

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DE SISTEMAS AUXILIARES EM UM SISTEMA RESIDENCIAL DE AQUECIMENTO
DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

por

Lorenzi Moreira de Freitas

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Dezembro de 2012



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE DE SISTEMAS AUXILIARES EM UM SISTEMA RESIDENCIAL DE AQUECIMENTO
DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA SOLAR

por

Lorenzi Moreira de Freitas

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Ciências Térmicas

Orientador: Prof. Luiz Alberto Oliveira Rocha

Comissão de Avaliação:

Prof. Pedro Barbosa Mello

Prof. Francis H. Ramos França

Prof. Sérgio Luiz Frey

Porto Alegre 2012

Dedico este trabalho à minha família,
amigos e à minha namorada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada existiria.

À minha família (meus pais, Ociran e Zulma, meus irmãos Dimitri, Rovani e Jamili, meus avós, tios e primos), pelo apoio em toda minha vida, que proporcionaram amor, carinho, educação que me fizeram chegar até aqui.

Agradeço à UFRGS pela oportunidade de ensino público de qualidade, em especial à Engenharia Mecânica pelo aprendizado que vai além do ambiente da sala de aula. Também aos professores que me conduziram nesta caminhada. Alguns deles em especial:

Professor Sérgio Frey por conceder minha primeira oportunidade de trabalho em um laboratório de pesquisa científica.

Professor Alexandre da Silva Rocha pela oportunidade de trabalhar em um projeto de iniciação científica que resultou na experiência de estar seis meses no Laboratório IUL, Dortmund, Alemanha.

Ao meu orientador, professor Luiz Alberto Oliveira Rocha, em especial pelo aporte neste trabalho.

Agradeço também aos hoje Dr. Tomaz Fantin de Souza e doutoranda Carla Adriana Theis Soares pelo companheirismo e suporte durante o período que com eles trabalhei.

Aos meus amigos e colegas de faculdade pela amizade durante todos os momentos da jornada deste curso.

Por último, mas não menos importante, à minha namorada, futura noiva, que me aguentou durante todo o período de construção deste trabalho, que esteve comigo e me ajudou na edição deste. Sem ela não conseguiria fazê-lo. Te amo Aiana!

“Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças, porque na sepultura, para onde tu vais, não há obra nem projeto, nem conhecimento, nem sabedoria alguma”.
Eclesiastes 9:10

FREITAS, L. M. **Análise de sistemas auxiliares em um Sistema Residencial de Aquecimento de Água Utilizando Energia Solar 2012** 20 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RESUMO

Este trabalho analisa um sistema solar residencial de aquecimento de água instalado, composto por cinco coletores, dois reservatórios (um para água quente e um para água fria) e um sistema auxiliar a gás em paralelo com um reservatório para água quente. O enfoque deste trabalho é dado no sistema auxiliar, pois o sistema solar funciona adequadamente. São verificados a energia necessária, a energia gasta, despesas com energia e custos de implementação de cinco modelos de sistemas, assim com uma análise econômica pelo método do VPL (Valor Presente Líquido). Conclui-se que o sistema mais adequado é um que esteja em série com o reservatório de água quente do sistema solar, podendo ser a gás ou elétrico.

PALAVRAS-CHAVE: (Sistemas de aquecimento de água, Sistema solar, Sistema auxiliar)

FREITAS, L. M. **Analysis of auxiliary systems in a residential System of Water Heating Using Solar Energy 2012**. 20 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Ano.

ABSTRACT

This paper analyzes a residential solar system of water heating already installed, composed of five collectors, two reservoirs (one for hot and another for cold water) and one auxiliary gas system in parallel with a reservoir for hot water. The focus of this work is the auxiliary system because the solar system already works properly. It was verified the necessary energy, the energy spent, energy costs and implementation costs of five models of systems. It was also made an economic analysis by the NPC (Net Present Value) method. The results show that the most appropriate system is one that is in series with the hot water tank of the solar system, which may be fueled by gas or electric.

KEYWORDS: (water heating systems, Solar System, Auxiliary System)

Índice

	Pág.
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica.....	1
2.1. Fenômenos de Transporte	2
2.1.1. <i>Condução</i>	2
2.1.2. <i>Convecção</i>	2
2.1.3. <i>Radiação</i>	2
2.2. Sistemas de Aquecimento de Água.....	3
2.2.1. <i>Sistemas Solares</i>	3
2.2.2. <i>Sistemas Auxiliares</i>	5
2.3. Programa de Simulação Termosim.....	6
2.4. Avaliação Econômica	6
3. Resultados e Análise	7
3.1. Modelos Comparativos	7
3.2. Modelos Atuais.....	8
3.3. Modelo Proposto.....	11
3.4. Análise Econômica	11
4. Conclusão.....	13
Referências Bibliográficas	14
Apêndice I.....	16
Apêndice II.....	16
Apêndice III.....	17
Apêndice IV.....	17
Apêndice V.....	18
Anexo I.....	19
Anexo II.....	20
Anexo III.....	20

1. Introdução

Um dos pontos mais visados recentemente em projetos é o impacto que estes terão sobre o meio ambiente. Cada vez mais se procura novas propostas que aliem conforto, praticidade e baixo custo. Tendo isso em vista, o Brasil apresenta excelentes pontos a seu favor que são o clima, os seus recursos naturais e a sua matriz energética, que é baseada em energia renovável, quase sua totalidade oriunda de hidrelétricas. Entretanto, para termos um sistema mais confiável em grande escala, é preciso que este seja diversificado em vários tipos para que uma mudança climática não interfira gravemente no abastecimento elétrico.

A energia solar é bastante conhecida, mas não muito explorada, pois é considerada cara. Porém, esse cenário tem mudado com o decorrer do tempo. Hoje é comum vermos alguns programas de televisão apresentando esta tecnologia sendo empregada de diversas maneiras, como pequenas usinas instaladas em residências ou mesmo como solução para regiões brasileiras de difícil acesso, onde a rede comum ainda não chegou. Outra alternativa é a utilização da radiação solar para o aquecimento de água residencial. Isto daria duas boas soluções: diretamente para a diminuição do consumo de energia elétrica residencial e, também, para diminuição do pico de energia (entre 18h e 21h), pois o uso do chuveiro é caracterizado por ser usado durante esse período do dia. Segundo o CEPEL (2012), 25% do consumo de energia elétrica residencial é gasto com o chuveiro elétrico.

Rabelo (2010) apontou que atualmente é viável esta última alternativa. Entretanto, o uso da irradiação solar não permite atender a totalidade da demanda de água quente (números mais realistas apontam para algo em torno de 50% a 80%). Segundo Aita (2006), se fosse, o projeto se inviabilizaria economicamente, tornando-se superdimensionado. Sendo assim, faz-se necessário a utilização de um sistema auxiliar (normalmente a gás ou elétrico).

Tendo isto em mente é possível pensar em uma metodologia que primeiro projete um sistema solar e, posteriormente, conhecendo o seu funcionamento ao longo de um ano, o sistema auxiliar. O intuito deste trabalho não é um projeto global, mas apenas do sistema auxiliar. Para isso, analisaremos o caso de um sistema solar instalado em uma residência, que sofreu diversas mudanças ao longo do tempo. O sistema original apresentava no reservatório de água quente uma resistência elétrica que, entretanto, nunca foi utilizada. Em 2006, foi instalado um sistema de gás em paralelo com o reservatório de água quente que foi utilizado por quatro anos e hoje só é usado raramente.

Desta forma, este trabalho irá tentar responder a duas perguntas: se o sistema solar está projetado e opera como deveria e qual sistema auxiliar seria o melhor para este caso. Este trabalho tentará solucionar essas questões porque os dados que se tem do sistema solar são muito restritos e as mudanças foram feitas sem que se fizesse um estudo mais aprofundado, tendo sido feitas basicamente para tentar resolver um problema existente de forma simples, sem nenhum critério mais rígido e aprofundado para que se projetasse as suas consequências. A única informação sobre o sistema original é um folder fornecido pelo próprio fabricante, Anexo I.

Sendo assim, o objetivo é de estudar um sistema de aquecimento de água residencial por energia solar instalado. Primeiro serão propostos modelos comparativos, depois será estudado o comportamento do sistema instalado ao longo do ano por meio do programa TermoSim, o qual Siqueira (2003) refere por causa da facilidade que a simulação computacional oferece ao projetista. Por último, será proposto um novo modelo para que se possa fazer comparações. Na última etapa será vista a viabilidade econômica de cada modelo pelo método do VPL (Valor Presente Líquido) e tempo de retorno para o modelo proposto.

2. Revisão Bibliográfica

Esta parte do trabalho está dividida em quatro partes: fenômenos de transporte, sistemas de aquecimento de água, programa Termosim e avaliação econômica. A primeira tem o objetivo de mostrar os modos com que o calor pode ser transferido, a segunda mostra as maneiras mais comuns para o aquecimento de água residencial, a terceira mostra o

funcionamento do programa computacional para prever o comportamento do sistema ao longo do ano e a última apresenta uma maneira de se fazer uma análise da viabilidade econômica.

2.1. Fenômenos de Transporte

A transferência de calor é a energia térmica trocada por corpos a diferentes temperaturas, sendo que esta pode ser dividida em três fenômenos de transporte: condução, convecção e radiação.

2.1.1. Condução

A condução de calor pode ser definida como a transferência de calor das partículas mais energéticas para as menos energéticas de um meio. O seu comportamento pode ser descrito pela lei de Fourier para uma parede plana, Equação (2.1).

$$q_x'' = -k \frac{\Delta T}{L} \quad (2.1)$$

onde: q_x'' é o fluxo térmico, em W/m^2 ; k é a condutividade térmica, em $W/(m.K)$; L é a espessura da placa, em m ; ΔT é a diferença de temperaturas dos extremos da placa, em K .

Como coletores solares são delgados, a troca térmica por condução não apresenta grande relevância em comparação com os demais tipos, pois a resistência à troca de calor é baixa. Isto pode ser constatado pela Equação (2.1).

2.1.2. Convecção

Convecção é, segundo Incropera (2008), o modo de transferência que ocorre com o contato entre um fluido em movimento e uma superfície, estando os dois a diferentes temperaturas. O modo de transferência de calor por convecção abrange dois mecanismos: difusão, que é a transferência de energia devido ao movimento molecular aleatório, e advecção, onde a energia é transferida através do movimento global do fluido. Esta pode ser classificada por sua natureza como natural ou forçada. Na primeira, o movimento é causado por forças de empuxo que surgem em razão de diferenças de densidades associadas às variações de temperatura no fluido. Na segunda, o movimento é causado por forças externas, como um ventilador, uma bomba ou ventos atmosféricos (como no caso deste trabalho). A Equação (2.2), que rege esse fenômeno, é a lei de resfriamento de Newton:

$$q_{conv}'' = h (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

onde: q_{conv}'' é o fluxo de calor por convecção, em W/m^2 ; T_s e T_∞ são as temperatura das superfícies e do fluido, respectivamente, em K e h é o coeficiente de transferência de calor por convecção em $(W/(m^2 K))$.

Um problema de convecção, normalmente, se resume à tentativa de obtenção de h . Isto porque ele é dependente das condições da camada limite formada, onde há uma variação da velocidade de zero (no contato com a superfície) a um valor da velocidade do escoamento. Esta última, por sua vez, é influenciada pela geometria da superfície, pela natureza do escoamento do fluido e por uma série de propriedades termodinâmicas e de transporte.

2.1.3. Radiação

A radiação é um fenômeno que difere bastante dos anteriores, pois a transferência de calor ocorre por ondas eletromagnéticas, enquanto os anteriores dependem de um meio material. Assim, a radiação pode ocorrer até mesmo no vácuo. Para uma matéria emitir radiação basta que esta esteja a uma temperatura não-nula. Desta forma, o cálculo da troca torna-se diferente. Primeiro tem-se que avaliar quanto que está sendo emitido (poder emissivo) e, depois, quanto que se estará absorvendo de radiação de outros corpos. Com isto calcula-se a diferença e esta resultará na troca térmica.

O poder emissivo de um corpo é calculado pela lei de Stefan-Boltzmann, Equação (2.3):

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (2.3)$$

onde: E é o poder emissivo, em W/m^2 ; ε é a emissividade; σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$) e T_s é a temperatura da superfície, em K.

A emissividade é a fração de quanto uma superfície emite em relação ao corpo negro (máxima emissão possível), variando de 0 (para uma superfície que não está emitindo) até 1 (para uma emissão igual a de um corpo negro). Sendo assim, ela é uma medida de eficiência e depende da superfície do material e de seu acabamento.

A radiação absorvida é calculada pela Equação (2.4):

$$G_{abs} = \alpha G \quad (2.4)$$

onde: G_{abs} é a radiação absorvida por um corpo, em W/m^2 ; α é a absorvidade e G é a radiação incidente (também chamada de irradiação), em W/m^2 .

A absorvidade é a relação de quanto da radiação incidente está sendo absorvida. Ela varia de 0 (quando ela não está absorvendo) até 1 (quando ela está absorvendo toda a radiação emitida). Outros fatores envolvidos são a refletividade e transmissividade. Elas têm o mesmo comportamento da absorvidade: a primeira é uma relação com a radiação refletida e a segunda em relação com a transmitida. Suas relações seguem a lei de Kirchoff, Equação (2.5):

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2.5)$$

onde: ρ é a refletividade; τ é a transmissividade.

Com isto feito, é possível descrever a troca térmica radiante pela Equação (2.6), sendo que a radiação (G) também pode ser calculada em uma fórmula análoga ao poder emissivo (E). Para o caso da superfície ser considerada cinza ($\alpha = \varepsilon$) esta se resume a Equação (2.7).

$$q_{rad}'' = E - G_{abs} \quad (2.6)$$

$$q_{rad}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 - \alpha \cdot G$$

$$G = \sigma T_{viz}^4$$

$$q_{rad}'' = \varepsilon \cdot \sigma (T_s^4 - T_{viz}^4) \quad (2.7)$$

2.2. Sistemas de Aquecimento de Água

Água quente pode ter diversos fins em uma residência, como sua utilização na cozinha e em piscinas, mas o seu principal uso é para o banho. Segundo o DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre), um habitante consome um total de 145 litros de água diariamente. Barreto (2008) realizou um estudo sobre o modo do uso de água em São Paulo (SP) e apontou que o maior consumo é para o banho, 35,3 l/dia/hab., aproximado do esperado, que seria 40 l/dia/hab. (8 minutos de banho com vazão de 5 l/min.).

Neste trabalho os tipos de sistema serão divididos em dois: sistemas solares e sistemas auxiliares. Isto, porque o primeiro está instalado, mas não atende completamente à demanda, fazendo necessário que haja um segundo tipo, como exposto anteriormente. Desta forma, cada sistema será composto por coletores solares, um reservatório térmico (para a água quente), um reservatório para água fria, conjunto hidráulicos, controles eletrônicos e um sistema auxiliar (elétrico ou a gás).

2.2.1. Sistemas Solares

Existem, basicamente, 3 tipos de sistemas de aquecimento por energia solar para uso residencial: termodinâmico, coletores evacuados e coletores planos. Pelo fato de o sistema instalado ser do tipo de coletores planos, nos aprofundaremos neste. Por sua vez, estes são divididos em dois tipos: sistemas ativos e sistemas passivos, conforme Pozzebon (2009). O primeiro tipo é aquele em que a circulação da água pelos coletores ocorre por circulação

forçada (com uma bomba), normalmente esta é ativada (e desativada) por uma diferença de temperatura. O segundo tipo é o mais utilizado. O seu funcionamento se dá por termossifão e a circulação ocorre pela diferença de massa específica da água entre a entrada (temperatura menor) e a saída (temperatura maior) do coletor que está aquecido pela irradiação solar. Tem-se duas consequências para o seu funcionamento: a primeira é que o funcionamento é bastante influenciado por condições climáticas, enquanto que a segunda é que a posição do reservatório de água quente em relação aos coletores deve ser observada por causa da circulação reversa. Este fenômeno ocorre durante a noite (quando não há irradiação) implicando no resfriamento dos coletores e, conseqüentemente, na água do tanque. Diversos autores citam isto e divergem em torno da distância que deverá haver entre o fundo do reservatório quente e o topo dos coletores. Como regra geral, todas ficam em torno de no mínimo 20 cm.

O balanço térmico instantâneo do coletor, pode ser observado na Figura 2.1, para se determinar o calor que é transferido para a água é feito pelas duas formas da Equação (2.8), a primeira igualdade diverge um pouco das equações mostradas anteriormente, mas a metodologia de cálculo é semelhante; a segunda é o cálculo com base na vazão mássica e a pelas temperaturas da água no coletor.

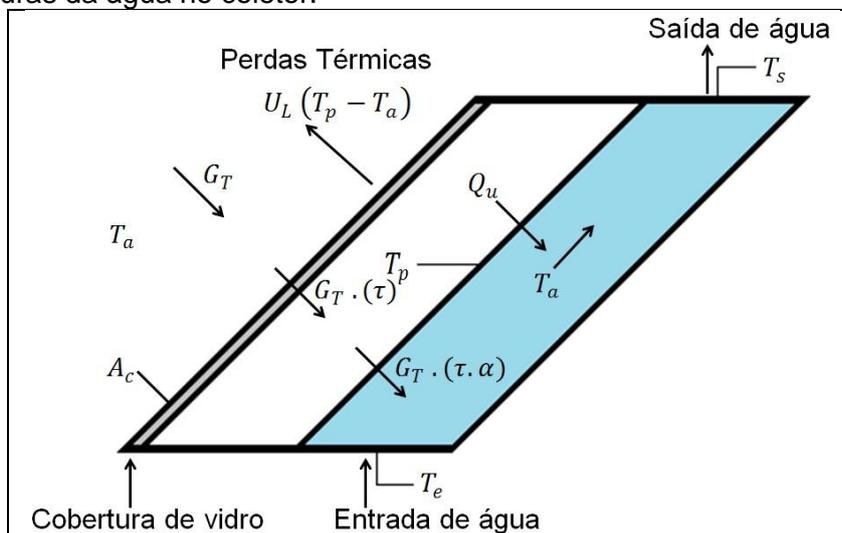


Figura 2. 1: Desenho esquemático do sistema.

$$Q_u = A_c [G_T \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L (T_p - T_a)] = A_c \cdot \dot{m} \cdot C_p (T_s - T_e) . \quad (2.8)$$

onde: Q_u é o calor transferido [W]; A_c é a área do coletor, em m^2 ; G_T é a irradiação solar incidente no coletor, em W/m^2 ; τ é a transmissividade da cobertura do coletor; α é a absorvidade do absorvedor; U_L é o coeficiente global de perdas, em $W/(m^2.K)$; T_p é a temperatura da placa, em K; T_a é a temperatura ambiente, em K; \dot{m} é a vazão mássica, em kg/s ; C_p é o calor específico da água, em $J/(kg.K)$; T_s é a temperatura de saída da água do coletor, em K; e T_e é a temperatura de entrada da água no coletor, em K.

A primeira parte da equação ($G_T \cdot (\tau \cdot \alpha)$) representa os ganhos térmicos pela irradiação solar no coletor, a segunda ($U_L (T_p - T_a)$), as perdas térmicas para o meio, sendo U_L o coeficiente global que representa todos os tipos de perdas (tanto condução, como convecção e radiação). Nota-se que a radiação que incide no coletor, G_T , não é totalmente transferida para a água, tem que passar pela cobertura e depois ser absorvida pelo absorvedor. Sendo assim, primeiro temos que calcular a quantidade da irradiação que está atravessando a cobertura e, posteriormente, quanto desta fração está sendo absorvida. Como visto anteriormente, isto pode ser descoberto conhecendo as propriedades de transmissividade da cobertura e pela absorvidade do absorvedor, chegando na forma de $G_T \cdot (\tau \cdot \alpha)$.

Pozzebon (2009) comenta sobre a dificuldade da obtenção da temperatura da placa (T_p) e, como solução, convencionou definir o calor transferido (Q_u) pela temperatura de entrada da

água (T_e). Como consequência, cria-se um fator de correção. O fator de remoção de calor, F_R , tem a função de corrigir as Equações (2.9) e (2.10) e pode ser estimado conhecendo-se as características do coletor (dimensões e propriedades térmicas de seus componentes). Assim, chegamos a uma nova relação para o calor transferido, Equação (2.9). Juntamente, podemos verificar a eficiência instantânea do coletor, Equação (2.10), pela relação entre a energia útil (Q_u) e a irradiação na área da placa ($A_c \cdot G_T$).

$$Q_u = A_c \cdot F_R [G_T \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L (T_e - T_a)] \quad (2.9)$$

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) - \frac{F_R \cdot U_L (T_e - T_a)}{G_T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_s - T_e)}{G_T} \quad (2.10)$$

onde: η é a eficiência instantânea do coletor; F_R é o fator de remoção de calor.

A Equação (2.10) apresenta duas características importantes: uma estrutura semelhante a Equação (2.8) e um comportamento linear do tipo “ $y = a \cdot x + b$ ”, onde “ y ” é a eficiência (η), “ a ” é $F_R \cdot U_L$ (derivada negativa da reta), “ x ” é $(T_e - T_a)/G_T$ e “ b ” (termo constante) é a $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$. Os termos “ a ” e “ b ” representam parâmetros de qualidade dos coletores. O termo que representa os ganhos térmicos, função das propriedades óticas, é o termo constante da reta ($F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$) e as perdas é a derivada, função das propriedades térmicas, ($F_R \cdot U_L$). Esse comportamento pode ser observado na Figura 3.1.

Aita (2006) cita vários parâmetros que influenciam a eficiência de um sistema de aquecimento solar. Dois deles são: uma relação entre 50 a 100 l/m² para o volume do reservatório e a área dos coletores; e os parâmetros de qualidade $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$ e $F_R \cdot U_L$, sendo que o primeiro exerce maior influência no desempenho do sistema.

Lafay (2005) comenta que uma forma de aumentarmos a eficiência do coletor é baixar a temperatura de entrada da água. Para isto sugere três medidas: aumentar a relação entre o volume e a área de coletores; utilizar um reservatório vertical ao invés de um na horizontal, favorecendo a estratificação térmica da água em seu interior e consumir a água quente durante a manhã.

2.2.2. Sistemas Auxiliares

Os sistemas solares de aquecimento de água não são projetados para atender completamente a demanda de água quente de uma residência, mas sim algo em torno de 50 a 80%, como comentado anteriormente. Conseqüentemente, faz-se necessário o uso de alguma forma de energia auxiliar nos dias em que a irradiação solar não for suficiente. Normalmente, isto é feito com energia elétrica ou a gás. Desta forma, um projeto de um sistema solar bom terá que descrever alguma solução para isto também.

As configurações mais comuns de posicionamento dos sistemas auxiliares podem ser observadas na Figura 2.2, são eles: 1) configuração com uma resistência elétrica colocada no interior do reservatório de água quente; 2) configuração com sistema colocado na linha de consumo, podendo ser tanto com um aquecedor a gás de passagem ou, até mesmo, um chuveiro elétrico; 3) configuração com um sistema a gás colocado em paralelo com o tanque quente, retirando e devolvendo água para o mesmo.

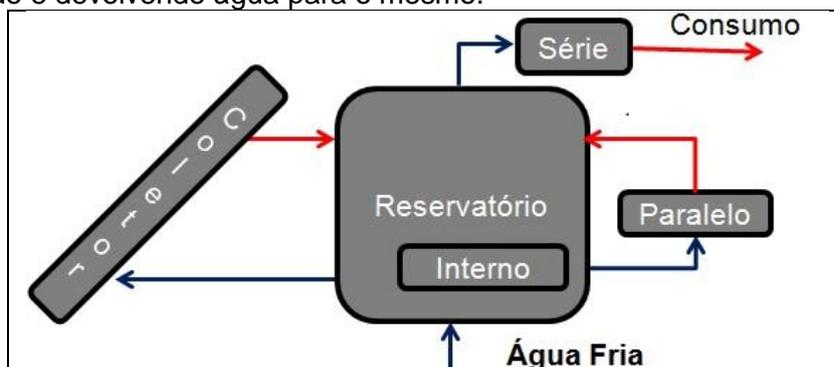


Figura 2. 2: Tipos de posicionamentos dos sistemas auxiliares.

2.3. Programa de Simulação Termosim

O objetivo de se usar um programa de simulação para sistemas solares é o fato que estes dão uma resposta de como o sistema, como um todo, irá se comportar ao longo de um ano. Siqueira (2003) comenta a facilidade que a simulação computacional oferece ao projetista por causa das variações climáticas que ocorrem neste período. Outras formas de obtermos estes resultados seriam com protótipos e ensaios, mas estes despenderiam um gasto tanto de tempo quanto financeiro bem maior. Pozzebon (2009) cita vários exemplos de softwares que são capazes de fazer isto, como o T*SOL, TRANSYS, Solar Pro 2.0, GetSolar, SolTerm 5, SISCO, F-Chart etc. Para este trabalho foi escolhido o TermoSim, que foi desenvolvido no laboratório de energia solar da UFRGS, pela sua facilidade de uso.

O programa está dividido em sete módulos: 1) coletor solar, 2) reservatório térmico, 3) dados de radiação, 4) dados da geometria do sistema, 5) dados da tubulação, 6) consumo e 7) aquecedor auxiliar. O primeiro tem como objetivo principal calcular $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$ e $(F_R \cdot U_L)$ pelos dados de materiais e dimensionamento do coletor. O segundo é onde são inseridos os dados referentes ao reservatório de água quente, como dimensionamento e materiais. É onde pode-se verificar as perdas térmicas do tanque para o ambiente. O terceiro utiliza um outro programa desenvolvido pelo laboratório (o SeqMetBr), que a partir do azimute, inclinação da placa e localização geográfica fornece sequências meteorológicas com intervalo de uma hora (radiação solar incidente em um plano inclinado e dados de temperatura ambiente). O quarto é onde se informa o posicionamento de cada tubulação (de entrada e saída de água) em relação ao reservatório de água quente, assim são vistas as relações com a estratificação térmica. No quinto, os comprimentos, diâmetros e número de conexões de cada trecho das tubulações são colocados para que possam ser calculadas as perdas de cargas e a circulação reversa. O sexto é onde pode-se descrever o consumo de água quente que se deseja. No sétimo, e último, são postos os dados referentes ao aquecedor auxiliar a gás (se este for utilizado no sistema).

Uma facilidade do programa é que ele fornece um modelo de padrão de um sistema solar, que seria uma configuração 'default'. Nele podem ser retirados os dados para se ter um comparativo tanto para as dimensões e materiais como em relação aos resultados oferecidos.

O programa fornece os seguintes resultados: temperatura em cinco camadas do reservatório, temperatura média do tanque, temperatura de consumo, temperatura ambiente, temperatura de entrada e saída dos coletores, temperatura ambiente do tanque, temperatura da água fria, radiação solar incidente nos coletores, temperatura de entrada e saída do aquecedor auxiliar, vazão de consumo de água quente, fria e total, eficiência dos coletores, acionamento do termostato e consumo de energia auxiliar. O programa também é capaz de gerar relatórios financeiros (economia de energia mensal, tempo de retorno do investimento e taxa interna de retorno) para constatar de que forma seria ou não viável economicamente.

2.4. Avaliação Econômica

Para a verificação da viabilidade econômica serão utilizados dois conceitos descritos por Casarotto (2000): valor presente líquido (VPL), e tempo de retorno (*payback*). O primeiro tem o objetivo de determinar o valor atual de pagamentos que serão feitos em diferentes tempos, sendo variados por uma taxa de juros, desde o custo inicial de implantação até o fim de vida do projeto, Equação (2.11). Por este método, para um projeto ser considerado viável, basta que seu VPL seja maior que zero.

$$VPL = C_0 + \sum_{n=1}^{FV} \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (2.11)$$

onde: C_0 é o custo na data zero, custo inicial, em R\$; FV é o número de meses de fim de vida; n é o número do mês que o pagamento será feito; C_n é o pagamento que será feito no período n , em R\$; i é a taxa de juros que será considerada no período n , em % ao mês.

O segundo irá mostrar quando o investimento será pago. Isto será calculado pelo fluxo de caixa resultante do VPL. Por este outro, o projeto é considerado viável se este apresenta um tempo menor que o seu tempo de fim de vida.

3. Resultados e Análise

A metodologia empregada neste estudo foi a de primeiro sugerir um modelo, calcular a energia necessária para que este atenda a demanda, calcular a energia gasta, calcular os gastos e, posteriormente, comparar todos os modelos e fazer uma análise de sua viabilidade técnica e econômica. Para comparação foram criados dois modelos comparativos, dois baseados no que está instalado e um quinto que seria uma possibilidade de melhoramento do modelo instalado. Estes serão descritos nos itens 3.1, 3.2 e 3.3.

Foi considerada uma demanda de 300 litros de água a 40°C sendo toda concentrada entre às 17 e 18 horas de cada dia. Esses números foram obtidos através dos dados da média do uso de água em uma residência por habitante. Segundo Barreto (2008), um habitante utiliza por dia cerca de 40 litros para o banho mais cerca de 30 litros na pia da cozinha. Assim, como a residência considerada tem 5 habitantes, considerou-se 200 litros para o banho e outros 100 para a pia.

3.1. Modelos Comparativos

Para melhor interpretação dos dados, foram considerados dois modelos comparativos de sistemas de aquecimento de água residencial sem utilizar um sistema solar. O primeiro, um chuveiro (modo mais comum no Brasil), isto é: um sistema de aquecimento com uma resistência elétrica em série com um reservatório. O segundo opera da mesma maneira, a diferença é que utiliza um aquecedor a gás.

O sistema elétrico puro é formado apenas por um reservatório e um aquecedor elétrico, podendo ser um chuveiro ou um aquecedor conectado junto a pia da cozinha. Este modelo é o mais utilizado por sua facilidade de instalação e custo inicial baixo. Outra vantagem é que este sistema aquece somente a água que será consumida e a temperatura pode ser facilmente ajustada, mas o custo da energia elétrica se torna mais alto que outros.

O sistema a gás é composto por um aquecedor e um reservatório. Apresenta características semelhantes ao elétrico só que seu custo inicial é maior, mas o custo com a energia torna-se menor. Por esta razão é utilizado quando o consumo é grande. Por esses dois sistemas serem apenas modelos comparativos, as características técnicas serão as mesmas que as do instalado, pois os modelos de aquecedores foram considerados os mesmos.

A metodologia de cálculo da energia necessária, que consiste na quantidade de energia que o sistema precisa para atender a uma demanda diária, para o aquecimento da água é a mesma para os dois casos e foi feita através do conhecimento da temperatura do reservatório (resultado obtido por uma simulação no TermoSim), conhecimento da demanda e das propriedades da água, pela Equação (2.12). Porém a energia gasta pelos sistemas, Equação (2.13), é diferente, pois estes não têm o mesmo rendimento. Sendo que a vazão (Q) é calculada pela razão dos 300 litros de consumo pelo tempo (t) de uma hora.

$$E_n = \rho \cdot C_p (T_c - T_r) Q \cdot t \quad (3.1)$$

$$E_g = E_n / \eta_{aq} \quad (3.2)$$

onde: E_n é a energia necessária, em J; ρ é a densidade da água, em kg/m³; T_c é a temperatura de consumo, em °C; T_r é a temperatura do tanque, em K; Q é a vazão volumétrica de água, em m³/s; t é o tempo de aquecimento, em s; E_g é a energia gasta pelo sistema, em J; η_{aq} é a eficiência do modelo do aquecedor.

Pelo fato da simulação fornecer dados de hora em hora para o ano inteiro simulado, foi retirada a temperatura às 18 horas de todos os dias, fazendo com que as Equações (3.1) e (3.2) fossem aplicadas para cada dia do ano. O somatório de todo o ano para os dois sistemas

resultou em uma energia necessária de 2806 kW.h, a energia gasta pelo sistema elétrico foi de 2953 kW.h e para o sistema a gás foi de 3464 kW.h. Para a análise econômica foi feito um somatório a cada mês, Apêndice I.

3.2. Modelos Atuais

O sistema atual pode operar de duas formas, com isso foi criado dois modelos para considerar isso, o primeiro opera com o sistema solar e, como sistema auxiliar, o sistema a gás em paralelo com o tanque, o segundo é com o sistema solar e o sistema elétrico em série (um chuveiro elétrico). O sistema é composto por cinco placas solares, dois reservatórios (um de água quente, outro de água fria), um chuveiro elétrico, um aquecedor a gás em paralelo com o tanque quente e acessórios (termostato, válvulas, bombas, parte hidráulica, chaminé para o aquecedor, etc). O comportamento deste sistema foi obtido através do programa de simulação TermoSim, onde foram inseridos os dados de todo o sistema sem sistema auxiliar e retirados resultados para servir como base para os cálculos.

Como o sistema solar é antigo e não há dados técnicos arquivados, o dimensionamento e as propriedades dos materiais foram medidos diretamente nos componentes; e outros, não sendo possível sua medida, foram utilizados os dados presentes no modelo *default* do programa. As características técnicas principais de cada componente do sistema são apresentadas nas Tabela 3.1 (para o sistema solar), 3.2 (para o sistema a gás) e 3.3 (para o sistema elétrico). Outras características podem ser encontradas nos Anexos: I (para o sistema solar), II (para o sistema elétrico) e III (para o sistema a gás). Na simulação foram impostas duas considerações. A primeira é que o sistema está instalado em Porto Alegre (sendo que na verdade está em Canoas). A segunda foi que a diferença entre o topo do coletor e o fundo do reservatório é nula, pois o referencial utilizado no programa é em relação ao fundo do reservatório e não aceita valores negativos (no sistema instalado o topo do coletor está na mesma altura que o centro do reservatório quente, desenho esquemático do sistema instalado no Apêndice V).

Tabela 3. 1: Características técnicas dos componentes do sistema solar.

Número de coletores	5
Área total dos coletores	5,03 m ²
$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$	0,65
$F_R \cdot U_L$	7,74
Volume do reservatório quente	600 litros
Posição do reservatório quente	Horizontal
Volume do reservatório frio	1000 litros
Inclinação da placa	30°

Tabela 3. 2: Características do aquecedor do sistema a gás.

Marca e modelo	Bosch W350
Potência útil máxima	24,4 kW
Rendimento do aquecedor (η_{aq})	0,81
Consumo máximo	2,2 kg/h

Tabela 3. 3: Características do aquecedor do sistema elétrico.

Marca e modelo	ThermoSystem Ducha ND Eletrônica Turbo 01 e 02
Potência	7700 W
Rendimento do aquecedor (η_{aq})	0,95

Foram verificados três tipos de comportamento do sistema. Primeiro foi verificado o comportamento da eficiência instantânea do coletor (η), Figura 3.1, o resultado foi: $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$ de 0,65 e $F_R \cdot U_L$ de 7,74; semelhante ao do modelo padrão (*default* do programa): 0,7 e 7,18,

respectivamente. Depois, os dados de temperatura ambiente, temperatura média no tanque quente e radiação solar incidente na placa de hora em hora durante uma semana, Figura 3.2 para o verão e Figura 3.3 para o inverno. Segundo com os dados ao longo do ano simulado, como a variação entre um dia e outro é grande foram primeiro retirados os dados da máxima e mínima temperatura ambiente, máxima e mínima temperatura média do tanque e posteriormente foi feita uma média a cada semana destes dados, formando a Figura 3.4.

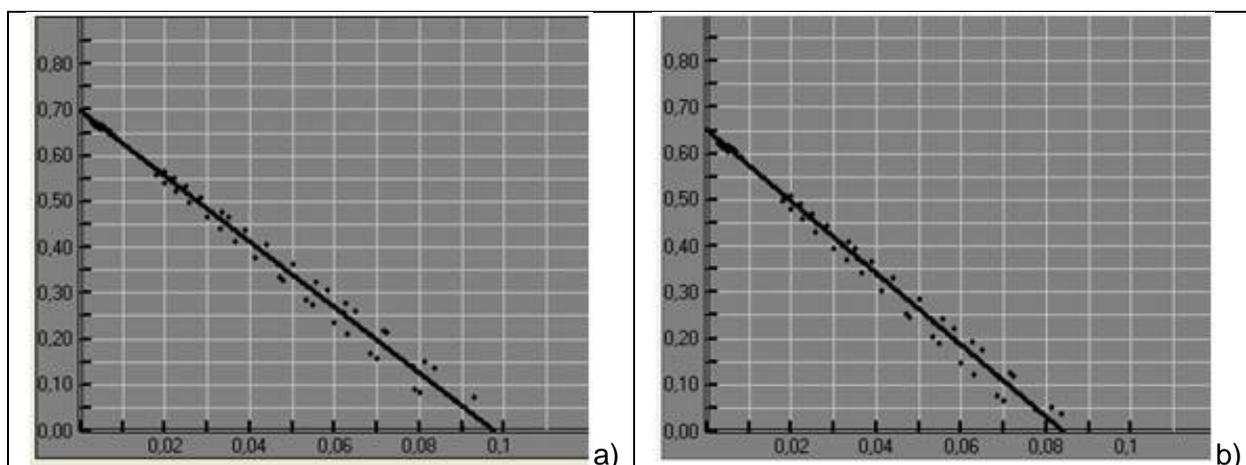


Figura 3. 1: comportamento da eficiência instantânea, a) do *default*, b) do sistema instalado.

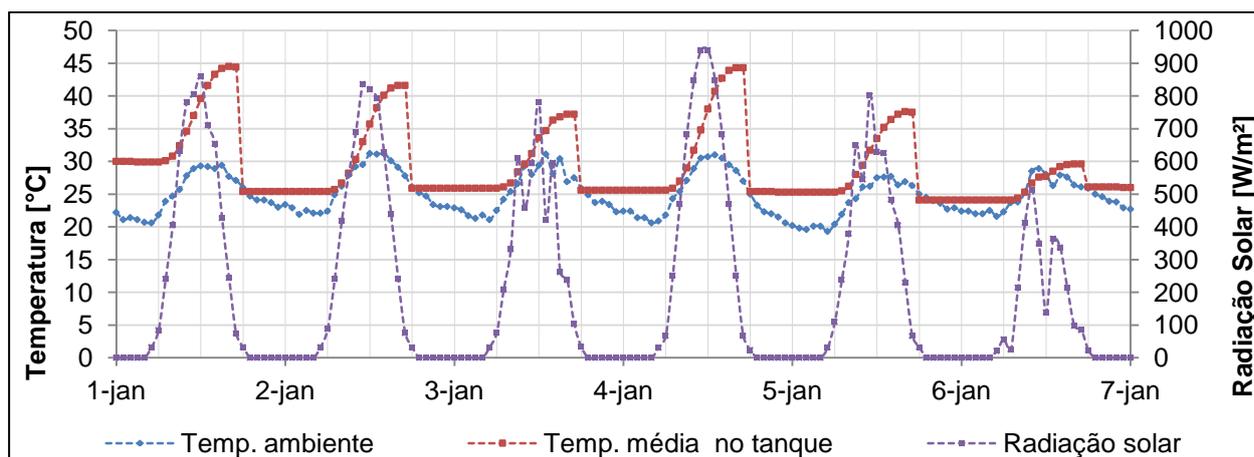


Figura 3. 2: Comportamento do sistema ao longo de uma semana no verão.

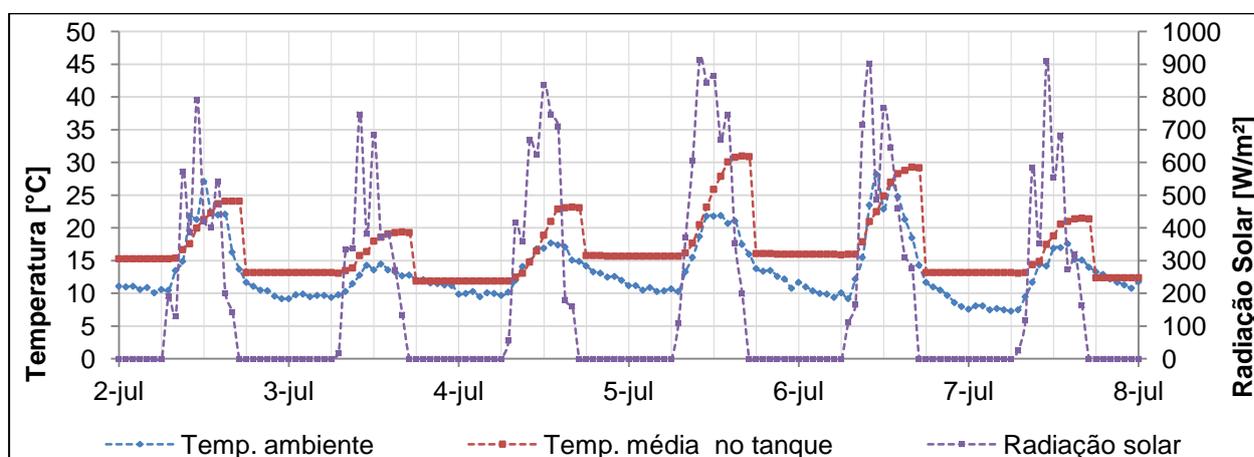


Figura 3. 3: Comportamento do sistema ao longo de uma semana no inverno.

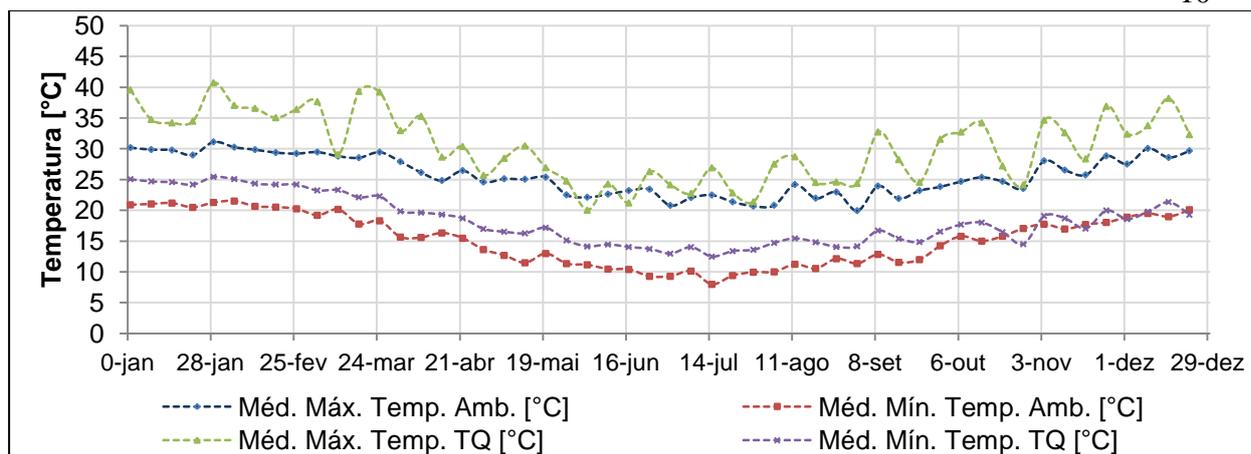


Figura 3. 4: Comportamento do sistema ao longo do ano.

A temperatura ambiente nas Figuras 3.2 e 3.3 apresentou um comportamento senoidal, sendo maior durante o dia e menor durante a noite. A irradiação solar é zero durante a noite e apresenta um crescimento no início do dia e depois uma queda. A temperatura do tanque depende da temperatura ambiente e da radiação, por isso deve acompanhar esses dados. Ela apresenta um crescimento quando há radiação e uma queda quando há o consumo, pois há uma entrada de água do tanque frio neste momento. As temperaturas da Figura 3.4 apresentaram todas o mesmo comportamento, semelhante ao do cosseno, maiores nas extremidades (no verão) e menores no centro (no inverno). A tendência é que a maior seja sempre a média da semana da máxima temperatura média do tanque diária, seguida pelas média da semana da máxima temperatura ambiente diária, média da semana da mínima temperatura média do tanque diária e, por último, a média da semana da temperatura ambiente mínima diária.

A partir da observação foi possível criar duas metodologias de cálculo da energia necessária para esses modelos, uma para utilização somente do aquecedor a gás e outra para utilização somente do chuveiro. A principal diferença entre eles é que a primeira aquece toda a água do reservatório quente e a segunda somente a água que será consumida, por isso o cálculo será diferente.

Para o caso da utilização do aquecedor a gás, foi utilizada a Equação (3.3) para todos os dias do ano. Tornou-se necessário fazer a consideração que o aquecedor fornece uma energia que depende de três temperaturas: de consumo (T_c), do tanque quente antes (T_{ti}) e após (T_{tf}) o uso, além das constantes físicas da água e do volume do tanque. Na verdade, é uma simplificação, é como se o fornecimento dessa energia fosse suficiente para garantir as condições de consumo.

$$E_n = \rho \cdot C_p (T_c - T_m) V \quad (3.3)$$

$$T_m = \frac{T_{ti} + T_{tf}}{2} \quad (3.4)$$

onde: T_c é a temperatura de consumo, em K; T_m é a temperatura média considerada, em K; T_{ti} é a temperatura média do tanque antes do consumo, em K; T_{tf} é a temperatura média do tanque após o consumo, em K; V é o volume do tanque, em m^3 .

O resultado para um ano foi uma energia necessária de 3876 kW.h e uma energia gasta de 4785 kW.h, usando também a Equação (3.2). Os resultados para cada mês estão no Apêndice I.

Para a avaliação da energia necessária para o modelo que utiliza o sistema solar e um chuveiro a metodologia teve que ser diferente: primeiro se dividiu em três casos para se considerar a queda de temperatura do tanque. Cada caso e a metodologia de cálculo serão apresentados a seguir para utilizar a Equação 3.1 trocando T_r por T_m .

- Caso 1: $T_{tf} > T_c$

Como a temperatura média do tanque quente após o consumo é maior que a temperatura de consumo, não se faz necessário utilizar o sistema auxiliar, resultando em $E_n = 0$.

- Caso 2: $T_c > T_{ti}$

Como a temperatura média do tanque quente antes do consumo é menor que a temperatura de consumo, o aquecedor precisa ser utilizado durante todo o tempo de consumo ($t = 3600s$). Este é o mesmo método empregado anteriormente, quando foi chamado de sistema elétrico puro.

- Caso 3: $T_{tf} < T_c < T_{ti}$

Como a temperatura média do tanque quente é maior no início e menor no final do consumo que a temperatura de consumo, começa-se a utilizar a água sem um sistema auxiliar e depois este tem que ser acionado. Com isto foi determinado o tempo de utilização do aquecedor pela Equação (3.5) e a temperatura média considerada pela Equação (3.6).

$$t = 3600 \frac{T_c - T_{ti}}{T_{tf} - T_{ti}} \quad (3.5)$$

$$T_m = \frac{T_c + T_{tf}}{2} \quad (3.6)$$

Da mesma forma que anteriormente foi calculada a energia necessária e a gasta para este modelo de sistema ficando em 1941 kW.h e 2043 kW.h, respectivamente.

3.3. Modelo Proposto

O modelo proposto é uma junção do modelo com energia solar com o chuveiro (pela energia necessária ser a menor) com o modelo comparativo a gás (por apresentar um menor gasto mensal, que será visto posteriormente). Por este ter o mesmo posicionamento, e consequentemente com mesmo comportamento, irá necessitar da mesma energia, só gastará mais por ter uma eficiência menor. Desta forma o somatório para um ano, a energia necessária foi de 1941 kW.h e a energia gasta foi de 2396 kW.h para este sistema ou no Apêndice I para cada mês.

3.4. Análise Econômica

A análise econômica será feita com a comparação dos cinco sistemas descritos anteriormente. Primeiro serão retirados os dados de energia gasta e com eles serão estimados os gastos mensais através do conhecimento do custo médio de cada tipo de energia. O custo da energia elétrica foi baseado pelo cálculo da razão do valor total da conta pela quantidade de energia gasta (os dados foram retirados dos arquivos da conta de energia da empresa AES Sul). Para o sistema a gás foi estimado pelo produto do consumo de gás máximo por hora pelo preço médio por quilograma de gás GLP dividido pela potência útil do aquecedor (dados retirados dos arquivos da cobrança feita pela empresa Comercial e Posto de Gás Fátima), resultando em um custo para a energia elétrica de R\$/kW.h 0,481 e para a energia a gás de R\$/kW.h 0,321.

Com os dados da energia necessária e gasta mensalmente por cada sistema, encontradas no Apêndice I, foram montados gráficos, Figuras 3.5 e 3.6, respectivamente. Com o conhecimento disto e do custo para cada tipo de energia, foi montado outro gráfico para o custo com cada tipo de sistema, Figura 3.7 (esses dados de custo por mês podem ser encontrados no Apêndice II). O comportamento de todos os tipos em ambos gráficos foi o mesmo, menor nas extremidades (no verão) e maiores no centro (no inverno).

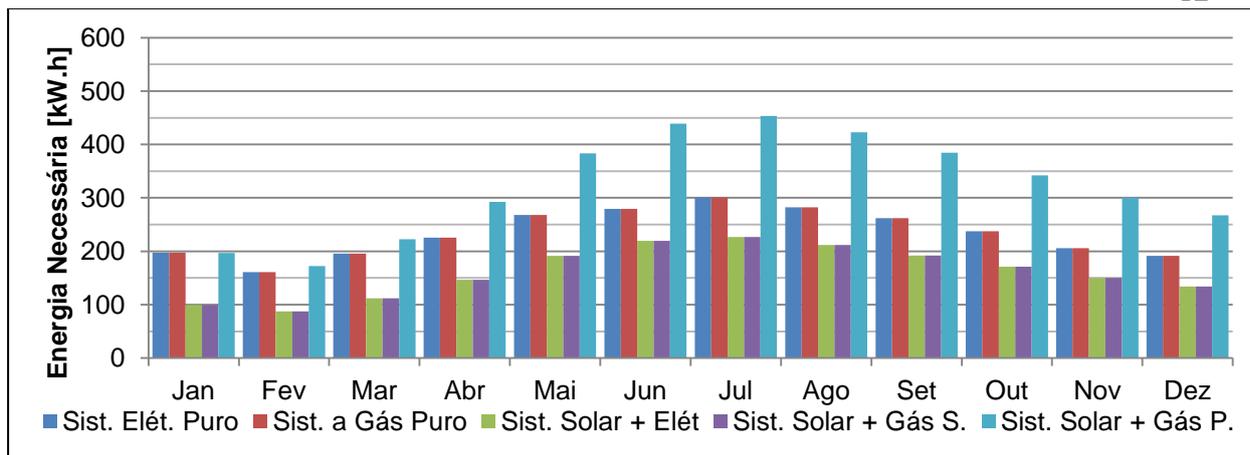


Figura 3. 5: Previsão da energia necessária mensalmente para cada tipo de sistema analisado.

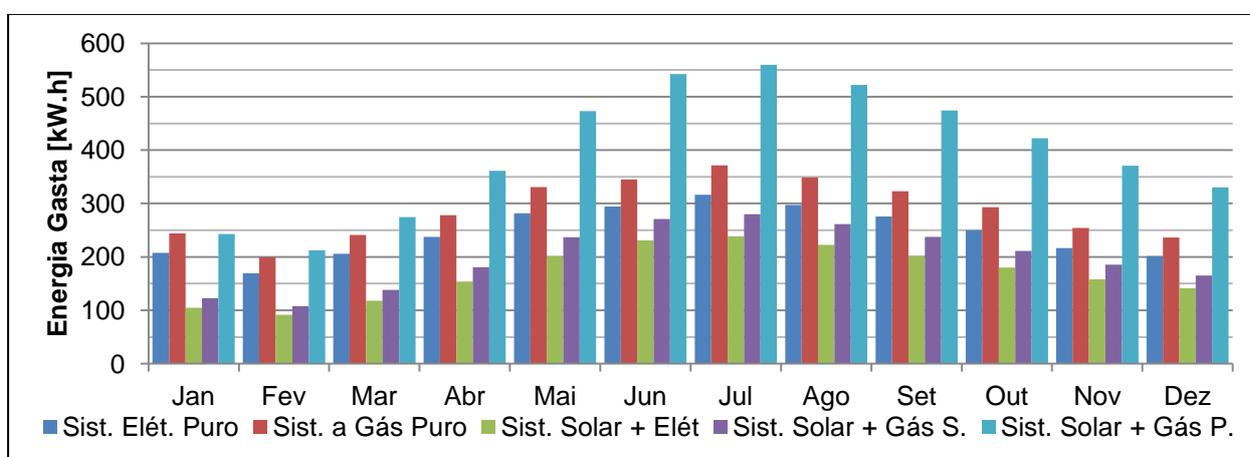


Figura 3. 6: Previsão da energia gasta mensalmente para cada tipo de sistema analisado.

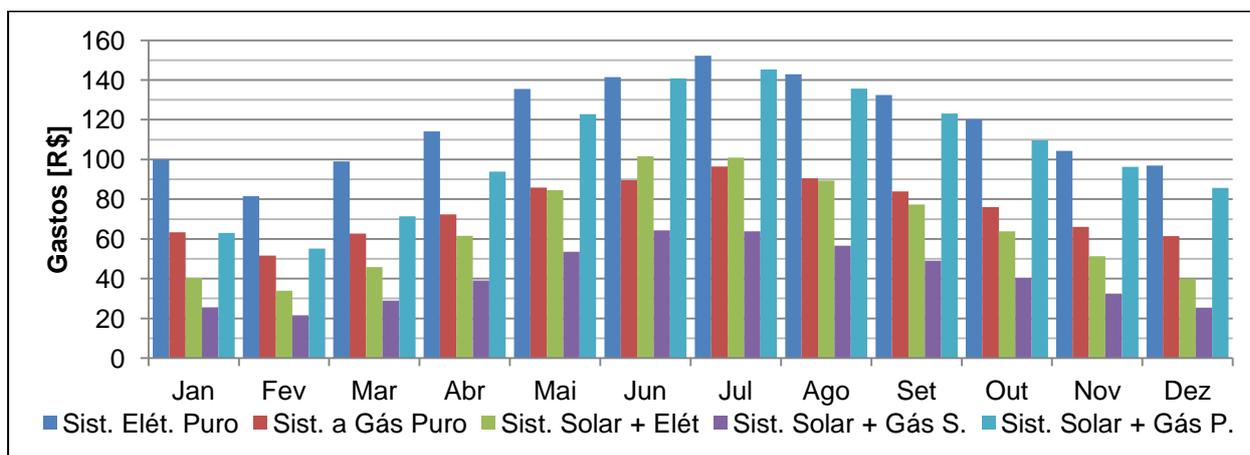


Figura 3. 7: Previsão dos gastos mensalmente para cada tipo de sistema analisado.

Analisando a energia necessária, para cada mês os que menos gastaram foram os dois modelos que contêm o sistema solar, com sistema auxiliar elétrico ou a gás (o gasto foi igual nos dois casos, pois o posicionamento é o mesmo, como visto anteriormente). Depois os dois modelos comparativos (elétrico ou a gás) e, por último, o sistema solar com o sistema a gás em paralelo com o reservatório quente. Em relação com a energia gasta, para cada mês o que menos gastou foi o sistema que contém o sistema solar e um elétrico, seguido pelo sistema solar com um sistema a gás em série com o reservatório quente, sistema elétrico puro, sistema a gás puro e, por último, o sistema solar com o sistema a gás em paralelo com o reservatório quente. Observando os gastos com cada tipo de energia, o que apresentou menor gasto foi o

com o sistema solar com o sistema a gás em série, seguido pelo sistema solar com o sistema elétrico, sistema a gás puro, sistema solar com o sistema a gás em paralelo e, por último, o sistema elétrico puro.

Agora é possível utilizar o método VPL para observarmos a viabilidade econômica de cada sistema. Considerando uma taxa anual de 12% e tempo até o fim de vida do sistema a gás como de 10 anos. Não foram considerados gastos com manutenção, pois são baixos e terão o mesmo impacto em todos os sistemas. O custo inicial foi obtido com um orçamento da mesma empresa que instalou o sistema em paralelo com o reservatório quente, ficou em R\$ 4.825,00, considerando os custos com o aquecedor digital, mão de obra, termostato, válvula direcionadora controlada pelo termostato, filtro de gás, bomba, parte hidráulica, chaminé para o aquecedor, modificações no sistema do gás. Assim o VPL fica apenas em função dos gastos mensais com a energia e do custo inicial de implantação, formando a Tabela 3.4. Os resultados estão expostos nos Apêndices: III (para um ano) e IV (resultado final, para 10 anos).

Tabela 3. 4: VPL dos sistemas analisados.

	Sistema elétrico puro	Sistema a gás puro	Sistema Solar com Sistema Elétrico	Sistema solar com sistema a gás em série	Sistema solar com sistema a gás em paralelo
Custo inicial	0,00	4.825,00	0,00	4.825,00	0,00
VPL de 10 anos [R\$]	26.311,12	21.485,74	14.652,38	14.103,18	23.074,14
Diferença em relação com o máximo [R\$]	0,00	4.825,38	11.658,75	12.207,94	3.236,98

Pela Tabela 3.4 é possível prever que o melhor sistema pelo método do VPL é o modelo que utiliza o sistema solar e um aquecedor a gás em série com o tanque quente, ele apresentando um VPL de R\$14.103, 18; em comparação com o modelo mais utilizado (o elétrico puro) apresentou uma economia de R\$12.207,94. Com um resultado bem próximo veio o sistema que utiliza energia solar sendo complementada pela energia elétrica. Os outros três sistemas apresentaram valores semelhantes, inclusive o sistema a gás sem utilizar energia solar apresentou um resultado melhor que o que utiliza energia solar.

O *payback* do sistema proposto foi calculado com o fluxo de caixa do VPL, onde a economia foi vista em relação ao sistema solar com o aquecedor a gás em paralelo com o tanque quente. Seu resultado foi de 7 anos e nove meses.

4. Conclusão

O objetivo deste trabalho era de responder a duas perguntas: se o sistema solar está projetado e opera como deveria; e qual sistema auxiliar seria o melhor para o caso. A primeira começou a ser respondida com as referências que foram encontradas na bibliografia sobre o dimensionamento deste tipo de sistema. Elas são:

- Pelo sistema operar por termossifão teria que haver uma distância entre o fundo do reservatório quente e o topo das placas coletoras para que não houvesse circulação reversa no período noturno, em torno de 20 cm no mínimo, mas o sistema não respeita isso. No sistema instalado o topo das placas estão alinhados com o centro do reservatório quente, na simulação essa distância teve que ser considerada nula.
- Para que o sistema tenha uma eficiência adequada, ele deveria ter uma relação entre 50 a 100 l/m² para o volume do reservatório e a área dos coletores. Neste ponto o sistema instalado também não atendeu a essa indicação, ficou em 119 l/m² (com um volume de 600 litros e área de 5,03 m²).

- Os parâmetros de qualidade $F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)$, relação com os ganhos térmicos do sistema e maior influência no desempenho, e $F_R \cdot U_L$, relação com as perdas, apresentaram valores comuns: 0,65 e 7,74, respectivamente. No modelo *default* do programa TermoSim esses resultados foram de 0,7 e 7,18, respectivamente.
- Uma forma de aumentarmos a eficiência do coletor é baixar a temperatura de entrada da água, para isto podem ser tomadas três medidas: aumentar a relação entre o volume e a área de coletores (o sistema instalado apresenta uma relação maior que a sugerida); utilização de reservatório vertical ao invés de um na horizontal, favorecendo a estratificação térmica da água em seu interior (esta medida não será adotada, pois está instalado e não há espaço para esta modificação); consumo de água quente durante a manhã (esta medida também não será adotada, pois a temperatura da água neste período é a menor do dia).

O comportamento do sistema foi observado pelas Figuras 3.1 (eficiência instantânea), 3.2 (no verão), 3.3 (no inverno) e 3.4 (no ano todo) para uma demanda de 300 litros de água a 40°C sendo todo concentrado entre às 17 e 18 horas de cada dia (para uma residência de 5 pessoas). A partir disto foram propostos cinco modelos: dois comparativos sem utilizar o sistema solar (um elétrico e outro a gás), dois que são as possibilidades que o sistema pode operar no momento (um elétrico e outro com o sistema a gás em paralelo com o tanque quente) e, por último, um modelo proposto (utilizando o sistema solar e como sistema auxiliar um sistema a gás em série com o tanque). As energias necessária, gasta e os gastos para cada tipo de sistema analisado encontram-se nas Figuras 3.5, 3.6 e 3.7.

A última análise feita foi pelo método do VPL, Tabela 3.4. Esta mostrou um melhor resultado para o modelo proposto, com um *payback* de sete anos e nove meses, portanto este teria que ser o modelo escolhido. Contudo, o modelo que alia energia solar com elétrica obteve resultados bem próximos (uma diferença de R\$500 para o período de dez anos) sendo que a sua instalação é mais fácil. Outra vantagem é que este pode ser ajustado na hora do consumo pelo próprio usuário. Desta forma sugiro um melhor estudo do consumo e da possibilidade do investimento antes de escolher qual o modelo a ser utilizado, pois foi considerado um consumo um pouco maior que a média. Considerando-se um consumo de 150 litros diários (50% do considerado), os R\$500 ficam a favor do segundo modelo.

Os modelos comparativos serviram como parâmetro para a comparação, pelo menos essa era a ideia inicial, por que acabaram por mostrar resultados semelhantes ao sistema instalado (utilizando como sistema auxiliar o modelo com gás em paralelo com o tanque quente), principalmente se este for comparado com o modelo a gás. Assim, como resultado imediato, temos que o sistema instalado pode ser desativado em prol do modelo que utiliza os sistemas solar e elétrico. Como uma proposta alternativa, fica a análise da viabilidade de transformar o sistema instalado no proposto para que se diminuam os custos iniciais, pois o proposto utilizaria equipamentos novos e o antigo seria desativado.

Referências Bibliográficas

Aita, Fernando; “Estudo do Desempenho de um Sistema de Aquecimento de Água por Energia Solar e Gás”. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.

Barreto, Douglas; “Perfil do Consumo Residencial e Usos Finais da Água”, Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n.2, p. 23-40, abr./jun. 2008.

Casarotto, F.; “Análise de investimentos”, Atlas, 9ª edição, 2000.

CEPEL. “Centro de Pesquisas de Energia Elétrica”. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/apresentacoes/200806_pucurio.pdf Acessado em Outubro de 2012.

DMAE. “Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre” Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=175 Acessado em Agosto de 2012.

Incropera, F. P., Dewitt, P.D., Bergman, L.T., Lavine, A.S.; “Fundamentos de Transferência de Calor e Massa”, LTC, 6ª edição, 2008.

Lafay, Jean-Marc S.; “Análise Energética de Sistemas de Aquecimento de Água com Energia Solar e Gás”, 2005. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

Pozzebon, Felipe B.; “Aperfeiçoamento de um Programa de Simulação Computacional para Análise de Sistemas Térmicos de Aquecimento de Água por Energia Solar” 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009.

Rabelo, Rafael; “Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Instalação de um sistema de Aquecimento de água Utilizando Energia Solar”. 2010. 22f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2010.

Siqueira, Antonio M. O.; “Desenvolvimento de um programa de simulação computacional de sistemas de aquecimento solar para água”. 2003. 131f Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

Apêndice I

Nº do modelo	Descrição							
1	Sistema Elétrico Puro							
2	Sistema a Gás Puro							
3	Sistema solar com Sistema a Gás em Paralelo com o Tanque Quente							
4	Sistema solar com Sistema Elétrico							
5	Sistema solar com Sistema a Gás em Série com o Tanque Quente							
Energia Necessária e Gasta em Cada Modelo [kW.h]								
Energia	Necessária	Gasta	Gasta	Necessária	Gasta	Necessária	Gasta	Gasta
Nº do Modelo	1 ou 2	1	2	3	3	4 ou 5	4	4
Mês								
Jan	197,4	207,8	243,7	196,6	242,8	99,3	104,5	122,6
Fev	161,1	169,5	198,8	172,0	212,3	87,0	91,6	107,5
Mar	195,4	205,7	241,3	222,4	274,5	111,5	117,8	138,2
Abr	225,4	237,3	278,3	292,6	361,2	146,3	154,0	180,6
Mai	267,6	281,7	330,4	383,3	473,2	191,6	201,7	236,6
Jun	279,4	294,1	344,9	439,2	542,2	219,6	231,1	271,1
Jul	300,6	316,4	371,1	453,3	559,7	226,6	238,6	279,8
Ago	282,3	297,2	348,5	423,0	522,2	211,5	222,6	261,1
Set	261,7	275,4	323,0	384,2	474,4	192,1	202,2	237,2
Out	237,3	249,8	293,0	341,8	422,0	170,9	179,9	211,0
Nov	205,9	216,7	254,2	300,1	370,6	150,1	158,0	185,3
Dez	191,5	201,6	236,4	267,4	330,1	133,9	140,9	165,3
Total	2806	2953	3464	3876	4785	1941	2043	2396

Apêndice II

Gastos Previsto com Energia em Cada Modelo [R\$]					
Nº do Modelo	1	2	3	4	5
Mês					
Jan	99,96	63,29	63,05	40,31	25,53
Fev	81,56	51,65	55,14	33,97	21,51
Mar	98,97	62,67	71,30	45,75	28,97
Abr	114,15	72,28	93,81	61,61	39,01
Mai	135,53	85,82	122,88	84,51	53,51
Jun	141,45	89,57	140,80	101,56	64,31
Jul	152,21	96,38	145,34	100,88	63,88
Ago	142,95	90,52	135,61	89,45	56,64
Set	132,49	83,90	123,19	77,40	49,01
Out	120,17	76,09	109,58	63,81	40,40
Nov	104,26	66,02	96,24	51,36	32,52
Dez	96,98	61,41	85,74	40,03	25,35
Total	1420,67	899,60	1242,69	790,63	500,64

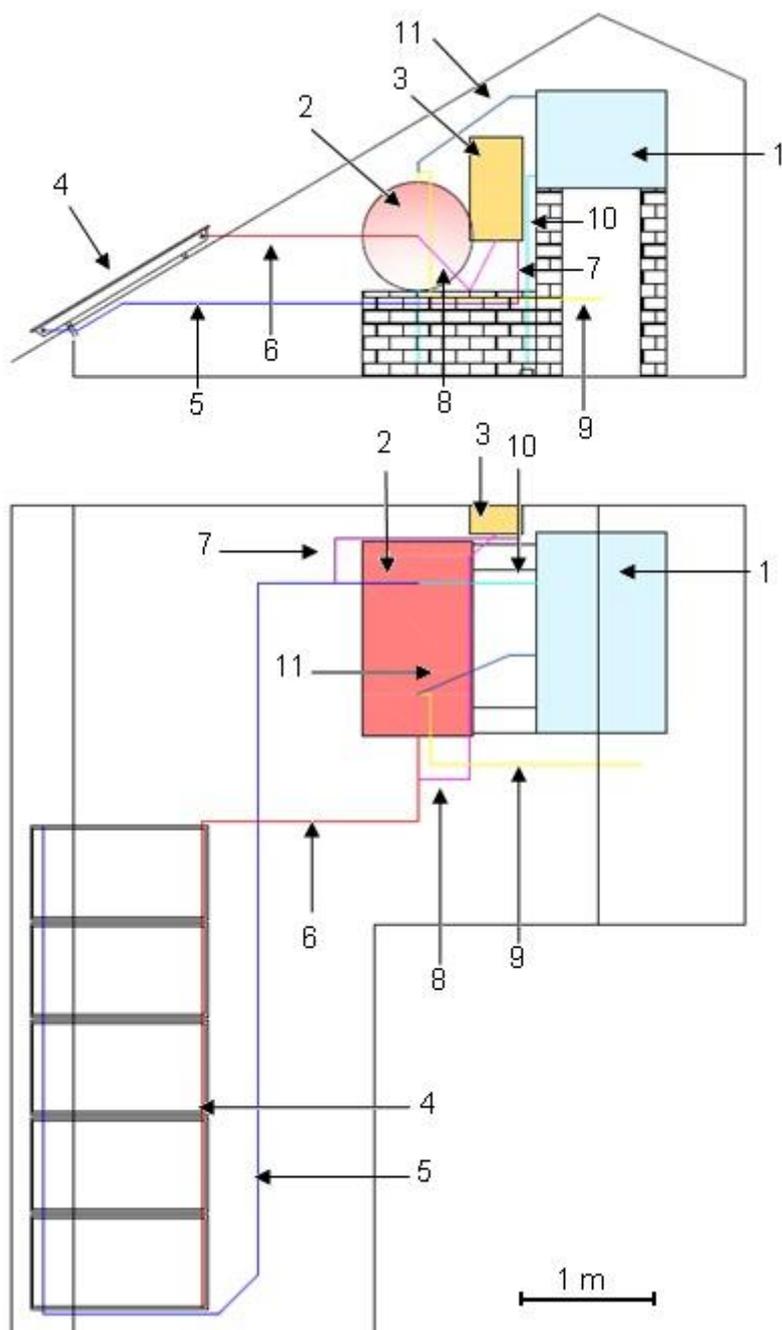
Apêndice III

Resultado do VPL para cada modelo para o tempo de um ano [R\$]					
Nº do Modelo	1	2	3	4	5
Mês					
Jan	99,96	63,29	63,05	40,31	25,53
Fev	82,34	52,14	55,67	34,29	21,71
Mar	100,86	63,86	72,66	46,62	29,52
Abr	117,43	74,36	96,51	63,38	40,14
Mai	140,74	89,12	127,61	87,76	55,57
Jun	148,29	93,90	147,61	106,47	67,42
Jul	161,08	102,00	153,81	106,76	67,60
Ago	152,72	96,71	144,88	95,56	60,51
Set	142,89	90,48	132,86	83,47	52,86
Out	130,83	82,84	119,30	69,47	43,99
Nov	114,59	72,56	105,77	56,45	35,74
Dez	107,59	68,13	95,13	44,41	28,12
VPL (1 ano)	1499,32	949,40	1314,86	834,95	528,71

Apêndice IV

Resultado Final do VPL para cada modelo para o tempo de 10 anos [R\$]					
Nº do Modelo	1	2	3	4	5
Investimento Inicial	0,00	4825,00	0,00	0,00	4825,00
Ano					
1	1499,32	949,40	1314,86	834,95	528,71
2	1679,24	1063,33	1472,64	935,15	592,15
3	1880,74	1190,93	1649,36	1047,37	663,21
4	2106,43	1333,84	1847,28	1173,05	742,80
5	2359,20	1493,90	2068,96	1313,82	831,93
6	2642,31	1673,16	2317,23	1471,47	931,77
7	2959,39	1873,94	2595,30	1648,05	1043,58
8	3314,51	2098,82	2906,74	1845,82	1168,81
9	3712,25	2350,68	3255,55	2067,31	1309,07
10	4157,73	2632,76	3646,21	2315,39	1466,15
VPL (10 anos)	26311,12	21485,74	23074,14	14652,38	14103,18
Diferença para o máximo VPL	0,00	4825,38	3236,98	11658,75	12207,94

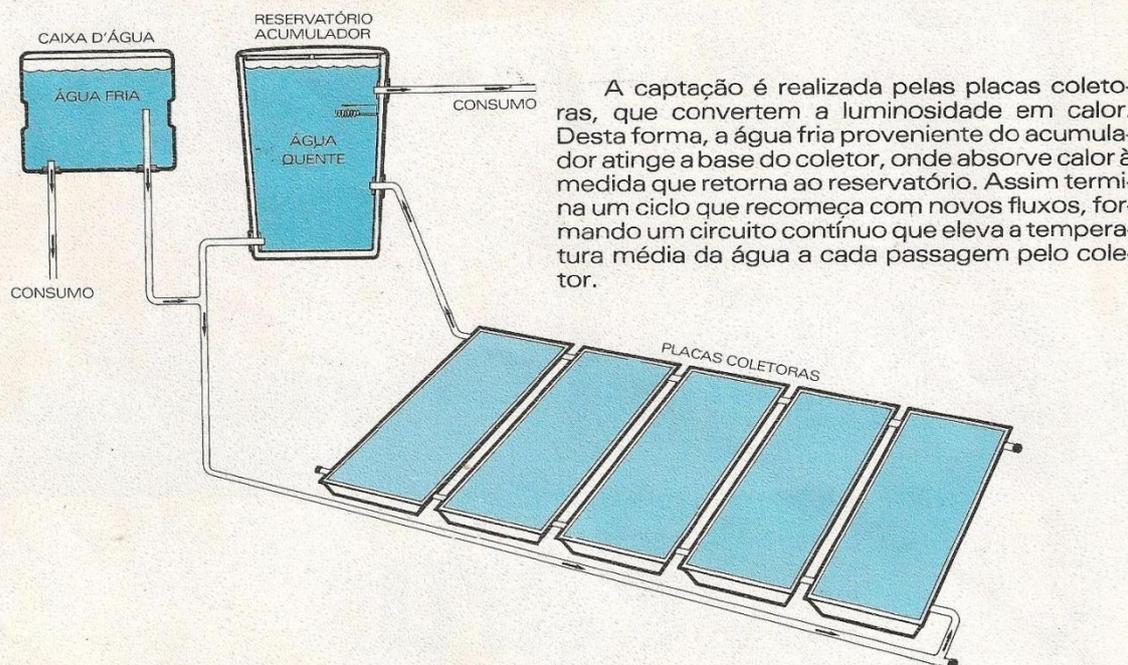
Apêndice V



Nº do item	Descrição
1	Reservatório de água fria
2	Reservatório de água quente
3	Aquecedor a gás
4	Coletores solares
5	Linha de entrada dos coletores
6	Linha de saída do coletores
7	Linha de entrada no aquecedor a gás
8	Linha de saída do aquecedor a gás
9	Linha da água para o consumo
10	Linha de água fria para o reservatório de água quente
11	Linha de segurança, suspiro do reservatório de água quente

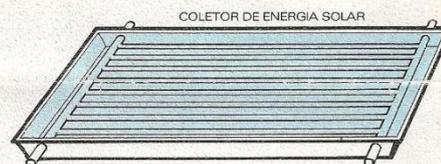
ENERGIA SOLAR SEM SEGREDOS

O funcionamento é dividido em três fases: captação, transferência e acumulação da Energia Solar.

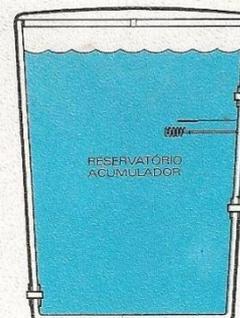


A captação é realizada pelas placas coletoras, que convertem a luminosidade em calor. Desta forma, a água fria proveniente do acumulador atinge a base do coletor, onde absorve calor à medida que retorna ao reservatório. Assim termina um ciclo que recomeça com novos fluxos, formando um circuito contínuo que eleva a temperatura média da água a cada passagem pelo coletor.

Os coletores são formados basicamente por uma caixa de fiberglass e resinas de polyester, isolada internamente por lâ-de-vidro fenólica, sobre a qual encontra-se o intercambiador de cobre revestido por um corpo negro. Todo este conjunto é coberto por um vidro cristal 4 mm, perfeitamente vedado com silicone.



A unidade de acumulação de calor é construída com materiais especiais para água quente, em polyester e fibra de vidro ou aço inoxidável, capazes de resistir a temperaturas de até 280°C e a pressões equivalentes a 7 Atm. Nenhum de seus componentes está sujeito à corrosão, o que lhe proporciona extraordinária durabilidade. O perfeito isolamento garante a conservação da água por períodos excepcionalmente longos.



Procure quem entende.

O segredo da transferência de calor está numa boa instalação, que somente uma equipe técnica competente pode realizar. Para isso contamos com pessoal altamente qualificado, habilitado a melhor projetar e executar a sua obra.

Conheça-nos e saiba porque
ENERGIA SOLAR é com

ME

MÁRIO EDERICH Projetos & Equipamentos Solares

Rua Marquês do Herval, 208 Fones: (0512) 72-4440 e 72-8673 92020 Canoas - RS

Anexo II

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo _____ 02
 Marca _____ ThermoSystem
 Tensão Nominal _____ 220V _____ 127V
 Potência _____ 7700W _____ 5500W
 Fiação Mínima _____ 6 mm² _____ 6 mm²
 Disjuntor _____ 40 A _____ 40 A
 Pressão Mínima _____ 3 Kpa (0,3 m.c.a.)
 Pressão Máxima _____ 400Kpa(40m.c.a)
 No. IP (Grau de Proteção) _____ IP 24
 Distância Máxima do Disjuntor ao Aparelho _____ 30m

Importante para sua segurança:

Para evitar riscos de choques elétricos o fio terra deste produto deve ser conectado a um sistema de aterramento conforme norma NBR 5410. A instalação elétrica e o sistema de aterramento para este produto deve ser executado por pessoa qualificada. A resistividade da água a 22°C não deve ser inferior a 1300Ωcm.

"O fabricante se reserva o direito de modificar o produto sem aviso prévio."

Anexo III

	Características técnicas	Unidades	WB160	WB275	WB350
Potência	Potência útil máxima	kW	9.4	19.2	24.4
	Potência útil mínima	kW	4.7	9.6	12.2
	Potência útil variável da regulagem manual	kW	4.7 - 9.4	9.6 - 19.2	12.2 - 24.4
	Potência nominal máxima	kW	11.2	21.8	27.9
	Potência nominal mínima	kW	5.6	10.9	13.8
Dados referentes ao gás*	Pressão de alimentação:				
	Gás Natural	mbar	20	20	20
	GLP	mbar	28	28	28
	Consumo:				
	Gás natural	m ³ /h	1.1	2.3	2.9
	GLP	kg/h	0.85	1.7	2.2
Dados referentes à água	Pressão máxima admissível**	bar	12	12	12
	Seletor de temperatura todo girado no sentido horário:				
	Vazão com elevação de temperatura em 50°C	l/min	3	5.5	7
	Pressão mínima de funcionamento	bar	0.16	0.1	0.2
	Seletor de temperatura todo girado no sentido anti-horário:				
	Vazão com elevação de temperatura em 20°C	l/min	7.4	13.6	17.6
	Pressão mínima de funcionamento	bar	0.6	0.6	0.8
Produtos da combustão***	Depressão mínima	mbar	0.015	0.015	0.015
	Vazão	kg/h	29.6	43.2	57.6
	Temperatura	°C	180	170	170

* P_{Cl} a 15 °C = 1.013 mbar (10.130mmCA) - seco: Gás natural H a 9,5 kWh/m³ ;
GLP a 12,7 kWh/kg

** Considerando o efeito de dilatação da água, não se deve ultrapassar este valor.

*** Para potência calorífica nominal máxima