



Tiago Sinigaglia

**DIMENSIONAMENTO DE UM AQUECEDOR SOLAR DE
BAIXO CUSTO: RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO**

Horizontina

2014

Tiago Sinigaglia

**DIMENSIONAMENTO DE UM AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO
CUSTO: RESERVATÓRIO TÉRMICO ALTERNATIVO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Ademar Michels, Dr.

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Dimensionamento de um aquecedor solar de baixo custo: reservatório
térmico alternativo”**

Elaborada por:

Tiago Sinigaglia

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 25/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Ademar Michels
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Me. Jonas Rigodanzo
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Horizontalina
2014**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu pai Nadil, a minha mãe Margarete, minha irmã Patrícia, minha avó Izaltina e a minha namorada Monice, pessoas que apoiaram e me incentivaram na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTO

A Deus, por proporcionar a conclusão de mais uma etapa importante e por estar ao meu lado me ajudando a trilhar com sabedoria a estrada da vida.

Á minha família pelo incentivo e carinho.

Á minha namorada pelo apoio e incentivo nos momentos decisivos na realização deste trabalho.

Á meu orientador Ademar Michels pela orientação de muita sabedoria.

Um raciocínio lógico te leva de A a B. A imaginação te leva a qualquer lugar que você quiser (Albert Einstein).

RESUMO

O aproveitamento da radiação solar, na forma de energia térmica, pode ser utilizado no aquecimento da água, usando em diversas atividades. Um sistema de aquecimento solar é composto por coletores solares, reservatório térmico, circuito hidráulico e ainda pode ter uma fonte de energia auxiliar. Este trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema de aquecimento solar, com reservatório de baixo custo, para aquecer a água utilizada na higienização de ordenhadeiras de uma propriedade rural de Tuparendi, RS. Com a utilização da energia térmica solar pode-se diminuir o consumo de energia elétrica, contribuindo para a sustentabilidade do planeta e da atividade leiteira que possui uma margem de lucro pouco expressiva. A produção energética da instalação foi calculada pela metodologia “*F-Chart*”, que contempla cada mês do ano. Foi encontrada no mercado a placa coletora que produziu as melhores frações solares para a necessidade. Através dos cálculos foi determinada a espessura de isolamento do reservatório térmico, no qual foi proposta uma caixa de água de fibra de vidro revestida com EPS (poliestireno expandido), e comparado seu custo com o dos reservatórios disponíveis comercialmente. Concluiu-se que em alguns meses do ano a energia útil coletada foi menor que a demanda, necessitando de apoio térmico, usando gás liquefeito. Utilizando materiais alternativos pode-se diminuir consideravelmente o custo do reservatório térmico.

Palavras-chave: Energia solar. Produção energética. Reservatório térmico.

ABSTRACT

The good use of solar radiation, in the form of thermal energy, can be used for heating the water and thus using in different activities. A solar heating system is composed of solar collectors, thermal storage tank, hydraulic circuit and it can also have an auxiliary power source. This paper aims to indicate the dimensions of a solar heating system, with low cost storage to heat the water used in the cleaning of milking in a rural property in Tuparendi, RS. With the use of solar thermal energy it is possible to reduce electricity consumption, contributing to the sustainability of the planet and the dairy business which has a profit margin not so expressive. The energy production of the installation was calculated by the methodology "F-Chart", which contemplates each month of the year. It was found in the market the collector that had produced the best solar fractions for the need. Through the calculation was decided the thickness of the insulation of the thermal storage tank, which was used a fiberglass storage tank coated with EPS (expanded polystyrene) and so it was compared its cost to other storage commercially available. It was concluded that in some months of the year, the collected energy will be less than the necessary energy so it will be required the thermal support, using liquefied gas. Using alternative materials can greatly decrease the cost of the thermal storage.

Keywords: Solar Energy, Energy Production, Thermal Storage Tank.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aquecimento de água com coletores solares.....	9
Figura 2: Construção de um coletor solar plano.....	14
Figura 3: Reservatório térmico.....	15
Figura 4: Esquema de instalação de um sistema indireto passivo com fonte de energia auxiliar interna ao reservatório de armazenamento de água quente	18
Figura 5: Esquema de instalação de um sistema direto passivo com fonte de energia auxiliar interna ao reservatório de armazenamento de água quente	19
Figura 6: Esquema simplificado de um sistema ativo direto	20
Figura 7: Esquema simplificado de um sistema ativo indireto com trocador de calor localizado externamente ao reservatório térmico	20
Figura 8: Mapa da radiação solar global horizontal média anual diária para o Rio Grande do Sul.....	22
Figura 9: Sistema de aquecimento por termossifão	26
Figura 10: Dimensões do reservatório térmico.....	27
Figura 11: Pontos de entrada e saída de água no reservatório.....	28
Figura 12: Pescador com articulação para captar a água quente na camada superior do reservatório	29
Figura 13: Montagem do sistema de aquecimento solar	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Radiação solar média mensal	22
Tabela 2: Temperatura média do ar	23
Tabela 3: Custo aproximado do reservatório térmico alternativo.....	30
Tabela 4: Demanda energética mensal	30
Tabela 5: Energia incidente no coletor.....	31
Tabela 6: Energia absorvida pelo coletor.....	32
Tabela 7: Parâmetro adimensional D1	32
Tabela 8: Parâmetro adimensional D2.....	33
Tabela 9: Fração solar mensal.....	33
Tabela 10: Energia útil mensal coletada	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	JUSTIFICATIVA	7
1.2	OBJETIVOS	8
2	REVISÃO DA LITERATURA	9
2.1	AQUECIMENTO DE ÁGUA POR ENERGIA SOLAR	9
2.2	COMPONENTES DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	14
2.2.1	Coletores solares	14
2.2.2	Reservatórios térmicos	15
2.2.3	Fonte de energia auxiliar	17
2.2.4	Circuito hidráulico	17
2.3	CONFIGURAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	18
2.3.1	Sistema passivo indireto	18
2.3.2	Sistema passivo direto	19
2.3.3	Sistema ativo direto	19
2.3.4	Sistema ativo indireto	20
2.4	INSTALAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES TÉRMICOS	21
2.5	ÁGUA PARA HIGIENIZAÇÃO	23
3	METODOLOGIA	24
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	24
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	25
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
4.1	CONFIRURAÇÃO ADOTADA PARA O SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	26
4.2	RESERVATÓRIO TÉRMICO	27
4.3	PRODUÇÃO ENERGÉTICA DA PLACA COLETORA	30
4.4	MONTAGEM E ORIENTAÇÃO DA PLACA COLETORA	34
5	CONCLUSÕES	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
	ANEXO A - TABELA DE EFICIÊNCIA DO COLETOR SOLAR	39

1. INTRODUÇÃO

Com o intuito de usar fontes alternativas de energia, a utilização da energia proveniente do sol traz algumas vantagens, como não ser poluente, ser perene e gratuita, e além do mais é responsável por tornar possível a vida no planeta.

O sol tem grande importância em nosso planeta, sabendo-se que o Brasil é um país privilegiado no seu potencial energético solar. A radiação solar pode ser aproveitada através da energia térmica ou fotovoltaica.

O aproveitamento da radiação solar em forma de energia térmica tem uma maior eficiência em comparação com o aproveitamento fotovoltaico. Dentro desse aspecto é possível aquecer água para tarefas domiciliares ou industriais.

A água quente é usada para diversas atividades em nossas residências, como para o banho, lavar a louça entre outras atividades, principalmente no inverno. Em pequenas propriedades rurais que trabalham com a produção de leite, a água quente é utilizada também para higienizar a ordenhadeira e os equipamentos usados na coleta do leite, sendo que a água tem que atingir uma temperatura adequada para a limpeza.

As soluções de limpeza utilizadas na desinfecção devem ser mantidas a uma temperatura superior a 38°C, em temperaturas inferiores a esta ocorre maior deposição de gorduras.

1.1 JUSTIFICATIVA

A radiação solar é renovável e abundante em nosso país, utilizando a energia térmica solar pode-se diminuir o consumo de energia elétrica e contribuir para a sustentabilidade do planeta e da atividade leiteira.

Com o uso de materiais alternativos e baratos, mesmo que não se tenha uma alta eficiência, pode-se tornar mais popular esta tecnologia e ajudar a disseminar a cultura pelo uso de fontes de energias renováveis, e explorar mais o uso da energia solar, que é abundante em nosso país.

O reservatório térmico é responsável por deixar o sistema de aquecimento solar significativamente mais caro, com a utilização de um reservatório alternativo o sistema pode se tornar significativamente mais barato.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo em questão é dimensionar um aquecedor solar de água de baixo custo para um reservatório isolado termicamente, que irá armazenar 100 litros de água, fornecendo uma temperatura de 60°C, utilizados para higienização de equipamentos de ordenha leiteira.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Revisar a bibliografia para o entendimento dos conceitos;
- Propor um reservatório térmico com baixo custo e com materiais alternativos;
- Elaborar um memorial de cálculo para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar;
- Definir a metodologia para o desenvolvimento do aquecedor solar.

2 REVISÃO DA LITERATURA

É importante o conhecimento de algumas teorias e princípios que servirão de base para o desenvolvimento do trabalho. Dentre os principais conceitos que vão auxiliar no dimensionamento estão: aquecimento de água por energia solar, componentes dos sistemas de aquecimento de água, configuração dos sistemas de aquecimento de água, instalação e localização dos painéis solares térmicos e água para higienização.

2.1 AQUECIMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA SOLAR

Para fazer o aproveitamento da energia térmica solar é feito a captação da radiação sob a forma de calor, como para o aquecimento de fluidos de uso doméstico ou industrial, ou ainda na transformação do calor em alguma outra forma de energia.

Com o intuito de aquecer o fluido através da energia solar são utilizados coletores planos para converter a radiação em energia térmica. O funcionamento é dividido em três fases: captação, transferência e acumulação da energia solar (FARRET, 2010).

Figura 1: Aquecimento de água com coletores solares



Fonte: Soletrol, 2014

A área dos coletores é definida em função da energia solar necessária para fazer o aquecimento de um volume de armazenamento, atendendo assim a necessidade.

O cálculo da demanda energética considera os valores de radiação solar de todos os meses do ano, utilizando a Equação 1 (COMGAS e ABRINSTAL, 2011):

$$DEmês = Qdia \times N \times (Tacs - Taf) \times 1,16 \times 10^{-3} \quad (1)$$

Onde:

DEmês: demanda energética (Kwh/mês);

Qdia: Consumo diário de água quente (litros/dia);

N: Número de dias do mês considerado;

Tacs: temperatura utilizada para a quantificação do consumo de água quente (°C);

Taf: temperatura da água fria da rede (°C).

Para o dimensionamento da produção energética da instalação Comgas e Abrinstal (2011) sugerem a metodologia *F-chart*, conforme está descrito na Equação 2. *F-chart* é um método capaz de calcular a contribuição da energia solar na demanda energética, com dados meteorológicos mensais para um determinado local.

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,215D_1^2 \quad (2)$$

Onde:

f: fração energética mensal;

D1: parâmetro adimensional;

D2: parâmetro adimensional.

Alguns passos são necessários para chegar até o cálculo da produção energética (*f*), um deles é definir a radiação solar mensal incidente (*ELmês*) sobre a superfície dos coletores (Equação 3).

$$ELmês = Hdia \times N \quad (3)$$

Onde:

Hdia: radiação solar incidente no coletor kWh/(m²xdia);

N: número de dias do mês;

ELmês: radiação solar mensal incidente (kWh/m²).

A radiação solar incidente é obtida através de mapas solamétricos, sendo que os valores variam de região para região.

O parâmetro D_1 expressa a energia absorvida pelo coletor ($EAmês$) e a demanda energética mensal ($DEmês$), calculado com a Equação 6.

$$D_1 = \frac{EAmês}{DEmês} \quad (4)$$

Pela qual a energia absorvida pelo coletor $EAmês$ é dada pela Equação 5.

$$EAmês = Sc \times F'R(\tau\alpha) \times ELMês \quad (5)$$

Onde:

Sc : superfície do coletor (m²);

$F'R(\tau\alpha)$: fator adimensional fornecido pelo fabricante.

$$F'R(\tau\alpha) = FR(\tau\alpha)n \times \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)n} \times \frac{F'R}{FR} \quad (6)$$

Onde:

$F'R(\tau\alpha)$: Fator de eficiência óptica do coletor, disponível na tabela de eficiência do coletor do INMETRO (Anexo A);

$\left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)n}\right]$: modificador do ângulo de incidência, na ausência dessa informação pode se usar 0,96;

$\frac{F'R}{FR}$: fator de correção do conjunto coletor-trocador, na ausência pode se usar 0,95.

E para o parâmetro D_2 que expressa a relação entre $EPmês$ e $DEmês$ é utilizada a seguinte Equação 7:

$$D_2 = \frac{EPmês}{DEmês} \quad (7)$$

Sendo,

$$EPmês = Sc \times F'RUL \times (100 - Tamb) \times \Delta t \times K_1 \times K_2 \quad (8)$$

Na qual,

$EP_{mês}$: energia solar mensal não aproveitada pelo coletor (kwh/mês);

S_c : área do coletor (m²);

T_{amb} : temperatura média mensal do ambiente (°C);

Δt = período de tempo (h);

$F'RUL$: fator calculado pela Equação 9.

$$F'RUL = FRUL \times \frac{F'R}{FR} \times 10^{-3} \quad (9)$$

Onde,

$F'RUL$: coeficiente global de perdas do coletor (w/m² x k);

$\frac{F'R}{FR}$: fator de correção coletor-trocador, recomendado utilizar 0,95.

K_1 : fator de correção para o armazenamento, dado pela Equação 10.

$$K_1 = \left[\frac{v}{75 \times S_c} \right]^{-0,25} \quad (10)$$

Onde v é o volume de acumulação solar (litros).

O fator de correção para o sistema de aquecimento solar (K_2) é dado pela Equação 11.

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 \times T_{ac} + 3,86 \times T_{af} - 2,32 \times T_{amb})}{(100 - T_{amb})} \quad (11)$$

Sendo T_{ac} a temperatura mínima admissível da água quente (°C).

Com essas informações já é possível calcular f com a Equação 2. Para calcular a fração solar anual F é necessário encontrar a energia absorvida pelo sistema de aquecimento (kWh/mês), com a Equação 12:

$$EU_{mês} = f \times DE_{mês} \quad (12)$$

Com isso a fração solar anual F que a superfície dos coletores (S_c) proporciona e calculada com a Equação 13.

$$F = \frac{\sum_{12}^1 EUmês}{\sum_{12}^1 DEmês} \quad (13)$$

2.2 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

2.2.1 Coletores solares

Para captar a energia térmica solar são necessários os coletores solares, que ficam expostos à radiação proveniente do sol. A sua finalidade é transformar a radiação solar em energia térmica mediante o aumento da temperatura do fluido que circula pelo seu interior (BENITO, 2011).

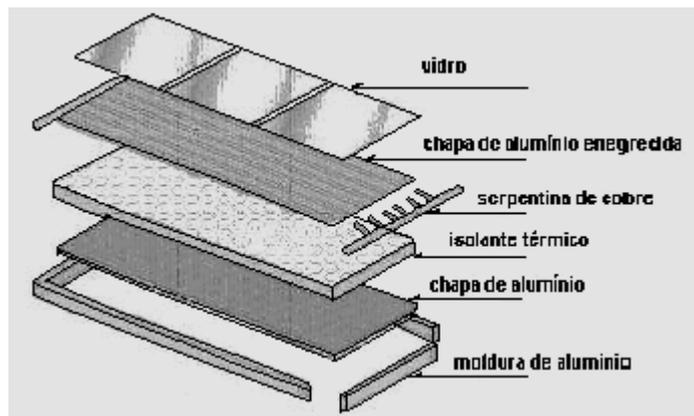
No interior das placas solares vai acontecer a circulação de um fluido ao qual vai sofrer aumento da temperatura causada pela radiação solar incidente sobre a placa.

Existem painéis planos com cobertura, outros de tubos de vácuo e ainda planos sem cobertura.

O coletor plano com cobertura, conforme Benito (2011), é baseado no princípio do corpo negro que, como é sabido, absorve energia solar incidente.

Em uma caixa metálica ficam seus elementos, dentre os quais estão isolante térmico, serpentina (onde vai circular o líquido), chapa de alumínio negra e vidro, conforme está ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Construção de um coletor solar plano



Fonte: Quinteros apud Sprenger, 2007.

A cobertura de vidro tem a função de limitar as perdas de calor, induzir para que aconteça o efeito estufa no interior e também é responsável por proteger os outros componentes internos dos agentes atmosféricos. Logo abaixo da cobertura de vidro se encontra uma chapa de alumínio de cor negra que vai ter a função de

absorver a energia térmica e transferir para a serpentina onde vai circular o fluido. A placa é pintada de preto para aumentar a sua capacidade de absorção e geralmente é coberta por uma ou duas placas de plástico ou vidro transparente (HINRICHS, 2008).

Segundo Benito (2011), a parte inferior do painel e as suas laterais são envolvidas por lã mineral, fibra de vidro ou poliuretano para limitar ao máximo as perdas térmicas por condução.

2.2.2 Reservatórios térmicos

Como a água demora certo tempo para aquecer e é utilizada em horários específicos do dia é necessário armazenar a mesma em um local para manter a temperatura, com isso o sistema torna-se menos eficiente, pois há desperdícios de energia. Uma limitação do uso de energia solar para o aquecimento de água para o banho é a defasagem entre a disponibilidade da energia e a hora de consumo (LAFAY, 2005).

Figura 3: Reservatório térmico



Fonte: Soletrol, 2014.

Para Benito (2011), é possível manter a água quente mediante as propriedades da sua massa e da capacidade calorífica da água, que é muito alta: 4,186kJ/kg° C, o que representa uma capacidade volumétrica de 4,186 kJ/°C m³.

A capacidade calorífica da água contida no reservatório térmico pode ser calculada a partir da Equação 14, conforme Resnick et al (1996).

$$Q = m \times c \times (\Delta T) \quad (14)$$

Em que:

m: massa (kg);

c : calor específico (J/kg°C);

Q : Quantidade de calor (J).

A taxa de troca de calor é calculada com a Equação 15, assim sugerido por Schmidt et al(2004), sendo sua unidade joule por segundo ou watt. Em que dQ é a quantidade de calor e dT é o intervalo de tempo.

$$\dot{q} = \frac{dQ}{dT} \quad (15)$$

Após conhecida a taxa de troca de calor vai ser possível dimensionar a espessura de isolamento do reservatório térmico. A lei de Fourier estabelece que o fluxo de calor é diretamente proporcional ao valor da componente do gradiente de temperatura na direção daquele fluxo (SCHIMIDT et al, 2004). A lei de Fourier segundo Schmidt et al (2004) é calculada com a Equação 16.

$$q = -K \times A \times \frac{\Delta T}{dx} \quad (16)$$

Sendo que:

q = taxa de transmissão de calor (W);

K : condutividade térmica do material (W/m.°C);

A : área (m²);

ΔT : variação de temperatura (°C);

dx : Espessura do isolamento na direção em que o calor é transmitido (m).

Com o intuito de fazer o armazenamento da água existem os reservatórios isolados termicamente que podem ser de dois tipos: os fechados (pressurizados) e os abertos (não pressurizados).

Os reservatórios fechados trabalham sob pressão acima da atmosférica, geralmente pressurizados por uma caixa de água mais elevada, que proporciona a alimentação do sistema. Já os reservatórios abertos trabalham nivelados com outra caixa d' água ou, por um sistema de bóia, recebem alimentação de outra caixa em nível superior ou diretamente da rua. Os reservatórios abertos trabalham sempre em pressão atmosférica independente da forma de alimentação (LAFAY, 2005).

Em geral os reservatórios térmicos são compostos basicamente por três elementos constituintes principais: carcaça ou revestimento, isolamento e cilindro. Para fazer o isolamento é utilizado lã de rocha, fibra de vidro ou espuma de

poliuretano. O perfeito isolamento deve garantir a conservação da água por períodos muito longos (FARRET, 2010).

2.2.3 Fonte de energia auxiliar

Nem sempre a energia térmica fornecida pelo sol vai ser adequada para se atingir à temperatura que se quer chegar, então para resolver esse problema usa-se uma fonte de energia auxiliar.

A instalação pode incorporar um sistema de apoio energético que entra em funcionamento quando o recurso solar não consegue satisfazer as necessidades de água quente sanitária por circunstâncias tais como uma quantidade de consumo não prevista e/ou condições climáticas adversas (BENITO, 2011).

Conforme Benito (2011), recomenda-se a ligação do sistema de apoio em série entre a saída da água quente do acumulador e os pontos de consumo, otimizando o rendimento.

2.2.4 Circuito hidráulico

O ligamento entre todos os acessórios do sistema de aquecimento solar é feito pelo circuito hidráulico.

O circuito hidráulico corresponde ao conjunto de acessórios das instalações solares encarregues de interligarem entre si os painéis existentes e entre estes e o permutador de calor, o acumulador e o sistema de apoio (se incorporado) (BENITO, 2011).

O circuito hidráulico é constituído por tubagens, bombas de circulação, vaso de expansão, sistema de enchimento, purga e esvaziamento dos painéis e válvulas.

As tubulações podem ser de diversos materiais, dependendo das condições de temperatura, pressão, resistência à corrosão. Por exemplo, no circuito primário, sem consumo humano, podem ser utilizadas tubagens de ferro negro, mas nos circuitos de consumo é necessário recorrer ao cobre, aço inoxidável, ou plástico homologado para tal utilização (BENITO, 2011).

Comercialmente é encontrado tubos de CPVC (policloreto de vinila clorado), que dispensam isolamento térmico.

O uso do isolamento térmico no CPVC é geralmente recomendado nos casos em que as distâncias entre o aquecedor e o ponto de consumo estiverem acima de 20 metros “especialmente” ao ar livre ou aparente e em situações que a perda possa ser mais significativa (ex.: passagem por câmaras de resfriamento), porém sempre a critério do projetista responsável (TIGRE, 2014).

Os tubos de CPVC são recomendados para operar na temperatura de serviço de até 80°C conduzindo água sob pressão de 60 m.c.a. e suportando temperaturas ocasionais de 95°C (TIGRE, 2014).

2.3 CONFIGURAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

O aquecimento solar tanto de residências quanto para a obtenção de água quente pode ser realizado de duas formas diferentes: ativamente ou passivamente (HINRICHS, 2008).

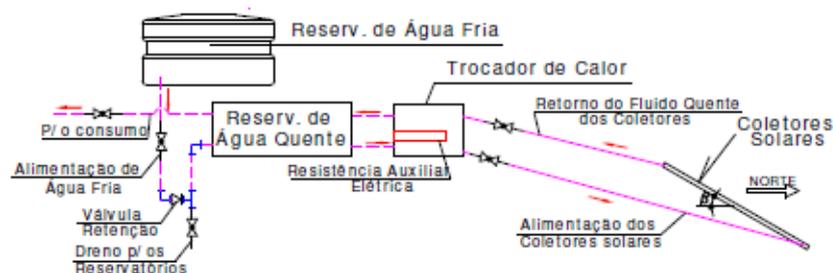
Um sistema solar ativo é aquele no qual o fluido (água ou ar) que o Sol aqueceu é circulado por um ventilador ou por uma bomba (HENRICHS, 2008). Ainda conforme Henrichs (2008), um sistema solar passivo não utiliza uma fonte externa de energia, mas permite que o fluido aquecido pelo sol circule por meios naturais.

2.3.1 Sistema passivo indireto

A principal razão para o uso de sistemas indiretos é a proteção ao congelamento” (HUDSON E MARKELL apud LAFAY, 2005). Trata-se de um sistema fechado com um trocador de calor conectado com o coletor solar, como apresentado na Figura 4.

Os fluidos refrigerantes mais utilizados são os etilenos-glicol e o propileno-glicol (SALES 2008).

Figura 4:: Esquema de instalação de um sistema indireto passivo com fonte de energia auxiliar interna ao reservatório de armazenamento de água quente



Fonte: Lima, 2003.

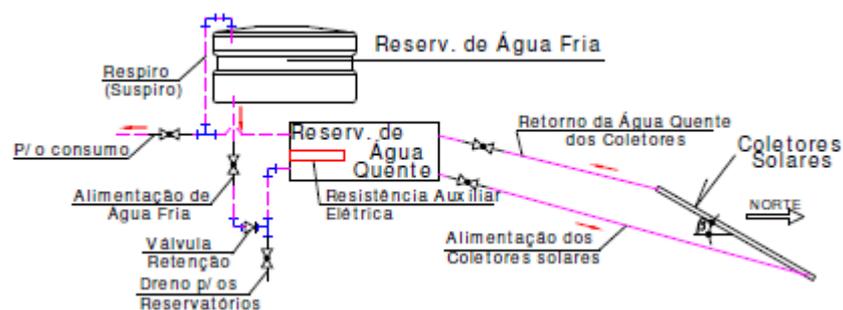
2.3.2 Sistema passivo direto

O sistema passivo direto é o mais utilizado no Brasil devido sua simplicidade. O sistema pode apresentar variação quanto à posição da fonte de energia auxiliar (LAFAY, 2005).

São também chamados de sistemas com circulação natural ou ainda por termossifão. Neste sistema não se utiliza bomba para circular o fluido de trabalho (SALES, 2008). Quando o sol aquece o fluido no coletor acontece uma diferença de pressão gerada pelos gradientes de temperatura e assim ocorre a circulação convectiva do fluido. É um princípio físico que ocorre como consequência da alteração da densidade do fluido com um gradiente de temperatura entre os extremos do circuito hidráulico (BENITO, 2011).

No entanto esse sistema possui uma particularidade, que é a necessidade de o reservatório de água fria estar sempre acima do reservatório de água quente, conforme está esquematizado na Figura 5. Essa configuração é importante para que não haja a recirculação noturna, isto é, para que o fluido escoe em sentido contrário ao desejado (SALES, 2008).

Figura 5: Esquema de instalação de um sistema direto passivo com fonte de energia auxiliar interna ao reservatório de armazenamento de água quente



Fonte: Lima, 2003.

2.3.3 Sistema ativo direto

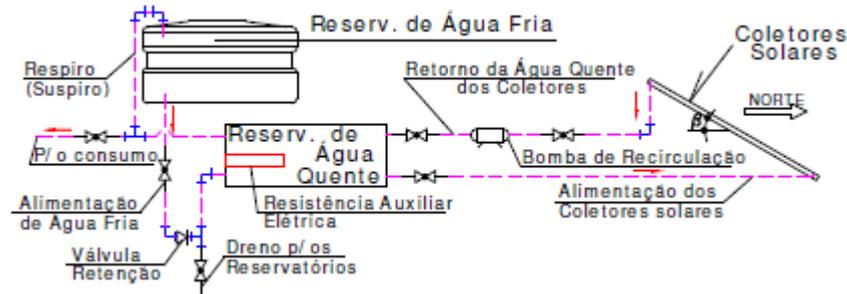
Esse sistema permite a montagem em qualquer tipo de edificação, devido à motobomba presente no sistema.

No sistema ativo a circulação da água é realizada utilizando-se uma motobomba, por isso a localização do reservatório pode assumir qualquer posição em relação aos coletores solares. O acionamento da bomba é

realizado por um controle termostático diferencial entre a entrada e saída dos coletores solares (LAFAY, 2005).

No entanto essa configuração por conter dispositivos a mais em seu sistema, como a motobomba, sensores e controladores de temperatura, é mais cara (Figura 6).

Figura 6: Esquema simplificado de um sistema ativo direto



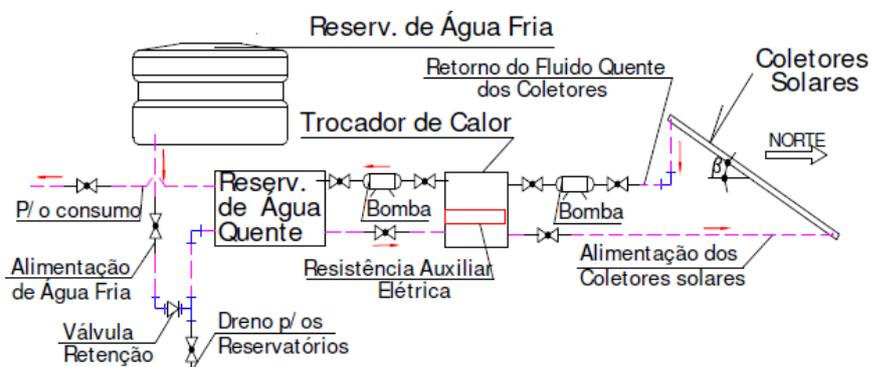
Fonte: Lima, 2003.

2.3.4 Sistema ativo indireto

O sistema ativo indireto pode utilizar uma ou duas bombas, dependendo do trocador de calor empregado (LIMA, 2003).

Quando o trocador de calor é interno ao reservatório térmico, é necessária apenas uma bomba de recalque (LIMA, 2003). Caso o trocador for externo ao reservatório é necessário à utilização de duas bombas para fazer a circulação do fluido, contudo provoca maior perda de calor.

Figura 7: Esquema simplificado de um sistema ativo indireto com trocador de calor localizado externamente ao reservatório térmico



Fonte: Lima, 2003.

2.4 INSTALAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES TÉRMICOS

Para desempenhar a função pela qual o sistema vai ser dimensionado é necessário localizar os painéis solares térmicos com uma orientação que propicie a maior insolação sobre os painéis, sendo a inclinação adequada e a orientação segundo o eixo de azimute. O primeiro exige seu posicionamento direcionado a sul no hemisfério norte e a norte no hemisfério sul, para o máximo aproveitamento das horas de exposição solar durante o arco diário do sol (BENITO, 2011).

O valor médio anual da inclinação do painel deve corresponder ao valor da latitude do lugar, menos 5° (BENITO, 2011). Contudo se leva em conta a sazonalidade, conseqüentemente a declinação da Terra, assim é importante fazer uma correção para fazer a otimização energética:

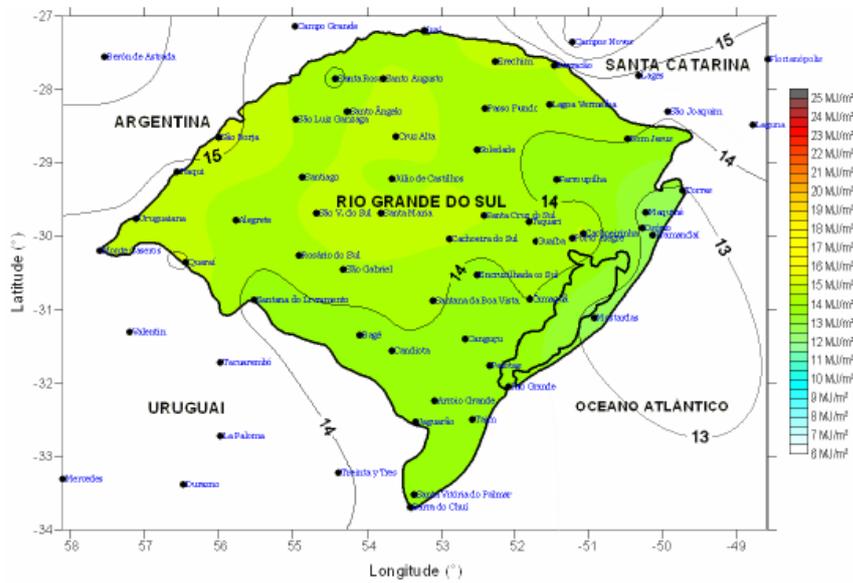
- Todo o ano: latitude do local -5°
- Inverno: latitude do local +15°
- Verão: latitude do local -15°

Assim, para utilizar o fator de correção é importante saber se a utilização vai ser permanente ou sazonal, se for permanente é a latitude do lugar menos 5° e caso for sazonal é a latitude do local +15° para o inverno e no verão é a latitude do local -15°.

A insolação recebida em um determinado local da superfície terrestre pode variar entre 0 a 1.050 W/m², dependendo da latitude, da estação, do horário do dia e do grau de nuvens presentes (HINRICHS, 2008).

O fator local influencia a radiação solar incidente, de local para local há variações e a sazonalidade também causa influência. A radiação solar é a energia eletromagnética que se produz no Sol e que, depois de atravessar a atmosfera (onde se atenua consideravelmente) incide sobre a superfície terrestre (BENITO, 2011). A Figura 8 apresenta um mapa da radiação solar com dados médios anuais para o estado do Rio Grande do Sul, no qual vai ser útil para dimensionar a utilização permanente.

Figura 8: Mapa da radiação solar global horizontal média anual diária para o Rio Grande do Sul



Fonte: Martinazzo, 2004.

A Tabela 1 apresenta a radiação solar mensal incidente no noroeste do estado do RS.

Tabela 1: Radiação solar média mensal

Mês	Radiação (MJ m ² dia)	KWh/m ² dia
Janeiro	23	6,39
Fevereiro	23	6,39
Março	18	5
Abril	17	4,72
Mai	12	3,33
Junho	9	2,5
Julho	11	3,06
Agosto	13	3,61
Setembro	14	3,89
Outubro	23	6,39
Novembro	24	6,67
Dezembro	25	6,94

Fonte: CemetRS (2014)

A temperatura média do ar ao longo dos meses do ano é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Temperatura média do ar

Mês	Temperatura (°C)
Janeiro	26
Fevereiro	25
Março	24
Abril	24
Maio	17
Junho	15
Julho	15
Agosto	12
Setembro	18
Outubro	24
Novembro	23
Dezembro	25

Fonte: CemetRS (2014)

2.5 ÁGUA PARA HIGIENIZAÇÃO

A limpeza dos equipamentos de ordenha é fundamental para a qualidade do leite, sendo realizada em três etapas conforme Santos (2014):

- A) Enxague inicial- O enxágue com água morna (38 - 55°C) tem como objetivo remover os resíduos de leite grosseiros e que são facilmente solúveis em água.
- B) Limpeza com detergente alcalino clorado; A faixa de temperatura ideal é de 43 a 77°C, sendo que a eficácia do detergente aumenta com o aumento da temperatura da água e diminui com o aumento da dureza.
- C) Limpeza com detergente ácido. A água pode ser fria ou levemente aquecida (35 - 43°C).

3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O presente trabalho foi executado com base na necessidade energética de uma propriedade rural de Tuparendi, Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, latitude 27° 45' 23" S, longitude de 54° 28' 54" W, com altitude de 328 m. Para efetuar a limpeza dos equipamentos usados na ordenha utiliza-se água quente para a higienização.

Primeiramente buscando fundamentar teoricamente o trabalho, foi feita uma pesquisa bibliográfica, na qual foram pesquisados conceitos básicos e ainda para ser levantada a temperatura ideal que a água teria que atingir para suprir a necessidade, a média da radiação global no local, temperatura do ar ambiente e latitude. O memorial de cálculo foi com base no método “F-Chart” sugerido por COMGAS e ABRINSTAL (2011).

O volume do reservatório térmico baseou-se na necessidade de água quente que seria armazenada, e no caso foram 50 litros em cada uma das higienizações (100 litros/dia). Como o reservatório é responsável por encarecer significativamente o sistema de aquecimento, foram coletadas informações buscando encontrar um material que ao mesmo tempo seja um bom isolante térmico e tenha um baixo custo, para assim isolar a caixa de água, encontrada comercialmente. Procurando reduzir o custo utilizou-se um reservatório único tanto servindo para água fria tanto para a água quente e usando tubulações de plástico.

O coletor solar utilizado foi um modelo comercial disponível para a compra, sendo que a variável adimensional $FR(\tau\alpha)$ e $FrUL$ foi encontrada na tabela de eficiência energética do coletor, encontrado no site do INMETRO (2014). O memorial de cálculo foi montado em uma planilha eletrônica, e assim plotando os valores encontrados na tabela de eficiência energética do coletor, foi encontrado o coletor que produz frações energéticas mais aceitáveis para a necessidade. Se a fração solar obtida não for satisfatória para a necessidade, os cálculos vão ser repetidos até encontrar uma área de coletor que satisfaça a necessidade.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Foi necessária a utilização de alguns equipamentos para a realização do presente trabalho:

- a) Notebook e internet;
- b) Livros específicos sobre energia térmica solar;
- c) Artigos, teses e dissertações sobre energia térmica solar.

Para o desenvolvimento do protótipo é proposto à utilização dos seguintes materiais:

- a) Caixa de água de 100 litros;
- b) Chapas de EPS;
- c) Torneira boia;
- d) Tampões;
- e) Joelhos 90° rosqueáveis;
- f) Adaptador soldável curto bolsa/rosca;
- g) Cano PVC diâmetro 42 mm (35 cm);
- h) Tubulação de CPVC, 22 mm de diâmetro (17,8 metros);
- i) 3 curvas de 45°
- j) 2 joelhos;
- k) Material isolante;
- l) Coletor solar Heliotek HP6 da Bosch Termotecnologia.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

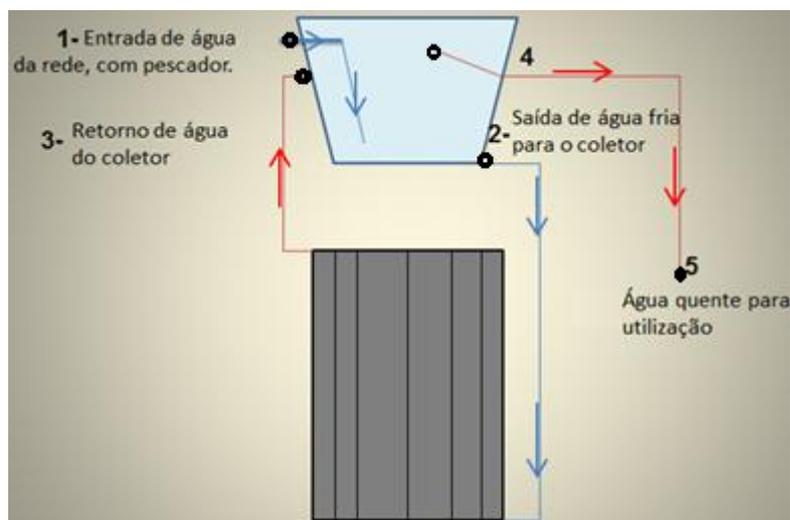
Neste item é apresentado a placa solar disponível comercialmente que foi utilizada para o cálculo da fração solar, para cada mês do ano, bem como a configuração utilizada para o sistema de aquecimento, apresentação e dimensionamento do reservatório térmico e definição do circuito hidráulico.

4.1 CONFIGURAÇÃO ADOTADA PARA O SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O sistema de aquecimento solar é passivo direto, ou seja, por circulação natural, devido a sua simplicidade e pelo fato de tornar o sistema mais barato.

A Figura 9 mostra um esquema de funcionamento do sistema de aquecimento. A água fria da rede vai entrar pelo ponto 1, que tem uma boia e uma boia pescador que vai direcionar a água fria até a parte inferior do reservatório. Na parte inferior do reservatório (ponto 2) é a saída da água fria até a parte inferior do coletor solar, o líquido vai se aquecer diminuindo a densidade, e assim por convecção vai escoar até o ponto 3 do reservatório. No ponto 4 tem um pescador para captar a água da “camada” superior do reservatório, seguindo até o ponto 5 que vai ocorrer a utilização.

Figura 9: Sistema de aquecimento por termossifão



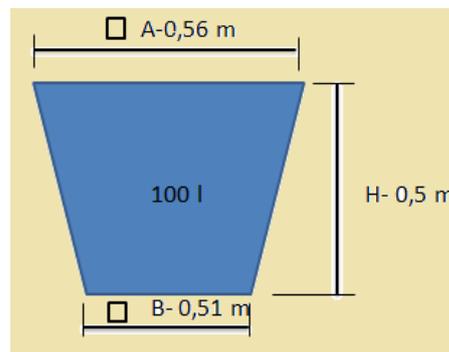
4.2 RESERVATÓRIO TÉRMICO

O reservatório térmico foi definido com um volume de 100 litros, pois assim vai suprir a necessidade que é de 50 litros para cada uma das higienizações. A higienização leva poucos minutos para ser realizada então quando chegar o momento de sua utilização a água já vai estar aquecida e disponível no reservatório.

Como um dos propósitos do presente trabalho é utilizar materiais alternativos para reduzir o custo do sistema, o reservatório térmico vai consistir em uma caixa da água de fibra de vidro (100 litros), isolado termicamente com placas de EPS. Foi escolhida uma caixa de água, pois se trata de um reservatório barato e encontrado facilmente no mercado.

A caixa de água de 100 litros, trapezoidal e de fibra de vidro é encontrada comercialmente, conforme o desenho esquematizado, Figura 10.

Figura 10: Dimensões do reservatório térmico



O fundo da caixa de água possui área de 0,2601 m², as laterais possuem área de 1,07m², enquanto a tampa tem 0,3136m². Com a área total da caixa ficando em 1,643m², o passo subsequente foi calcular a quantidade de calor com a Equação 14, pois é necessária para a determinação do fluxo de calor.

$$Q = 100 \text{ kg} \times (4,18 \times 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) \times (60^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C})$$

$$Q = 20064000 \text{ J}$$

Para calcular o fluxo de calor foi usada a Equação.15, sabendo que são 14 horas, pois da última higienização do dia até a primeira do dia seguinte perfazem aproximadamente 14 horas.

$$\dot{q} = 20064000 \text{ J} / 3600 \times 14$$

$$\dot{q}=398W$$

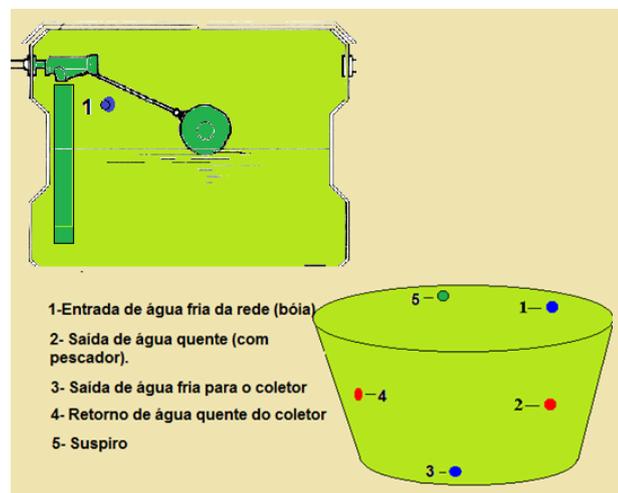
Com a Equação 16 foi obtido a espessura de isolamento dx , resultando em 7,33 mm, mas como comercialmente é encontrado placas de EPS de 10 mm, então o isolamento ficará com essa espessura. A condutibilidade térmica do EPS é 0,037W/m⁰C, conforme EME Comercial (2014). A temperatura de 12°C é a menor média mensal, encontrada na Tabela 2.

$$398W = - 0,037W/m^0C \times 1,643m^2 (60^0C-12^0C)/dx$$

$$dx=0,00733m \text{ ou } 7,33mm$$

Os pontos de entrada e saída de água (quente e fria) do reservatório térmico estão descritos na Figura 11. O ponto 1 é a entrada de água fria da rede, tendo uma bóia para controlar a entrada de água e fazer com que o reservatório fique sempre no nível correto e um tubo que vai conduzir a água fria até o fundo do reservatório, agindo como um redutor de mistura das camadas de água. No ponto 2, que vai ocorrer a saída de água quente para utilização, tem um pescador para captar a água na camada superior do reservatório.

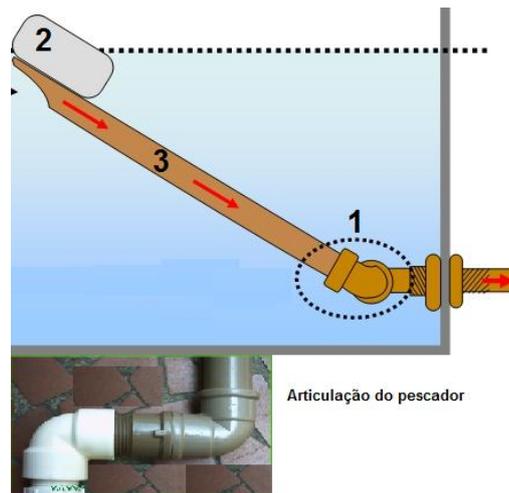
Figura 11: Pontos de entrada e saída de água no reservatório



A boia pescador utilizada para captar a água na camada superior do reservatório é composto por um tubo menor com 200 mm de comprimento (ponto 2 da Figura 12) fechado por tampões em ambas às pontas e assim servindo como uma boia. A boia é colada em cima de um tubo de 450 mm (ponto 3) , sendo uma das pontas cortada em 45°, e a outra ponta, vai ser articulada por meio de dois Joelhos de 90° rosqueáveis, com o adaptador soldável curto com bolsa/rosca para

registro, conforme a Figura 12. A articulação é bem livre (ponto 1), assim propiciando a movimentação conforme o nível de água do reservatório, com o intuito de coletar a água quente contida na parte superior.

Figura 12: Boia pescador com articulação para captar a água quente na camada superior do reservatório



Na última higienização do dia, no final da tarde, após ser utilizado 50 litros da água armazenada, para evitar que entre água fria da rede e se misture com a água quente, é utilizado um registro, evitando assim o fluxo de água fria. Na parte da manhã do dia seguinte após a primeira higienização do dia então o registro é aberto para que o reservatório se encha de água fria da rede.

Como um dos objetivos do presente trabalho é que o reservatório seja de baixo custo e com materiais alternativos, logo o reservatório deve ser mais barato que os modelos encontrados comercialmente. Pesquisando orçamentos de reservatórios de 100 litros, de aço inox e com auxílio elétrico, encontrado comercialmente se chegou a um valor médio de R\$ 1000,00.

Somando o custo aproximado dos materiais usados para o reservatório térmico alternativo, percebeu-se que é mais barato (Tabela 3).

Tabela 3: Custo aproximado do reservatório térmico alternativo

Materiais	Quantidade	Custo aproximado
Caixa de água de 100 litros	1	R\$ 100,00
Chapas de EPS	2 m ²	R\$ 50,00
Torneira boia	1	R\$ 5,00
Tampões	2	R\$ 5,00
Joelhos 90° rosqueáveis	2	R\$ 14,00
Adaptador soldável curto bolsa/rosca	1	R\$ 5,00
Cano PVC diâmetro 42 mm	35 cm	R\$ 5,00
Total		R\$ 184,00

4.3 PRODUÇÃO ENERGÉTICA DA PLACA COLETORA

O coletor solar escolhido foi o Heliotek HP6 da Bosch Termotecnologia com 3,13 m² de área, faixa A na classificação do INMETRO, com 76,7% de eficiência. As propriedades do coletor são $Fr(\alpha)\tau_n$ com 0,86 e $FrUl$ apresentando 18,55. Esse coletor foi escolhido, pois apresentou frações solares mensais que satisfazem a demanda energética de boa parte do ano, necessitando de apoio energético em apenas alguns meses, conforme mostrado no transcorrer dos cálculos apresentados abaixo.

Primeiro é necessário conhecer a demanda energética mensal ($DE_{mês}$) calculada através da Equação 1 contabilizando todos os meses do ano (Tabela 4).

Tabela 4: Demanda energética mensal

Mês	N (dias/mês)	T_{af} (°C)	DE mês (kWh/mês)
Janeiro	31	26	122,264
Fevereiro	28	25	113,68
Março	31	24	129,456
Abril	30	24	125,28
Maio	31	17	154,628
Junho	30	15	156,6
Julho	31	15	161,82
Agosto	31	12	172,608
Setembro	30	18	146,16
Outubro	31	24	129,456
Novembro	30	23	128,76
Dezembro	31	25	125,86

Depois de calculada a demanda energética mensal, o próximo passo foi calcular a energia incidente no coletor, $Elmês$, (Tabela 5), na qual a incógnita $Hdia$ foi obtida de mapas solamétricos (Tabela 1). Para o cálculo do $Elmês$ foi utilizada a Equação 3.

Tabela 5: Energia incidente no coletor

Mês	N (dias/mês)	Hdia (kWh/(m ² xdia) ³	EL mês (kWh/m ²)
Janeiro	31	6,39	198,09
Fevereiro	28	6,39	178,92
Março	31	5	155
Abril	30	4,72	141,6
Maio	31	3,33	103,23
Junho	30	2,5	75
Julho	31	3,06	94,86
Agosto	31	3,61	111,91
Setembro	30	3,89	116,7
Outubro	31	6,39	198,09
Novembro	30	6,67	200,1
Dezembro	31	6,94	215,14

A energia solar mensal absorvida pelos coletores ($Eamês$) foi calculada com a Equação 5 (Tabela 6). O fator adimensional $FR(\tau\alpha)$ foi obtido com a Equação 6, sendo que $FR(\tau\alpha)$ é 0,86, valor encontrado na tabela de eficiência do coletor INMETRO. Sc é a área do coletor solar, também disponível na tabela de eficiência do coletor do INMETRO.

Tabela 6: Energia absorvida pelo coletor

Mês	Sc (m ²)	Elmes (kwh/(m ² xmês))	F ^o R(τ _a)	Eamês (KWh/mês)
Janeiro	3,13	198,09	0,7843	486,2954
Fevereiro	3,13	178,92	0,7843	439,2346
Março	3,13	155	0,7843	380,5128
Abril	3,13	141,6	0,7843	347,6169
Maio	3,13	103,23	0,7843	253,4216
Junho	3,13	75	0,7843	184,1191
Julho	3,13	94,86	0,7843	232,8739
Agosto	3,13	111,91	0,7843	274,7303
Setembro	3,13	116,7	0,7843	286,4894
Outubro	3,13	198,09	0,7843	486,2954
Novembro	3,13	200,1	0,7843	491,2298
Dezembro	3,13	215,14	0,7843	528,1518

A partir de então foi calculado o parâmetro D_1 (Tabela 7) utilizando a Equação 4, que é a relação entre a energia absorvida ($E_{amês}$) e a demanda energética mensal ($DE_{mês}$).

Tabela 7: Parâmetro adimensional D_1

Mês	DE mês	EL mês	EA mês	D_1
Janeiro	122,264	198,09	486,2954	3,9774
Fevereiro	113,68	178,92	439,2346	3,8638
Março	129,456	155	380,5128	2,9393
Abril	125,28	141,6	347,6169	2,7747
Maio	154,628	103,23	253,4216	1,6389
Junho	156,6	75	184,1191	1,1757
Julho	161,82	94,86	232,8739	1,4391
Agosto	172,608	111,91	274,7303	1,5916
Setembro	146,16	116,7	286,4894	1,9601
Outubro	129,456	198,09	486,2954	3,7565
Novembro	128,76	200,1	491,2298	3,8151
Dezembro	125,86	215,14	528,1518	4,1963

Para o parâmetro D_2 é utilizada a Equação 7, onde a energia mensal não aproveitada pelos coletores ($EP_{mês}$) foi calculada com a Equação 8 com os valores apresentados na Tabela 8. $F^{o}RUL$ é o coeficiente global de perdas do coletor encontrado na tabela de eficiência do coletor do INMETRO (ANEXO A), sendo 18,55 w/m²/K. O fator de correção para o armazenamento K_1 é calculado com a Equação

10, resultando em 0,93, e o fator de correção para o sistema de aquecimento solar K_2 que relaciona as diferentes temperaturas é com base na Equação 11.

Tabela 8: Parâmetro adimensional D_2

Mês	DE mês	Tamb (°C)	Taf (°c)	At (horas)	k2	EP mês (kWh)	D2
Janeiro	122,264	26	26	744	1,6546	4675,9884	38,2450
Fevereiro	113,68	25	25	672	1,6120	4170,3523	36,6850
Março	129,456	24	24	744	1,5705	4558,3631	35,2117
Abril	125,28	24	24	720	1,5705	4411,3191	35,2117
Mai	154,628	17	17	744	1,3082	4146,6745	26,8171
Junho	156,6	15	15	720	1,2412	3899,0798	24,8983
Julho	161,82	15	15	744	1,2412	4029,0492	24,8983
Agosto	172,608	12	12	744	1,1464	3852,6112	22,3200
Setembro	146,16	18	18	720	1,3429	4069,8263	27,8450
Outubro	129,456	24	24	744	1,5705	4558,3631	35,2117
Novembro	128,76	23	23	720	1,5301	4354,4037	33,8180
Dezembro	125,86	25	25	744	1,6120	4617,1758	36,6850

Com os valores de D_1 e D_2 calculados, foi obtido o valor da fração solar mensal f utilizando a Equação 2, conforme o Tabela 9.

Tabela 9: Fração solar mensal

Mês	D1	D2	f
Janeiro	3,9774	38,245	1,7166
Fevereiro	3,8638	36,685	1,5963
Março	2,9393	35,2117	1,3968
Abril	2,7747	35,2117	1,3712
Mai	1,6389	26,8171	0,6744
Junho	1,1757	24,8983	0,4036
Julho	1,4391	24,8983	0,5350
Agosto	1,5916	22,32	0,5498
Setembro	1,9601	27,845	0,8233
Outubro	3,7565	35,2117	1,4909
Novembro	3,8151	33,818	1,4140
Dezembro	4,1963	36,685	1,6304

O próximo passo foi determinar a fração solar anual F , mas antes foi necessário determinar a energia útil mensal coletada ($EU_{mês}$) a partir da equação Equação 12 (Tabela 10).

Tabela 10: Energia útil mensal coletada

Mês	DE MÊS (KWh)	f	EU MÊS (KWh)
Janeiro	122,264	1,716626	209,8816
Fevereiro	113,68	1,5963252	181,4703
Março	129,456	1,3968341	180,8285
Abril	125,28	1,371207	171,7848
Maio	154,628	0,6743796	104,2780
Junho	156,6	0,4035721	63,1994
Julho	161,82	0,5349885	86,5718
Agosto	172,608	0,549755	94,8921
Setembro	146,16	0,8232616	120,3279
Outubro	129,456	1,4908554	193,0002
Novembro	128,76	1,4140437	182,0723
Dezembro	125,86	1,6303911	205,2010
Total	1666,572		1793,5079

Com isso a fração solar anual F que a superfície dos coletores propicia é calculada com a Equação 13, chegando a um valor de 1,076, ou seja, 107,6 % da demanda anual é atendida, porém se for analisar mês a mês em alguns meses a demanda de energia útil não é atendida. Em alguns meses do ano como maio, junho, julho, agosto e setembro o coletor não vai conseguir suprir a demanda energética, precisando de uma fonte de energia auxiliar, e em outros meses do ano a energia útil mensal coletada vai ser maior que a demanda energética.

Nos meses que o coletor não conseguir suprir a demanda energética, vai ser utilizado um fogareiro com gás liquefeito, para aquecer a água, tendo em vista que esse é o método já utilizado no momento.

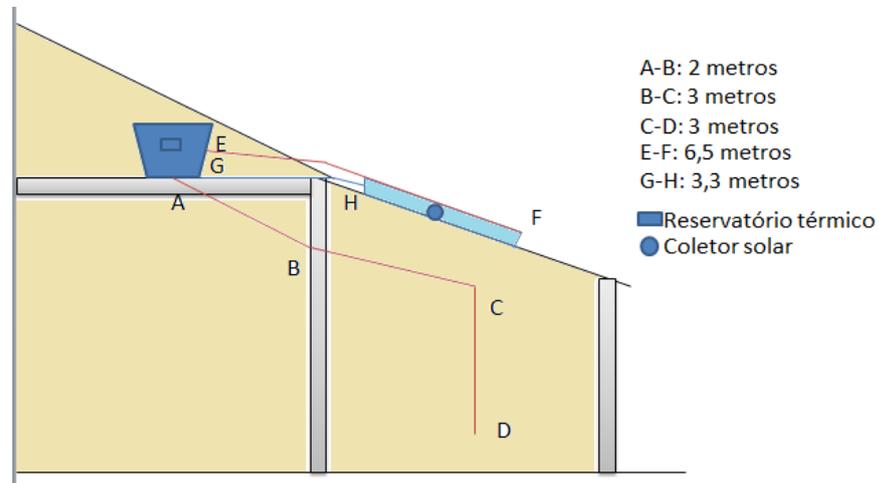
4.4 MONTAGEM E ORIENTAÇÃO DA PLACA COLETORA

Como a bibliografia sugere para inclinação a latitude do local menos 5° para utilização durante o ano todo, então o painel ficou com inclinação de 22° (27°-5° para correção).

O painel solar ficará sobre o telhado do galpão e o reservatório térmico estará apoiado na própria estrutura do galpão aonde vai ser instalado (Figura 13), estando protegido da chuva, evitando assim a degradação do isolamento térmico. No ponto

D é o ponto de coleta da água aquecida para a utilização, onde se encontra uma torneira.

Figura 13: Montagem do sistema de aquecimento solar



As tubulações usadas são de CPVC de 22mm de diâmetro, pois aguenta temperaturas de até 80°C e possui baixa condutividade térmica, não necessitando de isolamento térmico. As tubulações terão ao todo 17,8 metros de comprimento, com 3 curvas de 45° e 2 joelhos.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho alcançou o objetivo de dimensionar um sistema de aquecimento solar para aquecer água que será utilizada na higienização de ordenhadeiras, tendo um reservatório térmico alternativo de baixo custo.

Com os cálculos da produção energética da instalação solar foi possível ver as frações solares que a placa tem o potencial de gerar ao longo do ano para o local em questão. Assim foi possível notar que em 5 meses do ano (maio, junho, julho, agosto e setembro) a energia útil coletada é menor que a demanda energética, então necessitando de uma fonte de energia auxiliar. No restante dos meses do ano foi possível ver que haverá energia útil coletada excedendo a demanda energética.

O reservatório foi dimensionado e proposto para suprir a necessidade, evidenciando-se que é possível usar materiais alternativos, tornando seu custo mais acessível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENITO, Tomas Perales. **Práticas de energia solar térmica**. Porto: Publindústria, 2011.
- CEMETRS. **Atlas climático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: 2014. Disponível em: <http://www.cemet.rs.gov.br/lista/676/Atlas_Clim%C3%A1tico_do_Rio_Grande_do_Sul> Acesso em: 5 de junho de 2014.
- COMGAS;ABRINSTAL. **Sistemas de aquecimento de água para edifícios através da associação energia solar e gás: manual técnico para projeto e construção de sistemas de aquecimento solar e gás naturais**. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_d_e_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural.pdf> Acesso em: 3 de agosto de 2014.
- EME COMERCIAL. **Dicas EME Indústria de EPS**. Disponível em: <<http://www.emecomercial.com.br/dicas.html>> Acesso em: 20 de agosto de 2014.
- FARRET, A. Felix. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 2ª edição. Santa Maria: Editora UFSM, 2010.
- HINRICHES, Roger A.; MERLIN Kleinbach. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- INMETRO. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água-coletores solares- Edição 03/2014**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-piscina.pdf>> Acesso em: 15 de setembro.
- LAFAY, Jean-Marc Stepanhe. **Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás**. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- LIMA, Juliana Beboni Arruda. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa Trnsys**. Dissertação (mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- MARTINAZZO, Claodomir Antônio. **Modelos de estimativa de radiação solar para elaboração de mapas solarimétricos**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2004.
- SANTOS, Marcos Veiga. **Limpeza e Desinfecção de Equipamentos de ordenha e Tanques-Parte 3**. Pirassununga:2014. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/radar-tecnico/qualidade-do-leite/limpeza-e-desinfeccao-de-equipamentos-de-ordenha-e-tanques-parte-3-18526n.aspx>> Acesso em: 12 de agosto de 2014.
- RESNICK, ROBERT; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. **Física 2. Quarta Edição**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1996.
- SALES, Isolda Cíntia Ferreira. **Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.
- SCHIMIDT, Frank W.; HENDERSON, Robert E.; WOLGEMUTH, Carl H. **Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de calor**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2004.

SOLETROL. **Reservatório Térmico Horizontal Soletrol Max 80**. Disponível em: <http://www.soletrol.com.br/produtos/reservatorios_termicos/max_80.php> Acesso em: 25 de abril de 2014.

SPRENGER, Roberto Levi. **Aplicação do sistema fechado no aquecedor solar de água de baixo custo para reservatórios residenciais isolados termicamente: concepção e comissionamento de um sistema-piloto de testes**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

TIGRE. **Predial Aquatherm: catálogo Técnico**. Joinville:2014. Disponível em: <http://www.tigre.com.br/pt/catalogos_tecnicos.php?cpr_id_pai=4&cpr_id=8> Acesso em: 2 de setembro de 2014.

SISTEMAS E EQUIPAMENTOS PARA AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA - COLETORES SOLARES - EDIÇÃO 03/14

CLASSES	ÍNDICE PISCINA	PISCINA	
		TOTAL	%
A	$P_{me} > 95,0$	103	79,8
B	$95,0 \geq P_{me} > 87,0$	25	19,4
C	$87,0 \geq P_{me} > 79,0$	1	14,3
D	$79,0 \geq P_{me} > 71,0$	0	0,0
E	$71,0 \geq P_{me} > 63,0$	0	0,0
		129	

Critérios de Classificação

Produção de Energia Mensal Específica em m^2 (kWh/mês. m^2)



ANEXO A- Tabela de eficiência do coletor solar

APLICAÇÃO: PISCINA

08/09/2014

1 FABRICANTE	2 MARCA	3 MODELO	4 PRESSÃO DE FUNCIONAMENTO		5 ÁREA EXTERNA DO COLETOR	6 PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA		7,00 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MÉDIA	8 CLASSIFICAÇÃO	9 MATERIAL SUPERFÍCIE ABSORVEDORA	10 $F_r(\tau\alpha)_n$	11 FrUL
			(kPa)	(mca)		Por Coletor (kWh/mês)	Por m^2 (Específica) (kWh/mês. m^2)					
			100,0	10,2	1,81	175,3	96,9	74,98	A	POLIPROPILENO	0,85	20,89
	AÇO NOBRE	CSP200	100,0	10,2	2,71	262,6	96,9	75,00	A	POLIPROPILENO	0,85	20,89
	AÇO NOBRE	CSP300	100,0	10,2	3,34	323,6	96,9	75,00	A	POLIPROPILENO	0,85	20,89
	AÇO NOBRE	CSP370	100,0	10,2	4,52	438,0	96,9	75,00	A	POLIPROPILENO	0,85	20,89
	AÇO NOBRE	CSP500	100,0	10,2	1,83	187,4	102,4	77,40	A	EPDM	0,86	16,16
	ARKSOL	ARCOIRIS 2	392,0	40,0	0,28	25,2	90,0	72,10	B	POLIPROPILENO	0,86	28,63
	CENTER SOL	CP1	294,0	30,0	1,29	117,4	91,0	71,61	B	POLIPROPILENO	0,84	24,02
	CENTER SOL	CSI 0,80x2,00 T1	294,0	30,0	1,59	153,1	96,3	73,42	A	BORRACHA	0,82	17,33
	CLIMATIC DO BRASIL	ASTROPOOL - A2	100,0	10,2	1,84	158,8	96,8	74,40	A	POLIPROPILENO	0,84	15,32
	E2 SOLAR	KONFORT POOL	400,0	40,8	2,44	236,2	96,8	74,40	A	POLIPROPILENO	0,84	19,30
	E2 SOLAR	KONFORT POOL	400,0	40,8	3,24	313,6	96,8	74,40	A	POLIPROPILENO	0,84	19,30
	ENALTER	2,0V 0,5X2	118,0	12,0	1,05	100,7	95,9	72,60	A	POLIETILENO	0,80	19,47
	ENALTER	3,0V 0,5X3	118,0	12,0	1,58	151,5	95,9	72,60	A	POLIETILENO	0,80	15,46
	ENALTER	4,0V 0,5X4	118,0	12,0	2,10	201,4	95,9	72,60	A	POLIETILENO	0,80	15,46
	ENALTER	6,0V 0,5X6	118,0	12,0	3,15	302,1	95,9	72,60	A	POLIETILENO	0,80	15,46
	ENALTER	2V 1,2X2	600,0	61,2	2,36	245,4	104,0	79,51	A	POLIMERO	0,89	19,47
	FIBRATEC	FIBRATEC 2000	200,0	20,4	0,66	62,9	95,3	73,87	A	POLIPROPILENO	0,92	17,11
	FIBRATEC	FIBRATEC 3000	200,0	20,4	0,96	92,1	95,9	73,87	A	POLIPROPILENO	0,92	17,11
	FIBRATEC	FIBRATEC 4000	200,0	20,4	1,28	122,0	95,3	73,87	A	POLIPROPILENO	0,92	17,11
	BOSCH	HELIOTEK	100,0	10,2	1,06	105,2	99,2	76,70	A	EPDM	0,86	18,55
	BOSCH	HELIOTEK	100,0	10,2	1,58	156,7	99,2	76,70	A	EPDM	0,86	18,55
	BOSCH	HELIOTEK	100,0	10,2	2,09	207,3	99,2	76,70	A	EPDM	0,86	18,55
	BOSCH	HELIOTEK	100,0	10,2	2,61	258,9	99,2	76,70	A	EPDM	0,86	18,55