

LANA FERREIRA CALZA

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA SUPRIR A DEMANDA
DE ÁGUA QUENTE DOS VESTIÁRIOS DE UM FRIGORÍFICO
LOCALIZADO NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO – 2014

LANA FERREIRA CALZA

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM
SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PARA SUPRIR A DEMANDA
DE ÁGUA QUENTE DOS VESTIÁRIOS DE UM FRIGORÍFICO
LOCALIZADO NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

Co-Orientador: Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO – 2014

1 Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

C169a Calza, Lana Ferreira
Análise técnico-econômica da implantação de um sistema de aquecimento solar para suprir a demanda de água dos vestiários de um frigorífico localizado na Região Oeste do Paraná. / Lana Ferreira Calza — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.
79 p.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Co-orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Aquecimento solar. 2. Frigorífico. 3. Dimensionamento. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

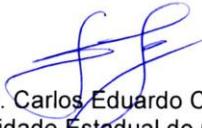
CDD 21.ed. 333.79

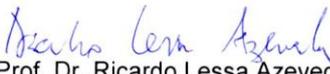
LANA FERREIRA CALZA

“Análise técnica-econômica da implantação de um sistema de aquecimento solar para suprir a demanda de água quente dos vestiários de um frigorífico localizado na região Oeste do Paraná”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Ricardo Lessa Azevedo
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Jair de Jesus Fiorentino
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/Campo Grande

Cascavel, 21 de fevereiro de 2014.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Ideno e Vera.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Nogueira, por suas sugestões, incentivos e orientações na elaboração deste trabalho.

Ao Professor Samuel Nelson Melegari pela co-orientação e ajuda.

Ao Professor Jair Antônio Cruz Siqueira, pelo apoio e incentivo.

Ao Eng. Everson Luis Andreola, que disponibilizou parte de seu tempo para a concessão de valiosas entrevistas à pesquisa.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura pelo apoio e infraestrutura.

A todos os colegas de turma pelo incentivo, especialmente aos companheiros Magno Vidotto, Darlison Bentes e Rovian Bertinatto. Inclui-se o colega de outra turma e de outro programa de mestrado, Júlio César Fréz.

Ao meu chefe e amigo Eng. Calil Abumanssur, que “segurou a barra” durante o longo período deste mestrado e nas várias ausências necessárias à finalização desta dissertação.

A Caroline Borges, pela paciência na revisão do texto.

Aos familiares e amigos, pelo apoio à minha experiência acadêmica, em particular a minha mãe, pela torcida.

E acima de tudo, agradeço a Deus, pela oportunidade da vida e pelas oportunidades na vida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formas de aproveitamento da energia solar.....	5
Figura 2: Corte de um coletor solar plano.	7
Figura 3: Extração de calor utilizando heat-pipe.	8
Figura 4: Extração de calor utilizando tubo em “U”.	9
Figura 5: Extração de calor por transferência direta (<i>water-in-glass</i>).....	9
Figura 6: Detalhes internos e externos de um reservatório térmico.	10
Figura 7: Esquema de um sistema passivo direto.....	10
Figura 8: Esquema de um sistema ativo direto.	10
Figura 9: Disposições da fonte auxiliar de energia em sistemas diretos.	10
Figura 10: Esquema de funcionamento do cenário 1.....	31
Figura 11: Esquema de funcionamento do cenário 2.....	33
Figura 12: Esquema de funcionamento do cenário 3a.....	36
Figura 13: Esquema de funcionamento do cenário 3b.....	39
Figura 14: Esquema de funcionamento do cenário 4a.....	43
Figura 15: Esquema de funcionamento do cenário 4b.....	46
Figura 16: Fluxo de caixa comparativo para os cenários 1 e 3a.....	50
Figura 17: Fluxo de caixa comparativo para os cenários 1 e 4a.....	51
Figura 18: Fluxo de caixa comparativo para os cenários 2 e 3b.....	51
Figura 19: Fluxo de caixa comparativo para os cenários 2 e 4b.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de água quente por ponto de utilização.	15
Tabela 2: Radiação solar global diária.	23
Tabela 3: Temperaturas médias mensais.	23
Tabela 4: Número de funcionários, horários de banho e demanda de água quente.	30
Tabela 5: Demanda mensal de energia para aquecimento de água (Volume de 8000 litros).	30
Tabela 6: Características do aquecedor elétrico de acumulação para o cenário 1 ...	31
Tabela 7: Custo para o sistema de aquecimento de água com aquecedor elétrico de acumulação	32
Tabela 8: Características do aquecedor instantâneo a gás GLP do cenário 2.....	33
Tabela 9: Custo para o sistema de aquecimento de água com aquecedor instantâneo a gás GLP	34
Tabela 10: Características do coletor solar plano para o cenário 3.....	34
Tabela 11: Cálculo da fração solar anual para um boiler com capacidade de 4000 litros, a partir de diferentes capacidades de armazenamento específicas	35
Tabela 12: Características do reservatório térmico-boiler para o cenário 3a	36
Tabela 13: Custo para o sistema de aquecimento de água com coletores solares planos e energia elétrica como fonte auxiliar de energia, para fração solar F variando de 50 a 95%	38
Tabela 14: Características do reservatório térmico para o cenário 3b	40
Tabela 15: Características do aquecedor instantâneo a gás GLP para o cenário 3b.	40
Tabela 16: Custo para o sistema de aquecimento de água com coletores solares planos e gás GLP como fonte auxiliar de energia, para fração solar F variando de 50 a 95%	41
Tabela 17: Características do coletor solar a vácuo tipo “U” para o cenário 4	42
Tabela 18: Cálculo da fração solar anual para um boiler com capacidade de 4000 litros, a partir de diferentes capacidades de armazenamento específicas	43
Tabela 19: Características do reservatório térmico-boiler para o cenário 4a	44

Tabela 20: Custo para o sistema de aquecimento de água com coletores solares a vácuo tipo “U” e energia elétrica como fonte auxiliar de energia, para fração solar F variando de 50 a 95%	45
Tabela 21: Características do reservatório térmico para o cenário 4b	47
Tabela 22: Características do aquecedor instantâneo a gás GLP para o cenário 3b.	47
Tabela 23: Custo para o sistema de aquecimento de água com coletores solares a vácuo tipo “U” e gás GLP como fonte auxiliar de energia, para fração solar F variando de 50 a 95%	48
Tabela 24: Quadro resumo dos cenários estudados para as configurações de menor custo.....	49
Tabela 25: Quadro resumo da análise de viabilidade econômica para os cenários estudados em comparação com o cenário padrão.....	53

CALZA, Lana Ferreira, MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro, 2014; **Análise técnico-econômica da implantação de um sistema de aquecimento solar para suprir a demanda de água quente dos vestiários de um frigorífico localizado na região Oeste do Paraná.** Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

RESUMO

Neste trabalho foi proposto um sistema de aquecimento híbrido de água utilizando como fonte primária a energia solar e uma fonte auxiliar, energia elétrica ou gás GLP, para complementação automática do aquecimento. Esta dissertação teve como principal objetivo dimensionar e analisar a viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar de água para atender a demanda de água quente dos vestiários em um frigorífico de aves na região Oeste do Paraná. Para isto foram estudados diferentes cenários, variando tanto o tipo de coletor solar (plano fechado ou a vácuo tipo 'U') como a fonte de energia auxiliar, e comparados aos sistemas de aquecimento de água convencionais. Foram utilizados o método *F-Chart* e uma rotina de cálculo desenvolvida nesta dissertação para o dimensionamento dos sistemas. Para este projeto, o estudo mostrou a viabilidade econômica de todos os sistemas de aquecimento solar de água acoplados a uma fonte auxiliar de energia. A configuração mais interessante economicamente apresentou-se para utilização de coletores solares planos e energia elétrica como fonte auxiliar de energia. A comparação com a fonte convencional apresentou VPL de R\$ 92.916,84, TIR de 59,9% e tempo de retorno de aproximadamente de 1 ano e 11 meses.

Palavras-chave: aquecimento solar, frigorífico, dimensionamento.

CALZA, Lana Ferreira. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, in February, 2014; **Technical-economic analysis for deployment of a solar heating to supply the demand of hot water from a poultry slaughterhouse located in the western region of Paraná.** Adviser: Carlos Eduardo Camargo Nogueira, Ph.D.

ABSTRACT

This work proposes a system of hybrid heating water using primary source solar energy and an auxiliary source, electricity or GLP for auto-completion of heating. This paper had as main objective to measure and analyze the economic viability of a solar heating system water to meet hot water demand in the poultry slaughterhouse in western Paraná. For this different scenarios were studied, varying both the type of solar collector (closed plane or vacuum 'U' shaped) and the auxiliary power source, and then compared to conventional water heating systems. The F-Chart method and a calculation routine developed in this dissertation were used to size the systems. For this project, the study showed the economic viability of all scenarios of solar water heaters in conjunction with an auxiliary power source. The most economically worthy configuration was the use of flat solar collectors and electric power as an auxiliary power source. The comparison with the use of a conventional source showed R \$ 92,916.84 NPV, IRR 59.9% and turnaround time of about 1 year and 11 months.

Keywords: solar heating, slaughterhouse, sizing.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
RESUMO	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	3
2.1.1 Aquecedores de passagem.....	3
2.1.2 Aquecedores de acumulação.....	3
2.2 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA (SAS)	4
2.2.1 Coletores solares	5
2.2.2 Reservatório térmico.....	9
2.2.3 Tubulações isoladas termicamente.....	11
2.2.4 Princípio de funcionamento – Circulação natural e forçada.....	11
2.2.5 Sistema auxiliar de aquecimento	13
2.3 PARÂMETROS DE PROJETO	15
2.3.1 Demanda de água quente	15
2.3.2 Dimensionamento dos equipamentos.....	16
2.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA	16
2.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)	17
2.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	17
2.4.3 <i>Pay Back</i> descontado	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AGROINDÚSTRIA	19
3.1.1 Estimativa da demanda de água quente.....	20
3.1.2 Estimativa da demanda de energia útil.....	20
3.1.3 Cenários de estudo – Seleção de alternativas.....	20
3.1.4 Análise da viabilidade econômica	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
Premissas adotadas	29
Estimativa da demanda de água quente	30
Estimativa da demanda de energia útil	30
Caracterização dos cenários e seus componentes	31

Resultados obtidos pelo Método “ <i>F-Chart</i> ”-Cenário 3.....	35
Custos para o Cenário 3a.....	36
Custos para o Cenário 3b	40
Resultados obtidos pelo Método “ <i>F-Chart</i> ”-Cenário 4.....	42
Custos para o Cenário 4a.....	44
Custos para o Cenário 4b	47
Resumo dos resultados de dimensionamento	47
5. CONCLUSÕES.....	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
APENDICE.....	60

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional, ano base 2011, aproximadamente 81,7% da geração de energia elétrica do país provém da energia hidráulica. Em decorrência de sua baixa diversidade, a matriz energética brasileira tem aumentado anualmente a proporção de energia renovável, ampliando 2,5 percentuais em 2011. A utilização das fontes de energia vem sendo reavaliada frente ao aumento da demanda energética (13% no setor industrial) em conjunto com a possibilidade de esgotamento dos grandes potenciais economicamente aproveitáveis, os elevados custos e os longos períodos de tempo para sua efetiva implantação (MME, 2011).

No consumo final de eletricidade, o setor residencial é responsável por aproximadamente 24% de toda energia consumida no país. O consumo de energia elétrica para aquecimento da água de banho representa aproximadamente 26% do consumo total em uma residência (PROCEL, 2008).

O Brasil é atualmente um dos poucos países onde ainda se utiliza predominantemente a energia elétrica para o aquecimento da água de banho. Incentivos vindos de órgãos financiadores e as leis implantadas pelas prefeituras têm contribuído para a difusão e popularização desta tecnologia com o objetivo de reduzir a utilização dos chuveiros elétricos.

A energia solar insere-se neste cenário como uma das alternativas mais promissoras, tendo sido pesquisada com maior interesse ao longo dos últimos 40 anos. Por ser uma fonte de energia renovável, a energia solar é frequentemente citada em discussões sobre alternativas energéticas. O aquecimento de água através da utilização de coletores solares tem representado, juntamente com as células fotovoltaicas, uma das aplicações mais viáveis de utilização, tanto residencial quanto industrial.

De acordo com o relatório *Solar Heat Worldwide* publicado em 2011, a taxa mundial da área de coletores solares instalados anualmente quase triplicou, com um crescimento anual entre 2000 e 2009 de 20,8% (WEISS, 2011). A relação entre a eficiência e a temperatura, aponta para a utilização de coletores solares planos fechados e com tubos a vácuo para o aquecimento de água nos processos industriais.

O Brasil possui grande potencial para a utilização abrangente da energia solar. A irradiação solar global média para as diferentes regiões do país apresenta

valores maiores que muitos países europeus, onde a utilização da energia solar já é bastante difundida (MEDEIROS, 2012).

Este contexto deveria contribuir para a intensificação do uso de aquecedores solares de água, contudo a inserção desta tecnologia em substituição à eletricidade depende de sua viabilidade econômica. Os custos iniciais para implantação do sistema são relativamente altos quando comparados aos sistemas convencionais. Além disto, somam-se os custos do consumo de energia auxiliar para complementar o sistema de aquecimento solar da água (NEVES, 2012).

Por outro lado, diversos autores afirmam que o aquecimento solar proporciona economias diretas no bolso do consumidor. Sistemas de aquecimento solares bem projetados e instalados podem gerar economias de até 80% da energia necessária para aquecer a água (SOUZA, 2009; VIEIRA, 2001).

O aquecimento solar da água já está bem desenvolvido e testado para utilização em residências. Porém é ainda de pouca aplicação na agroindústria, embora já existam experiências de sucesso em outros países onde existem agroindústrias equipadas com sistemas de aquecimento solar de água (BENTANCOURT, 2004).

Esta pesquisa teve como propósito, primeiramente, dimensionar um sistema híbrido de aquecimento solar para atender a demanda de água quente dos vestiários em um frigorífico de aves na região Oeste do Paraná. Para isso foram estudados diferentes cenários, variando tanto o tipo de coletor solar (plano fechado ou a vácuo tipo 'U') como a fonte de energia auxiliar (elétrica ou gás GLP), e comparados aos sistemas de aquecimento da água convencionais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Os aquecedores de água são equipamentos destinados a fornecer água quente suficiente para os pontos de consumo, na temperatura e vazão desejada conforme especificada em projeto (CHAGURI JUNIOR, 2009).

O aquecimento de água para banho pode ser feito utilizando-se o aquecimento elétrico (feito por meio de resistências metálicas de imersão), através de aquecedores elétricos de passagem (instantâneos) e acumulação, o aquecimento a gás (acumulação e passagem) e o aquecimento solar de água (SAS).

2.1.1 Aquecedores de passagem

Os aquecedores de passagem são aparelhos que produzem água quente instantaneamente, ou seja, no momento em que são solicitados aquecem a água fria até uma temperatura programada para consumo imediato.

O chuveiro elétrico é o principal exemplo de um aquecedor de passagem. Este tipo de aquecedor é instalado na própria peça de utilização e o aquecimento da água ocorre a partir do momento em que se abre o registro e a própria água aciona a resistência elétrica. Uma vez ligado a uma dada regulagem, o chuveiro elétrico tem o consumo de energia elétrica independente da vazão, sendo que o calor não absorvido pela água é dissipado para o ambiente (BAPTISTA, 2006).

Este equipamento, quando comparado com os sistemas de acumulação, apresenta como vantagem o fato de não precisar de um reservatório térmico e ter um menor consumo de energia. Apesar da economia gerada possui limitações físicas em função da restrição do uso de vários pontos de utilização simultaneamente e devido a esta característica os equipamentos são dimensionados para o pico de consumo, no instante em que ocorre a maior vazão.

2.1.2 Aquecedores de acumulação

Este tipo de aquecedor permite manter um volume de água quente armazenado e disponível para atender a demanda em qualquer horário. Para tanto os aquecedores de acumulação são aparelhos sempre compostos de duas partes:

reservatório térmico e fonte de aquecimento. O tamanho do reservatório e a vazão de água quente fornecida são fatores importantes no dimensionamento (FOSSA et. al, 2008).

O reservatório térmico normalmente mantém a água quente armazenada em uma temperatura constante e são equipamentos isolados termicamente com o intuito de reduzir as perdas térmicas para o ambiente.

Para a manutenção da temperatura em seu interior possui controladores de temperatura e a água permanece em constante aquecimento. A vantagem deste tipo de aquecedor em relação ao aquecedor de passagem é a possibilidade de atender vários pontos simultâneos.

O boiler elétrico é um aquecedor de acumulação onde a resistência elétrica é controlada por um termostato que a aciona quando a temperatura da água está abaixo do programado e a desliga quando a água atinge a temperatura adequada. Este tipo de aquecedor apresenta perdas no acumulador (cerca de 20 a 30%) e sua eficiência está diretamente ligada à qualidade do isolamento térmico do reservatório (ABRAVA, 2008).

O aquecedor de acumulação a gás possui o mesmo princípio de funcionamento do boiler elétrico. Neste caso a fonte energética é o gás (natural ou GLP) e o aquecedor opera por meio de queimadores que são acesos por uma chama piloto quando o termostato detecta que a temperatura da água está abaixo do programado e libera a passagem de gás (BAPTISTA, 2006).

2.2 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA (SAS)

A energia solar pode ser utilizada como fonte de energia térmica, para o aquecimento de fluidos e ambientes, ou para a geração de potência mecânica e elétrica. As formas de aproveitamento da radiação solar dividem-se basicamente em energia solar ativa e passiva. A Figura 1 apresenta de forma esquemática as suas principais formas de aproveitamento (PERREIRA et al., 2003).

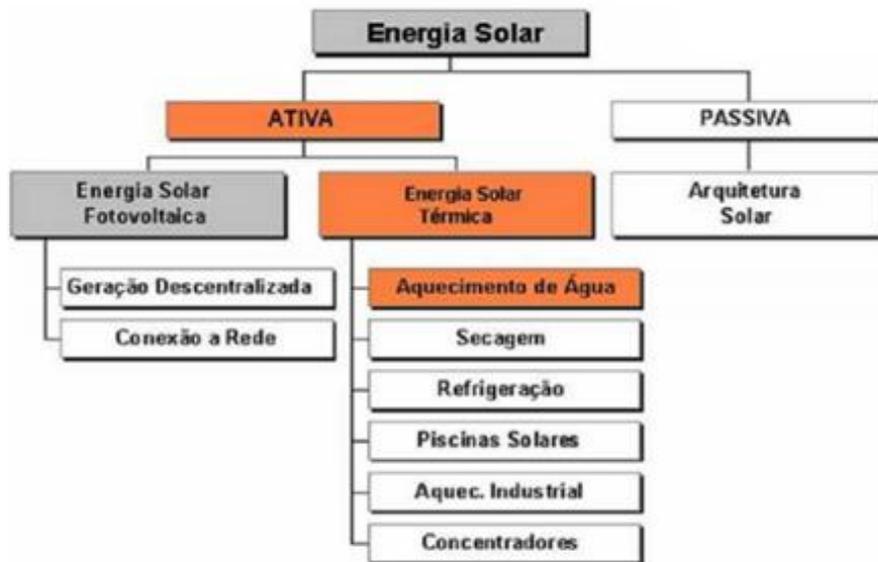


Figura 1: Formas de aproveitamento da energia solar.
Fonte: PEREIRA et al., 2003.

O aproveitamento térmico da energia solar de forma ativa é feito com uso de coletores ou concentradores solares, de acordo com a finalidade. Os métodos para geração de potência são essencialmente os mesmos das tecnologias convencionais, porém o combustível usado é a energia térmica (BAPTISTA, 2006; COSTA, 2007).

Um sistema de aquecimento solar de água é composto basicamente por coletores solares, reservatórios térmicos e componentes que englobam uma fonte de energia auxiliar e rede de distribuição de água quente (SOUZA, 2009).

A seguir, apresenta-se uma breve descrição dos principais elementos de um sistema de aquecimento solar de água.

3.2.1 Coletores solares

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define como coletor solar todo dispositivo que absorve a radiação solar incidente e a transfere para um fluido de trabalho sob a forma de energia térmica (ABNT, 2008).

Existem dois tipos de coletores solares, os coletores de concentração e os coletores planos (LAFAY, 2005). Atualmente, os coletores mais empregados são: o coletor plano, mundialmente mais utilizado, e o coletor de tubos a vácuo, com mercado em crescimento devido ao excelente desempenho em regiões de clima frio (ROSA, 2012).

O tipo de coletor solar está relacionado ao tipo de aplicação e a temperatura de operação desejada em cada instalação. Para esta dissertação, foram considerados apenas os coletores solares planos fechados e os coletores solares de tubo a vácuo tipo 'U'.

A escolha dos coletores solares deve se restringir aos produtos ensaiados e aprovados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE do INMETRO (www.inmetro.gov.br). A tabela do INMETRO apresenta divisões de classificação de “A” a “E” de acordo com a eficiência e a aplicação dos coletores solares. Esta tabela é atualizada mensalmente e fornece o fator de remoção de calor (F_R) relacionadas às características técnicas de fabricação do coletor (SOUZA, 2008).

A produção de energia dos coletores durante uma hora equivale ao produto de sua eficiência térmica pela energia incidente no plano do coletor neste período (COELHO, 2001).

3.2.1.1 Coletor solar plano fechado

O coletor solar plano fechado é utilizado para aquecer a água até a temperatura de 60°C e possui grande aplicação em residências, edifícios, hotéis, indústrias e hospitais. Suas principais vantagens são a simplicidade de construção, o custo relativamente baixo, a facilidade de reparo e a durabilidade (BAPTISTA, 2006; ABRAVA, 2008).

Este modelo de coletor é construído com uma caixa metálica e é constituído por uma placa absorvedora, tubulações por onde escoar o fluido a ser aquecido, isolamento térmico e cobertura. A placa absorvedora tem a função de converter a energia radiante em calor, transferi-la para as tubulações e, em seguida, para o fluido. As placas e as tubulações (serpentinadas) costumam ser construídas com material de alta condutividade térmica como cobre, alumínio ou aço (ARANTES, 2008).

Na parte superior há uma cobertura de vidro transparente fechando a caixa e formando um colchão de ar sobre a região onde circulam os tubos que permite a entrada de radiação solar e reduz as perdas radiativas e convectivas de calor para a atmosfera (GUARIENTE, 2005).

A Figura 2 apresenta o corte de um coletor solar plano e seus componentes.

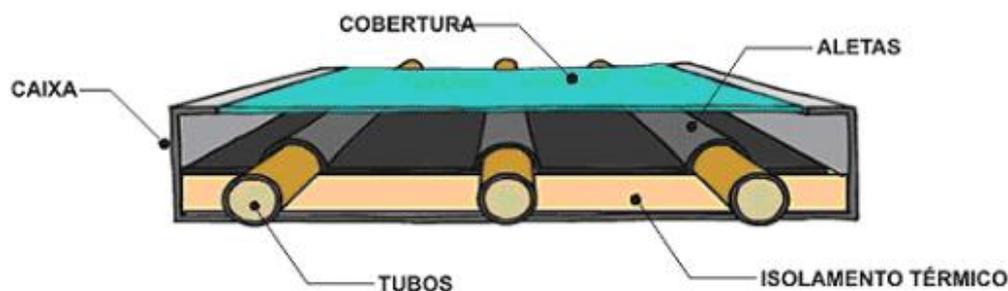


Figura 2: Corte de um coletor solar plano.
Fonte: SOLETROL, 2008.

3.2.1.2 Coletor solar de tubo a vácuo

Os coletores solares de tubos a vácuo são coletores de alto rendimento que minimizam a troca de calor por convecção e condução colocando a superfície absorvedora em um ambiente quase totalmente evacuado de matéria. Estes coletores podem operar com uma de quatro configurações: transferência direta, chapa com tubo em U, tubo metálico concêntrico e tubo de calor (SHUKLA et al. 2013).

Trata-se de uma tecnologia relativamente nova e de melhor eficiência que a do coletor plano. Esses coletores permitem atingir temperaturas de trabalho acima de 80°C e, por isso, podem ser utilizados em aplicações que requerem um fornecimento de energia mais elevado. O tubo a vácuo mais comum é composto por dois tubos concêntricos de vidro com parede dupla. A parede interna é revestida por nitrato de alumínio, que possui excelente capacidade de absorção de calor. Entre o tubo interno e o externo está o isolamento a vácuo, que é o principal responsável por atenuar as perdas térmicas (MANEA et al. 2011).

Para o modelo de coletor tipo tubo de calor, um tubo de cobre denominado *heat-pipe* é inserido dentro do tubo a vácuo. O *heat-pipe* contém em seu interior um fluido facilmente evaporável que sofre um ciclo de evaporação/condensação. Ao absorver calor, o líquido evapora, deslocando-se para a parte mais elevada do coletor onde transfere calor para a água que circula no cabeçote. Mais frio o fluido condensa e regressa por gravidade a parte inferior do tubo de calor, reiniciando o ciclo. Devido à baixa capacidade térmica, este tipo de coletor oferece uma resposta rápida à incidência solar. Entretanto, seu custo mais elevado faz com que não seja

muito utilizado (MANEA, 2012). A Figura 3 apresenta um esquema de funcionamento deste tipo de coletor.

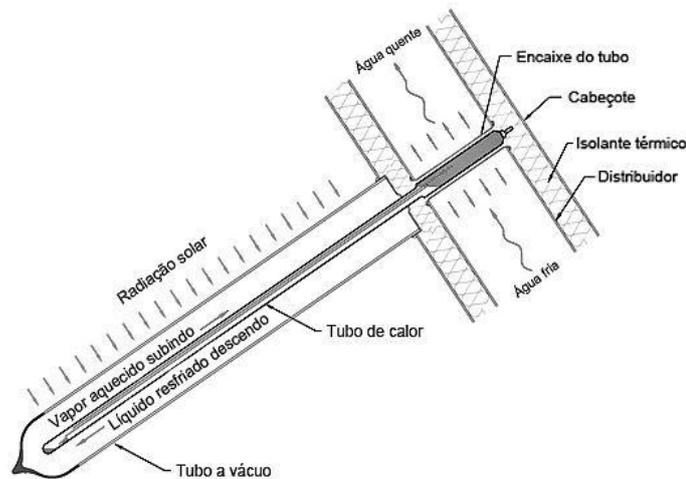


Figura 3: Extração de calor utilizando heat-pipe.
Fonte: Prosun India¹.

Na extração do tipo U (Figura 4) um tubo de metal (cobre) em forma de “U”, com uma aleta circular é montado no interior do tubo a vácuo. A água fria entra por uma das extremidades do tubo, absorve calor, e sai quente pela outra. Essas extremidades são conectadas em tubulações separadas que estão envolvidas por um isolante térmico. Atualmente, este tipo de extração é mais utilizado que o *heat-pipe* (LIANGDONG et al., 2010).

Necessariamente este tipo de coletor tem de ser utilizado em sistemas ativos (circulação forçada) e por não haver água no interior do tubo, a avaria de um tubo não afeta significativamente o funcionamento do sistema (MANEA, 2012).

¹Disponível em: <<http://www.prosunindia.com/images/hwheat1.gif>> Acesso em jun. 2013.

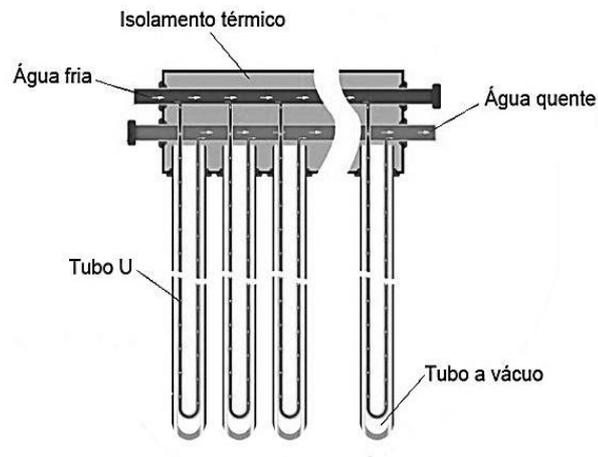


Figura 4: Extração de calor do tipo tubo em “U”.
Fonte: JanSun².

Na extração por transferência direta (Figura 5), a água tem contato com o tubo de vidro interno do coletor. Com a incidência de radiação solar o tubo aquece a água que ascende ao reservatório localizado na parte superior. Esse método de extração é o mais utilizado em função da simplicidade e do baixo custo de fabricação do coletor. Entretanto, se um dos tubos vier a ser danificado todo o sistema será comprometido (BUDIARDJO e MORRISON, 2009).

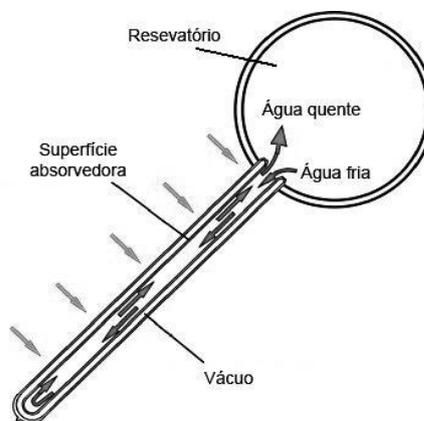


Figura 5: Extração de calor por transferência direta (*water-in-glass*).
Fonte: Adaptado de Budihardjo e Morrison, 2009.

3.2.2 Reservatório térmico

O reservatório térmico de acumulação é o equipamento que tem por função armazenar a água aquecida pelos coletores solares durante o dia. Este reservatório deve ser termicamente isolado para evitar ao máximo a perda de calor para o meio

²Disponível em: <http://img.diytrade.com/cdimg/1727744/24806602/0/1330312616/U_Pipe_Solar_Collector_Series.jpg> Acesso em jun. 2013.

externo e é indispensável devido às características de inconstância da radiação solar (MEDEIROS, 2012).

Este reservatório é classificado de acordo com a pressão de trabalho podendo ser do tipo pressurizado (fechado) ou não pressurizado (aberto) e são dimensionados para garantir a demanda diária de água quente na temperatura requerida.

O reservatório térmico fechado trabalha com pressões acima da atmosférica e é geralmente pressurizado por uma caixa de água mais elevada. O aberto trabalha sempre em pressão atmosférica, independente da forma de alimentação.

As instalações de médio porte (1500 a 5000 litros/dia) e grande porte (acima de 5000 litros/dia) necessitam de grandes volumes para o reservatório térmico. Neste caso são utilizados mais de um reservatório térmico associado em série ou em paralelo (COELHO, 2012).

Quanto à posição de instalação podem ser horizontais ou verticais. A posição do reservatório é importante para definir a maneira como a água se acomoda em seu interior. Em reservatórios verticais a estratificação ocorre com maior definição que nos horizontais, promovendo mais rapidamente o equilíbrio de temperatura entre as camadas por condução térmica (GUARIENTE, 2005).

A estratificação térmica é a distribuição natural da temperatura no interior do tanque que ocorre em virtude das diferenças de massa específica da água no seu interior (MANEA, 2012).

A Figura 6 apresenta a constituição básica de um reservatório térmico para água quente.

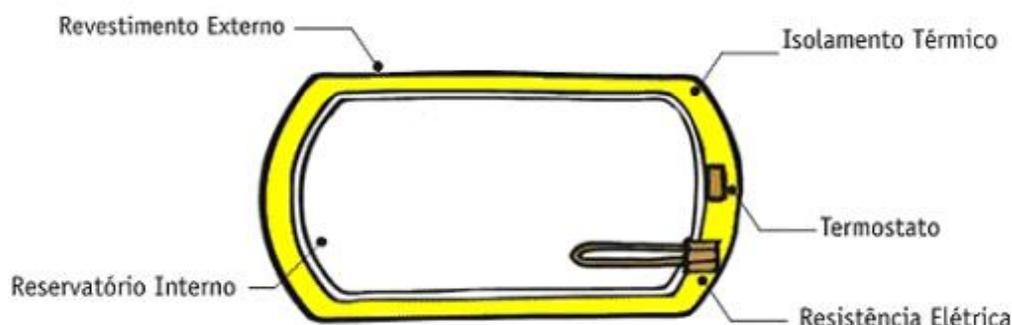


Figura 6: Detalhes internos e externos de um reservatório térmico.
Fonte: SOLETROL, 2008.

3.2.3 Tubulações isoladas termicamente

De acordo com a ABRAVA (2008), as tubulações utilizadas em sistemas de aquecimento solar podem ser de cobre, aço galvanizado ou outro material que suporte as pressões e temperaturas de operação do sistema. Devido à elevada condutibilidade térmica, as tubulações metálicas exigem o uso de isolamento térmica para minimizar as perdas de calor para o ambiente.

O CPVC (Cloro de Polivinila Clorado) e o PPR (Polipropileno Copolímero Random) são atualmente os materiais mais empregados para as tubulações dos sistemas de aquecimento de água. Possuem menor custo quando comparados ao cobre e maior facilidade de instalação devido à execução de juntas por termofusão (POZZEBON, 2009).

3.2.4 Princípio de funcionamento – Circulação natural e forçada

A circulação da água ou do fluido de trabalho entre os coletores e o reservatório pode ser realizada por circulação natural ou sistema passivo (termosifão) ou por circulação com auxílio de bombeamento ou sistema ativo (circulação forçada).

3.2.4.1 Sistema passivo - Termosifão

No sistema de aquecimento passivo, ou sistema termosifão, a água circula naturalmente entre os coletores e o reservatório. Esta circulação ocorre devido à água aquecida nos coletores tornar-se menos densa que a água no reservatório térmico, ou seja, a água fria 'empurra' a água quente provocando a circulação natural (MANEA, 2012).

Esse sistema é muito utilizado no Brasil em função da sua simplicidade e do clima tropical predominante. Obrigatoriamente o reservatório térmico deve estar localizado acima do nível dos coletores e a distância percorrida pela água quente deve ser a menor possível, uma vez que a perda de carga prejudica a circulação (POZZEBON, 2009).

Uma desvantagem deste sistema de circulação ocorre quando há uma pequena diferença de temperatura entre a água do coletor solar e do boiler, o que reduz a quantidade de energia útil que poderia ser coletada (ORMENESE, 2009).

A Figura 7 apresenta esquematicamente o funcionamento do sistema passivo para circulação da água quente.

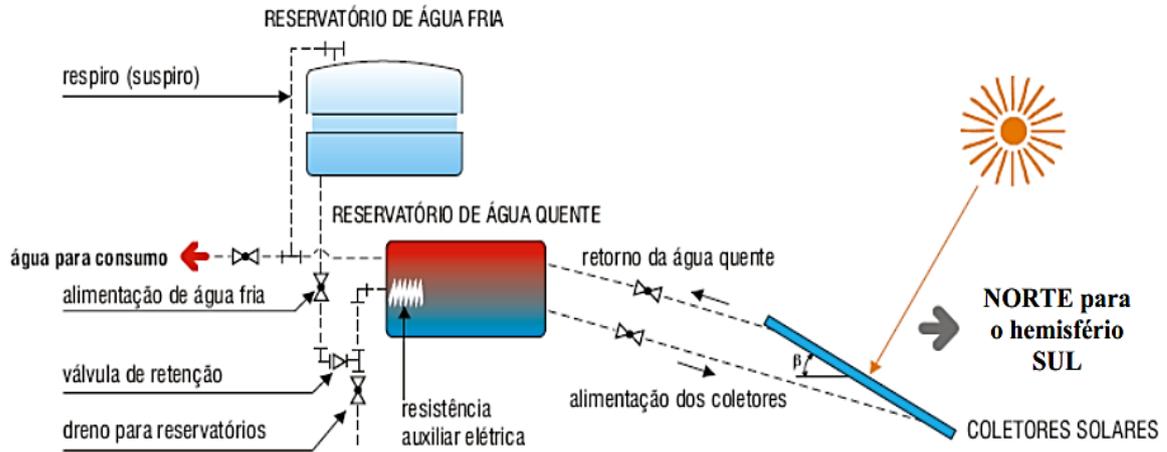


Figura 7: Esquema de um sistema passivo direto.
Fonte: Lima, 2003.

3.2.4.2 Sistema ativo – Circulação forçada

No sistema de aquecimento ativo, ou circulação forçada, há a utilização de uma bomba hidráulica para a circulação da água entre o reservatório e os coletores. Esta bomba normalmente é controlada por sensores de temperatura instalados nas tubulações de entrada e de saída dos coletores. Quando a diferença de temperatura entre esses pontos atinge um valor preestabelecido a bomba é acionada. Seu desligamento ocorre quando a diferença de temperatura torna-se muito pequena ou quando a água do reservatório atinge um valor desejável (SOUZA, 2009).

As bombas hidráulicas utilizadas em instalações solares são normalmente do tipo centrífuga com rotor em bronze, aço inoxidável, ou outro material que suporte a temperatura e as propriedades físico-químicas do fluido a ser bombeado. A escolha da bomba ideal é definida pela vazão de operação da instalação e pela perda de carga do sistema e seu controle é feito, obrigatoriamente, por um controlador diferencial de temperatura (ABRAVA, 2008).

O sistema de aquecimento ativo é recomendado para instalações de aquecimento solar com capacidade superior a 1500 litros e oferece maior eficiência em relação ao sistema passivo, podendo ser utilizado em qualquer condição de instalação, ou seja, o reservatório térmico pode ser instalado em qualquer posição

em relação aos coletores solares. Contudo, por exigir mais dispositivos para seu funcionamento o custo deste sistema tende a ser superior ao do sistema passivo (MEXA, 2011; POZZEBON, 2009).

Este sistema pode ainda ser subdividido em direto e indireto. No sistema direto o fluido armazenado no reservatório térmico é o mesmo que circula nos coletores solares. No sistema indireto, os coletores aquecem um fluido que transfere calor para a água através de um trocador de energia térmica (LIMA, 2003).

A Figura 8 apresenta esquematicamente o funcionamento do sistema ativo para a circulação da água quente.

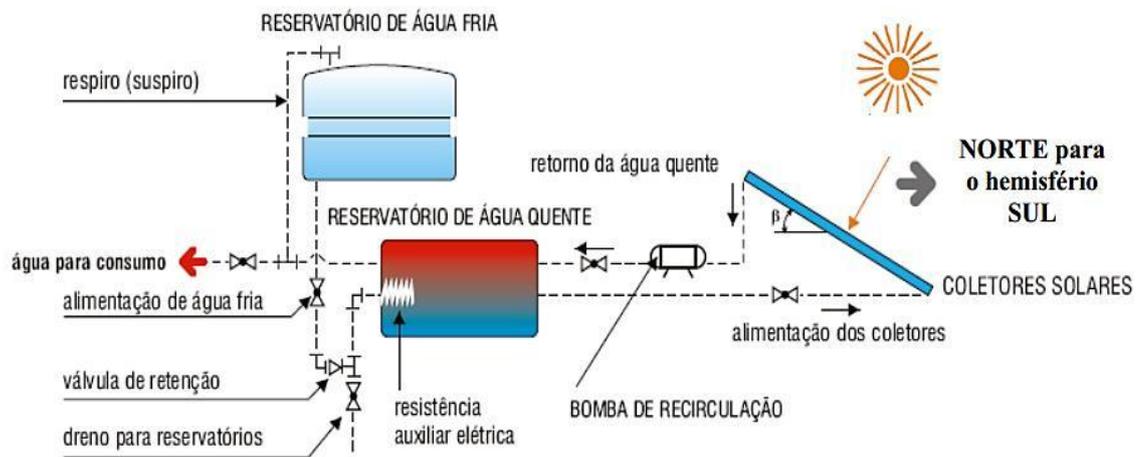


Figura 8: Esquema de um sistema ativo direto.
Fonte: Lima, 2003.

3.2.5 Sistema auxiliar de aquecimento

O sistema de aquecimento solar de água não é projetado para fornecer 100% da demanda de água quente de uma instalação. Se assim fosse, o dimensionamento deveria ser feito para a situação mais crítica, tornando a instalação superdimensionada o que a inviabilizaria do ponto de vista econômico (ABRAVA, 2008).

Para suprir este déficit de energia as instalações contam com uma fonte alternativa de calor com a função de complementar o aquecimento solar em períodos de baixa insolação ou consumo excessivo. Essa fonte auxiliar de energia pode ser elétrica, a gás ou gerada por uma bomba de calor e pode ser localizada internamente ao reservatório térmico ou externamente (LIMA, 2003).

O consumo desta energia auxiliar depende da relação entre a área de coletores solares, o volume do reservatório térmico e a demanda de água quente da instalação.

A fração solar é um importante parâmetro para o dimensionamento da energia auxiliar e representa a parcela de energia térmica fornecida ao sistema de aquecimento solar em relação à energia térmica total consumida. O método de dimensionamento “*F-Chart*” sugere que a fração solar anual seja de 75%. A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento - ABRAVA recomenda que o sistema de aquecimento solar da água seja dimensionado para fornecer entre 60 a 80% da energia térmica necessária (LAFAY, 2005).

A escolha do tipo de sistema de aquecimento auxiliar ao solar considera fatores particulares para cada instalação, em geral a escolha recai sobre a eletricidade devido a disponibilidade, facilidade de controle e baixo investimento inicial (ABRAVA, 2008).

No Brasil a configuração mais comum é a utilização de uma ou mais resistências elétricas, normalmente localizadas no interior do reservatório térmico (VIEIRA, 2001). Para a energia auxiliar localizada externamente ao reservatório térmico (aquecedor de passagem a gás ou elétrico) estudos como os de Lafay (2005) e Aita (2006) apontam que a segunda forma pode ser mais viável e eficiente.

A Figura 9 apresenta as formas mais comuns de disposição da energia auxiliar.

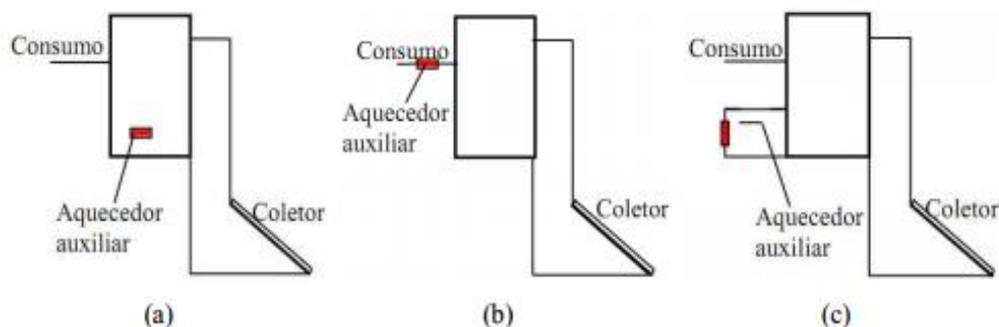


Figura 9: Disposições da fonte auxiliar de energia em sistemas diretos: (a) Interno; (b) Externo-passagem; (c) Externo-acumulação.

Fonte: Adaptado de Manea, 2012.

2.3 PARÂMETROS DE PROJETO

O dimensionamento adequado de um sistema de aquecimento solar de água exige a definição prévia de parâmetros que caracterizem o consumo de água quente na edificação, baseando-se na análise criteriosa da disponibilidade de radiação solar, fatores climáticos locais, desempenho térmico dos produtos projetados, entre outros.

3.3.1 Demanda de água quente

A demanda de água quente juntamente com os dados meteorológicos locais constituem os dados de entrada mais importantes para a simulação de sistemas solares de aquecimento de água (SALAZAR, 2004). A demanda de água quente é a primeira variável a ser determinada e depende do número de pontos de utilização, da quantidade de pessoas que utilizam esses pontos e o volume total de água quente consumido por dia.

Existem diversas metodologias em literatura nacional e internacional para o cálculo da demanda de água quente, sendo que os métodos normalmente variam de acordo com a disponibilidade de dados do projeto e do perfil de consumo da edificação. A Tabela 1 apresenta o consumo de água quente per capita para diferentes pontos de utilização de acordo com a NBR 15569 (ABNT, 2008).

Tabela 1: Consumo de água quente por ponto de utilização

Peças	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (min/pessoa)	Temperatura de consumo (°C)
Ducha de banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10	39-40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39-40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39-40
Banheira	80 L	440 L	banho	39-40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39-40
Lava louças (12 pessoas)	20 L	20 L	ciclo de lavagem	39-50
Máquina de lavar roupas	90 L	200 L	ciclo de lavagem	39-40

Fonte: NBR 15569 (ABNT, 2008).

As características de consumo que envolve a frequência e o tempo de utilização dos aparelhos não são possíveis de se determinar com precisão, porém

podem ser utilizados dados empíricos de técnicos especialistas na área e estudos pontuais (CHAGURI JR, 2009).

Por tratar-se de produção de alimento, há normas e diretrizes que a agroindústria deve seguir para garantir a segurança desde a manipulação na matéria prima até o produto acabado. Este trabalho considerou o Plano Padrão de Higiene Operacional - PPHO, que fixa os procedimentos de higienização diretamente relacionados aos funcionários da agroindústria.

O PPHO consiste em etapas e operações padronizadas de limpeza e desinfecção de instalações, equipamentos, utensílios e funcionários diretamente relacionados com produção de alimentos (SACCOL, 2007).

3.3.2 Dimensionamento dos equipamentos

Os equipamentos utilizados influem diretamente sobre os custos de implantação e os do consumo de energia associados ao abastecimento da água quente. O dimensionamento dos equipamentos deve considerar todas as características e critérios adotados pelo projetista e específicos para cada instalação predial.

A potência adotada para os equipamentos depende da vazão de uso dos pontos de consumo que serão utilizados simultaneamente, a temperatura de banho a ser considerada, a temperatura ambiente e as perdas da rede de distribuição de água quente (CHAGURI JUNIOR, 2009).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE fornece a tabela de eficiência dos equipamentos divulgada pelo INMETRO e representa uma forma rápida e segura para a seleção do equipamento que melhor atenda as necessidades de água quente e custos compatíveis.

2.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

O alto custo inicial dos sistemas de aquecimento solar quando comparados ao das tecnologias convencionais se constitui na principal barreira à disseminação desta tecnologia.

A análise econômica para a implantação de um sistema de aquecimento de água pode ser desenvolvida a partir da utilização dos conceitos de Análise de Investimentos. Esta análise consiste em fazer estimativas de todo o gasto envolvido

com o investimento inicial, operação e manutenção e receitas geradas durante um determinado período de tempo, para assim montar-se o fluxo de caixa e determinar os indicadores econômicos conseguidos com este sistema.

Conforme citado pela ABRAVA (2008) a Análise de Investimentos, basicamente, utiliza três métodos para a determinação da viabilidade ou não da tomada de decisões, a saber:

- Valor Presente Líquido (VPL)
- Taxa Interna de Retorno (TIR)
- *Pay Back* Descontado

3.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

É um método de análise de investimentos onde se compara na data de início do projeto, todas as receitas e despesas esperadas e projetadas no fluxo de caixa utilizando a taxa mínima de atratividade imposta pelo investidor.

O VPL determina qual será a alternativa mais favorável quanto à utilização ou não dos sistemas, sendo viável quando positivo. Esta análise trabalha com os valores de todo o projeto descapitalizados para o tempo atual utilizando-se da equação 1.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 = \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} - FC_0 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

FC_j - valores dos fluxos de caixa da ordem $j=1,2,3,\dots,n$

FC_0 - fluxo inicial

i - taxa de juros da operação financeira ou taxa de retorno do projeto de investimentos

3.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno é definida como a taxa de juros anual que anula o Fluxo de Caixa, ou seja, a taxa que faz com que a soma das receitas e despesas, convertidas a valor presente, seja igual a zero.

A TIR de um projeto e pode ser calculada conforme a equação 2.

$$TIR \Rightarrow VPL = 0 \quad (\text{Eq. 2})$$

A TIR deve ser comparada a taxa mínima de atratividade (TMA) para verificar a rentabilidade do investimento. O projeto será considerado viável caso a TIR seja superior à taxa mínima de atratividade desejada. (ABRAVA, 2008; CHAGURI, 2009).

3.4.3 *Pay Back* descontado

O *Payback* descontado representa o tempo de retorno do capital investido no projeto, considerando a taxa de juros. O projeto será considerado viável se o prazo de retorno do investimento ocorrer dentro do período previsto, normalmente a vida útil dos equipamentos (ABRAVA, 2008).

O *payback* descontado (n), ou tempo de retorno do capital investido, pode ser calculado conforme a equação 3:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{U}{U - P \times i}\right)}{\ln(1 + i)} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

U - retorno líquido anual do investimento, R\$;

P - valor presente, R\$;

i - taxa anual de juros, decimal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo apresenta-se a proposta metodológica para o dimensionamento e análise de viabilidade técnica e econômica para a implantação de um sistema de aquecimento de água utilizando-se como fonte principal de energia a energia solar e como fontes auxiliares a energia elétrica e o gás GLP.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AGROINDÚSTRIA

O presente estudo foi desenvolvido em uma agroindústria de processamento de abate de frangos localizada no município de Matelândia (Latitude-25,204485; Longitude-53,952529; Altitude-633 metros), Região Oeste do Paraná – Brasil. Trata-se de uma agroindústria de grande porte, altamente mecanizada e com capacidade de abate de 286 mil aves/dia.

O frigorífico fornece como produtos finais o frango resfriado e congelado inteiro e os cortes, sendo que os cortes in natura destinam-se ao mercado interno e externo. Como subprodutos tem-se a carne mecanicamente separada, empanados, farinha para ração, etc.

O setor de produção do frigorífico obedece a uma rotina de trabalho de 16 horas diárias, divididas em dois turnos de oito horas, de segunda a sexta feira, totalizando cinco dias por semana. Basicamente em todas as etapas do setor de produção do frigorífico há utilização de água quente, sendo que a geração e o consumo são individualizados para cada setor produtivo.

Avaliou-se a implantação do sistema de aquecimento para suprir a demanda de água quente dos vestiários. O levantamento da demanda foi calculado através da vazão média de cada ducha de banho e do seu período de funcionamento.

O vestiário possui 26 duchas para banho e a vazão média de cada ducha de banho será fixada em 6,0 l/min. O PPHO do frigorífico fixa o tempo de banho em 5 minutos por pessoa. O número de funcionários dos setores críticos (sangria e evisceração) é de 128 funcionários em cada um dos dois turnos de produção.

4.1.1 Estimativa da demanda de água quente

O volume necessário para suprir a demanda diária de água quente para banhos poderá ser calculado a partir da equação 4 (NBR 15569, 2008):

$$V_{cons} = \sum (Q_{pu} \times t_u) \times N_b \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

V_{cons} - volume diário de água quente consumido no vestiário, L/dia;

t_u - tempo médio de uso diário da peça de utilização, min;

Q_{pu} - vazão da peça de utilização, L/min;

N_b - número total de banhos diários.

4.1.2 Estimativa da demanda de energia útil

A energia útil, qualquer que seja a forma de aquecimento, seguirá os princípios da 1ª Lei da Termodinâmica por meio da equação 5 (ABRAVA, 2008):

$$L_i = V_{cons} \times N_d \times \rho \times c_p \times (T_{cons} - T_{amb}) \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

L_i - demanda mensal de energia para aquecimento da água, kWh ;

N_d - número médio de dias úteis em um mês (será adotado $N_d = 22$);

ρ - massa específica da água igual a 1, Kg/L;

c_p - calor específico da água igual a 0,001163, kWh/Kg.°C;

T_{cons} - temperatura de consumo da água, °C;

T_{amb} - temperatura ambiente média anual do local de instalação, °C.

4.1.3 Cenários de estudo – Seleção de alternativas

Com objetivo de analisar a viabilidade técnica e econômica dos sistemas de aquecimento da água foram desenvolvidos os seguintes cenários:

Cenário 1: sistema de aquecimento da água por meio de aquecedor de passagem a gás GLP

Cenário 2: sistema de aquecimento da água por meio de chuveiro elétrico

Cenário 3: SAS com coletores planos e sistema auxiliar de aquecimento

3a: energia elétrica como fonte auxiliar de energia

3b: gás GLP como fonte auxiliar de energia

Cenário 4: SAS com coletores tubulares a vácuo tipo 'U' e sistema auxiliar de aquecimento

4a: energia elétrica como fonte auxiliar de energia

4b: gás GLP como fonte auxiliar de energia

Para a realização das análises a temperatura mínima considerada para a água do banho foi de 40° C para todos os cenários.

Os dimensionamentos dos equipamentos de cada cenário influem diretamente sobre os custos da infraestrutura e os do consumo de energia associado ao abastecimento de água quente. Para a definição dos equipamentos considerados utilizou-se como critério as características de funcionamento de cada um aliado às características de consumo da edificação.

4.1.3.1 Cenário 1

Dimensionamento do sistema de aquecimento por meio de aquecedor elétrico

A potência do aquecedor considerou a máxima vazão solicitada pelo sistema. Esta potência foi calculada por meio da equação 6 (COELHO, 2011):

$$Pot_{aquec} = \left[\frac{\dot{m}_{m\acute{a}x} \times c_p \times (T_{cons} - T_{af})}{\eta} \right] \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

- Pot_{aquec} - potência nominal do(s) aquecedor (es), kW;
- $\dot{m}_{m\acute{a}x}$ - vazão máxima de água demandada simultaneamente, Kg/h;
- T_{af} - temperatura da água na entrada do aquecedor, °C;
- η - rendimento do aquecedor utilizado, decimal.

O consumo médio mensal de energia elétrica no aquecedor foi calculado por meio da equação 7:

$$C_{AQUEC} = t_u \times Pot_{aquec} \times N_b \times N_d \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

- C_{AQUEC} - consumo médio mensal de energia no aquecedor, kWh/mês;
- t_u - tempo de cada banho, horas.

4.1.3.2 Cenário 2

Dimensionamento do sistema de aquecimento por meio de aquecedores de passagem a gás GLP

A potência do aquecedor considerou a máxima vazão que o sistema poderá solicitar simultaneamente. A potência dos aquecedores instantâneos a gás GLP e o consumo médio gás GLP mensal foram calculados por meio das equações 6 e 7, respectivamente.

4.1.3.3 Cenário 3

Dimensionamento do SAS com coletores planos

O dimensionamento do SAS baseou-se na metodologia “*F-Chart*” conforme apresentada por Duffie e Beckman (2006). Para os sistemas de aquecimento da água foram consideradas a energia elétrica e o gás GLP como fontes auxiliares.

4.1.3.3.1 Radiação Solar Disponível

Foram utilizados os dados de radiação solar diárias fornecidos pelo CRESEB - Centro de Referência para Energia Sola e Eólica Sérgio de Salvo Brito, para a região de Matelândia – PR, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Radiação solar global diária

Mês	Radiação solar diária média (kWh/m ² .dia)
Janeiro	5,67
Fevereiro	5,83
Março	5,25
Abril	4,58
Maio	3,81
Junho	3,11
Julho	3,61
Agosto	3,92
Setembro	4,14
Outubro	5,44
Novembro	5,86
Dezembro	6,39

Fonte: CRESESB (2010).

Os valores médios da temperatura ambiente para a região de Matelândia – PR são fornecidos pelo IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) através de suas cartas climáticas, conforme apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Temperaturas médias mensais

Mês	Temperaturas médias (°C)
Janeiro	23-24
Fevereiro	23-24
Março	22-23
Abril	20-21
Maio	17-18
Junho	15-16
Julho	15-16
Agosto	17-18
Setembro	18-19
Outubro	20-21
Novembro	22-23
Dezembro	23-24

Fonte: IAPAR (2001).

4.1.3.3.2 Método “*F-Chart*”

O método *F-Chart* foi utilizado para selecionar a área coletora mediante o modelo do coletor solar utilizado. A metodologia de desenvolvimento do cálculo da fração solar anual (F) estabelece que, como regra geral, um sistema de aquecimento solar bem dimensionado apresentará frações solares entre 60 e 80% (RODRIGUES, 2010).

A fração solar anual (F) é a razão entre a soma das contribuições mensais do aquecimento solar e a demanda anual de energia para o mesmo aquecimento, conforme apresentada na equação 8 (ABRAVA, 2008).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_i L_i}{\sum_{i=1}^{12} L_i} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

F - fração solar anual

f_i - fração solar mensal para o mês “ i ”

Neste trabalho, utilizaram-se valores de F variando de 50 a 95%, tendo em vista que o dimensionamento a ser adotado deverá apresentar o menor custo. Sendo assim, considerando os preços de aquisição e instalação do sistema de aquecimento solar no Brasil, eventualmente o dimensionamento de menor custo poderá estar associado a valores de F menores que 60% ou maiores que 80%, conforme citado na literatura.

Valores menores que 50% mostraram-se inviáveis economicamente, enquanto que os valores de F maiores que 95% mostraram-se inviáveis tecnicamente, devido ao dimensionamento insuficiente das fontes auxiliares para todos os meses do ano.

O cálculo da área coletora solar foi realizado em função dos parâmetros adimensionais X e Y e da fração solar mensal (f), conforme Duffie e Beckman (2006).

O parâmetro X relaciona-se com as perdas térmicas do coletor solar para o meio, conforme equação 9:

$$X = \frac{A_c \times F_R U_L \times (T_{ref} - T_{amb}) \times \Delta t_i}{L_i} \times X_{C1} \quad (\text{Eq. 9})$$

O método “*F-Chart*” foi concebido considerando a relação de 75 litros de água quente armazenada por m² de área coletora. Duffie e Beckman (2006) apresentam a necessidade de uma correção para a capacidade de armazenamento devido à diversidade climática das cidades, conforme a equação 10:

$$X_{C1} = \left[\frac{C_{ae}}{75} \right]^{-0,25} \quad (\text{Eq. 10})$$

O parâmetro *Y* relaciona-se com o calor absorvido pelo coletor solar, conforme equação 11:

$$Y = \frac{A_c \times F_R U_L \times (\tau_c \alpha_p)_\theta \times H_T \times N_d}{L_i} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

- A_c - área total de coletores solares, m²;
- $F_R U_L$ - coeficiente de perdas do coletor solar informado pelo fabricante, kW/m².°C;
- T_{ref} - temperatura de referência, constante igual a 100° C;
- Δt - duração do mês em questão, horas;
- $F_R (\tau_c \alpha_p)_\theta$ - coeficiente de ganho do coletor solar, adimensional e informado pelo fabricante;
- H_T - radiação solar diária em média mensal incidente no plano do - coletor por unidade de área, kWh/m²;
- C_{ae} - capacidade de armazenamento específica desejada, L/m²;
- X - razão entre a energia mensal perdida pelo coletor e a carga de aquecimento mensal requerida, adimensional;
- X_{C1} - fator de correção para a capacidade de armazenamento, adimensional;
- Y - razão entre a energia absorvida pela superfície coletora e a carga de aquecimento mensal requerida.

A correlação da fração solar *f* é dada pela equação 12:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (\text{Eq. 12})$$

4.1.3.3.3 Rotina de Cálculo

A rotina de cálculo desenvolvida para os cenários 3 e 4 consiste das seguintes etapas:

- 1°: Calcularam-se as cargas mensais e anuais de consumo (Eq. 5);
- 2°: Foi determinado o volume a ser armazenado no boiler;
- 3°: Foram informados os valores de temperaturas médias (T_{amb}), radiações médias (H_T) e parâmetros do coletor ($F_R(\tau_c \alpha_p)_\theta$ e $F_R U_L$);
- 4°: Simulou-se e fixou-se o valor da capacidade de armazenamento específica desejada (C_{ae});
- 5°: Calculou-se o valor da incógnita Ac a partir dos parâmetros mensais X , Y e f (Eq. 8, 9, 10, 11 e 12);
- 6°: Adotou-se a configuração que apresentou o menor custo.

Sistema auxiliar de aquecimento

O sistema auxiliar de aquecimento adotado é composto por resistências elétricas ou aquecedor (es) instantâneos a gás GLP como fonte de energia, controlados por termostatos.

4.1.3.3.4 Cenário 3a

Para o SAS apresentado, analisou-se a melhor configuração para a utilização da energia elétrica como fonte auxiliar de energia. Devido ao seu menor custo e facilidade de instalação e obtenção, optou-se pela utilização de resistência elétrica interna ao reservatório térmico.

A situação mais crítica (mês mais frio) foi estabelecida como parâmetro para o dimensionamento da potência necessária para garantir a temperatura de consumo da água quente.

4.1.3.3.5 Cenário 3b

Para o SAS apresentado, foi estudado o gás GLP como fonte auxiliar de energia por meio da utilização de aquecedores a gás instantâneo. Analisou-se a melhor configuração para a instalação dos aquecedores estabelecendo a associação dos mesmos em paralelo.

A situação mais crítica (mês mais frio) foi estabelecida como parâmetro para o dimensionamento da potência necessária para garantir a temperatura de consumo da água quente.

4.1.3.4 Cenário 4

Dimensionamento do SAS com coletores tubulares a vácuo tipo ‘U’

A área de coletores tubulares a vácuo tipo “U” foi calculada conforme a rotina de cálculo apresentada no item 3.1.3.3.3. Os dados fornecidos pelo fabricante para este modelo de coletor solar foram utilizados para o cálculo da fração solar.

Sistema auxiliar de aquecimento

O sistema auxiliar de aquecimento adotado é composto por resistências elétricas ou aquecedor (es) instantâneos a gás GLP como fonte de energia, controlados por termostatos.

4.1.3.4.1 Cenário 4a

Para este cenário será utilizada a mesma metodologia proposta para o Cenário 3a no item 3.1.3.3.4.

4.1.3.4.2 Cenário 4b

Para este cenário será utilizada a mesma metodologia proposta no para o Cenário 3b no item 3.1.3.3.5.

4.1.4 Análise da viabilidade econômica

A avaliação comparativa entre os vários cenários apresentados foi realizada considerando todas as configurações possíveis para os equipamentos associados nos sistemas.

A avaliação econômica dos cenários estudados pôde ser realizada a partir dos seguintes dados:

- custo de aquisição e implantação do sistema
- taxa de juros
- custo da energia elétrica e gás GLP
- vida útil dos equipamentos
- custo de operação/manutenção

4.1.4.1 Análise da viabilidade econômica

Os parâmetros VPL, TIR e *payback* descontado foram utilizados para a decisão entre as alternativas apresentadas pelos cenários de estudo.

- VPL: economicamente viável quando for maior que 0. Quanto maior for o VPL maior a sua atratividade.
- TIR: economicamente viável quando for superior a taxa mínima de atratividade.
- *payback*: economicamente viável quando for menor que a vida útil estabelecida para os equipamentos em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente são apresentadas as premissas adotadas para as configurações dos cenários propostos e os equipamentos adotados para cada um. Em seguida são apresentados os resultados para demanda energética, fração solar e os custos anualizados para as diferentes configurações dos sistemas de aquecimento.

Premissas adotadas

Foram adotadas as seguintes premissas para o dimensionamento dos sistemas de aquecimento de água e para análise da viabilidade econômica:

Localização da instalação: Município de Matelândia, PR

Irradiação global média: 4,80 kWh/m².dia

Temperatura ambiente mensal média: 20,1 °C

Dias de operação por mês: 22 dias

Custo do gás GLP (para cilindros 180 kg): 3,69 R\$/kg

Consumo específico do gás GLP: 13,37 kWh/kg

Custo da energia elétrica (Categoria B¹): 0,2497 R\$/kWh

Rendimento do aquecedor instantâneo a gás: 90,5%

Rendimento do aquecedor de acumulação elétrico: 80,0 %

Rendimento do reservatório térmico (boiler): 80,0 %

Demanda diária total de água quente: 8000 litros/dia

Demanda de água quente por turno: 4000 litros/turno

Turnos de trabalho: 02 – banho às 10:00 e às 16:00 horas

Temperatura da água quente: 40°C

Temperatura da água fria: Aproximadamente a temperatura ambiente (20,1 °C)

Sistema auxiliar de aquecimento: elétrico e gás GLP

Coletores solares utilizados: coletor plano fechado e coletor a vácuo tipo U

Orientação dos coletores solares: Norte

Inclinação dos coletores solares: 35,204485° (referente à latitude local +10°)

Taxa de juros: 10% a.a.

Período de vida útil do sistema: 20 anos

Custo de manutenção anual do sistema: 5% do valor total de implantação do sistema

Estimativa da demanda de água quente

Devido à dimensão e particularidades de uso da água quente neste projeto, a demanda de água quente foi estabelecida seguindo-se os períodos e situações apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Número de funcionários, horários de banho e demanda de água quente

Turno	Horário	Horário banho	Total de funcionários	Vcons (L)
1°	10:00 às 16:00	10:00-10:25	128	3840
2°	16:00 às 22:00	16:00-16:25	128	3840
Total			256	7680

A demanda diária de água quente é de 7680 litros, ou seja, 3840 litros/turno.

Estimativa da demanda de energia útil

A demanda mensal de energia para o aquecimento da água está apresentada na Tabela 5. A temperatura da água quente utilizada para os banho foi fixada em 40 °C.

Tabela 5: Demanda mensal de energia para aquecimento de água (Volume de 8000 litros)

Mês	Tamb (°C)	L (kWh/mês)
Janeiro	23	3479,696
Fevereiro	23	3479,696
Março	22	3684,384
Abril	20	4093,76
Maio	18	4503,136
Junho	16	4912,512
Julho	16	4912,512
Agosto	18	4503,136
Setembro	19	4298,448
Outubro	21	3889,072
Novembro	23	3479,696
Dezembro	24	3275,008
Média	20,25	-
Total	-	48511,056

Caracterização dos cenários e seus componentes

CENÁRIO 1

O aquecedor elétrico, devido as suas características de funcionamento e limitações, foi dimensionado para aquecer e acumular o volume de água quente necessário para cada turno, funcionando, portanto duas vezes ao dia (enche e esvazia totalmente). Foi considerado o aquecimento de 1032 litros de água a cada 1 hora, ou seja, o volume de água de cada turno é aquecido em aproximadamente 4 horas.

A figura 10 mostra o funcionamento do sistema para aquecimento da água deste cenário utilizando um aquecedor elétrico de acumulação.

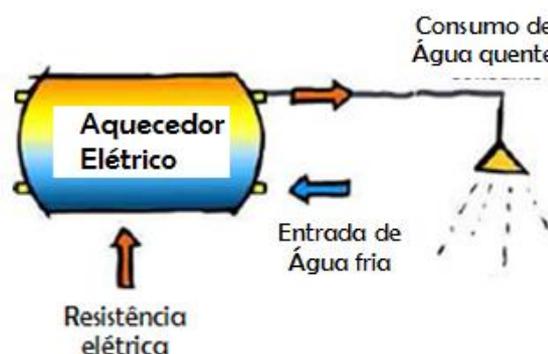


Figura 10: Esquema de funcionamento do cenário 1.
Fonte: Adaptado de DASOL, 2008.

A Tabela 6 apresenta as principais características do aquecedor elétrico de acumulação para este cenário.

Tabela 6: Características do aquecedor elétrico de acumulação do cenário 1

Fabricante	ECAL
Marca	ECAL
Modelo	EIH-4000/24KW
Quantidade	1,0
Potência da resistência	35,0 Kw
Capacidade térmica	24 kW/h
Produção de água quente	1032 L/h
η	70,0%

Fonte: Site ECAL, 2013.

Equipamentos extras: sensores de temperatura, bomba de circulação, quadro de comando, tubos, conexões e registros.

A Tabela 7 apresenta os custos para o sistema de aquecimento de água proposto para o Cenário 1.

Tabela 7: Custo para o sistema de aquecimento de água com aquecedor elétrico de acumulação

(1) Volume do Aquec. (L)	(2) Custo 1 (R\$)	(3) Custo 1 anualizado (R\$/ano)	(4) Ltot (kWh /ano)	(5) Custo da energia elétrica consumida (R\$/ano)	(6) Custo 2 (R\$/ano)	(7) Custo total anualizado (R\$/ano)
4000	38.487,21	4.520,69	69301,51	17.303,20	1.924,36	23.748,26

(1): Volume do aquecedor elétrico de acumulação;

(2): Referente ao custo de aquisição e implantação do sistema – Custo 1;

(3): Custo anualizado, calculado a partir do custo 1, considerando uma TMA de 10% e vida útil dos equipamentos de 20 anos;

(4): Demanda total de energia, considerando o rendimento dos equipamentos utilizados;

(5): Custo da energia elétrica consumida para a demanda de energia, calculado a partir da coluna 4;

(6): Referente ao custo anual de manutenção do sistema de aquecimento, considerado 5% do valor total de implantação do sistema;

(7): Custo total anualizado, calculado pela soma das colunas 3, 5 e 6.

CENÁRIO 2

Os aquecedores de passagem, devido as suas características de funcionamento e limitações, foram dimensionados conforme a demanda máxima instantânea dos pontos de consumo no momento mais crítico de uso, neste caso o banho obrigatório dos funcionários dos setores de evisceração e sangria.

A Figura 11 mostra o funcionamento do sistema para aquecimento da água deste cenário utilizando um conjunto de aquecedores instantâneos a gás GLP.

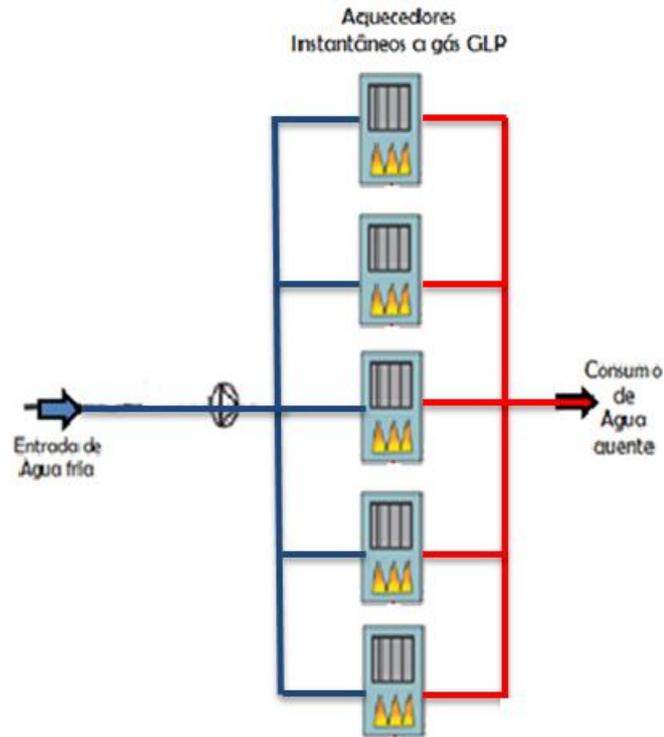


Figura 11: Esquema de funcionamento do cenário 2.
Fonte: Adaptado de DASOL, 2008.

A Tabela 8 apresenta as principais características do aquecedor instantâneo a gás GLP para este cenário.

Tabela 8: Características do aquecedor instantâneo a gás GLP do cenário 2

Fabricante	BOSCH
Marca	BOSCH
Modelo	Therm 8000S
Quantidade	5,0
Vazão instantânea	38,5 L/min
Potência	58,7 kW
Consumo GLP	4,26 kg/h
η	90,1%

Fonte: Manual de equipamentos BOSCH, 2013.

Equipamentos extras: tubos, conexões, válvulas e registros.

A Tabela 9 apresenta os custos para o sistema de aquecimento de água proposto no Cenário 2.

Tabela 9: Custo para o sistema de aquecimento de água com aquecedor instantâneo a gás GLP

(1) Potência do Aquecedor (kW)	(2) Custo 1 (R\$)	(3) Custo 1 anualizado (R\$/ano)	(4) L _{tot} (kWh /ano)	(5) Custo do GLP consumido (R\$/ano)	(6) Custo 2 (R\$/ano)	(7) Custo total anualizado (R\$/ano)
5x58,7	48.231,23	5.665,22	53603,38	14.751,65	2.411,56	22.828,43

(1): Volume do aquecedor elétrico de acumulação;

(2): Referente ao custo de aquisição e implantação do sistema – Custo 1;

(3): Custo anualizado, calculado a partir do custo 1, considerando uma TMA de 10% e vida útil dos equipamentos de 20 anos;

(4): Demanda total de energia, considerando o rendimento dos equipamentos utilizados;

(5): Custo da energia elétrica consumida para a demanda de energia, calculado a partir da coluna 4;

(6): Referente ao custo anual de manutenção do sistema de aquecimento, considerado 5% do valor total de implantação do sistema;

(7): Custo total anualizado, calculado pela soma das colunas 3, 5 e 6.

CENÁRIO 3

Este cenário parte da premissa de que parte da demanda de água quente será proveniente da água aquecida por placas solares planas. O sistema de armazenamento desta água contempla um reservatório térmico em conjunto com um sistema auxiliar de aquecimento, garantindo a temperatura de consumo da água quente.

A Tabela 10 mostra as principais características do coletor solar plano adotado para o cálculo da área coletora deste cenário.

Tabela 10: Características do coletor solar plano para o cenário 3

Fabricante	Soletrol
Marca	Soletrol
Modelo	MAX Alumínio
Área	2,0 m ²
FRUL	6,074
FR($\tau\alpha$) Θ	0,749
η	59,70%

Fonte: Catálogo técnico SOLETROL, 2013.

Resultados obtidos pelo Método “*F-Chart*” – Cenário 3

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos a partir do algoritmo proposto na metodologia desta pesquisa. Considerou-se para este cenário os parâmetros para coletores solares planos e índices de radiação solar da localidade em estudo.

Tabela 11: Cálculo da fração solar anual para um boiler com capacidade de 4000 litros, a partir das diferentes capacidades de armazenamento específicas (Duffie e Beckman, 2006)

Cae (L/m ²)	Acom (m ²)	F anual
50	80	0,88
75	54	0,82
100	40	0,75
125	32	0,68
150	28	0,61
175	24	0,55
200	20	0,50
225	18	0,50
250	16	0,43
300	14	0,37

A partir da Tabela 11 observa-se que a fração solar é diretamente proporcional a área de coletores solares instalados, ou seja, o aumento da área coletora proporciona um aumento na fração solar até um ponto onde ocorre o seu valor máximo. De acordo com Coelho (2011), a partir deste ponto o aumento da área coletora não melhora a fração solar, pelo contrário, faz com que a eficiência do sistema se reduza.

CENÁRIO 3a

O reservatório térmico com apoio elétrico (boiler) foi dimensionado para armazenar o volume de água quente necessário para cada turno. Este reservatório térmico possui um sistema de resistências elétricas internas operando como sistema auxiliar de aquecimento.

A Figura 12 mostra o funcionamento do sistema para aquecimento solar da água deste cenário utilizando coletores solares planos e um reservatório térmico dotado de resistência elétrica interna atuando como fonte auxiliar de energia.

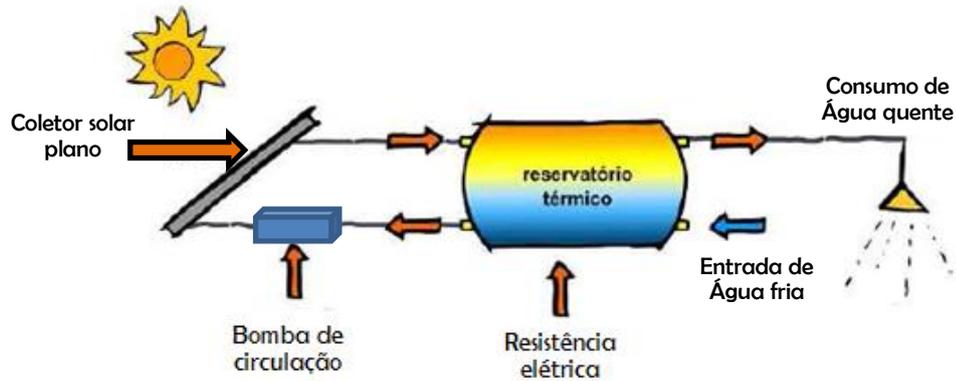


Figura 12: Esquema de funcionamento do Cenário 3a.
Fonte: Adaptado de DASOL, 2008.

A Tabela 12 mostra as principais características do reservatório térmico adotado para este cenário.

Tabela 12: Características do reservatório térmico-boiler para o cenário 3a

Fabricante	Soletrol
Marca	Soletrol
Modelo	Super Boiler Max
Volume	4000 L
Quantidade	1
Potência da Resist. Elétrica	5000 W
Quantidade de resistências	2
Rendimento	80,0%

Fonte: Catálogo técnico SOLETROL, 2013.

Equipamentos extras: sensores de temperatura, bomba de circulação, quadro de comando, tubos, conexões e registros.

Custos para o Cenário 3a

O custo do sistema de aquecimento solar contempla os custos com o consumo de energia do sistema auxiliar e os custos com a implantação, operação e manutenção do sistema.

A determinação do custo de operação do sistema de aquecimento solar depende do consumo de energia atingido pelo sistema auxiliar. A partir do valor da fração solar calculou-se a energia complementar necessária para o sistema de aquecimento através da equação 13 (COELHO, 2011).

$$L_{auxiliar} = (1 - F) \times L_{total} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

$L_{auxiliar}$ - energia auxiliar anual do sistema de aquecimento, kWh/ano;

F - fração solar anual;

L_{total} - energia total anual para aquecer a demanda de água, kWh/ano.

A Tabela 13 apresenta os custos para o sistema de aquecimento solar de água proposto no Cenário 3a.

Tabela 13: Custo para o sistema de aquecimento de água com placas solares planas e energia elétrica como fonte auxiliar de energia, para fração solar anual F variando de 50 a 95%

(1) Cae (L/m ²)	(2) Acom (m ²)	(3) F anual	(4) Custo 1(R\$)	(5) Custo 1 anualizado (R\$/ano)	(6) Laux (%)	(7) Laux(kWh/a no)	(8) Laux total (kWh/ano)	(9) Laux (R\$/ano)	(10) Custo 2 (R\$/ano)	(11) Custo total anualizado (R\$/ano)
50	80	0,88	69.350,98	8.145,94	0,1166	5654,98	6785,98	1.694,32	3.467,55	13.307,81
75	54	0,82	61.160,98	7.183,95	0,1784	8652,00	10382,40	2.592,28	3.058,05	12.834,27
100	40	0,75	56.750,98	6.665,95	0,2499	12121,86	14546,23	3.631,90	2.837,55	13.135,40
125	32	0,68	54.230,98	6.369,95	0,3228	15660,93	18793,11	4.692,26	2.711,55	13.773,76
150	28	0,63	52.970,98	6.221,95	0,3700	17949,11	21538,93	5.377,84	2.648,55	14.248,34
175	24	0,57	51.710,98	6.073,95	0,4275	20739,39	24887,27	6.213,85	2.585,55	14.873,35
200	20	0,50	50.450,98	5.925,95	0,4954	24030,76	28836,91	7.200,00	2.522,55	15.648,50

- (1): Capacidade de armazenamento específica para fração solar anual na faixa de 50 a 95%;
- (2): Representa a área dos coletores solares, calculada dividindo-se o volume do boiler (4000 litros) pela capacidade de armazenamento específica – Cae;
- (3): Representa a fração solar anual, calculada conforme Duffie e Beckman (2006);
- (4): Referente ao custo de aquisição e implantação do sistema – Custo 1;
- (5): Custo de implantação anualizado, calculado a partir do custo 1, considerando uma TMA de 10% e vida útil dos equipamentos de 20 anos;
- (6): Demanda de energia auxiliar do sistema de aquecimento calculada a partir da equação 13;
- (7): Energia auxiliar anual do sistema de aquecimento calculada multiplicando-se a demanda de energia total anual (Tabela 5) pela coluna 6;
- (8): Demanda total de energia, considerando o rendimento dos equipamentos utilizados;
- (9): Custo da energia elétrica consumida para a demanda de energia;
- (10): Referente ao custo anual de operação e manutenção do sistema de aquecimento – Custo 2;
- (11): Custo total anualizado, calculado pela soma das colunas 5, 9 e 10.

Para a Tabela 13 apresentada, o menor custo (R\$ 12.834,27) foi encontrado para a seguinte configuração: boiler com volume de 4000 litros e área coletora de 54,0 m².

Verificou-se, para esta configuração, uma fração solar anual de 82%, valor este maior que o sugerido por Rodrigues (2010). Esse valor justifica-se pela relação entre o custo do sistema de aquecimento solar de água e o custo da energia elétrica consumida pelo sistema auxiliar. Portanto, para um mesmo custo de energia elétrica, quanto menor o custo do SAS maior a fração solar obtida nos cálculos.

CENÁRIO 3b

O reservatório térmico foi dimensionado para armazenar o volume de água quente necessário para cada turno. Para este reservatório térmico não foi considerada a utilização de resistência elétrica, uma vez que o sistema auxiliar deste cenário contempla aquecedores instantâneos a gás GLP instalados na saída da água quente para consumo. Os aquecedores foram dimensionados para atender a vazão máxima de consumo garantindo a água na temperatura de consumo instantaneamente.

A Figura 13 mostra o funcionamento do sistema para aquecimento solar da água deste cenário utilizando coletores solares planos e aquecedores instantâneos a gás GLP atuando como fonte auxiliar de energia.

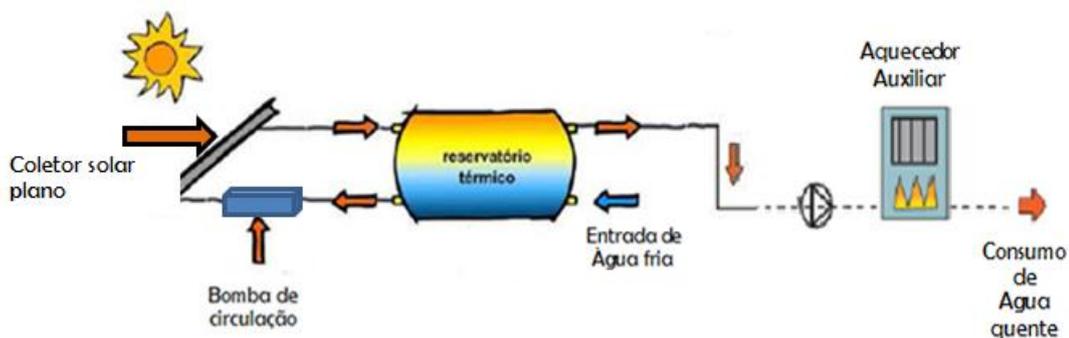


Figura 13: Esquema de funcionamento do Cenário 3b.
Fonte: Adaptado de COELHO (2011).

A Tabela 14 mostra as principais características do reservatório térmico adotado para este cenário.

Tabela 14: Características do reservatório térmico para o cenário 3b

Fabricante	Soletrol
Marca	Soletrol
Modelo	Super Boiler Max 4000
Quantidade	1
Volume	4000 L

Fonte: Catálogo técnico SOLETROL, 2013.

A Tabela 15 apresenta as principais características dos aquecedores instantâneos a gás GLP para este cenário.

Tabela 15: Características do aquecedor instantâneo para o cenário 3b

Fabricante	BOSCH
Marca	BOSCH
Modelo	Therm 8000S
Quantidade	5,0
Vazão instantânea	38,5 L/min
Potência	58,7 kW
Consumo GLP	4,26 kg/h
H	90,1%

Fonte: Manual de equipamentos BOSCH, 2013

Equipamentos extras: sensores de temperatura, bomba de circulação, quadro de comando, tubos, conexões e registros.

Custos para o Cenário 3b

A Tabela 16 apresenta os custos para o sistema de aquecimento solar de água proposto no Cenário 3b.

Tabela 16: Custo para o sistema de aquecimento de água com placas solares planas e gás GLP como fonte auxiliar de energia, para fração solar anual F variando de 50 a 95%

(1) Cae (L/m ²)	(2) Acom (m ²)	(3) F anual	(4) Custo 1(R\$)	(5) Custo 1 anualizado (R\$/ano)	(6) Laux (%)	(7) Laux(kWh/a no)	(8) Laux total (kWh/ano)	(9) Laux (R\$/ano)	(10) Custo 2 (R\$/ano)	(11) Custo total anualizado (R\$/ano)
50	80	0,88	R\$ 101.632,31	11.937,69	0,1166	5654,98	6220,48	1.539,69	5.081,62	18.559,00
75	54	0,82	R\$ 93.442,31	10.975,70	0,1784	8652,00	9517,20	2.355,70	4.672,12	18.003,51
100	40	0,75	R\$ 89.032,31	10.457,70	0,2499	12121,86	13334,05	3.300,44	4.451,62	18.209,76
125	32	0,68	R\$ 86.512,31	10.161,70	0,3228	15660,93	17227,02	4.264,03	4.325,62	18.751,35
150	28	0,63	R\$ 85.252,31	10.013,70	0,3700	17949,11	19744,02	4.887,04	4.262,62	19.163,36
175	24	0,57	R\$ 83.992,31	9.865,71	0,4275	20739,39	22813,33	5.646,76	4.199,62	19.712,08
200	20	0,50	R\$ 82.732,31	9.717,71	0,4954	24030,76	26433,83	6.542,90	4.136,62	20.397,22

(1):

- (1): Capacidade de armazenamento específica para fração solar anual na faixa de 50 a 95%;
- (2): Representa a área dos coletores solares, calculada dividindo-se o volume do boiler (4000 litros) pela capacidade de armazenamento específica – Cae;
- (3): Representa a fração solar anual, calculada conforme Duffie e Beckman (2006);
- (4): Referente ao custo de aquisição e implantação do sistema – Custo 1;
- (5): Custo de implantação anualizado, calculado a partir do Custo 1, considerando uma TMA de 10% e vida útil dos equipamentos de 20 anos;
- (6): Demanda de energia auxiliar do sistema de aquecimento calculada a partir da equação 13;
- (7): Energia auxiliar anual do sistema de aquecimento calculada multiplicando-se a demanda de energia total anual (Tabela 5) pela coluna 6;
- (8): Demanda total de energia, considerando o rendimento dos equipamentos utilizados;
- (9): Custo da energia elétrica consumida para a demanda de energia;
- (10): Referente ao custo anual de operação e manutenção do sistema de aquecimento – Custo 2;
- (11): Custo total anualizado, calculado pela soma das colunas 5, 9 e 10.

Para a Tabela 16 apresentada, o menor custo (R\$ 18.003,51) foi encontrado para a seguinte configuração: boiler com volume de 4000 litros e área coletora de 54,0 m².

Neste cenário verificou-se uma fração solar anual de 82%, valor este maior que o sugerido por Rodrigues (2010) semelhante ao Cenário 3a.

CENÁRIO 4

Este cenário parte da premissa de que parte da demanda de água quente será proveniente da água aquecida por placas solares a vácuo tipo “U”. O sistema de armazenamento desta água aquecida contempla um reservatório térmico em conjunto com um sistema auxiliar de aquecimento, garantindo a temperatura de consumo da água quente.

A Tabela 17 mostra as principais características do coletor solar a vácuo tipo “U” adotado para o cálculo da área coletora deste cenário.

Tabela 17: Características do coletor solar a vácuo tipo “U” para o cenário 4

Fabricante	Himin Solar Co.
Marca	Himin
Modelo	HUJ-15/21
Área	1,44 m ²
FRUL	2,103
FR($\tau\alpha$) Θ	0,779
η	95,0%

Fonte: Site Himin, 2013.

Resultados obtidos pelo Método “*F-Chart*” – Cenário 4

A Tabela 18 apresenta os resultados obtidos a partir do algoritmo proposto na metodologia desta pesquisa. Considerou-se para este cenário os parâmetros para coletores solares a vácuo tipo ‘U’ e índices de radiação solar da localidade em estudo.

Tabela 18: Cálculo da fração solar anual para um boiler com capacidade de 4000 litros, a partir das diferentes capacidades de armazenamento específicas (Duffie e Beckman, 2006)

Cae (L/m ²)	Acom (m ²)	F anual
50	80	0,99
75	54	0,94
100	40	0,87
125	32	0,80
150	28	0,76
175	24	0,69
200	20	0,60
225	18	0,55
250	16	0,51
300	14	0,45

Seguindo a mesma metodologia do cenário 3, neste trabalho a variação do F foi ampliada para valores entre de 50 a 95%, desconsiderando-se os demais.

CENÁRIO 4a

O reservatório térmico com apoio elétrico (boiler) foi dimensionado para armazenar o volume de água quente necessário para cada turno. Este reservatório térmico possui um sistema de resistências elétricas internas operando como sistema auxiliar de aquecimento.

A Figura 14 mostra o funcionamento do sistema para aquecimento solar da água deste cenário utilizando coletores solares a vácuo tipo “U” e um reservatório térmico dotado de resistência elétrica interna atuando como fonte auxiliar de energia.

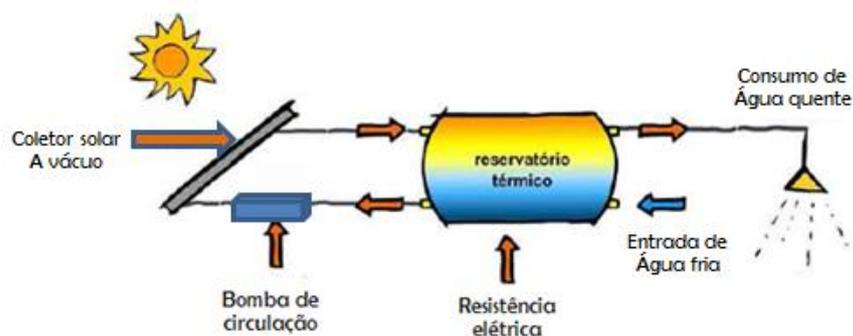


Figura 14: Esquema de funcionamento do cenário 4a.
Fonte: Adaptado de DASOL, 2008.

A Tabela 19 mostra as principais características do reservatório térmico adotado para este cenário.

Tabela 19: Características do reservatório térmico-boiler para o cenário 4a

Fabricante	Soletrol
Marca	Soletrol
Modelo	Super Boiler Max
Quantidade	1
Potência da Resist. Elétrica	5000 W
Quantidade de resistências	2
Rendimento	80,0%

Fonte: Catálogo técnico SOLETROL, 2013

Equipamentos extras: sensores de temperatura, bomba de circulação, quadro de comando, tubos, conexões e registros.

Custos para o Cenário 4a

O custo do sistema de aquecimento solar contempla os custos com o consumo de energia do sistema auxiliar e os custos com a implantação, operação e manutenção do sistema.

A Tabela 20 apresenta os custos para o sistema de aquecimento solar de água proposto no cenário 4a.

Tabela 20: Custo para o sistema de aquecimento com placas solares a vácuo tipo “U” e energia elétrica como fonte auxiliar de energia, para fração solar anual F variando de 50 a 95%

(1) Cae (L/m ²)	(2) Acom (m ²)	(3) F anual	(4) Custo 1(R\$)	(5) Custo 1 anualizado (R\$/ano)	(6) Laux (%)	(7) Laux(kWh/ ano)	(8) Laux total (kWh/ano)	(9) Laux (R\$/ano)	(10) Custo 2 (R\$/ano)	(11) Custo total anualizado (R\$/ano)
75	54	0,94	73.626,81	8.648,18	0,0563	2730,26	3412,83	852,12	3681,34	13181,63
100	40	0,87	65.984,63	7.750,53	0,1323	6416,46	8020,57	2002,58	3299,23	13052,34
125	32	0,80	61.617,67	7.237,59	0,1978	9597,17	11996,47	2995,28	3080,88	13313,75
150	28	0,76	59.434,19	6.981,12	0,2437	11820,98	14776,22	3689,33	2971,71	13642,15
175	24	0,69	56.194,71	6.600,61	0,3118	15124,16	18905,20	4720,25	2809,74	14130,60
200	20	0,60	55.067,23	6.468,18	0,3982	19315,38	24144,22	6028,33	2753,36	15249,87
225	18	0,55	53.854,19	6.325,69	0,4502	21841,13	27301,41	6816,62	2692,71	15835,02
250	16	0,51	52.883,75	6.211,71	0,4943	23977,65	29972,06	7483,42	2644,19	16339,32

(1): Capacidade de armazenamento específica para fração solar anual na faixa de 50 a 95%;

(2): Representa a área dos coletores solares, calculada dividindo-se o volume do boiler (4000 litros) pela capacidade de armazenamento específica – Cae;

(3): Representa a fração solar anual, calculada conforme Duffie e Beckman (2006);

(4): Referente ao custo de aquisição e implantação do sistema – Custo 1;

(5): Custo de implantação anualizado, calculado a partir do Custo 1, considerando uma TMA de 10% e vida útil dos equipamentos de 20 anos;

(6): Demanda de energia auxiliar do sistema de aquecimento calculada a partir da equação 13;

(7): Energia auxiliar anual do sistema de aquecimento calculada multiplicando-se a demanda de energia total anual (Tabela 5) pela coluna 6;

(8): Demanda total de energia, considerando o rendimento dos equipamentos utilizados;

(9): Custo da energia elétrica consumida para a demanda de energia;

(10): Referente ao custo anual de operação e manutenção do sistema de aquecimento – Custo 2;

(11): Custo total anualizado, calculado pela soma das colunas 5, 9 e 10.

Para a Tabela 20 apresentada, o menor custo (R\$ 13.052,34) foi encontrado para a seguinte configuração: boiler com volume de 4000 litros e área coletora de 40,0 m².

Verificou-se, para esta configuração, uma fração solar anual de 87%, valor este maior que o sugerido por Rodrigues (2010).

CENÁRIO 4b

O reservatório térmico foi dimensionado para armazenar o volume de água quente necessário para cada turno. Para este reservatório térmico não foi considerada a utilização de resistência elétrica, uma vez que o sistema auxiliar deste cenário contempla aquecedores instantâneos a gás GLP instalados na saída da água quente para consumo.

Os aquecedores foram dimensionados para atender a vazão máxima de consumo garantindo a água na temperatura de consumo instantaneamente.

A Figura 15 mostra o funcionamento do sistema para aquecimento solar da água deste cenário utilizando coletores solares a vácuo tipo “U” e aquecedores instantâneos a gás GLP atuando como fonte auxiliar de energia.

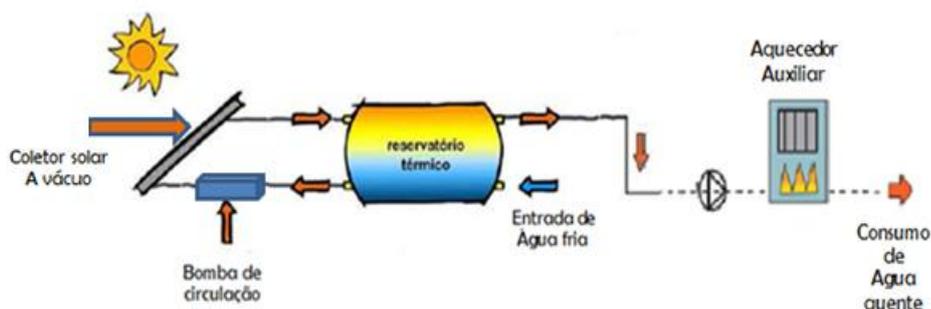


Figura 15: Esquema de funcionamento do cenário 4b.
Fonte: Adaptado de COELHO, 2011.

A Tabela 21 mostra as principais características do reservatório térmico adotado para este cenário.

Tabela 21: Características do reservatório térmico para o cenário 4b

Marca	Soletrol
Modelo	Super Boiler Max 4000
Quantidade	1

Fonte: Catálogo técnico SOLETROL, 2013.

A Tabela 22 apresenta as principais características dos aquecedores instantâneos a gás GLP para este cenário.

Tabela 22: Características do aquecedor instantâneo a gás GLP para o cenário 4b

Fabricante	BOSCH
Marca	BOSCH
Modelo	Therm 8000S
Quantidade	5,0
Vazão instantânea	38,5 L/min
Potência	58,7 kW
Consumo GLP	4,26 kg/h
η	90,1%

Fonte: Manual de equipamentos BOSCH, 2013.

Equipamentos extras: sensores de temperatura, bomba de circulação, quadro de comando, tubos, conexões e registros.

Custos para o Cenário 4b

A Tabela 23 apresenta os custos para o sistema de aquecimento solar de água proposto no cenário 4b.

Tabela 23: Custo para o sistema de aquecimento com placas solares a vácuo tipo “U” e gás GLP como fonte auxiliar de energia, para fração solar anual F variando de 50 a 95%

(1) Cae (L/m ²)	(2) Acom (m ²)	(3) F anual	(4) Custo 1 (R\$)	(5) Custo 1 anualizado (R\$/ano)	(6) Laux (%)	(7) Laux(kWh/a no)	(8) Laux total (kWh/ano)	(9) Laux (R\$/ano)	(10) Custo 2 (R\$/ano)	(11) Custo total anualizado (R\$/ano)
75	54	0,94	105.909,29	12.440,07	0,0563	2730,26	3000,29	825,68	5.295,46	18.561,21
100	40	0,87	98.267,11	11.542,42	0,1323	6416,46	7051,05	1.940,45	4.913,36	18.396,22
125	32	0,80	93.900,15	11.029,48	0,1978	9597,17	10546,34	2.902,35	4.695,01	18.626,84
150	28	0,76	91.716,67	10.773,01	0,2437	11820,98	12990,08	3.574,87	4.585,83	18.933,71
175	24	0,69	89.533,19	10.516,53	0,3118	15124,16	16619,96	4.573,81	4.476,66	19.567,01
200	20	0,60	87.349,71	10.260,06	0,3982	19315,38	21225,69	5.841,31	4.367,49	20.468,86
225	18	0,55	86.136,67	10.117,58	0,4502	21841,13	24001,24	6.605,14	4.306,83	21.029,55
250	16	0,51	85.166,23	10.003,59	0,4943	23977,65	26349,06	7.251,26	4.258,31	21.513,17

- (1): Capacidade de armazenamento específica para fração solar anual na faixa de 50 a 95%;
- (2): Representa a área dos coletores solares, calculada dividindo-se o volume do boiler (4000 litros) pela capacidade de armazenamento específica – Cae;
- (3): Representa a fração solar anual, calculada conforme Duffie e Beckman (2006);
- (4): Referente ao custo de aquisição e implantação do sistema – Custo 1;
- (5): Custo de implantação anualizado, calculado a partir do Custo 1, considerando uma TMA de 10% e vida útil dos equipamentos de 20 anos;
- (6): Demanda de energia auxiliar do sistema de aquecimento calculada a partir da equação 13;
- (7): Energia auxiliar anual do sistema de aquecimento calculada multiplicando-se a demanda de energia total anual (Tabela 5) pela coluna 6;
- (8): Demanda total de energia, considerando o rendimento dos equipamentos utilizados;
- (9): Custo da energia elétrica consumida para a demanda de energia;
- (10): Referente ao custo anual de operação e manutenção do sistema de aquecimento – Custo 2;
- (11): Custo total anualizado, calculado pela soma das colunas 5, 9 e 10.

Para a Tabela 23 apresentada, o menor custo (R\$ 18.396,22) foi encontrado para a seguinte configuração: boiler com volume de 4000 litros e área coletora de 40,0 m².

Verificou-se, para esta configuração, uma fração solar anual de 87%, valor este maior que o sugerido por Rodrigues (2010).

Resumo dos resultados de dimensionamento

A partir da seleção das configurações de menor custo para cada cenário de SAS, a Tabela 24 apresenta as principais características, a quantidade e a fonte de energia utilizada, a eficiência solar do sistema e os custos anualizados para os referidos cenários. Os detalhes dos projetos encontram-se apresentados no Apêndice.

Tabela 24: Quadro resumo dos cenários estudados para as configurações de menor custo

(1) Cenário	(2) Volume Boiler (L)	(3) Área coletora do SAS (m ²)	(4) Potência do sistema de aquec. (kWh)	(5) Energia Solar (kWh/ano)	(6) Energia utilizada pelo SAS (kWh/ano)	(7) Energia utilizada pelo sist. De aquec. (kWh/ano)	(8) Efic. Solar (%)	(9) Custo total anualizado (R\$)
1	4000	-	35,0	-	-	60638,82	-	23.748,26
2	-	-	293,5	-	-	53308,85	-	22.828,43
3a	4000	54,0	10,0	68440,68	42204,62	7883,05	62%	12.834,27
3b	4000	54,0	10,0	68440,68	39779,07	10914,99	58%	18.003,51
4a	4000	40,0	10,0	50696,8	42204,62	7883,05	83%	13.052,34
4b	4000	40,0	10,0	50696,80	42204,62	7883,05	83%	18.396,22

(1): Cenários Padrão (1 e 2) e cenários com aquecimento solar (3a, 3b, 4a e 4b);

(2): Volume do boiler;

(3): Área coletora obtida para a configuração de menor custo para cada cenário;

(4): Potência máxima dos equipamentos a partir da potência calculada para cada cenário;

(5): Energia solar disponível, calculada pelo produto da radiação solar (kWh/m².dia), dias úteis no ano (264 dias) e área coletora calculada para o cenário (m²);

(6): Energia térmica solar utilizada pelo sistema de aquecimento solar, calculada pelo produto da demanda energética do perfil de consumo pelo F anual do cenário;

(7): Energia utilizada pelo sistema de aquecimento (principal ou auxiliar), considerando o rendimento dos equipamentos utilizados;

(8): Eficiência solar, calculada pela divisão da coluna 6 pela coluna 5;

(9): Custo total anualizado obtido através das tabelas 7, 9, 13, 16, 20 e 23.

Para as configurações de sistemas de aquecimento solar apresentadas, o menor custo foi encontrado para o cenário 3a, com a seguinte configuração: coletores solares planos e energia elétrica como fonte auxiliar.

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise foi realizada para o período de 20 anos, tempo correspondente à vida útil dos equipamentos do sistema de aquecimento solar. A taxa mínima de atratividade considerada foi de 10% ao ano.

A Figura 16 apresenta o fluxo de caixa para análise de viabilidade econômica para a comparação entre os cenários 1(aquecedor elétrico) e 3ª (aquecimento solar com coletores planos e energia elétrica como fonte auxiliar).

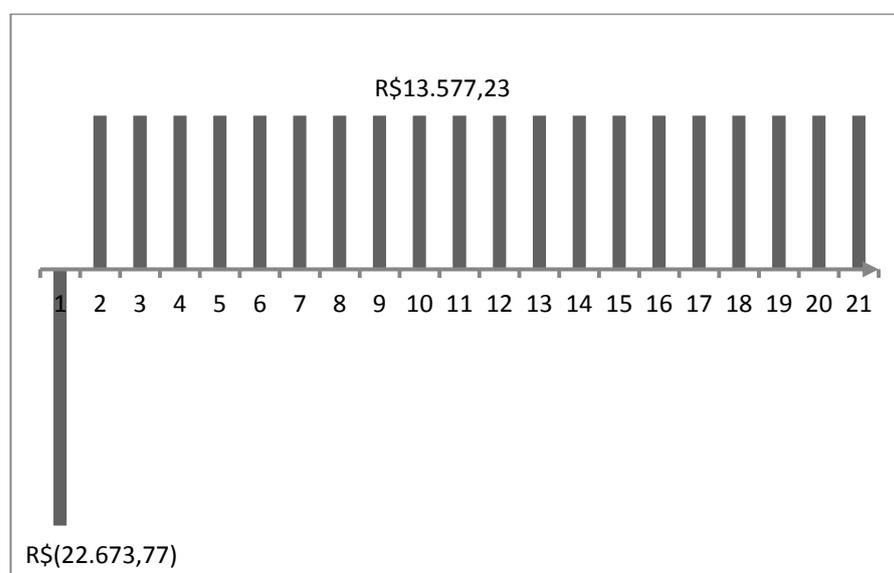


Figura 16: Fluxo de caixa comparativo para os Cenários 1 e 3a.

A análise do fluxo de caixa da Figura 16 apresentou um valor presente líquido (VPL) de R\$ 92.916,84, taxa interna de retorno (TIR) de 59,9% e o tempo de retorno do capital investido (PBD) igual 1,92 anos.

A análise dos resultados permite afirmar que todos os parâmetros calculados (VPL, TIR e Payback descontado) tornam o cenário 3a economicamente mais interessante que o cenário 1.

A Figura 17 apresenta o fluxo de caixa para análise de viabilidade econômica para a comparação entre os cenários 1 e 4a.

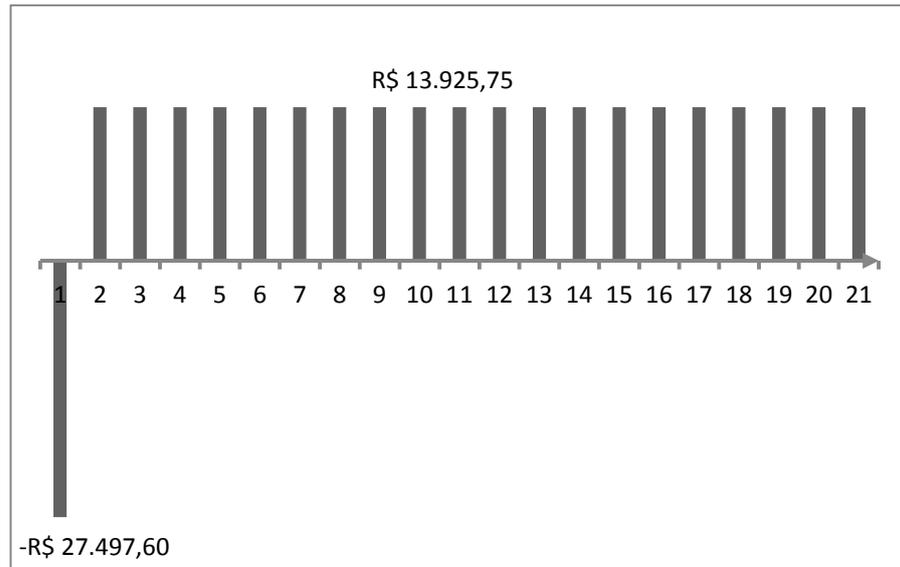


Figura 17: Fluxo de caixa comparativo para os Cenários 1 e 4a.

A análise do fluxo de caixa da Figura 17 apresentou um valor presente líquido (VPL) de R\$ 91.060,16, taxa interna de retorno (TIR) de 50,6% e o tempo de retorno do capital investido (PBD) igual 2,31 anos.

A análise dos resultados permite afirmar que todos os parâmetros calculados (VPL, TIR e Payback descontado) tornam o cenário 4a economicamente mais interessante que o cenário 1.

A Figura 18 apresenta o fluxo de caixa para análise de viabilidade econômica para a comparação entre os cenários 2 e 3b.

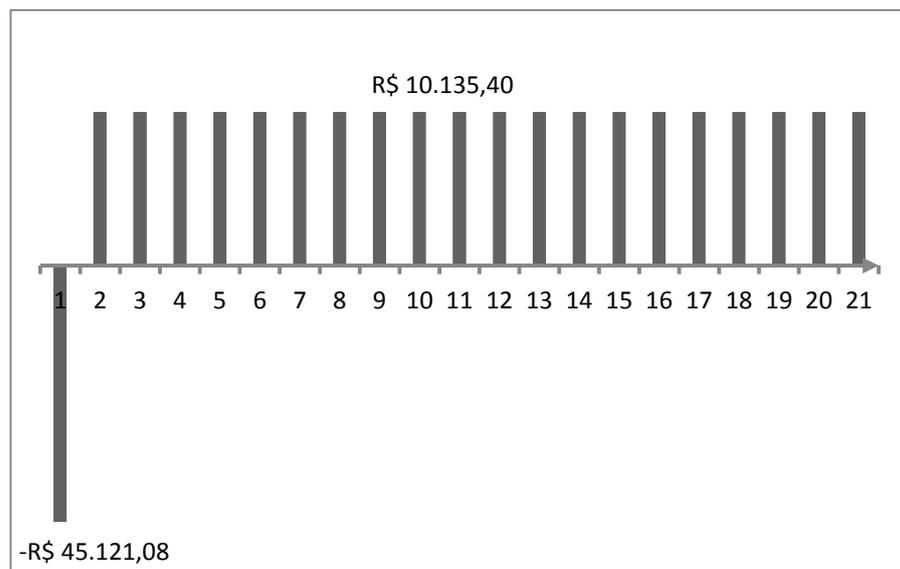


Figura 18: Fluxo de caixa comparativo para os Cenários 2 e 3b.

A análise do fluxo de caixa da Figura 18 apresentou um valor presente líquido (VPL) de R\$ 41.167,29, taxa interna de retorno (TIR) de 22,0% e o tempo de retorno do capital investido (PBD) igual 6,18 anos.

A análise dos resultados permite afirmar que todos os parâmetros calculados (VPL, TIR e Payback descontado) tornam o cenário 3b economicamente mais interessante que o cenário 2.

A Figura 19 apresenta o fluxo de caixa para análise de viabilidade econômica para a comparação entre os cenários 2 e 4b.

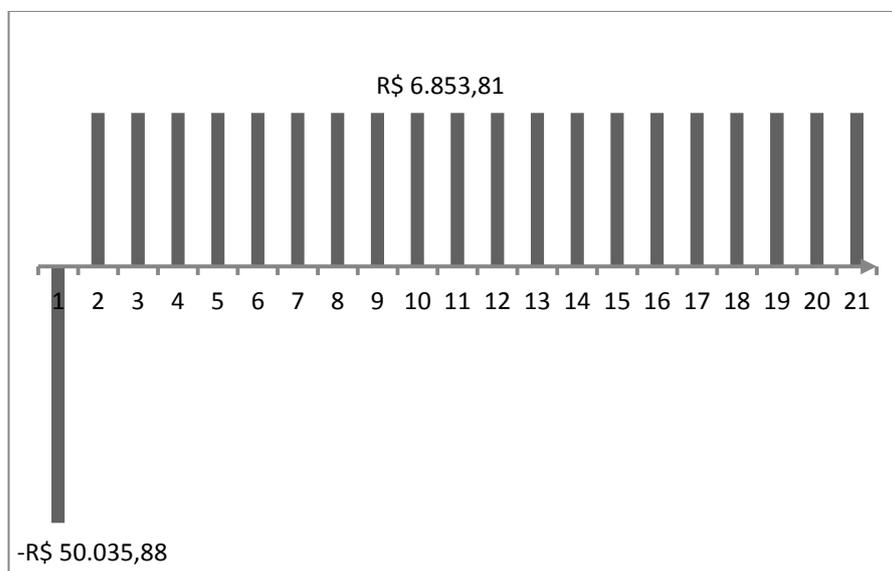


Figura 19: Fluxo de caixa comparativo para os Cenários 2 e 4b.

A análise do fluxo de caixa da Figura 19 apresentou um valor presente líquido (VPL) de R\$ 8.314,47, taxa interna de retorno (TIR) de 12,4% e o tempo de retorno do capital investido (PBD) igual 13,74 anos.

A análise dos resultados permite afirmar que todos os parâmetros calculados (VPL, TIR e Payback descontado) tornam o cenário 4b economicamente mais interessante que o cenário 2.

Resumo dos resultados da análise econômica

A Tabela 25 apresenta um quadro resumo com os resultados dos parâmetros econômicos analisados para os diferentes cenários em comparação com o cenário padrão. Cabe ressaltar que para que o projeto se torne viável

economicamente, é necessário que o VPL seja maior que zero e que a TIR seja superior a TMA.

Tabela 25: Quadro resumo da análise de viabilidade econômica para os cenários estudados em comparação com o cenário padrão

(1) Cenário Padrão	(2) Cenário	(3) Custo 1 (R\$)	(4) Custo 2 (R\$)	(5) VPL	(6) TIR	(7) PBD
1	1	R\$ 38.487,21	R\$ 19.227,56	-	-	-
	3a	R\$ 61.160,98	R\$ 5.650,33	R\$ 92.916,84	59,9%	1,92
	4a	R\$ 65.984,81	R\$ 5.301,81	R\$ 91.060,16	50,6%	2,31
2	2	R\$ 48.231,23	R\$ 17.163,21	-	-	-
	3b	R\$ 93.442,31	R\$ 7.027,81	R\$ 41.167,29	22,0%	6,18
	4b	R\$ 98.267,11	R\$ 6.853,81	R\$ 8.314,47	12,4%	13,74

(1): Cenário base de comparação com as configurações dos SAS estudados;

(2): Cenário base comparados ao cenário padrão da coluna 1;

(3): Referente ao custo de aquisição e implantação do sistema – Custo 1;

(4): Referente ao custo de manutenção do sistema (5% a.a. do Custo 1) e ao custo da energia utilizada;

(5): Valor presente líquido calculado conforme a Eq. 1;

(6): Taxa interna de retorno, calculada conforme Eq. 2;

(7): Tempo de retorno do capital investido, calculado conforme Eq. 3

A partir da Tabela 25, observa-se que todos os cenários apresentaram TIR maior que a TMA de 10% estabelecida nas premissas desta pesquisa. O cenário 3a apresentou a maior TIR entre os cenários estudados.

O maior valor do VPL foi verificado para o cenário 3a em comparação com o cenário 1, portanto o cenário 3a possui a maior atratividade entre os cenários estudados.

A coluna 7 apresenta os resultados para o tempo de retorno do capital investido, sendo o cenário 3a a configuração que apresenta o menor tempo de retorno (1,92 anos).

Realizou-se também uma comparação de viabilidade econômica entre os cenários 3a e 3b e entre os cenários 4a e 4b. Nessas comparações, manteve-se o tipo de coletor e variou-se a fonte de energia auxiliar. Observando a Tabela 25, verifica-se que os cenários que utilizam a energia elétrica como fonte auxiliar (3a e 4a) são mais viáveis economicamente que os cenários que utilizam o gás GLP como fonte de energia auxiliar (3b e 4b), tanto para os custos iniciais de aquisição e

implantação como também para os custos anuais de manutenção e consumo de energia.

5. CONCLUSÕES

A substituição de fontes convencionais de energia para o aquecimento de água por energia solar em conjunto com uma fonte auxiliar, mostrou-se como uma opção viável para a utilização de energia solar para esta edificação agroindustrial.

De acordo com o projeto realizado para esta pesquisa, o investimento inicial para o sistema de aquecimento de água com fontes convencionais de energia foi de R\$ 38.487,21 para energia elétrica e de R\$ 48.231,23 para gás GLP.

O investimento inicial no sistema de aquecimento solar de água com coletores solares planos foi de R\$ 61.160,68 para energia elétrica como fonte auxiliar de energia, e de R\$ 65.984,81 para gás GLP como fonte auxiliar de energia. Para utilização de coletores solares a vácuo tipo “U” o investimento inicial foi de R\$ 93.442,31 para energia elétrica como fonte auxiliar de energia, e de R\$ 98.276,71 para gás GLP como fonte auxiliar de energia.

O estudo para este perfil de consumo demonstrou que os melhores resultados do ponto de vista econômico são para os valores de fração solar de 82% para coletores solares planos e de 87% para coletores solares a vácuo tipo “U”. Para estes valores de fração solar foram calculadas as áreas coletoras de 54,0 m² e 40,0 m², respectivamente.

Para análise comparativa entre os cenários 1 e 3a , o VPL foi de R\$ 92.916,84, a TIR de 59,9% e o tempo de retorno de aproximadamente 1 ano e 11 meses. Para os cenários 1 e 4a o VPL foi de 91.060,93, a TIR de 50,6% e o tempo de retorno de aproximadamente 2 anos e 4 meses.

Para análise comparativa entre os cenários 2 e 3b , o VPL foi de R\$ 41.167,29, a TIR de 22% e o tempo de retorno de aproximadamente 6 anos e 3 meses. Para os cenários 2 e 4b o VPL foi de 8.314,47, a TIR de 12,4% e o tempo de retorno de aproximadamente 13 anos e 9 meses.

Para este projeto, o estudo mostrou a viabilidade econômica de todos os sistemas de aquecimento solar de água acoplados a uma fonte auxiliar de energia. A configuração mais interessante economicamente apresentou-se para utilização de coletores solares planos e energia elétrica como fonte auxiliar de energia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – NBR 15569: **Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação**. 2008.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. 138p. 2008.

AITA, F. **Estudo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar e gás**. Porto Alegre, UFRGS. 128p. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

ARANTES, L. O. Avaliação comparativa do ciclo de vida entre sistemas de aquecimento solar de água utilizado em habitações de interesse social. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, 2008. 162p.

BENTANCURT, J.J.V., FERREIRA, B.C. and LIMA, F.M. Aquecimento solar para fabricação de queijo: Resultados preliminares de teste de protótipo. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004, Campinas, Brasil.

BUDIHARDJO, I.; MORRISON, G. L. Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters. Sidney, Austrália. **Solar Energy**, vol.83, p. 49-56. 2009.

CHAGURI JUNIOR, J.J. **Sistemas prediais de aquecimento de água: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento**. 2009. 104p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2009.

COELHO, D. M. **Identificação de variáveis críticas e simulação do uso de coletores solares em prédios residenciais**. Dissertação de Mestrado. UFRJ, Rio de Janeiro, 2012. 113p.

COMGÁS – Companhia de Gás de São Paulo. **Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural**. 61p. 2011. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_de_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural.pdf>. Acesso em jul. 2013.

COSTA, Raimundo Nonato Almeida. **Viabilidade térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>. Acesso em Jul, 2013.

DUFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. **Solar engineering of thermal processes**. 3ª ed. New Jersey. Wiley, 2006. 928 p.

FOSSA, A.J.; DOS SANTOS, E.M.; CHAGURI JUNIOR, J.; FAGÁ, M. T. W. **Perspectivas tecnológicas para instalações internas de gases combustíveis em clientes residenciais**. São Paulo: Cátedra do Gás, 2008. 101p.

GUARIENTE, Laércio José. **Estudo comparativo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar com circulação natural e com circulação forçada**. Londrina, Paraná, 2005. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. Disponível em: <http://www.iapar.br/>. Acesso em Jul, 2013.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Regulamento Técnico da Qualidade para Sistemas e Equipamentos de Aquecimento Solar de Água**. Rio de Janeiro, 2011.

LAFAY, J. M. S. **Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás**. Porto Alegre, UFRGS. 173p. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica).

LIANGDONG, M.; LU, Z.; ZHANG, J. LIANG, R. **Thermal performance analysis of the glass evacuated tube solar collector with U-tube**. Dalian, China. Building and Environment. Vol. 45, p. 1959-1967. 2010.

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. São Paulo, USP. 123p. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

LISBOA, P. A. **Programa de simulação de sistemas de aquecimento solar**. Rio de Janeiro, UERJ. 111p. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Brasília, 2012. Balanço Energético Nacional. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: Jul, 2013.

MANEA, T. F.; **Desenvolvimento de uma bancada para ensaios de coletores solares de tubos de vidro a vácuo**. Porto Alegre, UFRGS. 75p. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

MANEA, T. F.; ROSA, F. N.; KRENZINGER, A. **Determinação de parâmetros de desempenho para coletores solares tubulares a vácuo**. LABSOL – Laboratório de energia solar – PROMEC – UFRGS. 2011.

MEDEIROS, M. **Simulação e avaliação de um sistema de aquecimento solar de água utilizando balanço energético**. UNIOESTE, Cascavel, PR. 2012. 42p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura).

MEXA, N. F. S. **Sistemas solares térmicos – Simulação de perfis de consumo e cálculo do comportamento térmico a longo prazo.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa. Portugal, 2011.

NEVES, J. C. M. **Avaliação técnico-econômica de um aquecedor solar de água com coletor de tubos a vácuo na cidade de Cascavel-PR.** Dissertação de Mestrado. UNIOESTE, Cascavel – PR. 2012.

ORMENESE, M. **Controlador fuzzy para otimização de sistemas de aquecimento de água com coletores solares.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2009.

PEREIRA, E.M. D. **Instalações solares de pequeno porte, parte A.** 5 ed. Belo Horizonte: editora PUC-MG, 2003.

POZZEBON, F. B. **Aperfeiçoamento de um programa de simulação computacional para análise de sistemas térmicos de aquecimento de água por energia solar.** Porto Alegre, UFRGS. 134p. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).

PROCEL – PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2003. Disponível em: <http://www.eletrabras.gov.br> . Acesso em Jul, 2013.

ROSA, F. N. **Aplicabilidade de coletores solares com tubo evacuado no Brasil.** Porto Alegre, UFRG. 65p. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).
SIQUEIRA, A.M. Desenvolvimento de um programa de simulação computacional de sistemas de aquecimento solar para água. Tese de doutorado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2003.

SACCOL, A. L. F. **Sistematização de ferramentas de apoio para boas práticas em serviços de alimentação.** Dissertação de Mestrado. UFS, Santa Maria, RS, 2007. 168p.

SALAZAR, J. P. L. C. **Economia de energia e redução do pico da curva de demanda para consumidores de baixa renda por agregação de energia solar térmica.** Dissertação de Mestrado. Florianópolis, UFSC. 130p. 2004.

SHUKLA, R.; SUMATHY, K.; ERICKSON, P.; GONG, J. **Recent advances in the solar water heating systems: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 19, p. 173-190. 2013.

SOLETROL. Disponível em <http://www.solarsul.com.br/apresentacao.htm>. Acesso em Jul. 2013.

SOUZA, A. G. L.; **Desenvolvimento de software para projeto de sistemas centralizados de aquecimento solar de água.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, UERJ. 131p. 2009.

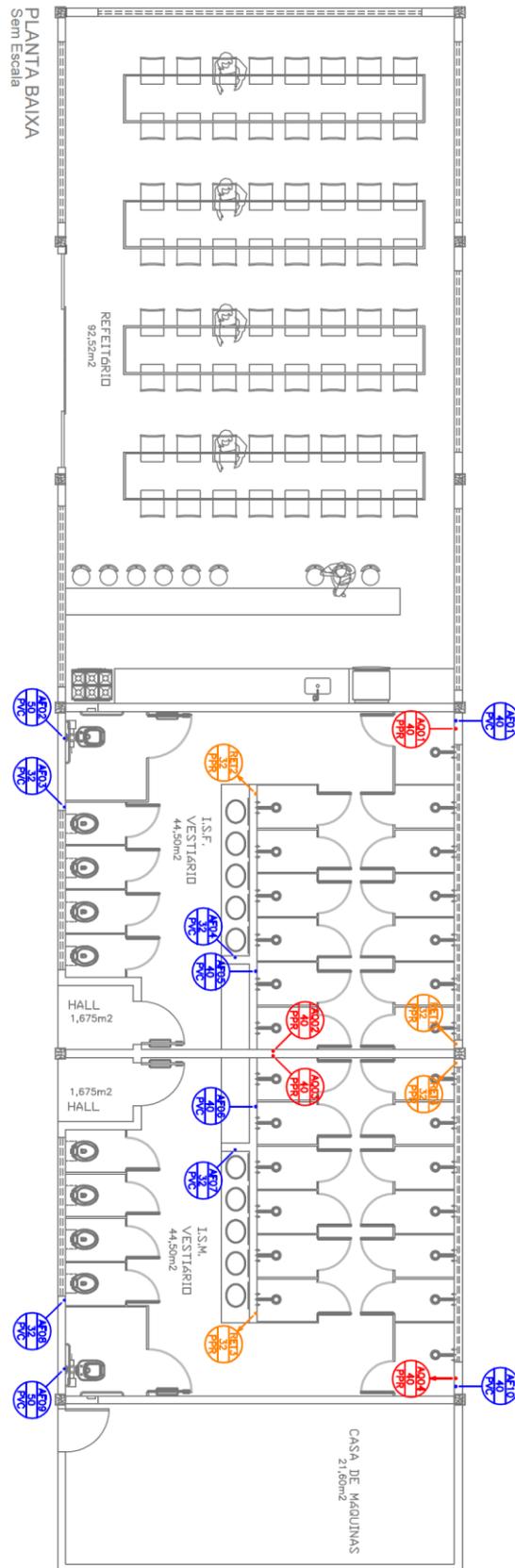
SOUZA, H. M. **Apresentação – Energia Solar: Perspectivas, Eficiência e Sustentabilidade**. Fórum Estadual de Energias Renováveis. Vitória, 2008.

VIEIRA, L. R. **Estratégias para minimizar o consumo de energia elétrica no apoio a sistemas solares de aquecimento de água**. Dissertação de Mestrado. UFRGS/PROMEC, Porto Alegre, RS, 2001.

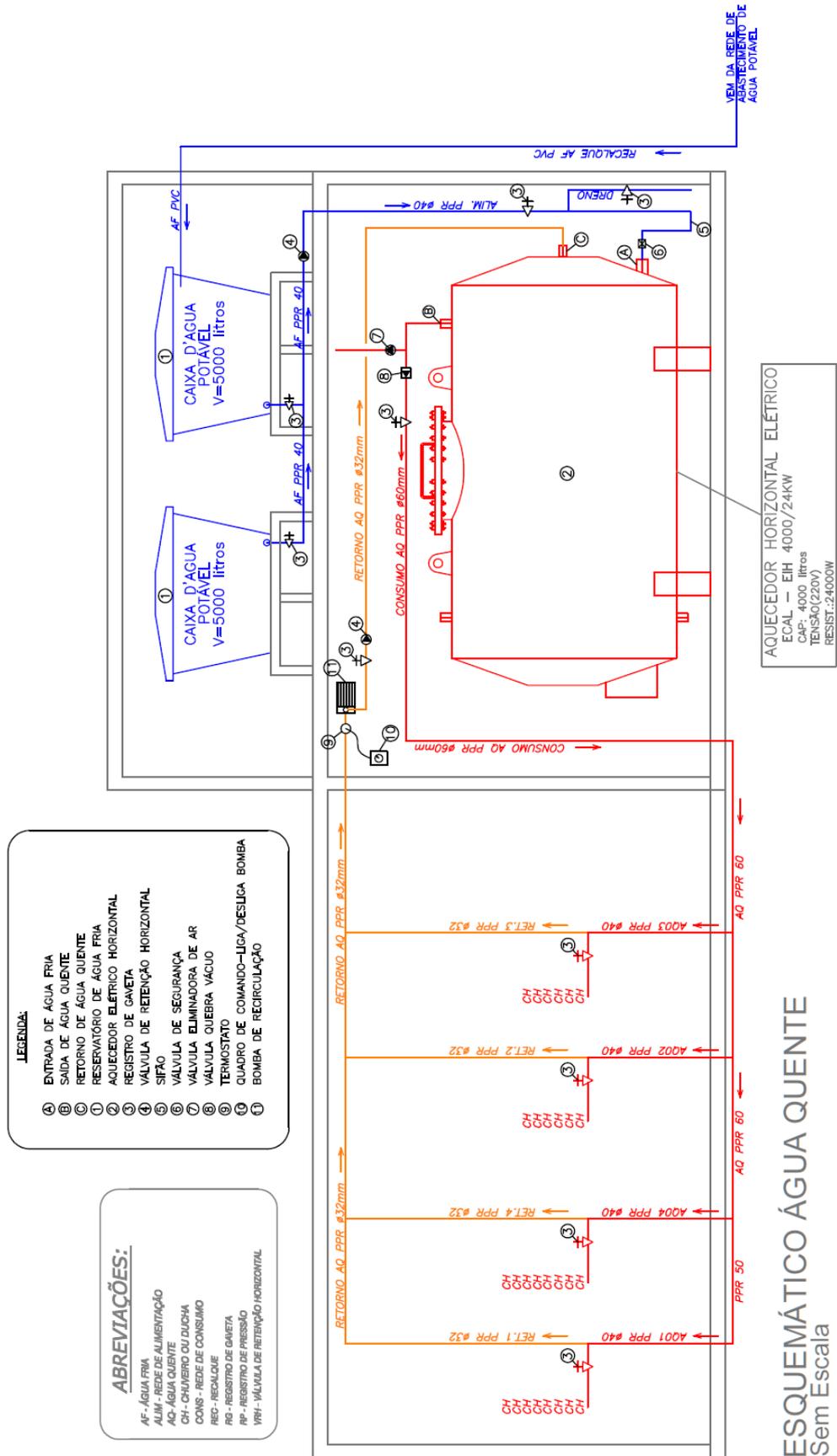
WEISS,W., MAUTHNER, F., **“Solar Heat Worldwide”**, 2011. Solar Heating & Cooling Programme – International Energy Agency, Graz – Austria.

APENDICE

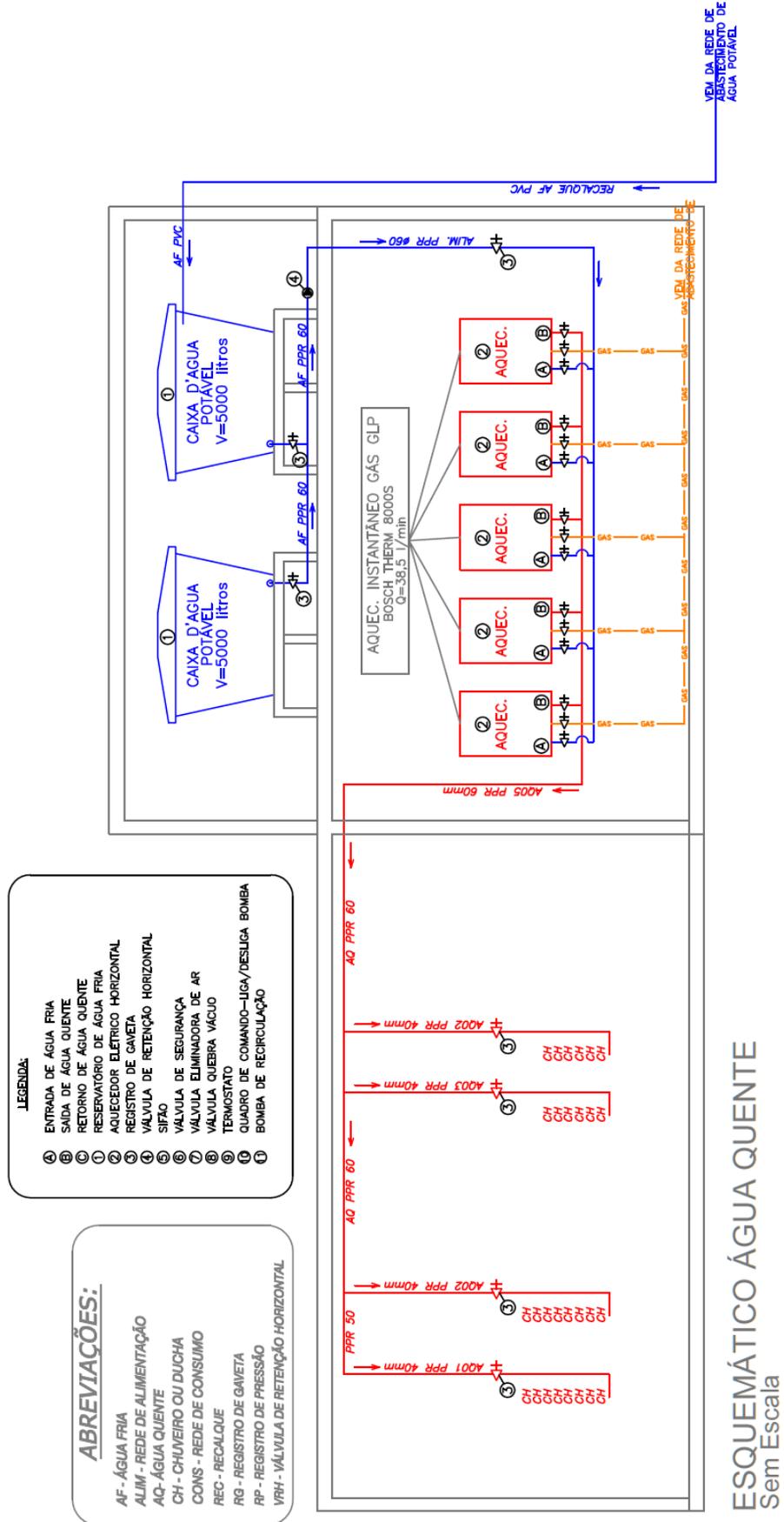
APÊNDICE A – Planta baixa dos vestiários



APÊNDICE B – Esquemático de água quente – Cenário 1



APÊNDICE C – Esquemático de água quente – Cenário 2



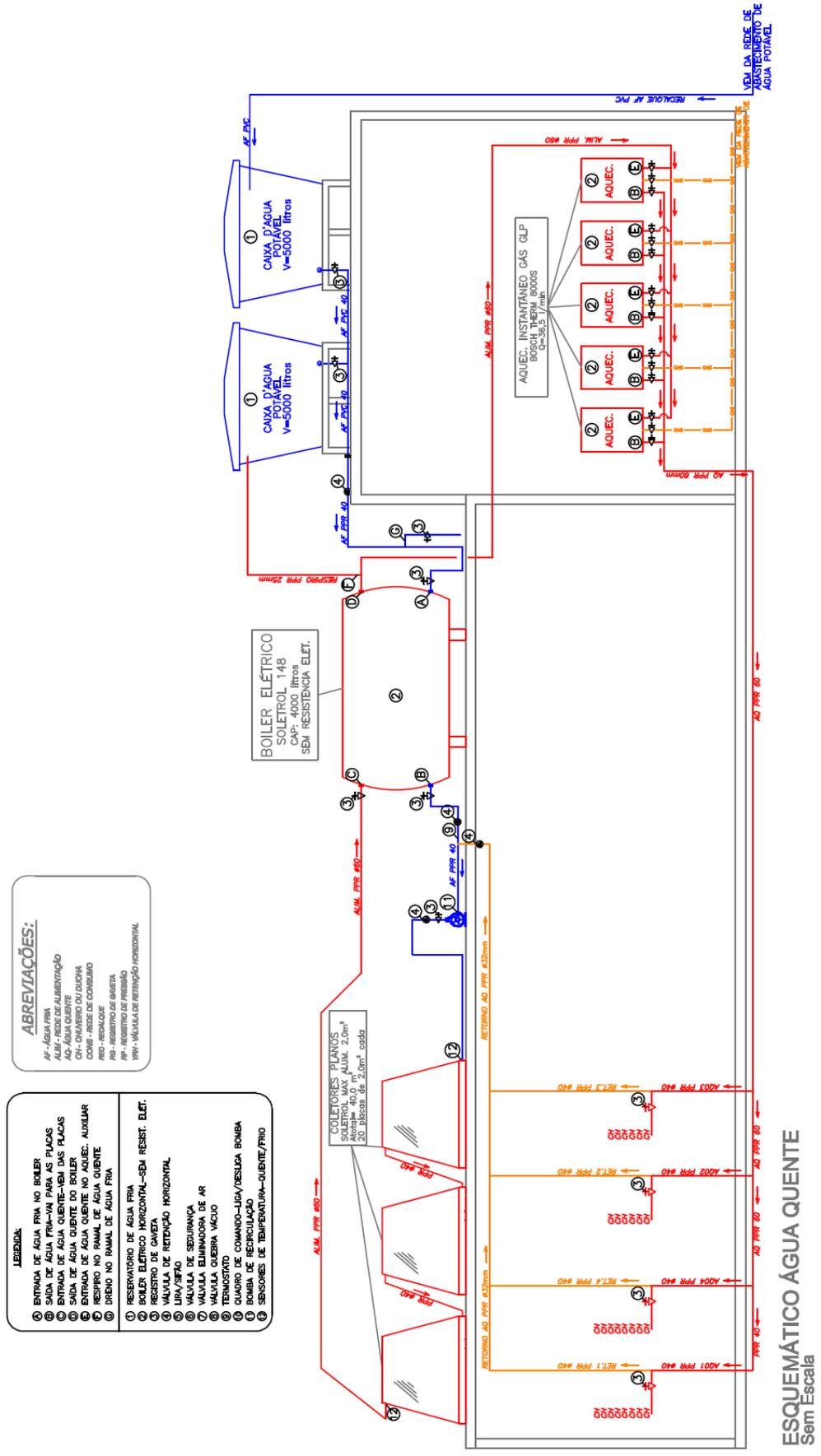
VEN DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

RECALQUE AF PVC

ALM. PPR 60

AF PPR 60

APÊNDICE E – Esquemático de água quente – Cenário 3b



ESQUEMÁTICO ÁGUA QUENTE
Sem Escala

APÊNDICE G – Esquemático de água quente – Cenário 4b.

