação pode-se quantificar o volume de água quente consumido diariamente, não esquecendo que esse volume total corresponde à quantidade de água quente na temperatura de banho, que varia entre 36°C e 40°C . Isso significa dizer que parte da água

consumida vem do aquecedor solar e parte vem da caixa de água fria. A relação entre água quente e água fria varia de acordo com a característica climática da região.

Depois de dimensionado o volume de água quente, chega-se ao volume final do reservatório térmico. Em seguida, é dimensionada a área coletora necessária. Para isso é feito um balanço de energia que consiste em levantar a demanda energética necessária para aquecer o volume dimensionado e a produção específica de energia do coletor solar dentro da condição de instalação levantada. A equação abaixo esclarece melhor o conceito.

$$\text{Área coletora} = \frac{\left(\frac{kWh}{\text{mês}}\right)^*}{\left(\frac{kWh}{\text{m}^2 \cdot \text{mês}}\right)^{**}} \quad (4.2)$$

$$\frac{\text{*Demanda energética mensal}}{\text{**Produção específica de energia}}$$

A demanda energética mensal pode ser calculada usando a equação:

$$DE = \frac{V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_f - T_i)}{3600} \times 30 \text{ dias} \quad (4.3)$$

onde:

DE – demanda energética mensal, em kWh;

V – volume de água quente em m³;

ρ – peso específico da água, considerando 100kg/água, considerando 100 kg/m³;

c_p – calor específico da água, 1kJ/kg°C;

T_f – temperatura de armazenamento de água quente, em °C;

T_i – temperatura da água fria, em °C.

Considerando o rendimento médio de 50% para o coletor solar, a temperatura mostrada no gráfico da figura 4.8 e os dados coletados no dia 16/08/2009, caracterizando um dia de inverno na região Sul, se pode observar que a quantidade de calor gerado chega a quase 3000 W. Este resultado, portanto, valida o estudo de substituição parcial do chuveiro elétrico por um coletor solar para aquecimento de água, ainda é necessário aquecer a água com eletricidade, porém a potência da resistência é reduzida.

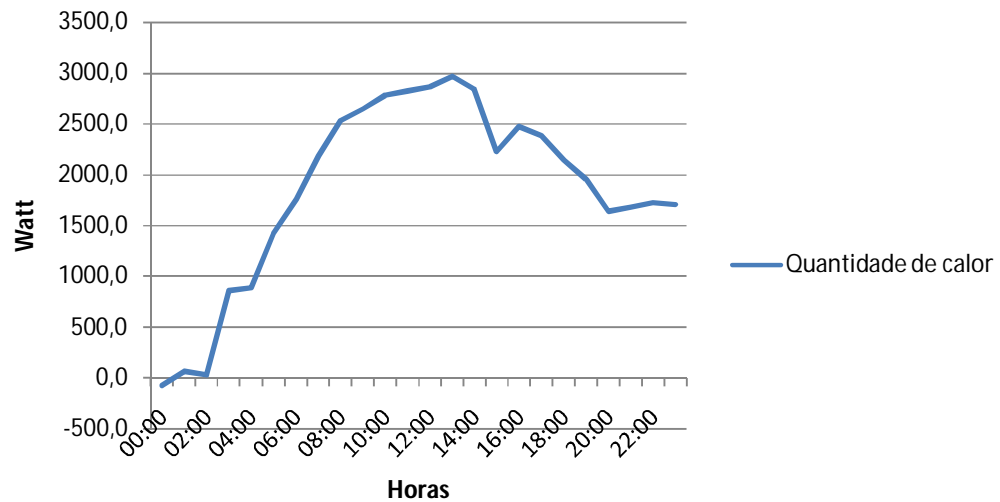


Figura 4.8 - Quantidade de calor do coletor solar

4.1.2.1 Chuveiro Híbrido

O chuveiro híbrido recebe este nome em função da união de diferentes tipos de sistemas destinados ao aquecimento de água. Assim sendo, pode-se ter as seguintes combinações:

- Solar – Elétrico
- Solar – Gás
- Gás – Elétrico
- Solar – Gás – Elétrico

No caso Solar-Elétrico tem-se o uso de coletores solares, e como sistema suporte um chuveiro elétrico com uma potência reduzida a menos de 1000 W. O chuveiro elétrico é acionado apenas quando o usuário verifica a necessidade de elevar a temperatura da água. Desta maneira, a utilização seria esporádica e o consumo de energia elétrica bastante reduzida. No segundo caso (Solar-Gás), os coletores atuam ainda como aquecedor principal e o sistema suporte é o gás, que deve ser utilizado quando o usuário sente a necessidade de elevar a

temperatura da água. Na terceira configuração (Gás-Elétrico) o aquecimento a gás é a principal fonte de calor, e o sistema elétrico seria acionado apenas nos momento em que falta gás, ou seja, seu uso seria eventual. No último caso (Solar – Gás – Elétrico), têm-se os três tipos de aquecimento de água em um único local. Este é o modelo de chuveiro híbrido encontrado no objeto de estudo desta dissertação. A figura 4.9 mostra a configuração completa de aquecimento.

A tabela 4.2 especifica a diferença de cada configuração do chuveiro híbrido, baseando-se no consumo de cada sistema, onde se verifica que o investimento inicial em coletores solares, e aquecedor de GLP são superiores ao de um chuveiro elétrico, porém o consumo de energia elétrica e o custo desta energia são reduzidos significativamente.

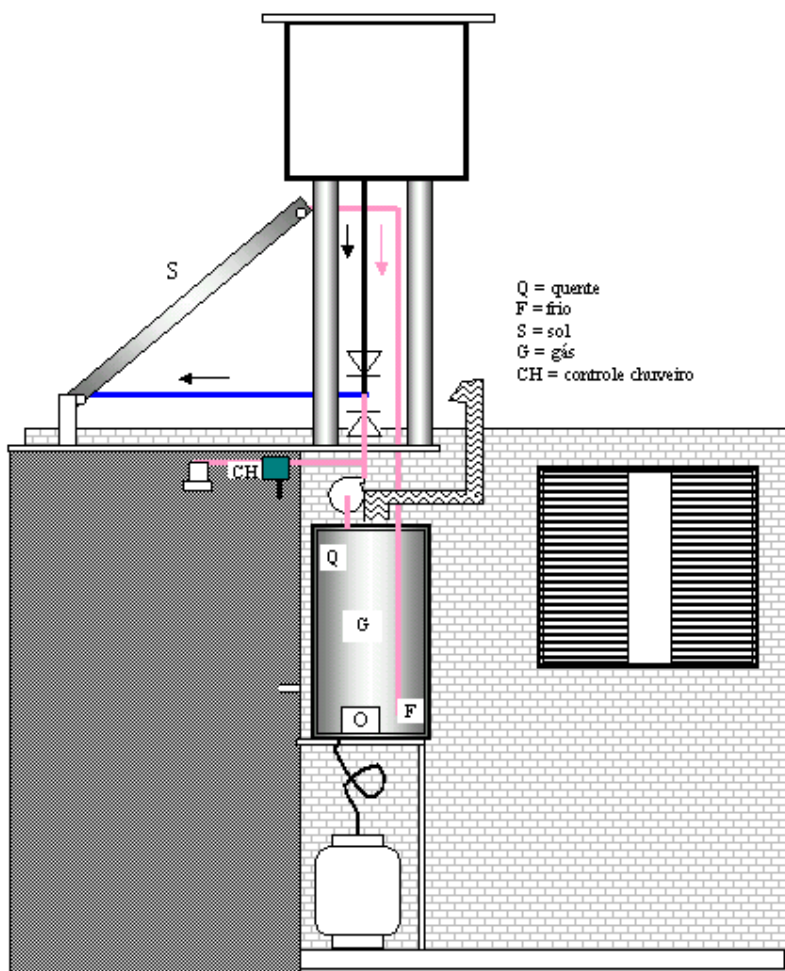


Figura 4.9 - Circuito hidráulico do chuveiro híbrido

4.1.2.2 Análise comparativa dos tipos de aquecedores

Tabela 4.2 - Dados comparativos entre sistemas de aquecimento de água.

<i>Custos R\$/dia</i>	<i>Chuveiro elétrico</i>	<i>Aquecedor GLP</i>	<i>Coletor Solar Plano</i>
Investimento R\$	35,00	800,00	1.800,00
Vida útil – anos	2	10	15
Consumo	5,5 kWh	0,71 kg	1,83 kWh (1)
Eficiência	95%	75%	(2)

(1) admite-se que a energia solar substitua 75% da eletricidade usada. (2) substituída a eficiência pelo parâmetro comercial: 100 L/dia água quente/m² de coletor solar plano.

4.1.2.3 Energia geotérmica para aquecimento de água

A energia geotérmica superficial pode ser utilizada para pré-aquecimento da água que seria utilizado no chuveiro, da seguinte maneira: a água passaria por canos subterrâneos, na profundidade de 3 a 4 metros. Nesta profundidade o solo encontra-se a uma temperatura geralmente entre 10°C e 16°C (Farret, 2006). Logo, no período de junho a agosto (inverno no sul do Brasil) a energia geotérmica superficial poderia pré-aquecer a água que passaria pelos coletores solares, ou mesmo ir direto para um chuveiro elétrico. Com isto, a potência elétrica dos chuveiros comerciais poderia ser bastante reduzida.

4.1.3 Condicionamento térmico

4.1.3.1 Energia geotérmica superficial

A quantidade típica de calor exigida de um sistema de refrigeração com condicionador de ar é de 600 BTU ou 174,75Watt por metro quadrado superficial do ambiente. O protótipo de residência usado nesta dissertação possui 25m², e assim precisa-se de pouco mais de 15000 BTU ou 4393,5Watt. O consumo de energia é estimado em 4,4 kW.h para tal e supõe a utilização de 4 horas por dia com tarifa de R\$ 0,40 kW.h, chegando-se então a R\$ 52,80/mês.

Buscando a redução do consumo de energia elétrica gasta com sistemas de condicionamento convencionais, optou-se pela implantação de um sistema de condicionamento geotérmico superficial. Realizou-se algumas análises preliminares do solo da região de instalação do protótipo usado para a comprovação de que a temperatura mantinha-se estável na profundidade de 3 a 4 metros.

O protótipo de ambientação a partir da energia geotérmica superficial usado nesta dissertação utiliza um radiador com ciclo fechado que troca calor com o solo através de um fluido para dissipá-lo no ambiente. Segundo Farret (2006), a temperatura no solo a profundidade de 3 metros se encontra-se entre 10° e 16°C na maioria dos locais habitados no planeta.

O protótipo usado nestes estudos foi montado no Campus Experimental do CEEMA (Centro de Estudos em Energia e Meio Ambiente), na cidade de Santa Maria – Rio Grande do Sul – Brasil. O estudo sobre a temperatura do solo da região é comprovado como mostra a figura 4.10, sendo os valores entre 10°C e 16°C.

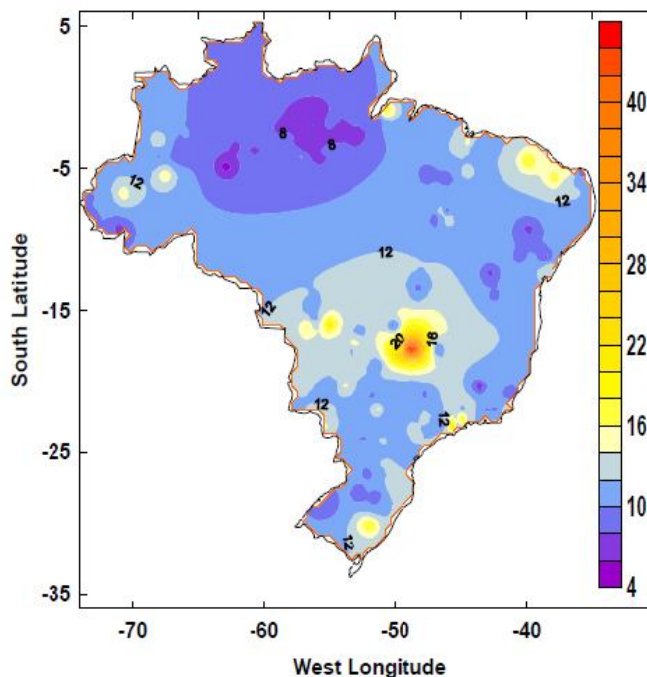


Figura 4.10 - Mapa geotérmico superficial do Brasil. (Fonte: HANZA, 2005)

Modelo Matemático de um Sistema de Ambientação Geotérmico

Para analisar a transferência de calor do sistema geotérmico (SG), utiliza-se a formulação de resistências térmicas no caminho de fluxo do calor, do fluido quente para o frio (ver ANEXO F). Para isso deve-se elaborar um coeficiente de transferência global de calor (U) conforme explicado a seguir. Como o trocador enterrado de calor é uma serpentina de cobre, e o cobre é um metal com alto índice de condutividade térmica, pode-se considerar:

$$U = h \quad (4.4)$$

onde:

U – coeficiente de transferência de calor global;

h – coeficiente de transferência de calor por convecção, $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$;

Utilizando então a Equação de Dittus-Boelter para escoamento em tubos lisos temos OZISIK (1990):

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \quad (4.5)$$

sendo:

Nu – número de Nusselt;

Re – número de Reynolds;

Pr – número de Prandtl, adotando – se $n = 0,4$ para o aquecimento e $n = 0,3$ para o resfriamento.

O número de Reynolds irá variar de acordo com:

$$Re = \frac{cD}{\nu} \quad (4.6)$$

c – velocidade média do escoamento;

D – diâmetro do tubo;

ν – viscosidade cinemática do fluido.

Assim temos que

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (4.7)$$

onde:

D – diâmetro do tubo;

k – condutividade térmica da água

Portanto, encontramos o valor do coeficiente de transferência de calor h .

A fórmula que estabelece a transferência de calor é:

$$Q = hA\Delta T_{ln} \quad (4.8)$$

onde:

A – área;

ΔT_{ln} – Diferença de temperatura média logarítmica (MLDT).

Desta forma tem-se:

$$\Delta T_{ln} = \frac{T_w - T_{af}}{T_w - T_{ef}} \quad (4.9)$$

onde:

T_{wall} – temperatura da parede;

T_{af} – temperatura de entrada do trocador;

T_{ef} – temperatura de saída do trocador.

Tabela 1.3 - Dados para o cálculo do Número de Nusselt (Ozisik, 1990).

Temperatura °C	ν (m ² /s)	k (W/m°C)	Pr
0°	1,78x10 ⁻⁶	0,552	13,6
20°	1,006x10 ⁻⁶	0,597	7,02
40°	0,658x10 ⁻⁶	0,628	4,34

Onde: ν – viscosidade cinemática da água; k – condutividade térmica; Pr – número de Prandtl.

Com o estudo da carga térmica e a comparação com outros métodos de condicionamento de ambientes, verificou-se as condições de aplicabilidade de um sistema de condicionamento geotérmico, assim iniciou-se realizando com a modelagem matemática dos trocadores de calor, bem como a quantidade de calor fornecida ao ambientes utilizando os dados práticos coletados como segue.

As figuras 4.11 a 4.14 mostram o esquema do sistema geotérmico usado no protótipo desta dissertação, ilustram as condições internas e externas do ambiente. A troca de calor geotérmico superficial usa uma bomba que faz água circular na serpentina de cano de cobre enterrado, o qual promove a troca de calor com o solo. O radiador transfere calor para o ambiente com o auxílio de um pequeno ventilador auxiliar. A água foi o veículo de troca de calor com o solo circulando dentro de serpentinas enterradas a cerca de 3 a 4 metros de profundidade através de uma bomba centrífuga. A troca ou absorção de calor é dissipada no ambiente interno através apenas de um radiador e um ventilador ordinário. Observou-se que as características encontradas no sistema geotérmico estudado podem ser resumidas como segue: é silencioso, eficiente, limpo e inodoro, e usa pouca eletricidade.

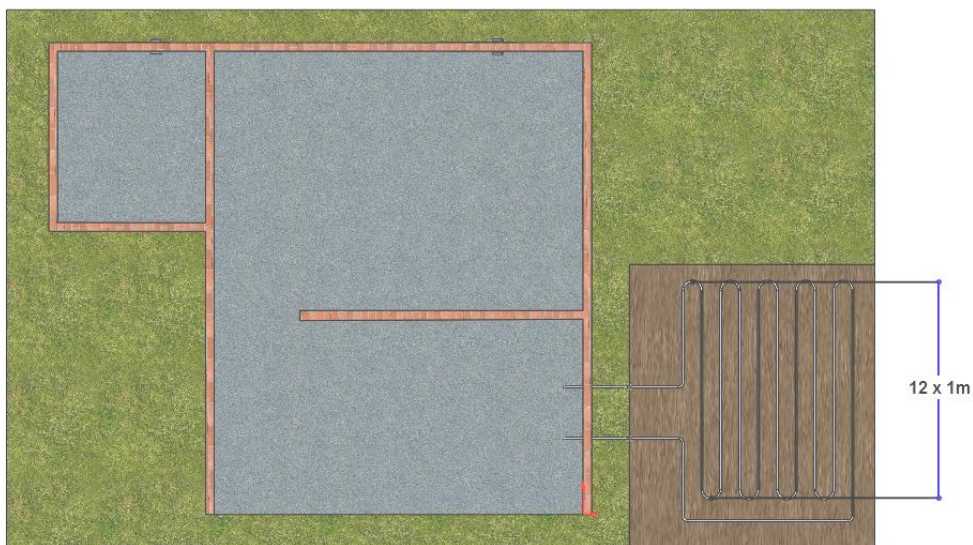


Figura 4.11 - Estrutura do sistema geotérmico

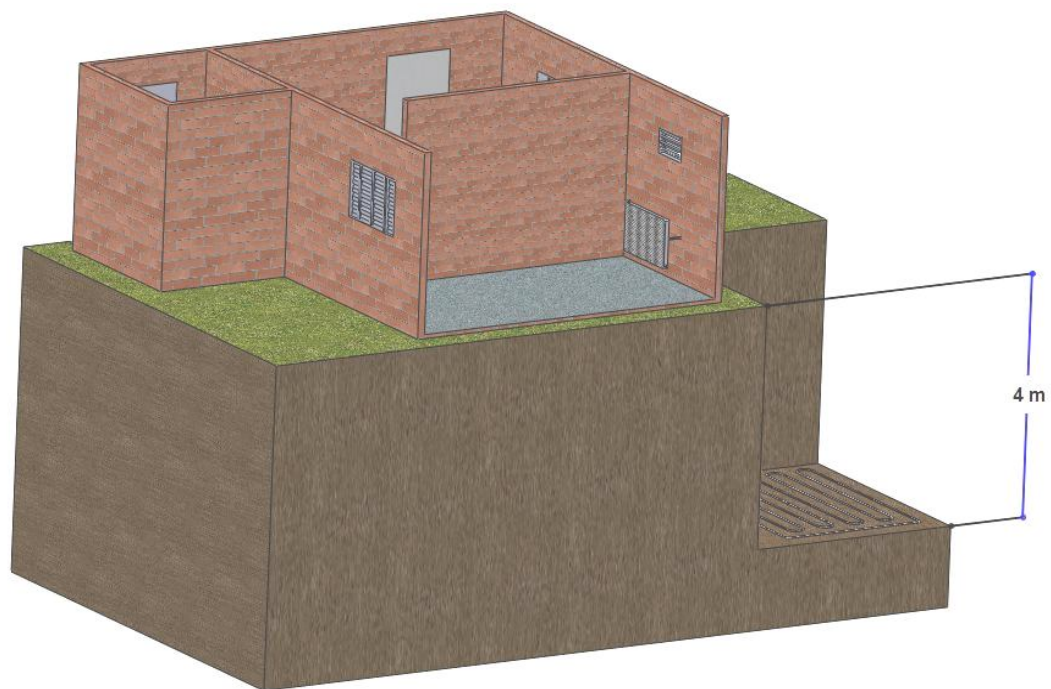


Figura 4.12 - Localização do sistema geotérmico e montagem



Figura 4.13 - Foto do sistema geotérmico interno



Figura 4.14 - Foto do sistema geotérmico, profundidade de 4 metros, e trocador de calor com 12 metros de comprimento (serpentina).

O gráfico da figura 4.15 mostra a temperatura medida no dia 18/12/2009, na entrada e na saída do trocador de calor, bem como a temperatura do ambiente externo e a temperatura dissipada até um ponto do ambiente conforme ilustrado na figura 4.12. Foi escolhido o dia para o qual as temperaturas coletadas foram sempre maiores que 16°C , que é a temperatura suposta estável no subsolo abaixo de 3 metros de profundidade, já na figura 4.16 tem-se a quantidade de calor que é absorvido ou dissipado para o ambiente, dependendo da configuração de resfriamento ou aquecimento.

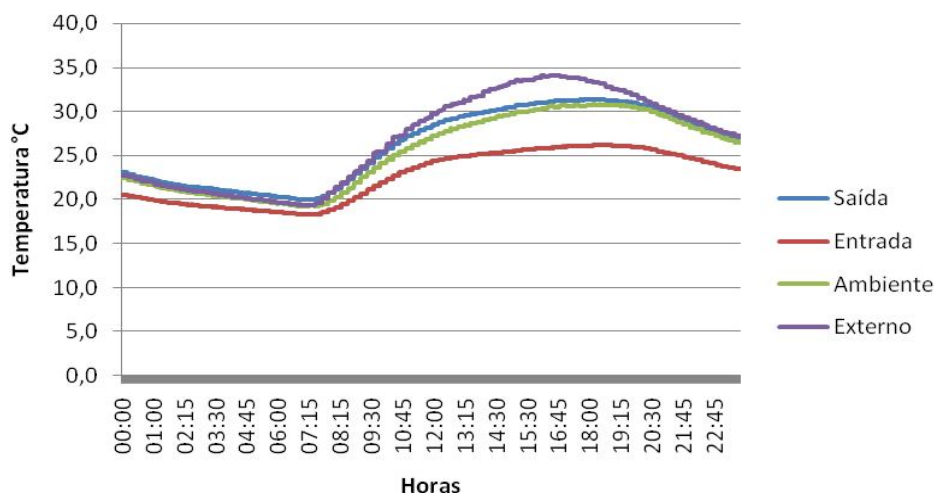


Figura 4.15 - Temperaturas de saída do SG após a troca de calor com o solo, entrada após a troca com o ambiente, ambiente condicionado, e ambiente externo ao ambiente

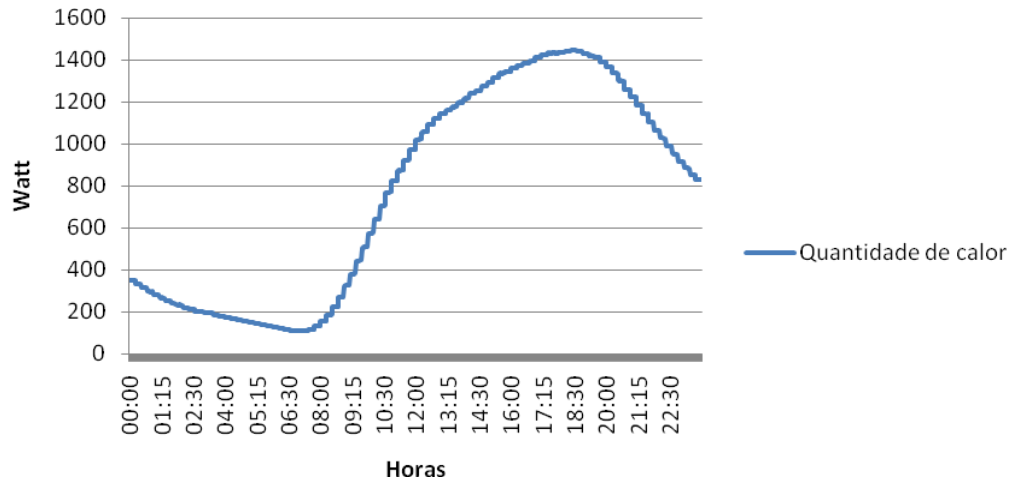


Figura 4.16 - Quantidade de calor retirado do ambiente para resfriamento

4.2 APROVEITAMENTO DAS FONTES INTERNAS DE CALOR NAS RESIDÊNCIAS

4.2.1 Outras fontes de consumo e de energia

Outras fontes de consumo encontradas nas residências podem ser aproveitadas para reduzir os custos finais com eletricidade. A substituição de equipamentos eletroeletrônicos como geladeiras, máquinas de lavar roupa, microondas, secadoras de roupas, entre outros, por equipamentos de alto rendimento e/ou de baixo consumo. Outras medidas devem também ser consideradas como os programas do uso racional da energia, desligamento da tomada de equipamentos após a utilização, não os deixando no modo *stand by* com consumo contínuo de energia elétrica, mesmo que reduzido.

Uma alternativa possível seria a substituição do motor do depurador de ar por um motor *stirling* (ver ANEXO G). Este motor funciona com a diferença de calor entre uma fonte fria e uma fonte quente para mover pistões ao invés da combustão de algum combustível, ou eletricidade. O motor Stirling é ideal para retirar o calor de ambientes, e substituir o depurador de ar. Outra possibilidade de aproveitamento de calor é a utilização de uma serpentina anexada a grade posterior da geladeira, acoplado a churrasqueira, ou lareira. Nesta serpentina passaria a água na temperatura ambiente para ser pré-aquecida e entrar no circuito da água do chuveiro e do consumo doméstico.

Sistemas encontrados no mercado reutilizam a energia térmica gerada pelo chuveiro elétrico. Segundo o fabricante o sistema tem a finalidade de reciclar a energia térmica da água do banho, recuperando seu calor, reduzindo em até 50 % o consumo de energia, independente da fonte de energia utilizada para aquecer a água (elétrica, gás, caldeira, aquecimento solar, etc.). O calor é reaproveitado através do contato INDIRETO entre a água do banho (quente) com a água da caixa (fria) por meio de um eficiente trocador de calor de alumínio (serpentina), fazendo com que a água da caixa chegue ao chuveiro pré - aquecida, proporcionando economia (Rewatt).

As possibilidades de aproveitamento de energia térmica são inúmeras em uma residência, neste trabalho foram abordados dois pontos principais, a energia térmica destinada ao chuveiro elétrico (aquecimento de água) e o condicionamento de energia (ambientação). Este capítulo resume as alternativas selecionadas para a redução do consumo de energia residencial, realizado durante o período do curso de mestrado, as idéias iniciais foram

implementadas e comprovadas à aplicabilidade de um sistema de condicionamento de ambientes geotérmico, o qual é ainda pouco difundido e aplicado no Brasil. No capítulo que segue são tratados as questões de economia de energia e o reflexo nos custos com eletricidade, das alternativas aplicadas no protótipo de residência, concluindo um dos objetivos específicos desta dissertação.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS DE REDUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Este capítulo contempla a análise econômica das alternativas estudadas nesta dissertação, reproduzindo os reflexos nos custos com energia elétrica do protótipo de residência estudado.

5.1 ILUMINAÇÃO

Analisando o item iluminação do capítulo anterior observa-se que a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas pode reduzir vastamente os custos mensais na conta de energia. Na tabela 5.1, é feita a comparação entre a substituição das lâmpadas e o consumo de energia elétrica.

Tabela 5.1 - Comparativo de economia da substituição de lâmpadas da instalação atual do protótipo, por lâmpadas de baixo consumo.

	Valor Unitário (R\$)	Custo mensal (R\$)	Troca de lâmpadas por ano	Custo operacional + investimento ano
Lâmpada Incandescente	1,60	11,52	5 ^(*)	146,24
Lâmpadas fluorescente	7,50	1,92	0,5 ^(**)	25,54
		Economia mensal		Economia anual
		R\$ 9,60		R\$ 120,7
				82,5%

(*) Lâmpada incandescente duração 1000 horas; (**) Lâmpada fluorescente compacta duração 6000 horas; Tarifa R\$0,40kW.h

A substituição conforme mostra a tabela 5.1 remete a uma economia de 82,5% de energia durante um ano, contando o consumo de energia e o valor das lâmpadas substituída durante um ano. Com esta economia comparando com a figura 2.5 (d) do capítulo 2, onde se observa o consumo em iluminação de 8%, com a redução de 82,5% do valor de 8% tem-se a figura 5.1 modificada, onde a fatia em destaque é a economia com iluminação.

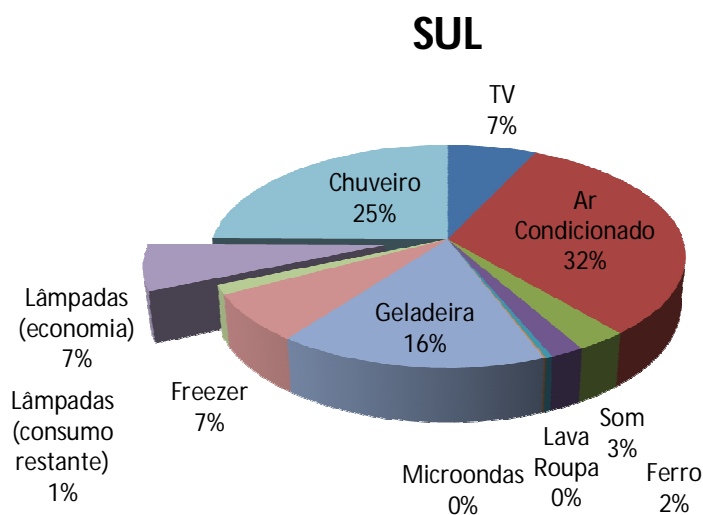


Figura 5.1 - Gráfico da economia de energia com iluminação na região sul

5.2 CHUVEIRO

Segundo os dados de consumo apresentados no capítulo 2, o chuveiro elétrico na região Sul, representa 25% do consumo de energia elétrica residencial. Ainda segundo IBGE (ver anexo C), aproximadamente 10 milhões de residências são abastecidas com energia elétrica. A substituição dos chuveiros elétricos por sistemas híbridos com qualquer uma das quatro configurações analisadas no capítulo anterior, poderia suavizar este percentual.

A tabela 5.2 descreve a economia de energia em relação ao chuveiro elétrico convencional, e um sistema de coletores solares associados a um sistema suporte com um chuveiro elétrico com baixa potência.

Tabela 5.2 - Comparativo do chuveiro elétrico com o sistema de coletores solar.

	<i>Potência (W)</i>	<i>Custo mensal da energia (R\$)</i>	<i>Custo anual da energia (R\$)</i>
Chuveiro elétrico	5000	40,00	480,00
Coletor solar com sistema suporte de um chuveiro elétrico	1000	8,00	96,00
		Economia de energia	Economia de energia
		R\$ 32,00	R\$ 384,00
			80%

Tarifa R\$0,40 kW.h

A substituição conforme mostra a tabela 5.2 remete a uma economia de 80% de energia durante um ano, Com esta economia comparando com a figura 2.5 (d) do capítulo 2, onde se observa o consumo com o chuveiro de 25%, com a redução de 80% do valor de 25% tem-se a figura 5.2 modificada, onde a fatia em destaque é a economia com o chuveiro elétrico.

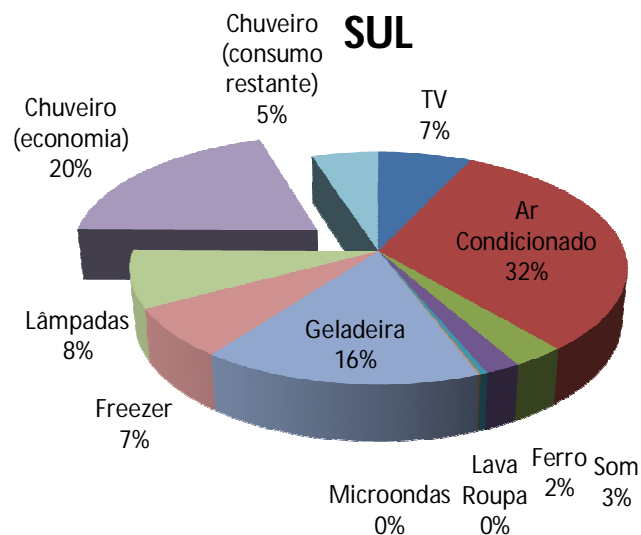


Figura 5.2 - Gráfico da economia de energia com a substituição do chuveiro elétrico, por coletores solar na região sul

5.3 CONDICIONAMENTO

O sistema de condicionamento geotérmico analisado no capítulo 4, consome em média 60 W com a bomba de água e o ventilador que contribuem com a dissipação de calor nos trocadores. Analisando o gráfico da figura 4.16 do capítulo 4, vê-se que uma quantidade de calor máxima necessária é em torno de 1,4kW. O custo total de implantação do condicionador geotérmico foi de R\$ 301,40 (Ver ANEXO H).

A tabela 5.3 descreve a economia de energia em relação ao sistema de condicionamento de ar, e o sistema geotérmico. A substituição do sistema de ar condicionado pelo sistema geotérmico conforme mostra a tabela 5.2 remete a uma economia de 97 % de energia durante um ano, Com esta economia comparando com a figura 2.5 (d) do capítulo 2, onde se observa o consumo com o ar condicionado de 32%, com a redução de 97% do valor de 32% tem-se a figura 5.3 modificada, onde a fatia em destaque é a economia com ar condicionado.

Tabela 5.3 - Comparativo do ar condicionado com o sistema geotérmico

	<i>Custo mensal de energia (R\$)</i>	<i>Custo anual de energia (R\$)</i>
Sistema Geotérmico	3,60	43,2
Ar condicionado	132,00	1.584,00
	Economia de energia	Economia de energia
	R\$ 128,4	R\$ 1540,80
		97%

Tarifa R\$ 0,40 kW.h

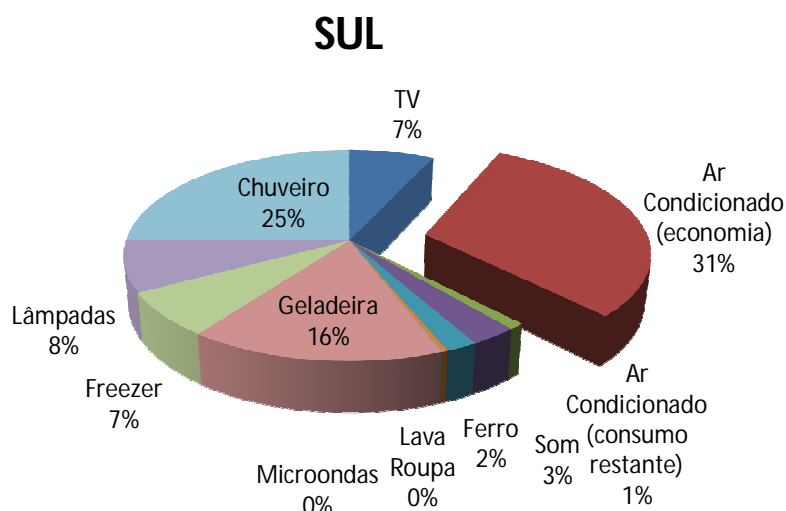


Figura 5.3 - Gráfico da economia de energia na região sul, com a substituição do ar condicionado por um sistema geotérmico de baixo custo

5.4 REFLEXOS NOS CUSTOS

O objetivo final deste trabalho é o analisar os reflexos nos custos finais com a aplicação das fontes alternativas de energia na redução do consumo de energia elétrica. Após a caracterização do consumo, especificamente na região sul do país, e a aplicação de novas versões de protótipos como aquele que inclui o coletor solar e o sistema geotérmico, a redução do consumo de energia foi de 56% no custo final com energia elétrica. Esta mudança

pode ser verificada no gráfico da figura 5.4 abaixo. Se extrapolar esta redução de consumo para todo o país o cenário de economia seria o da figura 5.5.

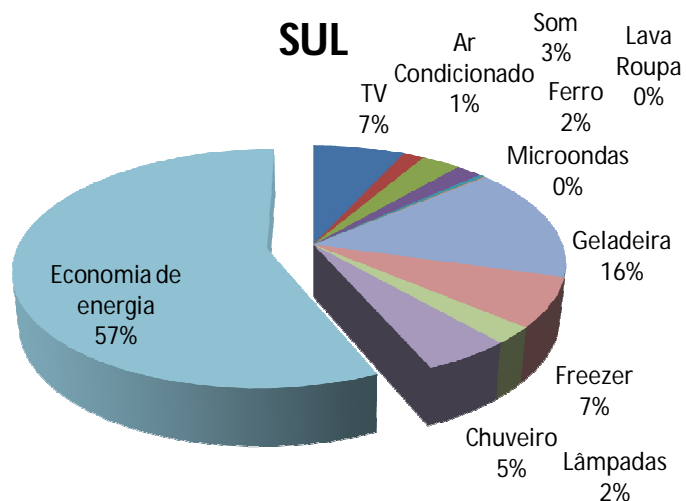


Figura 5.4 - Gráfico da economia de energia total na região sul

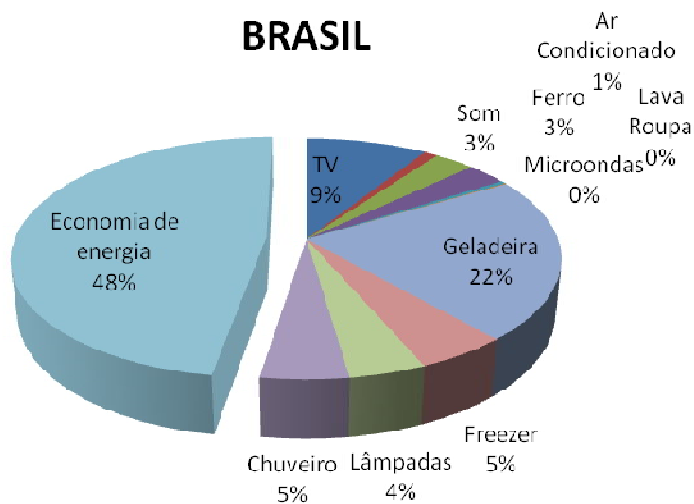


Figura 5.5 - Gráfico da economia de energia expandido ao Brasil

Portanto, pode-se afirmar que cada vez mais, é possível e viável a utilização de sistemas alternativos de energia para suprir as necessidades de energia elétrica em todo o Brasil. Também são necessárias mais pesquisas sobre equipamentos cada vez mais eficientes, e incentivos governamentais para a aplicabilidade destas técnicas.

Dentre algumas questões levantadas durante o trabalho, os objetivos específicos foram alcançados, justificando a aplicação de fontes de energia alternativas pouco utilizadas no Brasil, que é o caso da energia geotérmica. A estrutura residencial utilizada permitiu que o trabalho fosse realizado de maneira prática, e mostrando a viabilidade de todo o sistema, refletindo nos custos finais com energia e reduzindo a curva de carga no horário de pico.

CAPÍTULO 6

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação trata da redução e racionalização do consumo de energia em residências e pequenas empresas. Neste trabalho estão reunidas discussões sobre alternativas ativas e passivas de consumo e produção de calor dentro de ambientes confinados visando a redução dos custos de energia em pequenas instalações domésticas e empresariais. Os aspectos abordados em maiores detalhes são os relacionados com a iluminação, condicionamento de ar e chuveiro. As fontes de calor consideradas em mais detalhes neste estudo envolvem a energia geotérmica superficial, o gás de cozinha e a eletricidade.

No que se refere a iluminação de pequenos ambientes, o uso de lâmpadas mais econômicas além de reduzir o consumo de energia, diminui a emissão CO₂ levando em conta a geração térmica de energia elétrica. A substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas reduz em até 82,5% o gasto com iluminação de uma residência, e podem durar até 8 vezes mais que as incandescentes. As lâmpadas fluorescentes compactas e de LED's são de alta eficiência, porém ainda são caras para a grande maioria da população.

A substituição mesmo que parcial do chuveiro elétrico por coletores solares possibilita uma economia de 80% de energia elétrica. O retorno de investimento é rápido, comparado com a vida útil do equipamento.

O condicionamento de ar através da energia geotérmica pode proporcionar uma economia de 97%, se comparado com os aparelhos tradicionais de ar condicionado. O retorno de investimento é imediato. O condicionamento geotérmico superficial de ambientes também se mostrou eficiente para o resfriamento do ambiente em todas as regiões do Brasil, porém para aquecimento de ambientes ele é muito limitado para o Sul do Brasil por ser esta uma região subtropical com energias superficiais do subsolo muito próximas da temperatura ambiente.

Os resultados desta dissertação demonstraram que os custos com energia elétrica em pequenos ambientes domésticos ou comerciais podem ser reduzidos em 56%. Isto demonstra a viabilidade do aproveitamento das energias alternativas para a redução do consumo de energia elétrica, refletindo esta redução de forma direta e clara nos custos mensais com energia.

6.2 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação resulta de um estudo sobre fontes alternativas de energia para o uso em residências e pequenas instalações empresariais. As contribuições que a autora acredita ter feito para aumento da eficiência e a racionalização do consumo associados com as formas alternativas de energia para a redução do consumo de energia elétrica são:

- 1) Estabelecimento dos fundamentos teóricos e econômicos para a utilização da energia geotérmica superficial em residências e pequenas instalações empresariais para os tipos de cargas usualmente empregadas no Brasil;
- 2) Colocação em funcionamento de um protótipo para integração de energia geotérmica com a energia térmica obtida com o gás de cozinha e a energia térmica por coletores solares;
- 3) Reunião de dados sobre as principais alternativas energéticas para redução do custo da energia elétrica residencial e de pequenas empresas;
- 4) Considerações sobre formas de redução significativa nos custos com energia elétrica em residências ou pequenas empresas.
- 5) Avaliação de potenciais soluções de aplicações imediatas.

6.3 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DESTE TRABALHO

A continuidade deste trabalho consiste em investigar outras fontes de consumo de energia térmica ou elétrica no ambiente residencial, e buscar novas tecnologias para a redução deste consumo utilizando fontes alternativas de energia. Também o aprimoramento do sistema geotérmico como alternativa para a substituição de sistemas de refrigeração que possuem um alto custo de instalação e consumo de energia elétrica.

Melhorias no chaveamento do chuveiro para minimizar as harmônicas lançadas à rede de distribuição, contribuindo com a qualidade de energia.

Buscar novas formas de incentivos financeiros para consumidores residenciais a serem oferecidos pelas concessionárias de energia aos que busquem a minimização da curva de carga nos horários de pico, com a utilização de equipamentos que consumam menos energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELETROBRAS – Disponível em: <<http://www.eletrabras.gov.br/>>. Acesso em 27 nov. 2009.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp>> Acesso em out. 2009.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em 27 nov. 2009.

ABREU, F. de S.; SANT’ANNA, A. P. Estimativa do consumo de energia elétrica no Brasil por classes. Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção V.9 n.05, 2009.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em: <<http://www.abrava.com.br>> Acesso em: set. de 2009.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em out. 2009.

SILVA JUNIOR, J. P. **Combate ao desperdício de energia**. 2005. 203f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2005.

BEN – Boletim Energético Nacional, 2008 ano base 2007.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>> Acesso em maio de 2010.

COSTA, G. J. C. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação**. 3ª ed. ver. e amp. – Porto Alegre: Ed. EDIPUCRS, 2005.

RODRIGUES P. **Manual de iluminação eficiente**. PROCEL, 2002.

HAMZA, V. M. Status Report on Geothermal Energy Developments in Brazil. In: **World Geothermal Congress 2005**, 2005, Antalya, Turquia. International Geothermal Association, 2005. v. 1. p. x01-x06.

OZISIK, M. N. **Transferência de calor: um texto básico**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan 1990.

FARRET, F.A. **Integration of Alternative Sources of Energy**. Ed. IEEE, USA, 2006.

PANESI, A. R. Q. **Fundamentos de eficiência energética**. São Paulo: Ed. Ensino Profissional, 2006.

PENA, M. P. **Sistemas de ar condicionado e refrigeração**. PROCEL, 2002.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980.

PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030 – Ministério de Minas e Energia, 2006-2007.

HINRICHS, R. A. **Energia e Meio Ambiente**. Ed. Thompson, São Paulo. 2004

JANNUZI, G. de M. **Políticas Públicas para Eficiência Energética e Energia Renovável no Novo Contexto de Mercado**. Ed. Autores Associados, Campinas - SP, 2001.

STRAPASSON, A. B. A Energia Térmica e o Paradoxo da Eficiência Energética – Desafios para um novo planejamento energético. 131p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, PIPGE, São Paulo, 2004.

SALES, C. F. Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

GOLDEMBERGER J., LUCON O. **Energia e meio Ambiente no Brasil** – Revista Estudos avançados. 2007.

PEREIRA, C. R.; SHIOTA, R. T.; MELLO, S. F., ASSIS, V. BARTOLI, J. R. Eficiência térmica de coletores solares de baixo custo – CSBC. 17° CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Foz do Iguaçu, 2006.

ONE DEGREE LESS – Disponível em: <<http://www.ondedegreeless.org>>. Acesso em abril de 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2000.

MANCINI S. D. Recursos Energéticos e Meio Ambiente – Universidade estadual Paulista – Sorocaba, 2008.

LOURENÇO S.R. Energia solar na climatização passiva do ambiente construído. **Exacta**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 253-258, jul./dez. 2007.

REWATT – Disponível em <<http://www.rewatt.com.br>>. Acesso em mar. 2010.

ANEXOS

ANEXO A

A.1 Auditoria Energética

A auditoria energética compreende a análise das condições de uso da energia elétrica nas instalações, fazendo com que possa ser analisado onde, como e quanto esta energia está sendo utilizada. Tem por objetivos identificar e solucionar os possíveis problemas encontrados no uso da energia elétrica.

O início da auditoria se dá através de uma caracterização da situação atual dos gastos com energia, diretamente ligada aos custos. Após iniciam-se a classificação das prioridades e por fim a implantação das melhorias, levando em consideração os custos de investimento das melhorias e o tempo de retorno destes investimentos. (PANESI, 2006)

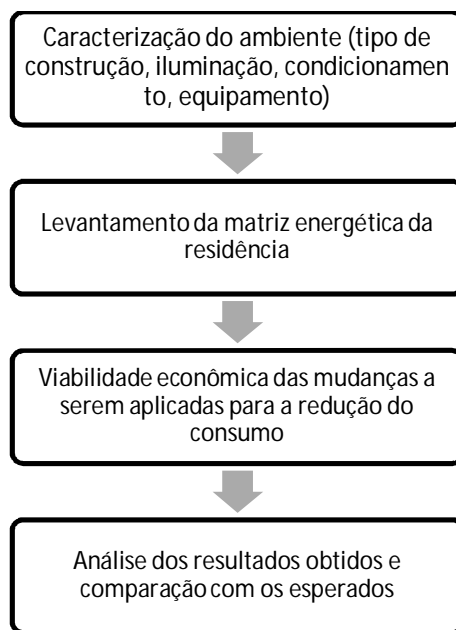


Figura A.1 – Etapas da auditoria energética

ANEXO B

B.1 Consumo por setor

B.1.1 Comercial e setores públicos

A grande variedade de consumidores destes setores se reflete no consumo que juntos representam mais de 80TWh (ver figura 1.2 introdução). Segundo pesquisa do PROCEL os *shopping centers* crescem 20% ao ano em consumo de energia, sendo atualmente responsável por 17% do consumo do setor. A tabela B.1 mostra a distribuição deste consumo.

Tabela B.1 - Consumo de um *shopping Center* formatação

Iluminação	Condicionamento ambiental	Refrigeração	Cocção	Outros	Total
49%	34%	6%	6%	5%	100%

O elevado crescimento do setor de serviço, como supermercados, restaurantes e lojas, estão elevando os índices de consumo de energia elétrica no comércio. Por outro lado, este setor é ideal para a implantação de sistemas de iluminação e condicionamento de ambientes com o uso das energias alternativas. No setor de supermercados a tendência da

substituição de pequenos estabelecimentos por grandes redes, faz com que o aumento de consumo com condicionamento ambiental e iluminação aumente significativamente.

Nos prédios públicos e comerciais, o consumo é agravado com o projeto arquitetônico, a finalidade do uso do local, a faixa econômica dos usuários e o clima da região. Outras categorias como hotéis, dependem da sua classificação para a definição do consumo, de 2 a 3 estrelas, onde o consumo destaca-se pela iluminação, ar condicionado e aquecimento de água. Já em hotéis de 4 e 5 estrelas a diversidade de consumo é maior.

O setor hoteleiro caracteriza-se por um consumo elevado em iluminação, sendo esta responsável por quase metade do consumo de energia elétrica, e força motriz para bombeamento de água, refrigeração e condicionamento ambiental. Os gráficos da figura B.1 caracterizam o consumo dos setores comercial e público.

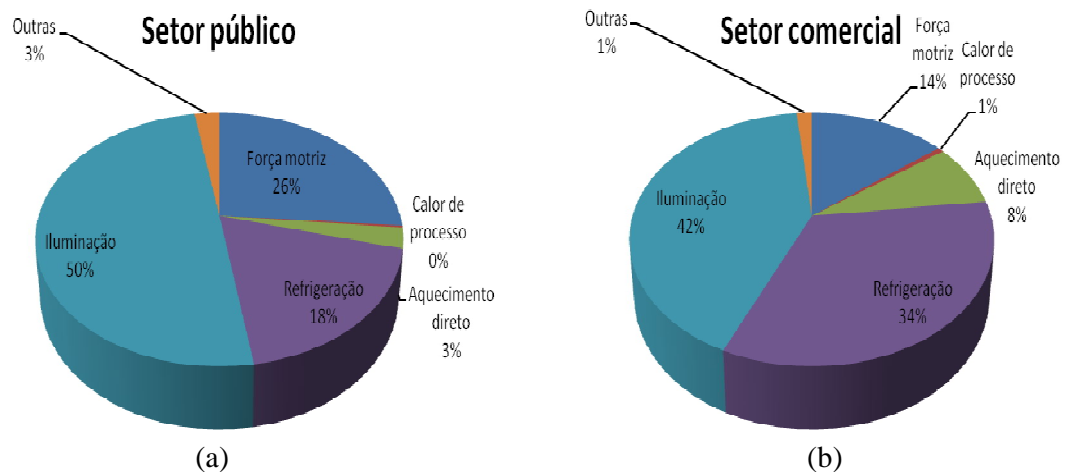


Figura B.1 - Uso final nos setores elétrico (a) público e (b) comercial (Fonte: Avaliação da Eficiência Energética no Brasil: PROCEL - Eletrobrás 2007)– Eletrobras 2007)

Podemos observar nos gráficos, o que já havia sido elucidado acima, que quase metade do consumo deste setor é caracterizado com a iluminação e quase um terço é utilizado para refrigeração. Com isso observa-se então que grande parte do consumo de energia elétrica neste setor passa por motores elétricos.

B.1.2 Industrial

O setor industrial é o responsável por quase metade do consumo de energia no país. Analisando esta afirmação, podemos concluir que se concentra neste

setor um grande potencial para a conservação de energia com a modificação de tecnologia e disseminação da cultura conservacionista.

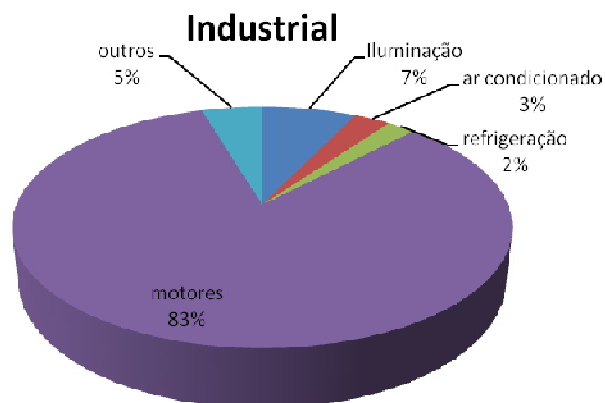


Figura B.2 - Uso final da energia no setor industrial. Fonte: SANTOS et al (2005)

Abreu e Sant'Anna (2009) lembram que houve um crescimento em 2007 no consumo de energia elétrica no setor, mesmo após a queda do consumo industrial entre 2004 e 2006. Esse processo já era esperado devido aos sinais positivos apresentados na economia e, também, devido ao investimento estrangeiro que influenciaram este aumento de consumo. Neste cenário então, observa-se o aumento da demanda na indústria de alimentos e bebidas, de bens materiais e de bens duráveis.

ANEXO C

Indicadores socioeconômicos do Brasil

Quadro C.1 – Indicadores socioeconômicos e demográficos – Brasil e suas regiões

<i>Regiões</i>	<i>Área (km²)*</i>	<i>População**</i>	<i>Densidade (hab/km²)</i>	<i>PIB per capita***</i>	<i>Índice de potencial de Consumo (%)****</i>
Sul	576.410	25.107.616	43,56	7.692	17,33
Sudeste	924.511	72.412.411	78,33	8.774	55,83
Nordeste	1.554.257	47.741.711	30,72	3.014	14,39
Norte	3.853.327	12.900.704	3,35	3.907	4,52

Centro-Oeste	1.606.372	11.636.728	7,24	6.559	7,93
Brasil	8.514.877	169.799.170	19,94	6.473	100,00

(*) Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.

(**) Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo demográfico de 2000.

(***) Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produto Interno Bruto *per capita* (R\$/hab) em 2000.

(****) Fonte: Atlas de Mercado Brasileiro da Gazeta Mercantil. São Paulo: Gazeta Mercantil, 2002.

A dificuldade de acesso à zona rural, principalmente nas regiões norte e nordeste, dificulta a contabilização dos brasileiros que não tem acesso a energia elétrica. Na zona urbana a situação de eletrificação é de fácil contabilização, desta maneira, o grau de desenvolvimento econômico das regiões está ligado à taxa de acesso a energia elétrica e a aquisição de eletrodomésticos. Nos gráficos abaixo (figura B.1), podemos analisar as relações entre cada região sobre os bens de consumo.

Quadro C.2 Indicadores socioeconômicos e demográficos no Brasil

<i>Unidade da Federação</i>	<i>Área (km²)*</i>	<i>População**</i>	<i>Densidade (hab/km²)</i>	<i>PIB per capita***</i>	<i>IDH****</i>
Acre	152.581	557.526	3,65	3.037	0,692
Alagoas	27.767	2.822.621	101,65	2.485	0,633
Amapá	142.814	477.032	3,34	4.098	0,751
Amazonas	1.570.745	2.812.557	1,79	6.668	0,717
Bahia	564.692	13.070.250	23,15	3.680	0,693
Ceará	148.825	7.430.661	49,93	2.794	0,699
Distrito Federal	5.801	2.051.146	353,58	14.405	0,844
Espírito Santo	46.077	3.097.232	67,22	6.931	0,767
Goiás	340.086	5.003.228	14,71	4.316	0,77
Maranhão	331.983	5.651.475	17,02	1.627	0,647
Mato Grosso	903.357	2.504.353	2,77	5.342	0,767
Mato Grosso do Sul	357.124	2.078.001	5,82	5.697	0,769
Minas Gerais	586.528	17.891.494	30,50	5.925	0,766
Pará	1.274.689	6.192.307	4,96	3.041	0,72
Paraíba	56.439	3.443.825	61,02	2.681	0,678
Paraná	199.314	9.563.458	47,48	6.882	0,786
Pernambuco	98.311	7.918.344	80,54	3.673	0,692
Piauí	251.529	2.883.278	11,30	1.872	0,673
Rio de Janeiro	43.696	14.391.282	329,35	9.571	0,802
Rio Grande do Norte	52.796	2.776.782	52,59	3.343	0,702
Rio Grande do Sul	281.748	10.187.798	36,16	8.341	0,809

Rondônia	237.576	1.379.787	5,81	4.065	0,729
Roraima	224.298	324.397	1,45	3.471	0,749
Santa Catarina	95.346	5.356.360	56,18	7.902	0,806
São Paulo	248.209	37.032.403	149,20	9.995	0,814
Sergipe	21.910	1.784.475	81,45	3.310	0,687
Tocantins	277.620	1.157.098	4,17	2.110	0,721

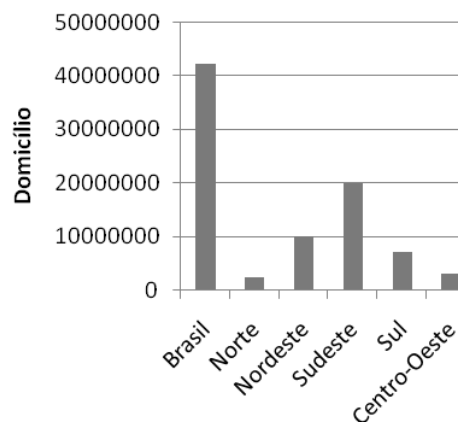
(*) Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.

(**) Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo demográfico de 2000.

(***) Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produto Interno Bruto *per capita* (R\$/hab) em 2000.

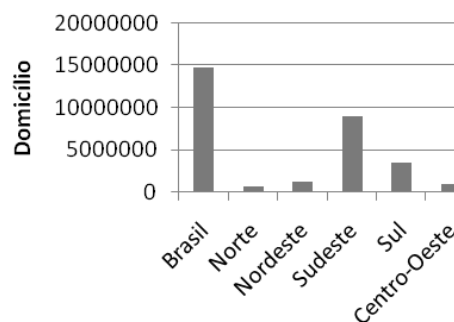
(****) Índice de Desenvolvimento Humano IDH-M. É obtido pela média aritmética simples de três índices, referentes as dimensões Longevidade (IDHM-Longevidade), Educação (IDHM-Educação) e Renda (IDHM-Renda). Fonte PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. Brasil, 2002.

Iluminação elétrica



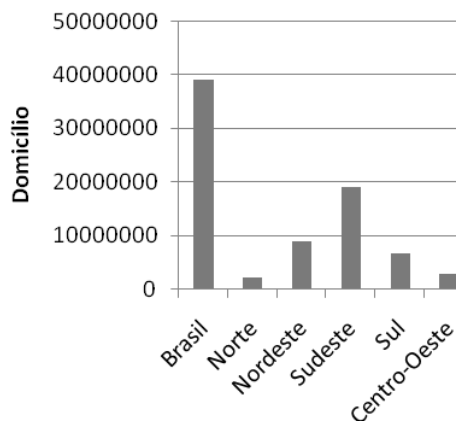
(a)

Máquina de lavar roupa



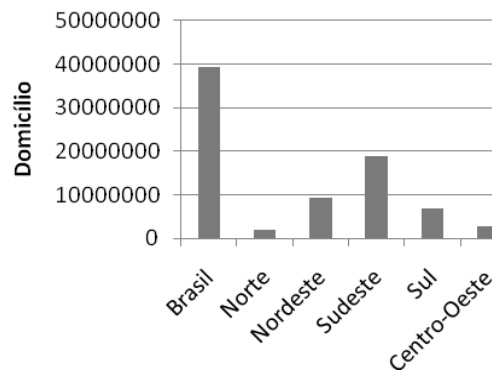
(b)

Televisão



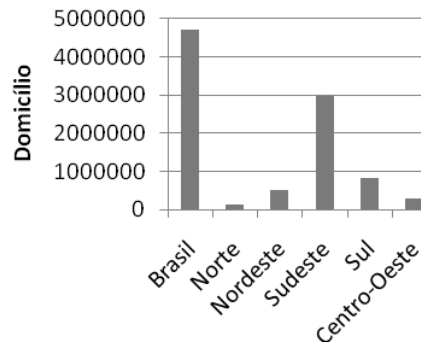
(c)

Rádio



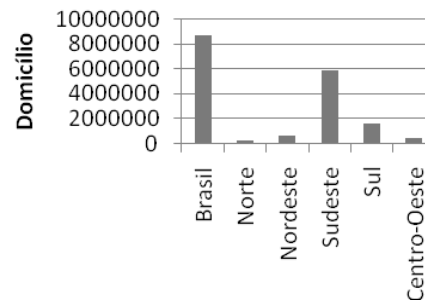
(d)

Microcomputador



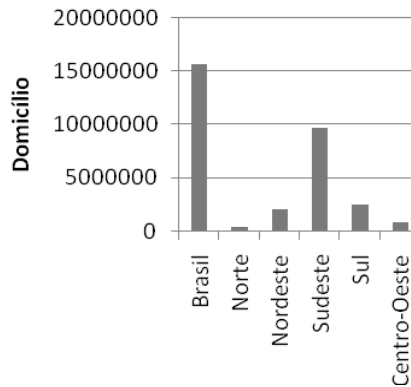
(e)

Forno de micro-ondas



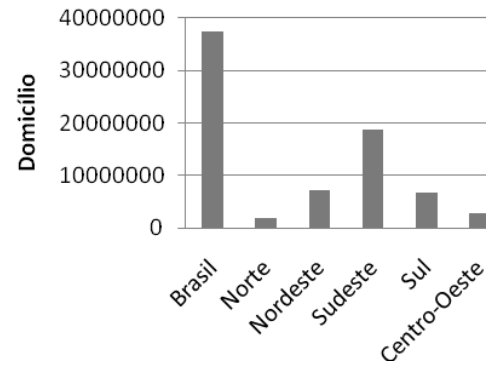
(f)

Videocassete



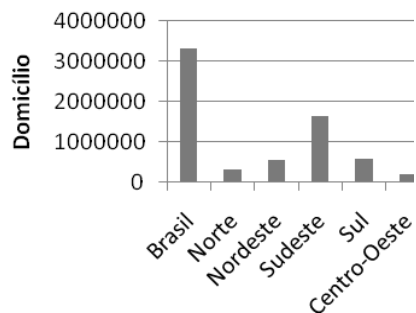
(g)

Geladeira ou freezer



(h)

Aparelho de ar condicionado



(i)

Figura B.1 – Número de equipamentos por domicílio nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste e o total no Brasil. (Fonte: IBGE censo 2000)

ANEXO D

Quadro D.1 - Planilha de cálculo da carga térmica usada para o protótipo.

27/7/2010 16:33				Carga Térmica			
Cliente:		Campus Experimental CEEMA					
Local:		Santa Maria-RS					
Tipo I - Janelas c/ isolamento	Largura	Altura	Total	S/ Proteção	Proteção Int.	Proteção Ext.	6096
1.1 – Norte	3,2	1,8	5,76	1000	480	290	5760
1.2 – Nordeste			0,00	1000	400	290	
1.3 – Leste			0,00	1130	550	360	
1.4 – Sudeste	0,8	0,5	0,40	840	360	290	336
1.5 – Sul	1	0,8	0,80	0	0	0	0
1.6 – Sudoeste			0,00	1680	670	480	
1.7 – Oeste			0,00	2100	920	630	
1.8 – Noroeste			0,00	1500	630	400	
Tipo II - Janelas Transmissão	Largura	Altura	Total				105
2.1 - Vidro comum	0,50	1,00	0,50	210			105
2.2 - Tijolo de vidro/ vidro duplo			0,00	105			0
Tipo III – Paredes	Largura	Altura	Área Janel	Constr. Leve		Cons. Pesada	2150
3.1 - Externas voltadas p/ o sul	5,0	2,5	12,50	55		42	688
3.2 - Externas outras orientações	5	2,5	12,50	84		50	1050
3.3 - Interna // ambientes ã cond.	5	2,5	12,50	33			413
Tipo IV – Teto	Compr.	Largura	Total				12739
4.1 – Laje	5	5	25,00	315			7875
4.2 - Em laje, c/2,5 cm de isolamento ou mais	0	0	0,00	125			0
4.3 - Entre andares	0	0,0	0,00	52			0

4.4 - Sob telhado isolado	3	4	12,00	72	864
4.5 - Sob telhado sem isolação	5	5	25,00	160	4000
Tipo V – Piso	Compr.	Largura	Total		1300
Piso não colocado sobre o solo	5,00	5,00	25,00	52	1300
Tipo VI – Pessoas					2520
Em Atividade Normal		4		630	2520
Em Atividade Física (Academia)		0		1000	0
Tipo VII - Iluminação e aparelhos					137336
Lâmpadas (Incandescentes)	200		W	4	800
Lâmpadas (Fluorescentes)	0		W	2	0
Aparelhos Elétricos	8		kW	860	6880
Motores	0		HP	645	0
Número de Computadores	100		W	3,412	129656
Tipo VIII - Portas ou vãos	Largura	Altura	Total		1890
Abertos constantemente	0,8	2,2	3	630	1890
SubTotal					164136

Aparelho (Capacidade Btu's)	Modelo	Tensão

Fator Climático da região	0,90000
Carga Térmica Total Btu/h	140041



Figura D.1 – Mapa dos fatores climáticos por região.

ANEXO E

CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

De forma bastante simplificada o usuário pode calcular a quantidade de luminárias necessárias para sua aplicação. Os dados necessários para este cálculo são:

- Dimensões do ambiente;
- Pé direito;
- Altura do plano de trabalho;
- Altura de suspensão da luminária;
- Refletâncias do teto, parede e piso;
- Tipo de luminária a ser utilizada;
- Iluminância necessária no ambiente segundo a NBR 5413.

Etapas de cálculo:

1 – Índice do local (K)

$$K = \frac{C \times L}{h(C + L)} \quad (\text{E.1})$$

onde:

C – comprimento do ambiente;

L – largura;

h – altura de montagem (pé direito – altura do plano de trabalho – altura de suspensão da luminária)

2 – Fator de utilização (U)

O fator de utilização geralmente é apresentado na forma de tabela para cada tipo de luminária existente. Daí a necessidade de se escolher a luminária para aplicação no projeto, antes do início dos cálculos.

Para escolher o fator de utilização mais adequado, faz-se necessário conhecer as refletâncias do teto, paredes e piso, além do índice (K) do local.

Quadro E.1 – Tabela de refletâncias

Superfície	Refletância (%)
Muito clara	70
Clara	50
Media	30
Escura	10
Preta	0

Quadro E.2 – Fatores para o cálculo de refletâncias utilizando o fator de utilização

Teto (%)	70			50			30		
Parede (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
Piso (%)	10			10			10		
K	Fator de Utilização – (x0,01)								
0,60	40	35	32	40	35	32	35	32	30
0,80	48	43	39	47	42	39	42	39	37
1,00	53	49	45	52	48	45	48	45	43
1,25	58	54	51	57	53	50	53	50	48
1,50	62	58	55	61	57	54	56	54	52

2,00	67	64	61	66	63	61	62	60	58
2,50	70	68	65	69	66	64	65	64	62
3,00	72	70	68	71	69	67	68	66	64
4,00	75	73	71	73	72	70	70	69	67
5,00	76	74	73	75	73	72	72	71	69

3 – Fator de perdas luminosas

As perdas luminosas consideram o acúmulo de poeira nas luminárias e a depreciação das lâmpadas como segue:

Limpo = 0,80

Médio = 0,70

Sujo = 0,60

4 – Níveis de iluminância recomendadas pela NBR 5413

A tabela mostra alguns exemplos de iluminâncias recomendadas para diversas atividades.

Quadro E.3 – Níveis de iluminância segundo NBR 5413

Atividade	E (mínima)	E (média)	E (máxima)
Lux			
Atividade não contínua como circulação, sanitário, depósito, saguão, sala de espera, etc.	100	150	200
Atividade simplificada com requisitos visuais limitados como: sala de controle, sala de aula, arquivo, etc.	200	300	500
Atividade realizada continuamente com requisitos visuais normais, tais como escritórios, bancos, lojas, etc.	300	500	750
Situação onde se exige visualização de detalhes com em exposição em vitrine, desenho, etc.	750	1000	1500

5 – Cálculo da quantidade de luminárias

$$N = \frac{ECL}{nfUFpl} \quad (E.2)$$

onde:

E – **iluminância (item 4);**

C – **componente do ambiente;**

L – **largura do ambiente;**

n – **quantidade de lâmpadas por luminária;**

f – **fluxo luminoso da lâmpada (ver tabela do fabricante);**

U – **fator de utilização (item 2)**

Fpl – **fator de perdas luminosas (item 3).**

Obs.: o valor de N pode não ser um número inteiro. Quando isso acontece, este valor deve ser arredondado de forma a obter uma distribuição a mais uniforme possível.

6 – Cálculo da iluminância média

Dependendo da distribuição definida no item anterior, a quantidade de luminárias pode ser alterada, sendo necessário calcular a iluminância média.

$$E = \frac{NnfUFpl}{CL} \quad (E.3)$$

7 – Distribuição das luminárias

Recomenda-se que o espaçamento entre as luminárias seja o dobro do espaçamento entre elas e as paredes laterais.

ANEXO F

F.1 - Coeficiente de transferência de calor

Uma vez que a análise de transferência de calor no escoamento turbulento é muito mais elaborada do que no escoamento laminar, foi desenvolvido um grande número de correlações empíricas para determinar o coeficiente de transferência de calor.

Equação de Dittus-Boelter:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \quad (F.1)$$

Nu – número de Nusselt;

Re – número de Reynolds;

Pr – número de Prandtl.

n = 0,4 no aquecimento ($T_{wall} > T_b$) e *n* = 0,3 no resfriamento ($T_{wall} < T_b$) do fluido.

A faixa de aplicabilidade é a mesma que a da equação de Colburn.

Assim,

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (F.2)$$

D – diâmetro do tubo

k – condutividade térmica da água

$$Re = \frac{cD}{\nu} \quad (F.3)$$

c – velocidade média do escoamento

D – diâmetro do tubo

ν – viscosidade cinemática do fluido

E.2 - Trocadores de calor

Podemos classificar os trocadores de calor de diversas maneiras: quanto ao modo de troca de calor, quanto ao número de fluidos, tipo de construção, etc. De uma forma mais básica, os trocadores se dividem entre aqueles que utilizam contato direto e os contatos indiretos, e quanto a função e características de construção.

Classificação:

Trocadores de calor de contato indireto – em um trocador de calor de contato indireto, os fluidos permanecem separados e o calor é transferido continuamente através de uma parede, pela qual se realiza a transferência de calor. Os trocadores de contato indireto classificam-se em: trocadores de transferência direta e de armazenamento.

Tipo de trocadores de transferência direta: neste tipo, há um fluxo contínuo de calor do fluido quente ao frio através de uma parede que os separa. Não há mistura entre eles, pois cada corrente permanece em passagens separadas. Este trocador é designado como um trocador de calor de recuperação, ou simplesmente como um recuperador. Alguns exemplos de trocadores de transferência direta são trocadores de placa, tubular e de superfície estendida. Recuperadores constituem uma vasta maioria de todos os trocadores de calor.

Trocadores de armazenamento: em um trocador de armazenamento, ambos os fluidos percorrem alternativamente as mesmas passagens de troca de calor. A superfície de transferência de calor geralmente é a de uma estrutura matricial. Em caso de aquecimento, o fluido quente atravessa a superfície de transferência de calor e a energia térmica é armazenada na matriz. Posteriormente, quando o fluido frio passa pelas mesmas passagens, a matriz “libera” a energia térmica (em refrigeração o caso é inverso). Este trocador também é chamado regenerador.

Característica de construção:

Trocadores tubulares – São geralmente construídos com tubos circulares, existindo uma variação de acordo com o fabricante. São usados para aplicações de transferência de calor líquido/líquido (uma ou duas fases). Eles trabalham de maneira ótima em

aplicações de transferência de calor gás/gás, principalmente quando pressões e/ou temperaturas operacionais são muito altas onde nenhum outro tipo de trocador pode operar. Estes trocadores podem ser classificados como carcaça e tubo, tubo duplo e de espiral.

Trocador de calor em serpentina: este tipo de trocador consiste em uma ou mais serpentinas (de tubos circulares) ordenadas em uma carcaça. A transferência de calor associada a um tubo espiral é mais alta que para um tubo duplo. Além disto, uma grande superfície pode ser acomodada em um determinado espaço utilizando as serpentinas. As expansões térmicas não são problemas, mas a limpeza é muito complicada. É usado principalmente quando se deseja resfriar ou aquecer o fluido contido em reservatório (casco).

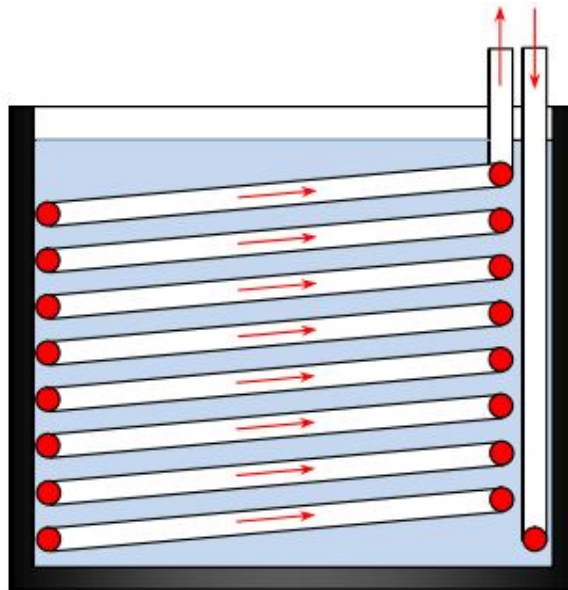


Figura F.1 – Trocador de calor do tipo serpentina.

Trocador de calor tipo placa – este tipo de trocador normalmente é construído com placas planas lisas ou com algumas formas de ondulações. Geralmente, este trocador não pode suportar pressões muito altas, comparado ao trocador tubular equivalente.

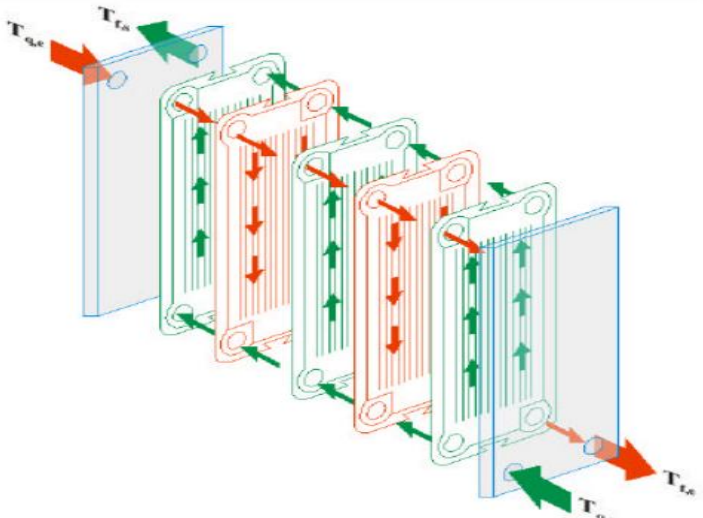


Figura F.2 – Trocador de calor tipo placa (radiador)

ANEXO G

Motor Stirling

Inventado por *Robert Stirling em 1816*, o **motor Stirling** usa o calor para mover os pistões em vez da combustão. Embora este tipo de motor não se tenha tornado ainda demasiado popular, pode ser a resposta para os carros futuros compatíveis com o meio ambiente.

Ciclo Stirling

O ciclo Stirling consiste de quatro processos internamente reversíveis em série: compressão isotérmica do estado 1 para 2 a uma temperatura T_f , aquecimento a volume constante do estado 2 para 3, expansão isotérmica do estado 3 para 4 a uma temperatura T_c , e resfriamento a volume constante do estado 4 para 1 para completar o ciclo.

Por ser um ciclo regenerativo, a entrada 4-1 é usada como a entrada de calor no processo 2-3. Todo o calor adicionado externamente ao fluido atuante tomaria lugar no processo isotérmico 3-4 e todo calor rejeitado para o meio ocorreria no processo isotérmico 1-2. Daí pode ser concluído que a eficiência térmica do ciclo de Stirling é fornecido pela mesma expressão da eficiência térmica do ciclo de Carnot.

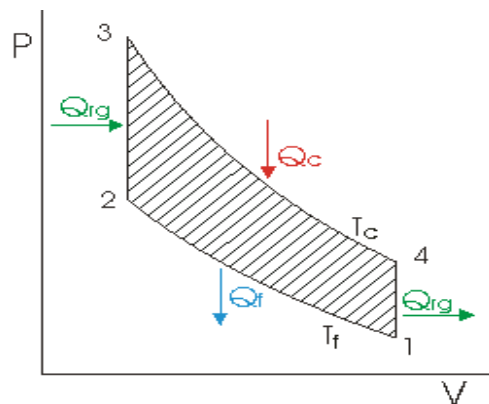


Figura G.1 – Ciclo Stirling

Existem vários arranjos para o motor Stirling. A câmara principal contém ar que recebe aquecimento na parte inferior e sofre resfriamento na parte superior.

O movimento é dado pelo pistão acionador. O pistão auxiliar é movimentado pelo eixo, com defasagem de 90° em relação ao acionador. Se o pistão auxiliar está na parte superior, há maior quantidade de ar quente no conjunto e a pressão interna é maior. Se está na parte inferior, há mais ar frio e a pressão é menor.

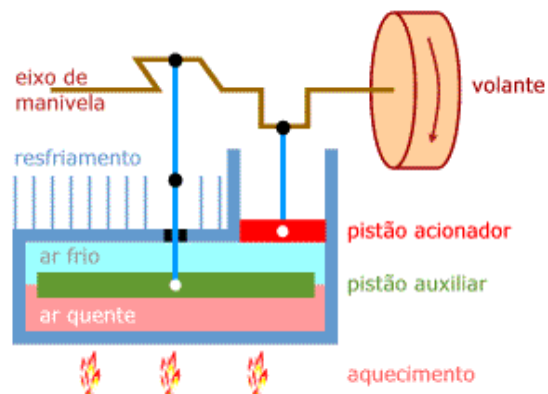


Figura G.2 – Modelo do Motor Stirling

Teoricamente, o motor Stirling é a máquina térmica mais eficiente possível. Alguns protótipos construídos pela empresa holandesa Phillips nos anos 50 e 60 chegaram a índices de 45%, superando facilmente os motores a gasolina, diesel e as máquinas a vapor (eficiência entre 20% e 30%). A fim de diminuir as perdas térmicas, geralmente é instalado um "regenerador" entre as câmaras quente e fria, onde o calor (que seria rejeitado na câmara fria) fica armazenado para a fase seguinte de aquecimento, incrementando sobremaneira a eficiência termodinâmica. Há 3 configurações básicas deste tipo de motor: Alfa - com cilindros em V; Beta - com êmbolos co-axiais num mesmo cilindro e Gama - com cilindros em linha.

Tipos de Motores Stirling – Alfa - com cilindros em V

O motor Stirling Alfa é um motor muito simples e, muitas vezes, era visto como uma alternativa a vapor segura (uma vez que não emprega nenhuma caldeira). Este motor tem sucesso em aplicações industriais e em pequenos aparelhos como ventiladores e bombas de água, mas por ser uma alternativa barata, uma vez que ele pode ser executado em qualquer fonte de calor, ele agora tem potencial para motores alternativos de combustível, energia solar, energia geotérmica, etc.

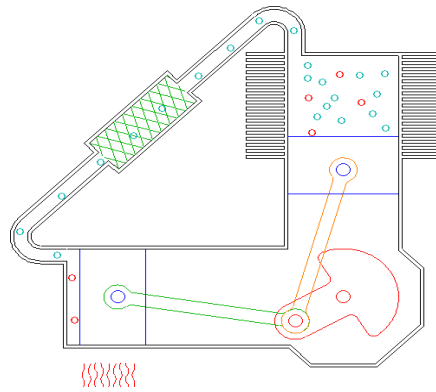


Figura E.3 – Motor Stirling tipo Alfa

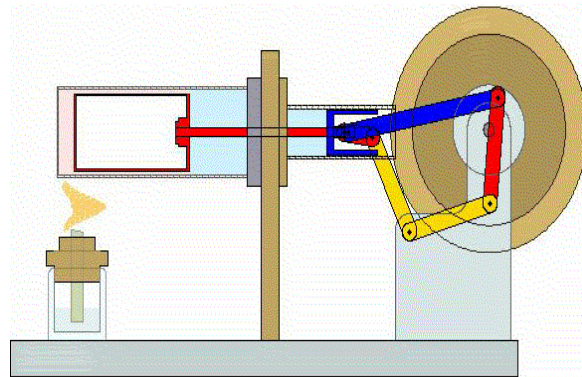


Figura G.4 - Tipos de Motores Stirling – Beta - com êmbolos co-axiais num mesmo cilindro

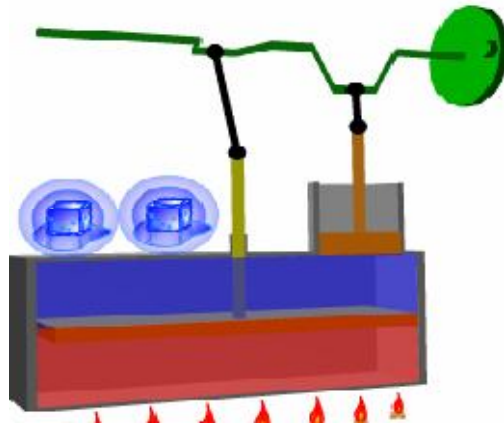


Figura G.5 - Tipos de Motores Stirling - Gama com cilindros em linha.

Vantagens

Operação silenciosa por não haver gases de escape liberados sob pressão. Por ser externa, a combustão pode ser facilmente controlada de forma a minimizar a emissão de poluentes.

Desvantagens

O motor Stirling não pode variar rapidamente a rotação. A variação do aquecimento tem uma inércia grande e as respostas são lentas. Assim, é inviável o emprego em automóveis, onde somente ele é responsável pela movimentação do automóvel. Portanto, ele só ser usado em coisas que não exijam respostas rápidas, como a geração de energia elétrica.

ANEXO H

Tabela H.1 – Custo da instalação do sistema geotérmico

Material	Quantidade	Custo (R\$)
Canos de Cobre	12 metros	150,00
Bomba centrífuga	1	19,90
Mangueira	3 metros	5,76
Adaptadores de mangueira	6	5,27
Ventilador	1	30,00
Radiador de carro	1	40,00
Madeira para suporte		25,00
Outros		25,47
Total (R\$)		301,40

ANEXO I

QUADRO I.1 – Comparativo entre sistemas de aquecimento de água. (Fonte: www.rewatt.com.br)

	Kit REWATT	Aquecimento Solar	Aquecimento a Gás
Economia de Energia	45%	70%	100%
Investimento Inicial	R\$ 450,00	R\$ 2.500,00	R\$ 1.250,00
Necessidade de Obra	Não	Sim	Sim
Apoio elétrico	Não	Sim	Não
Potência de Apoio elétrico	0,0 Watts	3.500 Watts inverno	0,0 Watts
Manutenção Especializada	Não/Somente Limpeza	Sim	Sim
Consumo médio de água	2.880 litros/mês	12.000 litros/mês	8.400 litros/mês
Custo mensal de água	R\$ 9,28/mês	R\$ 30,91/mês	R\$ 31,57/mês
Fonte de Energia	Elétrica	Solar/elétrica	Gás GLP
Reabastecimento	Não	Não	Sim