

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

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR
DE ÁGUA PARA UMA RESIDÊNCIA ESTUDANTIL NO SUL DO BRASIL

por

Paola Superti Dal Magro

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 Engenharia Mecânica.

Porto Alegre, junho de 2016



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR
DE ÁGUA PARA UMA RESIDÊNCIA ESTUDANTIL NO SUL DO BRASIL

por

Paola Superti Dal Magro

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

Prof. Dr. Eng. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Energia e Fenômenos de Transporte**

Orientador: Prof. Eng. Letícia Jenisch Rodrigues, Dra.

Comissão de Avaliação:

Prof. Bardo Ernst Josef Bodmann , Dr.

Prof. Eng. Francis Henrique Ramos França , Dr.

Prof. Eng. Thamy Cristina Hayashi , Dra.

Porto Alegre, 22 de junho de 2016.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus avós, tios e principalmente aos meus pais, Paulo Roberto Dal Magro e Eloisa Superti Dal Magro, base de tudo o que sou hoje, pelo amor, carinho e compreensão que sempre me dedicaram, por investirem na minha educação e estarem sempre presentes me apoiando em cada desafio e vibrando comigo a cada conquista, sendo meu alicerce e me ensinando a ser uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço a minha irmã, Luisa Superti Dal Magro, por ser mais que irmã, amiga de todas as horas, me apoiando, aconselhando e me motivando a não desistir, estando presente em todos os momentos, mesmo nos mais difíceis.

Agradeço a todos os professores que tiveram participação para a concretização deste trabalho, em especial a minha orientadora, Letícia Jenisch Rodrigues, por compartilhar do seu conhecimento, pela proposição do tema e pela disponibilidade para auxiliar-me nos momentos de dificuldade.

Agradeço ao professor Arno Krenzinger pela oportunidade de integrar o corpo discente do Laboratório de Energia Solar e pelo compartilhamento do seu vasto conhecimento.

Agradeço também aos meus amigos e colegas da faculdade, por entenderem minha ausência nos períodos de estudo, pelas conversas e bons momentos que passamos juntos, por toda a ajuda, cumplicidade e amizade.

„Es ist nicht genug zu wissen;
man muss auch anwenden.
Es ist nicht genug zu wollen;
man muss auch tun.“

Johann Wolfgang Von Goethe

DAL MAGRO, P. S. **Dimensionamento e Análise Econômica de Sistema de Aquecimento Solar de Água para uma Residência Estudantil no Sul do Brasil**. 2016. 22. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RESUMO

Neste trabalho realizou-se o dimensionamento de um sistema de aquecimento solar para um projeto de residência estudantil que deverá ser construída em Porto Alegre. Foram utilizados dois métodos de dimensionamento, o proposto pela Norma ABNT NBR 15569:2008, com maiores simplificações, e o método clássico *f-Chart*, a ser utilizado com mais segurança por apresentar a fração solar mensal e um desvio máximo de 5%. Para os dois casos, foi utilizado um consumo diário de água de 50 litros/pessoa e uma fração solar média anual equivalente a 70%. Para estas condições, o método *f-Chart* forneceu uma área coletora de 162 m² e o resultado obtido pela norma foi de 140 m². O retorno do investimento foi realizado comparando-se o custo do sistema solar somado ao gasto anual com energia auxiliar utilizando aquecedores a gás (natural e GLP) de passagem em série com os reservatórios em relação ao gasto anual utilizando chuveiros elétricos. Para os 162 m² de área coletora, obteve-se um retorno do investimento em 2 anos se utilizado o Gás Natural como energia auxiliar e em 2 anos e 7 meses se for utilizado o GLP. Para os 140 m² o retorno utilizando-se Gás Natural e GLP foi de respectivamente 1 ano e 10 meses e 2 anos e 5 meses. A análise dos resultados mostra que quanto maior a residência em projeto, maiores são os benefícios em se utilizar o sistema de aquecimento solar, tendo em vista que os gastos com energia elétrica serão contínuos ao longo do tempo, e a utilização de reservatórios térmicos maiores aumentam a eficiência do sistema. O sistema de aquecimento solar utilizando aquecedor de passagem a gás natural em série com o reservatório como energia auxiliar, dimensionado através do método *f-Chart*, mostra-se uma excelente alternativa para os chuveiros elétricos, gerando uma economia aos cofres públicos de mais de R\$ 1.500.000,00 em 20 anos para esta residência estudantil.

PALAVRAS-CHAVE: aquecimento solar, método *f-Chart*, norma ABNT NBR 15569:2008, análise econômica.

DAL MAGRO, P. S. **Design and Economic Analysis of Solar Water Heating System for a Student Residence in Southern Brazil**. 2016. 22. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ABSTRACT

In the present work a solar water heating system was designed to be used for heating of a student residence in project that should be built in Porto Alegre. Two design methods were used, the one proposed by the Norm ABNT NBR 15569:2008, which has more simplifications and the classic *f*-Chart Method, to be used with more security for presenting a monthly solar fraction and a maximum deflection of 5%. For both cases, it was used a daily water consumption of 50 liters/person and an average annual solar fraction of 70%. For these conditions, the *f*-Chart method provided a collecting area of 162 m² and the result obtained through norm was 140 m². The payback was calculated comparing the cost of the solar system added to the annual charge with auxiliary power using (natural and LPG) gas heater in passing in series with the thermal reservoirs, regarding the annual charge for an electric shower. For 162 m² of collecting area, there was obtained a payback in 2 years when used natural gas as auxiliary power, and when used the LPG, the payback was in 2 years and 7 months. For 140 m² of collecting area, the payback for natural gas and LPG was respectively in 1 year and 10 months and 2 years and 5 months. The analysis of results shows that the bigger the residences in project are, the greater are the benefits when used solar heating systems, given that the charges with electric power are continuous over time, and the use of thermal reservoirs increases the system efficiency. The *f*-Chart method designed solar heating system with natural gas heater in passing, appears to be an excellent alternative for electric showers, generating savings to the public safes of more than R\$ 1.500.000,00 in 20 years for this student residence.

KEYWORDS: solar heating, *f*-Chart method, norm ABNT NBR 15569:2008, economic analysis.

ÍNDICE

| | | |
|-----------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 1 |
| 2.1 | Sistema de Aquecimento Solar de Água | 1 |
| 2.2 | Norma ABNT NBR 15569:2008 | 3 |
| 2.3 | Método <i>f-Chart</i> | 3 |
| 2.4 | Avaliação Econômica de Investimento | 5 |
| 3. | CASO DE ESTUDO | 6 |
| 3.1 | Projeto Proposto | 6 |
| 3.2 | Dados de Projeto | 7 |
| 4. | METODOLOGIA | 7 |
| 4.1 | Dimensionamento através da norma ABNT NBR 15569:2008 | 7 |
| 4.2 | Dimensionamento através do Método <i>f-Chart</i> | 8 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 9 |
| 5.1 | Viabilidade Econômica | 9 |
| 5.2 | Resultados Obtidos através da Norma ABNT NBR 15569:2008 | 11 |
| 5.3 | Resultados Obtidos através do Método <i>f-Chart</i> | 12 |
| 5.4 | Considerações Finais | 13 |
| 6. | CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS | 14 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 15 |

1. INTRODUÇÃO

Em tempos nos quais a sustentabilidade é um assunto muito discutido, a energia solar, tão disponível no Brasil, torna-se uma interessante alternativa para o aquecimento de água nas residências do país, na medida em que supre as necessidades da população e minimiza os impactos ao meio ambiente, além de seus atrativos econômicos. Apesar disto, o sistema de aquecimento solar ainda é pouco aproveitado no País, em razão do elevado custo de aquisição, quando comparado aos chuveiros elétricos, e da falta de conhecimento sobre o sistema.

O aquecimento de água utilizando o chuveiro elétrico representa aproximadamente 67% do consumo doméstico de energia elétrica no Brasil, [Aita, 2006], tornando-o um dos países que mais consomem energia elétrica para este fim. Como consequência disto ocorre uma sobrecarga no sistema elétrico, obrigando as concessionárias a realizarem grandes investimentos no sistema de geração, transmissão e distribuição com o objetivo de atender o horário de pico que ocorre entre 18h e 21h, o que segundo Lafay, 2005, chega a representar quase 20% do consumo nacional de energia elétrica.

O sistema de aquecimento de água para chuveiros utilizando energia solar é composto, basicamente, por coletores planos aliados a reservatórios de água quente. Este sistema, se comparado aos chuveiros elétricos, tem um maior custo inicial, o que explica parte da demora do país em adotar esta nova tecnologia. Segundo Vasconcelos e Limberger, 2012, o Brasil possui uma área de coletores instalados de aproximadamente 5,2 milhões de metros quadrados, número baixo se comparado a países da Europa, China, Estados Unidos e Canadá, por exemplo, que juntos totalizam 212,4 milhões de metros quadrados, o que corresponde a 86,4% do mercado mundial.

Em termos econômicos, substituir o uso dos chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar torna-se vantajoso a longo prazo, além de contribuir com o meio ambiente na medida em que os danos causados à natureza são minimizados em processos como a construção de usinas hidrelétricas e a queima de combustíveis fósseis, utilizados para geração de energia termoelétrica.

No entanto, para que os sistemas de aquecimento solar sejam realmente viáveis economicamente, é essencial o estudo e domínio do assunto por parte dos engenheiros, a fim de suprir a demanda de água quente sem que haja um superdimensionamento do sistema, o que aumenta consideravelmente o tempo de retorno do investimento.

Existe um projeto para construção de uma Casa do Estudante no Campus do Vale (CECAV) e o presente trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema solar de aquecimento de água para os chuveiros desta moradia estudantil utilizando o método apresentado pela norma ABNT NBR 15569:2008, analisando fatores como sua faixa de operação, a área de captação solar necessária para aquecer a água da residência estudada, e o custo de implementação do sistema. O sistema também será dimensionado utilizando o Método *f-Chart*, cujo objetivo é obter a *curva f* e estimar o desempenho do coletor solar. A energia auxiliar utilizada será o aquecedor de passagem a gás em série com o reservatório térmico, e o período de retorno do investimento será comparado ao custo da utilização de chuveiros elétricos, o qual é o sistema mais comumente utilizado no Brasil.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Sistema de Aquecimento Solar de Água

Os Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) são divididos em dois tipos: sistema ativo, onde a circulação de água é forçada por uma bomba hidráulica, e sistema passivo, no qual a água circula através do fenômeno conhecido por termossifão ou circulação natural.

No sistema passivo, a circulação da água é realizada pelo aquecimento da mesma no coletor através da radiação solar, tornando-a menos densa que a água no fundo do reservatório, criando assim um fluxo convectivo natural do fundo do reservatório térmico para a entrada do

coletor, da entrada para a saída do coletor e da saída do coletor para o topo do reservatório térmico.

Neste trabalho foi adotado o sistema passivo, pois segundo Aita, 2006, é o sistema mais adequado para utilização no Brasil devido ao fato do clima ajudar no seu funcionamento durante o ano inteiro. Em regiões mais frias, como em Porto Alegre, deve ser previsto um dispositivo de proteção contra o congelamento da água. Outra particularidade deste sistema é a necessidade de que o reservatório esteja obrigatoriamente acima do nível dos coletores. Isto se faz necessário para evitar a recirculação noturna, ou seja, que o fluido escoe em sentido contrário ao desejado. Se o reservatório estiver acima do nível do coletor, haverá sempre uma coluna de água quente na tubulação isolada que liga a saída do coletor ao reservatório, a qual tenderá a balancear a diferença de pressão, anulando o efeito da recirculação.

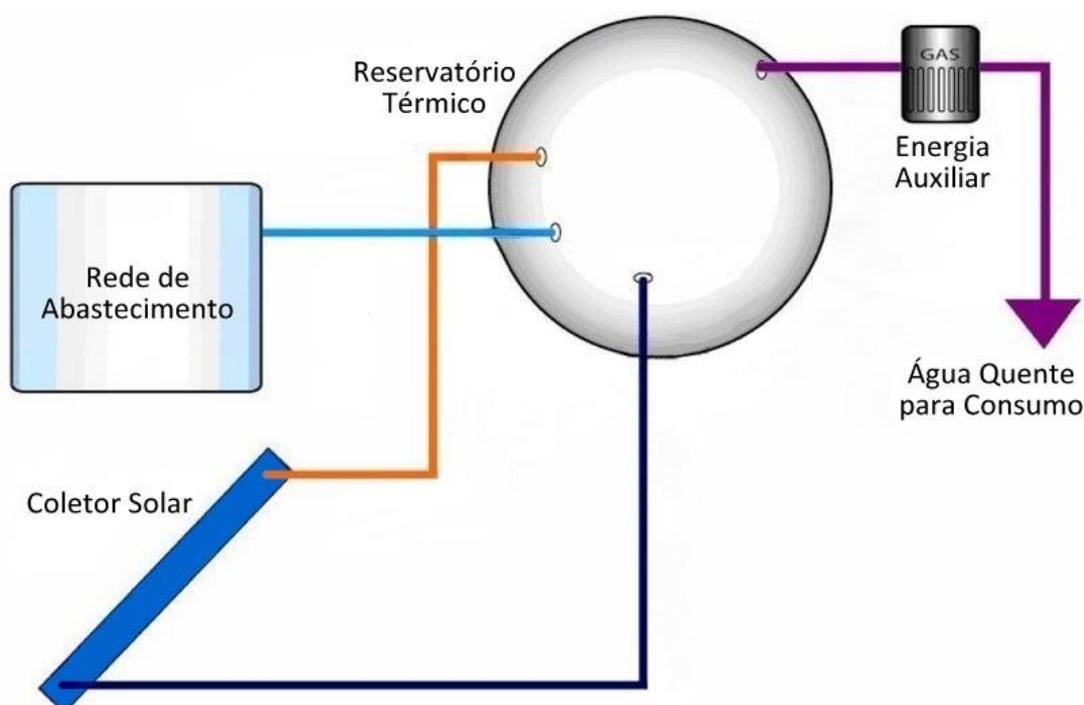


Figura 2.1 – Sistema de aquecimento solar passivo.

O coletor é o equipamento responsável pela conversão da energia solar em energia térmica. Os coletores planos podem ser construídos com absorvedor de placa plana, ou com tubos evacuados. O coletor solar plano com cobertura é composto por uma caixa externa com isolamento térmico nas laterais e na parte inferior, tubulação de cobre que permite o escoamento do fluido de trabalho, uma placa absorvedora geralmente soldada às tubulações e uma cobertura transparente, a fim de minimizar ao máximo as perdas por convecção e radiação ao ambiente. Já o coletor solar de tubo de vidro evacuado é composto por duas partes, o tubo de vidro a vácuo e o cabeçote que interliga os tubos e onde circula o fluido de trabalho. Segundo Toro, 2015, a extração do calor produzido pelos tubos evacuados pode ser realizada de diversas formas, porém as mais usadas são o tubo de calor (*heat pipe*), sendo esta a forma de conversão mais eficiente, e transferência direta (*water-in-glass*), a qual é a mais utilizada entre elas devido à sua simplicidade e baixo custo de fabricação.

O reservatório térmico é responsável por armazenar a água aquecida pelos coletores. Os materiais mais utilizados na sua construção são o aço inoxidável e os chamados plásticos de engenharia. A fim de minimizar as perdas térmicas para o meio, é feito um isolamento utilizando lã de vidro, lã de rocha ou poliuretano expandido.

Quando houver consumo de água quente, a rede de abastecimento repõe o volume utilizado ao reservatório térmico.

A energia auxiliar é utilizada para manter a água de consumo em um nível de temperatura mínimo requerido nas ocasiões de baixa disponibilidade de radiação solar ou quando ocorre um consumo de água quente maior que o esperado. As principais fontes de energia auxiliar são a resistência elétrica e caldeiras a gás, lenha ou óleo.

As tubulações que conectam a saída do coletor ao reservatório, o reservatório à fonte auxiliar e a fonte auxiliar aos locais de consumo devem ser de materiais especificados para trabalhar com água quente e devem ser isolados termicamente. As principais características desejáveis a estes materiais devem ser baixa perda de calor, livre toxicidade e corrosão, apresentando alta resistência aos ataques químicos, radiação UV, durabilidade e boa resistência ao impacto. As demais tubulações não necessitam de isolamento, pois conduzem água na temperatura ambiente.

2.2 Norma ABNT NBR 15569:2008

Esta Norma estabelece os requisitos para o sistema de aquecimento solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, onde o fluido de transporte é a água.

Aplica-se esta Norma ao SAS composto por coletores solares planos, com ou sem reservatórios térmicos, e com eventual sistema de aquecimento de água auxiliar, sendo aplicável aos sistemas onde a circulação de água nos coletores solares se faz por termossifão ou por circulação forçada.

A metodologia de cálculo indica quatro etapas fundamentais para o dimensionamento correto de um sistema de aquecimento de água utilizando placas coletoras de energia solar. Essas etapas são as seguintes:

- Determinação do volume de água quente necessário para o abastecimento da edificação;
- Determinação do volume de armazenamento dos reservatórios térmicos;
- Cálculo da demanda de energia útil;
- Determinação da área de captação solar necessária para a placa coletora de energia.

2.3 Método f-Chart

O Método *f-Chart* é uma ferramenta utilizada para estimar o desempenho de médio a longo prazo de um sistema solar térmico. Também é usado para avaliar o comportamento de coletores solares.

Este método foi desenvolvido por Klein et al. nos anos 1976 e 1977 e por Beckman et al. em 1977, como resultado de seus estudos acerca da correlação de diversas simulações de sistemas solares térmicos em variáveis dimensionais facilmente calculáveis.

A configuração padrão para um sistema de aquecimento solar de água doméstico é mostrado na Figura 2.2, onde o coletor solar pode aquecer ar ou água. A energia solar é transferida através de um trocador de calor para o reservatório térmico, o qual fornece água aquecida pelo sol para o aquecedor auxiliar quando necessário. A válvula termostática deve ser usada para garantir que a água seja entregue a uma temperatura adequada ao usuário.

Segundo Obaco e Jaramillo, 2010, a precisão do método foi analisada comparando o desempenho real de um sistema solar térmico com o desempenho previsto pelo método, obtendo-se um desvio máximo equivalente a 5%, classificando-o como de alto grau de confiabilidade.

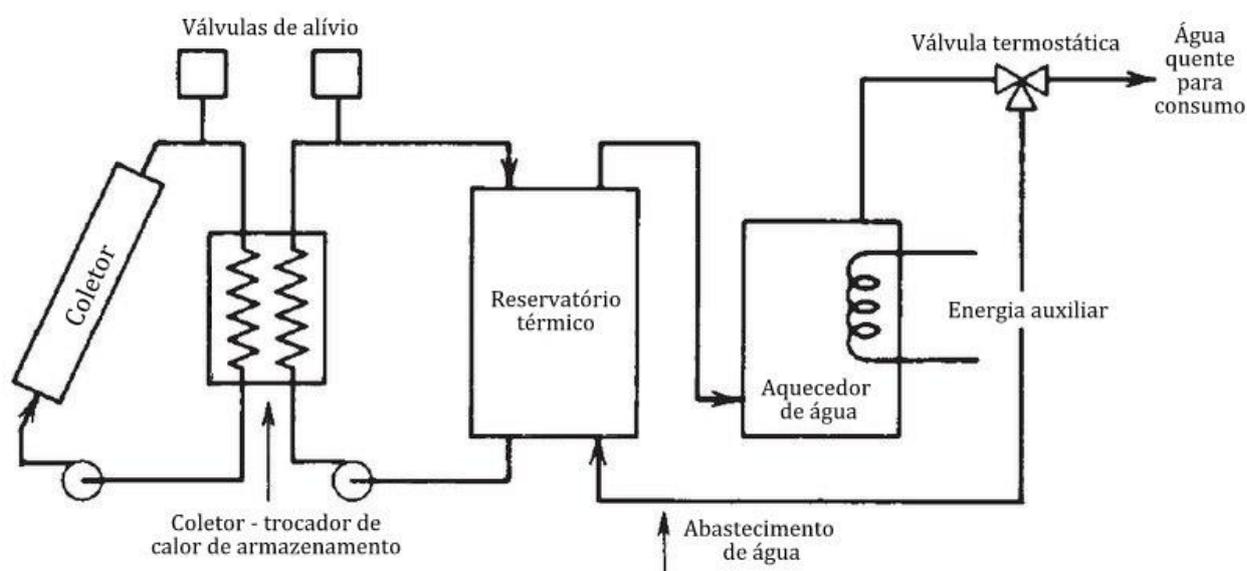


Figura 2.2 – Configuração padrão para sistemas de aquecimento solar de água.

Fonte: adaptado de Duffie e Beckman, 2013.

Este método tem como principal objetivo a obtenção da *curva f*, a qual representa a fração de carga calorífica mensal transformada a partir da energia solar, e está definida em função dos seguintes parâmetros: a energia absorvida e a energia perdida por reflexão no coletor solar. O Método *f-Chart* pode ser aplicado através do seguinte algoritmo:

- Estimativa da carga térmica;
- Determinação da energia absorvida e perdida no coletor;
- Cálculo do ganho total;
- Cálculo das perdas totais;
- Gráfico do fator *f*;
- Determinação da cobertura solar mensal;
- Determinação da cobertura solar anual;
- Tabelas de desempenho.

Para sistemas com a configuração mostrada na Figura 2.2, a fração *f* da carga calorífica mensal fornecida pelo sistema de aquecimento solar é dado como uma função de *X* e *Y* na Figura 2.3, a qual mostra uma aproximação da forma habitual de se expressar uma curva *f*. A relação entre *X*, *Y* e *f* é dada pela Equação 2.1.

$$f = 0,129Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (2.1)$$

na qual *f* é a fração de carga calorífica mensal transformada a partir da energia solar, *X* é a fração da energia perdida pelo coletor e *Y* a energia absorvida pelo coletor, ambas em relação à carga calorífica mensal.

Devido à natureza do ajuste de curva da Equação 2.1, o gráfico não deve ser usado fora das curvas mostradas na Figura 2.3. No entanto, se o ponto calculado cair no intervalo entre as curvas, o gráfico pode ser usado para extrapolação obtendo-se resultados satisfatórios.

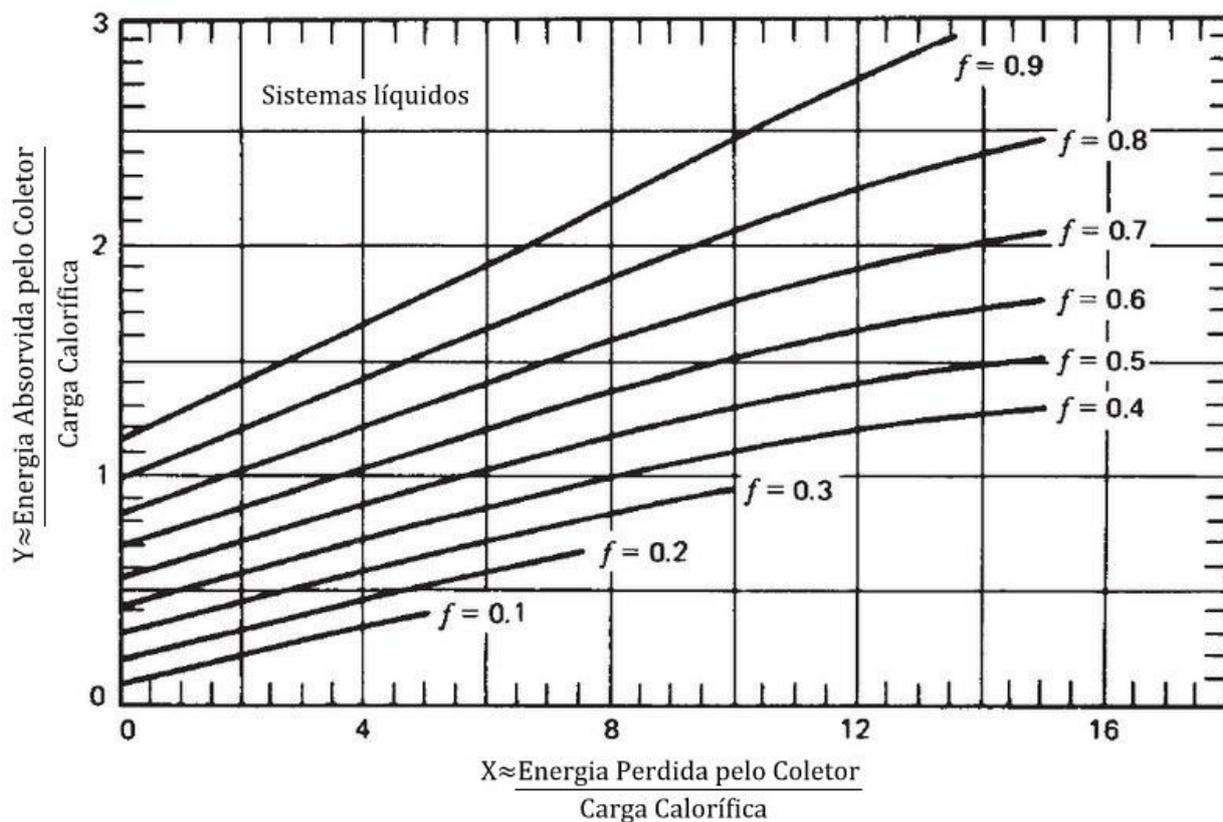


Figura 2.3 – Fator f para Sistemas Líquidos. Fonte: adaptado de Duffie e Beckman, 2013.

O Método f -Chart é aplicável a diversos sistemas de aquecimento de edifícios onde a temperatura mínima da energia a ser entregue é de aproximadamente 20°C, e está esboçado detalhadamente em [Duffie e Beckman, 2013].

2.4 Avaliação Econômica de Investimento

A fim de tornar a instalação deste sistema de aquecimento solar atrativa, é de fundamental importância estimar o ganho esperado e o tempo de retorno do investimento inicialmente feito. Para obter a maior assertividade possível, se faz necessária a utilização de algumas ferramentas da matemática financeira, descritas a seguir.

2.4.1 Fluxo de Caixa e Valor Presente Líquido (VPL)

O Fluxo de Caixa é a representação das receitas e despesas no decorrer do tempo, que pode ser expresso em dias, meses ou anos.

O VPL é a técnica de análise de fluxos de caixa que consiste em calcular o valor presente de uma série de pagamentos (ou recebimentos) iguais ou diferentes a uma taxa mínima de atratividade. Geralmente, ele é utilizado para estimar se certa compra ou investimento vale mais a longo prazo do que investir uma quantidade equivalente de dinheiro no banco. Segundo Blasques, 2005, o VPL de um projeto de investimento possui as seguintes possibilidades:

- $VPL > 0$: o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas de caixa é maior que o valor presente das saídas;
- $VPL = 0$: o investimento é indiferente, pois o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas;
- $VPL < 0$: não é economicamente atrativo.

2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

O conceito de TIR é a taxa de desconto que faz seu VPL ser igual a zero. A TIR em um projeto significa a taxa de retorno esperada pelo investidor, portanto, a aceitação do projeto ocorrerá quando TIR for maior que a taxa mínima de atratividade (TMA).

2.4.3 Payback

É definido como o tempo necessário para que os benefícios resultantes do negócio retornem o investimento realizado. É um bom indicador de risco, visto que à medida que o *payback* se aproxima do final do horizonte de planejamento, mais arriscado é o investimento.

3. CASO DE ESTUDO

3.1 Projeto Proposto

Atualmente a UFRGS possui três casas de estudantes. As quais são: a Casa do Estudante Universitário (CEU), a Casa do Estudante da Faculdade de Agronomia e Veterinária (CEFAV) e a Casa do Estudante da UFRGS (CEUFRGS). Considerando as três casas, a UFRGS possibilita que 546 alunos, entre estudantes de graduação e pós-graduação residam em Porto Alegre sem custos com aluguel.

Ziebell, 2009, afirma que há aproximadamente 8.291 alunos da graduação provenientes do interior do estado (30,8% de 26.920). Além disso, 49,1% dos alunos da graduação têm renda familiar inferior a 10 salários mínimos. Esta diferença entre números de vagas e demanda dos alunos deixa clara a necessidade de se aumentar o número de vagas em casas de estudantes, e o Campus do Vale se mostrou o local ideal para a construção da moradia estudantil. No projeto para a construção da CECAV está prevista a instalação de um sistema de aquecimento solar de água, como mostrado na Figura 3.1, na qual a área destacada em vermelho é o local onde serão instalados os coletores solares e os reservatórios térmicos.

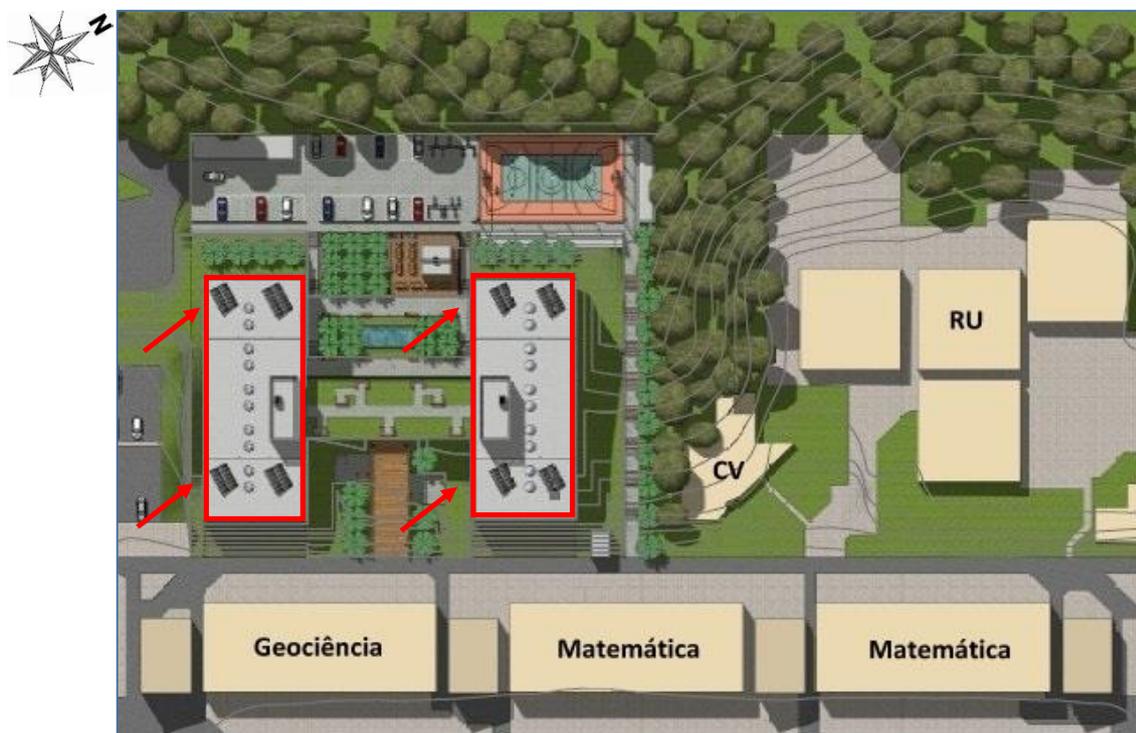


Figura 3.1 – Projeto e localização da CECAV. Fonte: adaptado de Ziebell, 2009.

O sistema proposto deve ser capaz de suprir toda a demanda de aquecimento de água para banho para a Casa do Estudante do Campus do Vale.

3.2 Dados de Projeto

No projeto da CECAV foi definida uma população máxima entre fixa e variável de 275 pessoas e o aquecimento solar será exclusivo para água dos chuveiros, havendo um total de 217 chuveiros na residência estudantil. O perfil de consumo suposto considera que todas as pessoas tomam um banho por dia das 18 às 19 horas, com duração de 5 min a uma vazão de 10 L/min, com água na temperatura de 40°C.

O sistema é do tipo passivo, com circulação natural da água através do efeito termossifão, considerando-se a possibilidade de instalação do reservatório térmico acima das placas coletoras e a economia obtida com a ausência da bomba de circulação, necessária em um sistema ativo. Devem ser respeitados os desníveis mínimos recomendados (20 cm entre a parte superior do coletor solar e a base do reservatório térmico, e 15 cm entre a parte superior do reservatório térmico e a base do reservatório de água fria).

Optou-se por utilizar no estudo um coletor solar de placa plana. O coletor solar foi escolhido a partir do catálogo do Inmetro, no qual constam todas as placas devidamente qualificadas e aprovadas no Programa Brasileiro de Etiquetagem. A Tabela 3.1 apresenta as características do coletor solar escolhido.

Tabela 3.1 – Características do Coletor Solar escolhido.

| Fabricante | Coletor | Classificação Inmetro | $FR_{\tau\alpha}$ (coef. de ganho) | FR_{UL} (coef. de perdas) | PMDEE (kWh/m ² .dia) | Área Externa (m ²) |
|------------|---------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| CUMULUS | 200 CSC Ultra | A | 0,708 | 4,635 | 2,904 | 2 |

Optou-se por instalar o reservatório térmico na posição horizontal, a qual é mais comum devido a restrições de espaço e estética da edificação, além de se evitar os eventuais problemas devido ao vento que poderiam ocorrer utilizando-se o reservatório na posição vertical. A energia auxiliar será fornecida por um aquecedor a gás de passagem acoplado em série com o sistema, conforme exemplificado na Figura 2.1.

Após obtido o perfil de consumo e escolhido o tipo de sistema a ser utilizado no estudo, realizou-se o seu dimensionamento, seguindo as etapas apresentadas nos itens 2.2 e 2.3 deste trabalho.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos dois modos de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água que serão utilizados para comparação dos resultados. O primeiro, através da norma ABNT NBR 15569:2008 e o segundo, utilizando o Método *f-Chart*.

4.1 Dimensionamento através da norma ABNT NBR 15569:2008

Esta metodologia de cálculo é recomendada para dimensionamento de SAS em residências unifamiliares atendendo aos critérios estabelecidos nesta Norma. O método de cálculo apresentado considera uma fração solar de 70% e supõe que não exista sombreamento sobre os coletores solares.

A primeira etapa consiste em apurar o volume de consumo para atendimento dos vários pontos de utilização. Considerando que os chuveiros com vazão de 10 l/min são utilizados 275 vezes por dia durante 5 min, teremos um volume de consumo diário de 13.750 l de água.

Obtendo-se o consumo total diário da residência, é possível calcular o volume de armazenamento requerido, conforme a Equação 4.1 a seguir:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{amb})}{(T_{armaz} - T_{amb})} \quad (4.1)$$

na qual $V_{consumo} = 13750 \ell$, $T_{consumo} = 40^\circ\text{C}$, $T_{armaz} = 45^\circ\text{C}$. Para a estimativa da temperatura ambiente, foi utilizada a série temporal de temperaturas registradas na estação 83967 de Porto Alegre, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), que fornece as temperaturas médias mensais desde 1961, para a qual chegou-se a $T_{amb} = 19,6^\circ\text{C}$ como temperatura média anual, valor considerado para a temperatura ambiente. O cálculo resultou em $V_{armaz} = 11044 \ell$, o que está de acordo com a norma, pois segundo ela, o volume de armazenamento deve ser maior ou igual a 75% do volume de consumo.

Em seguida, pode-se calcular a demanda de energia útil através da Equação 4.2:

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{armaz} \times \rho \times Cp \times (T_{armaz} - T_{amb})}{3600} \quad (4.2)$$

na qual $V_{armaz} = 11500 \ell$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ é a massa específica da água e $Cp = 4,176 \text{ kJ/kg}$ é o calor específico da água. Desta forma, $E_{\text{útil}} = 338,836 \text{ kWh/dia}$.

O dimensionamento dos coletores solares, realizado através das Equações 4.3 e 4.4, tem como objetivo definir a área de captação solar necessária para aquecer o volume de água quente consumido na residência. Esta área, além de influenciada pela qualidade do coletor e por sua produção média diária de energia específica (PMDEE), está relacionada à energia disponibilizada pelo sistema e ao local e forma de instalação.

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad (4.3)$$

na qual $E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}}$ e o valor da irradiação global média anual para Porto Alegre é $I_G = 4,7 \text{ kWh/m}^2\text{dia}$. O fator de correção para inclinação e orientação do coletor é dado pela Equação:

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (4.4)$$

na qual os ângulos são expressos em graus ($^\circ$), e β é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, $\beta_{\text{ótimo}}$ é a inclinação ótima do coletor para o local de instalação (sugere-se que seja adotado o valor de módulo da latitude local + 10°), e γ é o ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico. Para a residência estudada, considerou-se a possibilidade de instalação das placas com $FC_{\text{instal}} = 1$, ou seja, placas orientadas para o norte, sem desvio, e com ângulo de inclinação de 40° em relação ao plano horizontal, considerando-se como ângulo ideal 10° mais a latitude do local (30° para Porto Alegre). O valor calculado para a PMDEE foi de $2,904 \text{ kWh/m}^2\text{.dia}$, resultando em uma área coletora de $139,9 \text{ m}^2$ necessária para o aquecimento do volume de água requerido diariamente. Desta forma, serão utilizados 70 coletores de área igual a 2 m^2 , totalizando uma área coletora de 140 m^2 .

4.2 Dimensionamento através do Método *f-Chart*

Na aplicação deste método foi utilizada a planilha em Excel desenvolvida por Schneider, 2007. Os dados de entrada requeridos para o cálculo são a radiação total horizontal em médias mensais, a temperatura de alimentação da água no sistema e a temperatura do ar ambiente. Os demais dados utilizados foram os mesmos do cálculo anterior.

Obtidos os dados climáticos, as características do coletor e o consumo de água quente diário, então modifica-se o valor da área dos coletores observando-se o resultado do fator f . O ideal do ponto de vista ambiental seria a utilização de uma fração solar igual a 100%, pois assim toda a energia utilizada para aquecer o banho seria vinda de uma fonte renovável. No entanto, esta configuração ainda não é o investimento mais atraente entre as possibilidades.

Duffie e Backman, 2013, sugerem utilizar uma fração solar de 75%. Por outro lado, Aita, 2006, recomenda que o valor esteja na faixa de 50 a 70%. Este fator é variável pois em cada caso o valor ótimo é diferente e depende de diversos fatores. Como o objetivo deste trabalho é a comparação entre os dois métodos, e sabendo que a norma ABNT NBR 15569:2008 considera uma fração solar de 70%, foi sendo variada a área coletora até se obter uma fração solar média anual também de 70%. Portanto, a área dos coletores projetada com o auxílio do método *F-Chart* que atende a 70% da demanda de instalação é 162 m². A Tabela 4.1 mostra o fator *f* calculado pelo método, sendo as variáveis adimensionais X a fração da energia perdida pelo coletor e Y a energia absorvida pelo coletor, ambas em relação à carga calorífica mensal, em Joules.

Tabela 4.1 – Fator *f* para uma área coletora de 162 m².

| Mês | X | Y | <i>f</i> |
|-----------|------|------|----------|
| Janeiro | 3,56 | 1,36 | 0,79 |
| Fevereiro | 3,63 | 1,39 | 0,80 |
| Março | 3,20 | 1,26 | 0,76 |
| Abril | 3,18 | 1,18 | 0,72 |
| Mai | 2,86 | 0,95 | 0,60 |
| Junho | 2,66 | 0,80 | 0,52 |
| Julho | 2,75 | 0,93 | 0,60 |
| Agosto | 2,72 | 0,95 | 0,61 |
| Setembro | 2,94 | 1,04 | 0,65 |
| Outubro | 2,55 | 1,12 | 0,72 |
| Novembro | 2,81 | 1,22 | 0,76 |
| Dezembro | 3,08 | 1,33 | 0,80 |

$$f_{\text{médio}} = 0,70$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta as verificações realizadas nos sistemas projetados e os resultados econômicos obtidos para os mesmos.

5.1 Viabilidade Econômica

A primeira etapa da análise econômica consiste em determinar os custos da implantação, operação e manutenção do sistema de aquecimento solar.

5.1.1 Gastos com Sistema de Aquecimento Solar

O investimento inicial é o custo de aquisição dos equipamentos somado à instalação do sistema. Os resultados apresentados estão baseados em orçamento feito pela empresa Feeburg Representações Ltda. com sede em Porto Alegre. Este levantamento está apresentado nas tabelas a seguir, onde a Tabela 5.1 apresenta o valor calculado através da Norma e a Tabela 5.2 apresenta o valor calculado através do Método *f-Chart*.

O custo com manutenção e a vida útil do sistema tiveram como referência o estudo realizado por Lafay, 2005, que considerou um custo de manutenção de 10% do investimento inicial para cada 7,5 anos, e uma vida útil do sistema de 20 anos. O custo com manutenção foi dividido igualmente ao longo dos anos para evitar descontinuidades nos gráficos de *payback*.

O período do retorno do investimento no sistema de aquecimento solar proposto, se comparado aos custos com a energia elétrica consumida pelos chuveiros, foi obtido através do método do Valor Presente Líquido (VPL), considerando como taxa de juros a média das taxas pagas pela Poupança no ano de 2016, sendo avaliada em 0,6464% ao mês, resultando em uma taxa de juros de 8,04% ao ano.

Tabela 5.1 – Orçamento fornecido pela empresa Feeburg para o cálculo através da Norma.

| | Quantidade | Preço | Total |
|-------------------------|------------|--------------------|-----------------------|
| Reservatório 5000 ℓ | 2 | R\$ 23.162,00 | R\$ 46.324,00 |
| Reservatório 1500 ℓ | 1 | R\$ 5.825,00 | R\$ 5.825,00 |
| Coletor 200 CSC Ultra | 70 | R\$ 394,00 | R\$ 27.580,00 |
| Instalação | 1 | R\$ 23.000,00 | R\$ 23.000,00 |
| Aquecedor a Gás 18 ℓ | 3 | R\$ 1.150,00 | R\$ 3.450,00 |
| Instalação do Aquecedor | 3 | R\$ 700,00 | R\$ 2.100,00 |
| | | Custo Total | R\$ 108.279,00 |

Tabela 5.2 – Orçamento fornecido pela empresa Feeburg para o cálculo com Método *f-Chart*.

| | Quantidade | Preço | Total |
|-------------------------|------------|--------------------|-----------------------|
| Reservatório 5000 ℓ | 2 | R\$ 23.162,00 | R\$ 46.324,00 |
| Reservatório 1500 ℓ | 1 | R\$ 5.825,00 | R\$ 5.825,00 |
| Coletor 200 CSC Ultra | 81 | R\$ 394,00 | R\$ 31.914,00 |
| Instalação | 1 | R\$ 23.000,00 | R\$ 23.000,00 |
| Aquecedor a Gás 18 ℓ | 3 | R\$ 1.150,00 | R\$ 3.450,00 |
| Instalação do Aquecedor | 3 | R\$ 700,00 | R\$ 2.100,00 |
| | | Custo Total | R\$ 112.613,00 |

5.1.2 Custos com Chuveiro Elétrico

Será avaliado o período de retorno do investimento no sistema de aquecimento solar projetado, em comparação aos gastos com chuveiro elétrico.

Desta forma, através da Equação 5.1, foi estimada a quantidade de energia necessária para aquecer o volume de água consumido mensalmente na residência ($E_{efetiva}$), desde a temperatura da rede hidráulica, considerada igual à média mensal da temperatura de bulbo úmido (TBU), até a temperatura de conforto para o banho (TB), ambas em °C.

$$E_{efetiva} = Consumo * C_e * (TB - TBU) \quad (5.1)$$

na qual *Consumo* é o volume de água consumido mensalmente (m³) e $C_e = 4,187$ (kJ/kg°C) é o calor específico da água. A energia efetiva foi corrigida considerando a eficiência do chuveiro de 95%, resultando na energia total gasta, como mostra a Tabela 5.3.

A determinação dos custos anuais com a energia elétrica foi realizada tendo como base a tarifa homologada pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para o ano de 2016, considerando a classe serviço público na bandeira verde, acrescida da média dos impostos no primeiro semestre de 2016, resultou em um custo de R\$ 0,6433 por kWh de energia elétrica para a cidade de Porto Alegre.

Considerando um tempo de banho de 5 min a uma vazão de 10 l/min para cada um dos 275 moradores da residência estudantil, chega-se a uma estimativa de R\$ 96.325,75 para o gasto no primeiro ano de aquecimento de água para banho utilizando este sistema. A variação ao longo dos anos considera a taxa de inflação cujo centro da meta é de 4,5% ao ano.

Tabela 5.3 – Estimativa da energia mensal gasta com chuveiros elétricos.

| Mês | TB (°C) | TBU (°C) | Consumo (m ³) | Energia (kWh) |
|----------------------------|---------|----------|---------------------------|---------------|
| Janeiro | 40 | 19,2 | 412,5 | 9.914,67 |
| Fevereiro | 40 | 19,4 | 412,5 | 9.819,33 |
| Março | 40 | 17,5 | 412,5 | 10.725,00 |
| Abril | 40 | 16,3 | 412,5 | 11.297,00 |
| Mai | 40 | 13,9 | 412,5 | 12.441,00 |
| Junho | 40 | 12,1 | 412,5 | 13.299,00 |
| Julho | 40 | 12,4 | 412,5 | 13.156,00 |
| Agosto | 40 | 12,7 | 412,5 | 13.013,00 |
| Setembro | 40 | 14,2 | 412,5 | 12.298,00 |
| Outubro | 40 | 13,4 | 412,5 | 12.679,33 |
| Novembro | 40 | 15,3 | 412,5 | 11.773,67 |
| Dezembro | 40 | 17,1 | 412,5 | 10.915,67 |
| <i>E_{efetiva}</i> | | | | 141.331,66 |
| <i>E_{total}</i> | | | | 148.770,20 |

5.1.3 Custos com Energia Auxiliar

Como o sistema solar fornece 70% da energia utilizada para aquecer a água, é fundamental analisar os custos mensais com a energia auxiliar. Segundo Aita, 2006, a escolha do gás como fonte auxiliar de energia, apesar de apresentar um investimento inicial superior ao da energia elétrica, representa um menor custo operacional a longo prazo.

Um levantamento feito pela Agencia Nacional do Petróleo (ANP) em julho de 2016 forneceu o valor de R\$ 250,00 por vasilhame de 45 kg de GLP em Porto Alegre. O Centro de Tecnologia do Gás (CTGAS), estimou o poder calorífico inferior do GLP em 49,2 MJ/kg, desta forma, o custo do gás será de 0,11292 R\$/MJ. Conhecido o custo do gás, pode-se estimar o gasto anual da energia auxiliar.

Considerando que existe uma rede de gás natural instalada no Campus do Vale, se torna importante analisar os gastos utilizando este tipo de gás, visto que o mesmo apresenta diversas vantagens, como fornecimento contínuo, menor investimento em armazenamento, menor custo de manutenção, maior vida útil dos equipamentos, entre outros benefícios. Uma pesquisa feita na Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul – Sulgás em junho de 2016, forneceu o valor 3,0236 R\$/m³ de gás natural, considerando que o seu poder calorífico superior é 39,3296 MJ/m³, estima-se um valor de 0,07705 R\$/MJ.

5.2 Resultados Obtidos através da Norma ABNT NBR 15569:2008

A Figura 5.1 mostra a projeção dos gastos com aquecimento da água do chuveiro para 3 sistemas diferentes: o chuveiro elétrico, o sistema de aquecimento solar utilizando GLP como energia auxiliar e o sistema de aquecimento solar utilizando Gás Natural como energia auxiliar, durante 20 anos, que é o período de vida útil do SAS.

O investimento para o sistema de aquecimento solar dimensionado através da norma ABNT NBR 15569:2008, resultou em um custo de R\$108.279,00. Optou-se por descartar os gastos com a tubulação, isolamento e válvulas, considerando-se que estes materiais não contribuiriam de maneira significativa para a comparação dos valores com o sistema tradicional elétrico. A fração solar considerada pela norma é de 70%, então os gastos anuais com GLP estimados foram de R\$ 44.004,97 e com Gás Natural foram de R\$ 30.026,42. Desta forma, no primeiro ano de utilização, teriam sido gastos R\$ 162.451,92 com o custo do sistema aliado ao uso do GLP e R\$ 148.473,35 se fosse optado pela utilização do sistema com Gás Natural como energia auxiliar. Em um ano de uso, para as condições estudadas, o gasto utilizando chuveiros elétricos seria de R\$ 96.325,75.

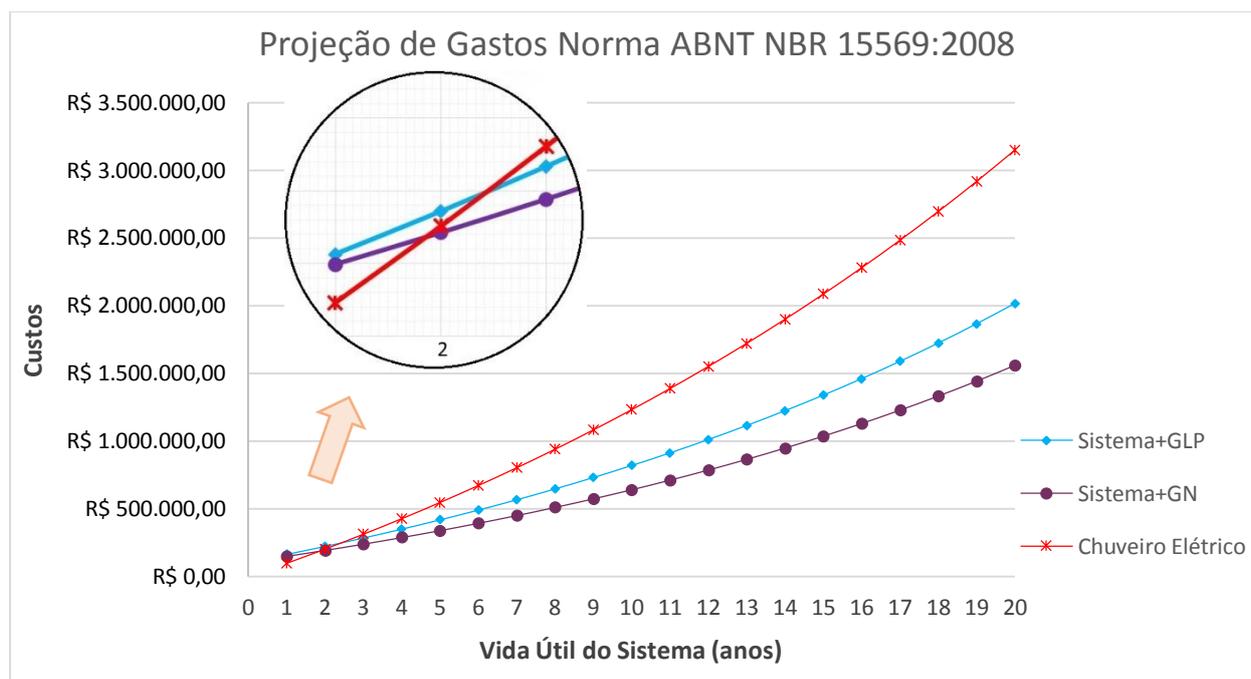


Figura 5.1 – Gráfico com *Payback* para o dimensionamento através da Norma.

Analisando a Figura 5.1, conclui-se que o investimento em um sistema de aquecimento solar é altamente atrativo, obtendo um retorno do investimento em 1 ano e 10 meses se utilizado o Gás Natural como energia auxiliar e em 2 anos e 5 meses se for utilizado o GLP.

5.3 Resultados Obtidos através do Método *f-Chart*

Da mesma forma que no caso relatado acima, a Figura 5.2 apresenta os resultados do *Payback* para 3 sistemas, obtidos através da aplicação do Método *f-Chart*.

Os dois métodos de dimensionamento forneceram resultados bastante parecidos, de forma que o investimento para o sistema de aquecimento solar dimensionado através do Método *F-Chart*, resultou em um custo de R\$112.613,00. Os gastos anuais com GLP estimados foram os mesmos do método anterior, em razão de os dois métodos estarem considerando a mesma fração solar. Desta forma, no primeiro ano de utilização, teriam sido gastos R\$ 167.134,38 com o custo do sistema aliado ao uso do GLP e R\$ 153.155,81 se fosse optado pela utilização do sistema com Gás Natural como energia auxiliar. Do mesmo modo, para as condições estudadas, o gasto utilizando chuveiros elétricos seria de R\$ 96.325,75.

Ao analisar a figura 5.2, pode-se concluir que o investimento em um sistema de aquecimento solar é altamente atrativo, obtendo um retorno do investimento em 2 anos se utilizado o Gás Natural como energia auxiliar e em 2 anos e 7 meses se for utilizado o GLP. Em comparação com a bibliografia estudada, é possível concluir que quanto maior a residência em

projeto, maiores são os benefícios em se utilizar o sistema de aquecimento solar, tendo em vista que os gastos com energia elétrica são altos e serão contínuos ao longo do tempo.

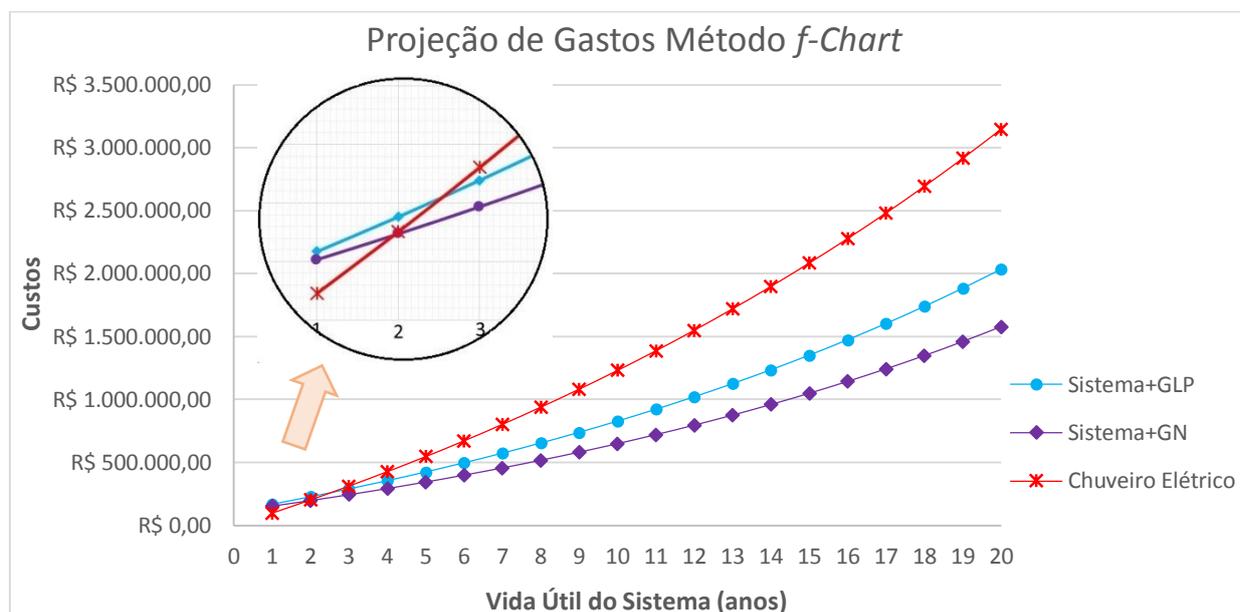


Figura 5.2 – Gráfico com *Payback* para o dimensionamento através do Método *F-Chart*.

5.4 Considerações Finais

Neste trabalho foram desconsideradas certas recomendações, como a utilização da metodologia de cálculo da Norma em residências unifamiliares, e o uso do Método *f-Chart* para estimar performance térmica anual de sistemas ativos.

Foi verificado que a Norma ABNT NBR 15569:2008 apresenta algumas limitações devido às suas simplificações, como a hipótese de que as perdas térmicas do sistema correspondem à 15% da energia útil calculada. Portanto, seu uso deve ser feito com cautela.

No caso do dimensionamento utilizando o Método *f-Chart*, a desconsideração citada deve acarretar em um melhor desempenho do sistema na prática, pois o sistema ativo indicado pelo método, desconsidera a estratificação no reservatório térmico e segundo Duffie e Backman, 2013, o grande volume do reservatório resulta em uma melhor estratificação das camadas internas do reservatório, gerando um maior gradiente de temperatura no seu interior e conseqüentemente entre a entrada e saída do coletor, que por sua vez provoca um aumento na vazão mássica do sistema, ocasionando maior transferência de calor entre o coletor e a água, aumentando assim a eficiência do sistema.

Um grande volume do reservatório também diminui as perdas térmicas, e segundo Lafay, 2005, esse fenômeno é justificado por um fator de qualidade do reservatório. Este seria calculado a partir da razão entre a quantidade de calor acumulado pelo reservatório (proporcional ao seu volume) pela quantidade de calor perdido pelo mesmo (proporcional à área). Desta forma, pode-se concluir que os reservatórios maiores são energeticamente mais favoráveis que os menores, considerando que o volume aumenta com o cubo e a área aumenta com o quadrado da dimensão. Estas considerações justificam um retorno mais rápido do investimento em comparação com os sistemas menores estudados no referencial teórico.

6. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Este trabalho apresenta o dimensionamento de um sistema de aquecimento solar para a água dos chuveiros de uma residência estudantil projetada para o Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Porto Alegre, utilizando dois métodos de dimensionamento amplamente utilizados, sendo eles a norma ABNT NBR 15569:2008 e o Método *f-Chart*. O desenvolvimento do trabalho se dá pela definição das características do projeto e pela descrição dos procedimentos de cálculo, bem como a avaliação dos gastos energéticos e dos equipamentos envolvidos.

A análise dos dados apresentados permite concluir que para o correto dimensionamento de um sistema de aquecimento solar de água é necessário conhecer as limitações e critérios de cada modelo. A partir da Norma ABNT NBR 15569:2008 foi possível entender as diferentes etapas, analisar as simplificações impostas pela utilização deste método e observar que as consequências das mesmas não foram significativas para o resultado final, visto que este método apresentou um retorno do investimento apenas dois meses antes e uma área de coletores 13,6% menor que o resultado através da *f-Chart*. Desta forma, as simplificações não iriam acarretar em baixo rendimento durante o funcionamento real do sistema.

O *f-Chart* é um método clássico e de grande valia, principalmente para a estimativa do desempenho a longo prazo do sistema. Este método permite uma avaliação mais precisa dos gastos energéticos mensais, e se os valores numéricos das variáveis envolvidas no modelo forem definidos precisamente, é possível manter o baixo nível de erro do método.

Em comparação com a bibliografia estudada, é possível concluir que quanto maior a residência em projeto, maiores são os benefícios em se utilizar o sistema de aquecimento solar, tendo em vista que os gastos com energia elétrica serão contínuos ao longo do tempo, e a utilização de reservatórios térmicos maiores aumentam a eficiência do sistema. Verificou-se que a hipótese deste trabalho, que se refere a um tempo de retorno do investimento inferior ao tempo de vida útil do sistema, é atendida em ambos os casos.

O sistema de aquecimento solar utilizando aquecedor de passagem a gás natural em série com o reservatório como energia auxiliar dimensionado através do método *f-Chart*, mostra-se uma excelente e necessária alternativa para os chuveiros elétricos, principalmente em grandes edificações, gerando uma economia aos cofres públicos de mais de R\$ 1.500.000,00 em 20 anos para esta residência estudantil. Além disso, os dois métodos se mostraram satisfatórios no dimensionamento do sistema.

Portanto, é importante haver uma conscientização da população e dos engenheiros para que este sistema, o qual já apresenta um considerável crescimento nos últimos anos, esteja ainda mais presente nas residências. Para isto acontecer, além de incentivos do governo, é fundamental haver um maior entendimento da influência das diversas variáveis do sistema por parte dos engenheiros e da mão de obra especializada para que o rendimento após a instalação esteja de acordo com o rendimento projetado.

Como sugestão para trabalhos futuros está a possibilidade de variar valores de tempo de banho, inclinação dos coletores e desvio dos mesmos em relação ao norte geográfico, avaliando como estas variáveis impactam no resultado. A Norma e o Método *f-Chart* não preveem a utilização de coletores solares com tubo de vidro evacuado, no entanto, seria interessante analisar como se daria o retorno do investimento utilizando-se este tipo de coletor, visto que eles apresentam maior eficiência que os coletores de placa plana e o custo dos mesmos vem se tornando competitivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Nacional de Energia Elétrica; **“Atlas de Energia Elétrica do Brasil”**, Brasília, 2ª edição, 2005.

Aita, F.; **“Estudo de Desempenho de um Sistema de Aquecimento de Água por Energia Solar e Gás”**, 2006, 128. Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **“NBR 15569”**, Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto – Projeto e Instalação. Rio de Janeiro, 2008.

Blasques, L. C. M.; **“Estudo da Viabilidade Técnico-Econômica de Sistemas Híbridos para Geração de Eletricidade”**, 2005, 215. Dissertação de Mestrado, PPGEE, UFPa, Belém, 2005.

Duffie, J. A.; Beckman, W. A.; **“Solar Engineering of Thermal Processes”**, John Wiley & Sons, 4th edition, 2013.

Haberl, J. S.; Cho, P. E. S.; **“Literature Review of Uncertainty of Analysis Methods (F-Chart Program)”**, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, 2004.

Incropera, F. P.; De Witt, D. P.; Bergman, T.; **“Fundamentos de Transferência de Calor e Massa”**, LTC, Rio de Janeiro, 6ª edição, 2008.

Lafay, J. M. S.; **“Análise Energética de Sistemas de Aquecimento de Água com Energia Solar e Gás”**, 2005, 173. Tese de Doutorado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

Manea, T. F.; **“Avaliação de Sistemas de Aquecimento de Água Solar-Gás”**, 2009, 23. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica), DEMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2009.

Obaco, F.; Jaramillo, J.; **“Sistemas solar-térmicos: algoritmo operativo para aplicar el método F-Chart en la evaluación de colectores solares”**, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, 2010.

Tolmasquin, M. T.; **“Fontes Renováveis de Energia no Brasil”**, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1ª edição, 2003.

Toro, J. D. N.; **“Análise Comparativa de um Sistema Passivo com um Sistema Ativo de Aquecimento de Água por meio de um Coletor Solar de Tubos de Vidro a Vácuo”**, 2015, 80. Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

Trieb, F.; Treffinger, P.; **“Large Scale Solar Thermal Electricity Generation – Projects, Economy, Market Development”**, World Renewable Energy Congress VI, 2000.

Vasconcelos, L.E.M.; Limberger, M.A.C. (Org.); **“Energia solar para aquecimento de água no Brasil”**, Eletrobras, Rio de Janeiro, 2012.

Ziebell, C. S.; **“CECAV – Casa do Estudante do Campus do Vale”**, 2009, 27. Trabalho de Conclusão da Graduação, Curso de Arquitetura e Urbanismo, UFRGS, Porto Alegre, 2009.