

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO E ECONÔMICO DE UTILIZAÇÃO DE UM
SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM UMA CERVEJARIA

por

Arthur da Rocha Geremia

Dissertação para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Novembro de 2018

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO E ECONÔMICO DE UTILIZAÇÃO DE UM
SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM UMA CERVEJARIA

por

Arthur da Rocha Geremia
Bacharel em Engenharia em Energia

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Energia

Orientadora: Profa. Dra. Letícia Jenisch Rodrigues

Aprovada por:

Prof. Dr. Arno Krenzinger
Prof. Dr. Cirilo Seppi Bresolin
Prof. Dr. Fabiano Perin Gasparin

PROMEC / UFRGS
DEMEC / UFRGS
UERGS

Prof. Dr. Fernando Marcelo Pereira
Coordenador do PROMEC

Porto Alegre, 26 de Novembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que sempre me deu o maior apoio em todas as minhas conquistas.

Agradeço a todos os meus professores que de uma forma ou de outra me trouxeram até aqui.

Agradeço à professora Letícia e à graduanda Maíra por estarem sempre prontas a me ajudar, elas foram fundamentais para que este trabalho se concretizasse.

Agradeço a todos os colegas de aula que de uma forma ou de outra me auxiliaram a estar aqui hoje.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial técnico e econômico de utilização de um sistema de aquecimento solar de água (SAS) em uma cervejaria hipotética localizada na cidade de Porto Alegre. Com a criação do polo cervejeiro gaúcho e o crescente surgimento de cervejarias artesanais na região, mostra-se necessário apresentar alternativas energéticas para a produção de cervejas. O SAS proposto é composto por coletores solares tipo placa plana, reservatório térmico, aquecimento auxiliar, bomba hidráulica, acessórios e suas interligações hidráulicas. Através do software TRNSYS são realizadas dez simulações com perfis (horários) de utilização de água quente e fontes de energia auxiliar (resistência elétrica e GLP) diferentes. Os dados meteorológicos são de um ano climático de referência e os dados econômicos são obtidos do mercado no ano de realização deste trabalho. Dentre os horários de utilização da água quente do SAS simulado (4, 7, 10, 13 e 16 horas), durante um ano, a simulação das 16 horas apresenta o maior aproveitamento solar, de 82%, e o maior ganho de energia útil é em torno de 10,4 GJ. Neste caso são necessários 2,7 GJ de energia auxiliar a gás ou 2,5 GJ de energia auxiliar elétrica. Já a simulação das 7 horas apresenta o menor aproveitamento solar, igual a 69,6% e ganho de energia útil igual a 8,8 GJ. Este horário apresenta necessidade de 4,5 GJ de energia auxiliar a gás ou 4,2 GJ de energia auxiliar elétrica. Na análise do valor presente líquido para 15 anos, todas as simulações apresentam-se como viáveis. O maior *payback* foi de 12,54 anos para a simulação das 7 horas, com energia auxiliar elétrica, e o menor *payback* foi de 7,82 anos, para a simulação das 16 horas com GLP como energia auxiliar.

Palavras-chave: SAS para cervejaria; TRNSYS; Aquecimento solar de água; Fontes auxiliares de energia.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is to evaluate the technical and economic potential of use of a solar heating system (SHS) in a brewery located in the city of Porto Alegre, Brazil. Due to the creation of the *gaucho* brewery center, and the constantly appearance of artisanal breweries in the region, it reveals necessary to present new energetic alternatives for beer production. The SHS is composed of flat plate collectors, thermic reservoir, auxiliary heating, hydraulic pump, accessories, and its hydraulic connections. Through the software TRNSYS ten simulations are created, changing the hot water use pattern, and the auxiliary heating source (electric resistance and liquified petroleum gas, LPH). It is used a test reference year of Porto Alegre as the meteorological data, and the economic data are taken from the regional market during the year of production of this dissertation. Among the different hot water use patterns simulated (4 am, 7 am, 10 am, 1 pm and 4 pm), during one year the 4 pm simulation presents the biggest solar profit of 82% and the biggest useful energy gain, 10.4 GJ. In this case it's necessary 2.7 GJ of auxiliary energy LPH, or 2.5 GJ of electrical auxiliary energy. The 7 am simulation has the lowest solar profit, 69.6%, and the useful energy gain is equal to 8.8 GJ, presenting the need of 4.5 GJ of auxiliary energy LPH, or 4.2 GJ of electrical auxiliary energy. In the analysis of the net present value, during 15 years, all simulations are viable. The biggest payback is 12.54 years for the 7 am simulation using electrical auxiliary energy, and the smallest payback is 7.82 years for the 4 pm simulation using LPH as auxiliary energy.

Keywords: SHS for breweries; TRNSYS; Water solar heating system; Auxiliary energy source.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Revisão Bibliográfica.....	2
1.2	Motivação e Objetivos	4
2	BASE TEÓRICA	6
2.1	Processos de uma Cervejaria	6
2.2	Componentes e Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar – SAS	7
2.2.1	Componente: Coletor Solar de Placa Plana	8
2.2.2	Componente: Reservatório Térmico	9
2.2.3	Componente: Fonte Auxiliar de Energia	10
2.2.4	Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar – SAS	11
2.3	Qualidade da Água	12
3	METODOLOGIA	15
3.1	Definição do Problema	15
3.2	Caso de Estudo	16
3.2.1	Irradiação e Temperatura	17
3.2.2	Coletor Solar tipo Placa Plana	17
3.2.3	Reservatório Térmico	19
3.2.4	Filtro da água	19
3.2.5	TRNSYS	20
3.3	Aproveitamento Solar	28
3.4	Análise Econômica	29
3.4.1	Valor da tarifa de Energia Elétrica	29
3.4.2	Valor da Tarifa de Gás	30
3.4.3	Taxa de Desconto	30
3.4.4	Valor Presente Líquido	30
3.4.5	<i>Payback</i> descontado	31
4	RESULTADOS	32
4.1	Simulação 1 – Utilização às 4 horas	32
4.2	Simulação 2 – Utilização às 7 horas	36

4.3	Simulação 3 – Utilização às 10 horas	39
4.4	Simulação 4 – Utilização às 13 horas	43
4.5	Simulação 5– Utilização às 16 horas	46
4.6	Análise comparativa	49
5	ANÁLISE ECONÔMICA	53
5.1	Valor dos produtos e instalação	53
5.2	Valor presente líquido	56
5.3	<i>Payback</i> descontado	57
5.4	Discussão dos resultados	57
6	CONCLUSÃO	59
6.1	Recomendações para trabalhos futuros	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Fluxos dos processos de produção da cerveja [Bonatto, 2016].....	6
Figura 2.2	Esquema em corte de um coletor solar tipo placa plana [Adaptado de Muñoz, 2009].....	8
Figura 2.3	Esquema contendo os principais componentes de um reservatório térmico [Hidraucenter, 2018].....	9
Figura 2.4	Possíveis configurações de instalações de fontes auxiliares de energia, [Adaptado de Duffie e Beckman, 2013].....	11
Figura 2.5	Formas de instalação de um SAS [Adaptado de ABRAVA, 2018].....	12
Figura 2.6	Esquema de funcionamento de um filtro [Adaptado de Hidrotek, 2018].....	13
Figura 3.1	SAS (direto com convecção forçada) [Climadek, 2018].....	16
Figura 3.2	Irradiação diária média recebida no plano inclinado [Carlo, 2005].....	17
Figura 3.3	Exemplo de criação de um projeto no TRNSYS [TRNSYS, 2018].....	21
Figura 3.4	Projeto utilizado para a simulação do SAS para a cervejaria.....	22
Figura 3.5	Representação de um diversor [Adaptado de SEL, 2011].....	23
Figura 3.6	Misturador de água, <i>type1</i> 1h. [Adaptado de SEL, 2011].....	27
Figura 3.7	Valor de Energia Elétrica no Brasil. [CEEE, 2018].....	29
Figura 4.1	Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 4h da manhã...	33
Figura 4.2	Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 4 horas.....	34
Figura 4.3	Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 7h da manhã....	36
Figura 4.4	Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 7 horas.....	38
Figura 4.5	Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 10h da manhã.	40
Figura 4.6	Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 10 horas.....	41
Figura 4.7	Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 13h.....	43
Figura 4.8	Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 13 horas.....	44
Figura 4.9	Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 16h.....	46

Figura 4.10	Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 16 horas.....	47
Figura 4.11	Análise comparativa das energias do SAS.....	50
Figura 4.12	Comparativo entre as energias auxiliares e o aproveitamento solar.....	52
Figura 5.1	Gráfico em escala logarítmica com a variação dos valores de energia elétrica, GLP, manutenção e filtro.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Temperaturas de alguns processos de fabricação de cerveja [Adaptado de Mauthner et al., 2014b].....	2
Tabela 3.1	Classe dos coletores solar de acordo com a produção de energia mensal [Inmetro, 2018].....	18
Tabela 3.2	Especificações técnicas MC 20 Evolution Pro [Heliotek, 2018].....	18
Tabela 4.1	Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar a simulação 1.....	35
Tabela 4.2	Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar a simulação 1.....	35
Tabela 4.3	Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar a simulação 2.....	38
Tabela 4.4	Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar a simulação 2.....	39
Tabela 4.5	Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar a simulação 3.....	42
Tabela 4.6	Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar a simulação 3.....	42
Tabela 4.7	Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar a simulação 4.....	45
Tabela 4.8	Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar a simulação 4.....	45
Tabela 4.9	Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar a simulação 5.....	48
Tabela 4.10	Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar a simulação 4.....	49
Tabela 4.11	Comparativo entre as médias da temperatura superior do tanque nos diferentes horários de utilização do SAS.....	51
Tabela 5.1	Orçamento de instalação do sistema de aquecimento solar.....	53
Tabela 5.2	Materiais hidráulicos.....	54
Tabela 5.3	Valores anuais de utilização da energia auxiliar elétrica.....	54
Tabela 5.4	Valores anuais de utilização de energia auxiliar GLP.....	55

Tabela 5.5	VPL das cinco simulações utilizando energia complementar elétrica.....	56
Tabela 5.6	VPL das cinco simulações utilizando GLP como energia complementar.....	56
Tabela 5.7	<i>Payback</i> descontado.....	57

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CNI	Confederação Nacional da Indústria
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
PIB	Produto Interno Bruto
SAM	<i>System Advisor Model</i>
SAS	Sistema de Aquecimento Solar
SEL	<i>Solar Energy Laboratory</i>
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TRY	<i>Test Reference Year</i>
TRNSYS	<i>Transient System Simulation</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

C_{F1}	Quantidade de energia gasta no primeiro ano, MJ
C_{pf}	Calor específico do fluido, J/kgK,
C_s	Investimento inicial, R\$
F	Fração solar, adimensional
F_R	Fator de eficiência de remoção de calor do coletor, adimensional
FC_t	Fluxo de caixa no tempo t , anos
I	Investimento inicial, R\$
I_T	Irradiação horária global inclinada incidente no coletor, kJ/hm ²
K	Condutividade térmica, W/mK
k'	Custo de capital, adimensional
L	Energia mensal necessária para suprir a carga, MJ
L	Carga total do sistema necessária para aquecer a água, MJ
L_{aux}	Energia mensal complementar necessária para suprir a carga, em MJ
m	Massa de GLP, kg
M	Manutenção anual do sistema, R\$
\dot{m}	Vazão mássica na bomba, kg/s
\dot{m}_h	Vazão mássica que circula entre o coletor solar e o tanque, kg/s
\dot{m}_i	Vazão mássica de entrada, kg/s
\dot{m}_L	Vazão mássica que vai para a carga, kg/s
\dot{m}_o	Vazão mássica de saída, kg/s
P	Potência da bomba, W
P'	Aproveitamento solar, adimensional
PB	<i>Payback</i> , anos
$Q_{aux\ el}$	Energia elétrica auxiliar, MJ
$Q_{aux\ GLP}$	Energia auxiliar da queima do GLP para atingir a temperatura de consumo, MJ
Q_{el}	Energia de aquecimento da água somente com energia elétrica, MJ
\dot{Q}_{env}	Taxa de energia perdida do tanque para o meio, W
\dot{Q}_{fluid}	Taxa de adição de calor ao fluido, kJ/h

$Q_{gás}$	Energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um quecedor a gás, MJ
\dot{Q}_{in}	Taxa de energia que está entrando no tanque, W
\dot{Q}_{loss}	Taxa de perdas térmicas do aquecedor para o ambiente, kJ/h
\dot{Q}_{max}	Taxa máxima de aquecimento do aquecedor, W
\dot{Q}_s	Taxa de energia sensível removida do tanque, W
$Q_{tot\ SAS}$	Energia total do SAS, MJ
$Q_{útil\ SAS}$	Energia útil do SAS, MJ
r_1	Fator de correção da taxa de vazão, adimensional
T	Tempo, s
T_a	Temperatura ambiente, K
T_f	Temperatura média na válvula de escape, K
T_H	Temperatura de entrada da água no tanque, °C
T_L	Temperatura de saída da água do tanque, °C
T_m	Temperatura média entre a entrada e saída do fluido, °C
T_N	Temperatura do segmento do tanque mais frio, K
T_o	Temperatura de saída do fluido, K
T_i	Temperatura no ponto de entrada, °C
T_1	Temperatura no ponto 1, °C
$U_{L/T}$	Coefficiente de perdas térmicas com dependência da temperatura, kJ/hm ² K
U_L	Coefficiente de perdas térmicas por unidade de área, kJ/hm ² K
U_{L-TEST}^1	Coefficiente de perdas térmicas por unidade de área testado, kJ/h.m ² K
U_{L-USE}^1	Coefficiente de perdas térmicas por unidade de área em uso, kJ/h.m ² K
UA_i	Condutância total para perda de carga, W/K
V	Volume do tanque, m ³

Símbolos Gregos

η	Eficiência do coletor solar, adimensional
η_{htr}	Eficiência do aquecedor auxiliar, adimensional
ρ_f	Massa específica do fluido, kg/m ³
$(\tau\alpha)_n$	Produto da transmitância da cobertura do coletor solar a incidência normal de radiação com a absorptância do absorvedor, adimensional
γ	Função de controle sendo 0 quando está desligada e 1 quando está ligada
ΔT_H	Diferença de temperatura das duas partes superiores do tanque, °C
ΔT_L	Diferença de temperatura das duas partes inferiores do tanque, °C
ΔE	Varição de energia da água dentro do tanque, J
Δt	Tempo de duração de uma simulação, h

1 INTRODUÇÃO

Em 2014 o Brasil atingiu o recorde de produção de cerveja quando produziu 14 bilhões de litros no ano sendo classificado como o terceiro maior produtor de cervejas do mundo [Caetano, 2018]. Atualmente existem 610 cervejarias registradas no Brasil, além disso, nos últimos anos o número de pedidos de registro de cervejarias vem crescendo. Por exemplo, no ano de 2017 foram concedidos 91 registros para estabelecimentos produtores de cerveja. Este fenômeno deve-se à crescente produção e consumo de cervejas artesanais. Na região Sul do Brasil está concentrada grande parte das cervejarias do país, sendo o segundo estado com o maior número deste tipo de empreendimento (19,5%), ficando atrás apenas de São Paulo (20%) [Marcusso e Muller, 2017].

O setor industrial de bebidas teve percentual de 2,2% no Valor da Transformação Industrial das indústrias extrativa e de transformação do Brasil [CNI, 2015]. As cervejarias tiveram, em 2015, participação equivalente a 1,6% no PIB industrial nacional [Vasconcelos, 2017]. A cerveja é a quinta bebida mais consumida no mundo, nesse sentido, o Brasil é o terceiro maior produtor consumindo anualmente o equivalente a 62 litros de cerveja por pessoa, de acordo com Sobral, 2016.

O Brasil possui elevados níveis de radiação solar quando comparado aos países que mais utilizam esta fonte de energia, como por exemplo a China, onde em algumas cidades as casas são obrigadas por lei a utilizarem aquecimento solar. Por exemplo, na região de São Paulo recebe-se em média 2000 kWh/m², já na região de Chingqing na China recebe-se em torno de 1200 kWh/m² [Andrade, 2018]. No Brasil, o governo federal exige a utilização de energia solar térmica em casas de certas regiões do país, quando são construídas através do programa minha casa minha vida. [Vilela, 2016].

Segundo *Solar Heat Worldwide*, 2018, até o final de 2015 o Brasil possuía 13,6 x 10⁶ m² de coletores solar instalados sendo o 5º país do mundo com a maior área de coletores instalada somente atrás da China (463,6 x 10⁶ m²), Estados Unidos (25,3 x 10⁶ m²), Turquia (21,3 x 10⁶ m²) e Alemanha (19,4 x 10⁶ m²). Em 2015 houve um acréscimo de 1,4 x 10⁶ m² de coletores solar no Brasil, ou seja, um acréscimo de 11,45% do total instalado.

O setor industrial de comidas e bebidas é um dos setores com alta aplicabilidade para sistemas de aquecimento solar, SAS, do ponto de vista que os processos de limpar, secar, pasteurizar ou esterilizar necessitam de temperaturas relativamente baixas [Brunner et al., 2008]. Na Tabela 1.1 são apresentados os valores de temperaturas máximas e mínimas para diversos processos de uma cervejaria.

Tabela 1.1 – Temperaturas de alguns processos de fabricação de cerveja [Adaptado de Mauthner et al., 2014b].

Processos	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)
Secar o malte (1ª fase)	30	60
Secar o malte (2ª fase)	75	100
Limpar as garrafas	70	80
Limpar a área de produção e os equipamentos	75	80
Produzir a água de infusão	48	80
Pasteurizar	55	75
Macerar	30	75
Aquecer o mosto	75	95
Ferver o mosto	90	100

1.1 Revisão Bibliográfica

A otimização do consumo de energia de uma cervejaria, localizada na Escócia, foi realizada por Eiholzer et al., 2017 utilizando duas formas. A primeira é através da diminuição do consumo de energia dos processos químicos através do cálculo das energias termodinâmicas envolvidas. A segunda é pela recuperação indireta do calor da caldeira associado a um coletor solar. De toda a energia térmica demandada pela cervejaria foi possível utilizar somente 7,7% de energia solar térmica. A otimização da cervejaria obteve um *payback* de 6,4 anos devido às leis de incentivo à energia limpa da Escócia e através desta otimização deixa-se de emitir 38 toneladas de CO₂, considerando 25 anos de vida útil do equipamento.

Mauthner et al., 2014a estudaram soluções técnicas para integração hidráulica de processos de aquecimento solar com coletores de placa plana dentro da indústria cervejeira. Foram utilizadas simulações para verificar que 20% do aquecimento necessário para a secagem do malte pode ser fornecido pelo SAS, o que corresponde a uma economia igual a 3.670 MWh de gás natural.

Ayompe et al., 2011 desenvolveram dois modelos no TRNSYS para a circulação forçada de um SAS, um com coletores tipo placa plana e outro com coletores de tubos evacuados. Após a análise computacional foi construído um protótipo e comparado os

resultados. No primeiro modelo, com o coletor de placa plana, o valor da temperatura de saída do fluido foi 9,6% menor que o valor medido, e o calor entregue pelo SAS foi 7,6% maior que o valor medido. Já o segundo modelo, de tubos evacuados, o valor da temperatura de saída do fluido foi 13,7% maior que o valor medido, e foi entregue o equivalente a 12,4% a mais de energia térmica ao fluido.

A energia solar térmica possui alta aplicabilidade na indústria de laticínios. Allouhi et al., 2017 realizaram uma simulação em uma fábrica localizada em Casablanca, no Marrocos, utilizando o software TRANSOL. Nesta simulação foi avaliado a utilização de um SAS para os processos de limpeza, secagem, pasteurização e concentração da fábrica. O sistema proposto supriu 41% da energia térmica necessária, com *payback* de aproximadamente 12 anos e com uma economia total de US\$ 179.000,00.

Sharma et al., 2017 estudaram a implantação de SAS nas indústrias de produção de leite em toda a Índia. O setor de laticínios requer energia térmica total equivalente a 6,4 PJ por ano. Com a utilização de sistemas de aquecimento solar, este número cai para aproximadamente 4,5 PJ por ano, se os sistemas forem utilizados somente para a pasteurização do leite. Com a redução do uso de combustíveis fósseis para este fim, estima-se que de 32.000 a 144.000 toneladas de CO₂ deixariam de ser emitidas na atmosfera. Estes números foram obtidos através da estimativa da energia útil para o processamento do leite, da análise das condições climáticas dos locais onde é produzido leite, da análise da performance dos SAS nas fábricas e da estimativa de emissão de gases de efeito estufa.

As temperaturas dos processos térmicos de algumas indústrias indianas, tais como têxtil, de papel e celulose, de laticínios, de couro, e de automóveis, variam entre 50 e 250°C. Somadas, estas indústrias consomem cerca de 106 PJ. Suresh e Rao, 2017 demonstraram através de simulações utilizando o software *System Advisor Model*, SAM, que com a implementação de coletores solares térmicos dimensionados a 20% da demanda necessária de energia térmica seria possível economizar 21,38 PJ, e deixar de emitir 1,8 Mt de CO₂. Entretanto, seriam necessários 7,8 milhões de m² de área de coletora de painéis solares, e um investimento de US\$ 1.200 milhões. Já quando foram dimensionados para 100% da demanda de energia seria necessário investimento de US\$ 6.000 milhões, e a utilização de coletores solares que somariam uma área de 39 milhões de m². Este sistema economizaria cerca de US\$ 800 milhões por ano.

Murray et al., 2016, realizaram um estudo focado em reduzir o consumo de energia térmica, em um vinícola do Chile. O sistema proposto era composto por uma máquina de refrigeração por ciclo de absorção alimentada através de um SAS e energia proveniente da queima de biomassa. Para realizar esta análise foi utilizado o software TRNSYS, onde foi

dimensionada e calculada as perdas e ganhos térmicos no verão e no inverno. Este sistema demonstrou que seria possível suprir 25% da energia necessária para os processos de resfriamento no verão, e entre 30 a 50% dos processos de aquecimento no período de inverno.

Baniassadi et al., 2018 avaliaram, analiticamente, a distribuição de calor através de um trocador de calor alimentado por um SAS. Na análise foi levado em consideração a área do coletor, a eficiência, a diferença mínima de temperatura do coletor solar, o tamanho do reservatório e a taxa de perda de calor. Quando foi avaliado sem a presença de um reservatório, a fração solar de 6.000 coletores foi de 20%. Em contrapartida, quando foi adicionado um reservatório a fração solar foi 27% maior.

O desenvolvimento de uma metodologia para guiar projetistas de SAS no processo de integração da energia solar térmica com sistemas convencionais de aquecimento, foi o objetivo da pesquisa de Müller, 2016. Ao aplicar sua metodologia em uma indústria cervejeira, foi aumentada a recuperação de calor de alguns processos e implementado um SAS. Com a utilização das melhorias obteve-se uma redução no consumo de energia igual a 1,6 MWh, e uma redução de 65% de emissão de CO₂. Já ao aplicar em uma indústria de laticínios, a demanda de energia térmica foi reduzida em 41% e as emissões de CO₂ em apenas 2,3%.

1.2 Motivação e Objetivos

Através deste trabalho é possível avaliar quais são os horários de utilização do SAS que apresentam melhores rendimentos. Esta análise se faz importante pois além de não ter sido realizada antes, é possível auxiliar as cervejarias da região de Porto Alegre a obter maiores lucros e menor dano ao meio ambiente. Através desta análise realiza-se a seguinte hipótese: alterando o perfil de consumo do SAS, entre às 4h e às 16h, é possível obter maior rendimento de um mesmo projeto?

O principal objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica e econômica de implantação de um SAS em uma pequena cervejaria. Para tanto, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Definir um SAS para a cervejaria proposta;
- Avaliar o aproveitamento solar mensal e anual, com a utilização do SAS em diferentes horas do dia;
- Comparar os resultados com a utilização do SAS, com eletricidade como fonte de energia auxiliar e com aquecedor a gás (GLP) como fonte de energia auxiliar;

- Avaliar economicamente, através do cálculo de *payback* e valor presente líquido, qual a forma de utilização deste SAS (horário e energia auxiliar) que seria mais atrativa para a cervejaria.

2 BASE TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os processos de fabricação de cerveja, o detalhamento dos principais componentes de um SAS e os tipos de configuração que se pode instalar um SAS. Por fim, é apresentado um os requisitos de filtragem que deve ser utilizado a fim de manter a água que passa pelo SAS dentro dos padrões exigidos pelos órgãos reguladores.

2.1 Processos de uma Cervejaria

Abaixo é descrito os processos de fabricação de uma cerveja de acordo com Olajire, 2012. A Figura 2.1 apresenta os processos e os fluxos dos mesmos, concernentes à fabricação de cerveja.

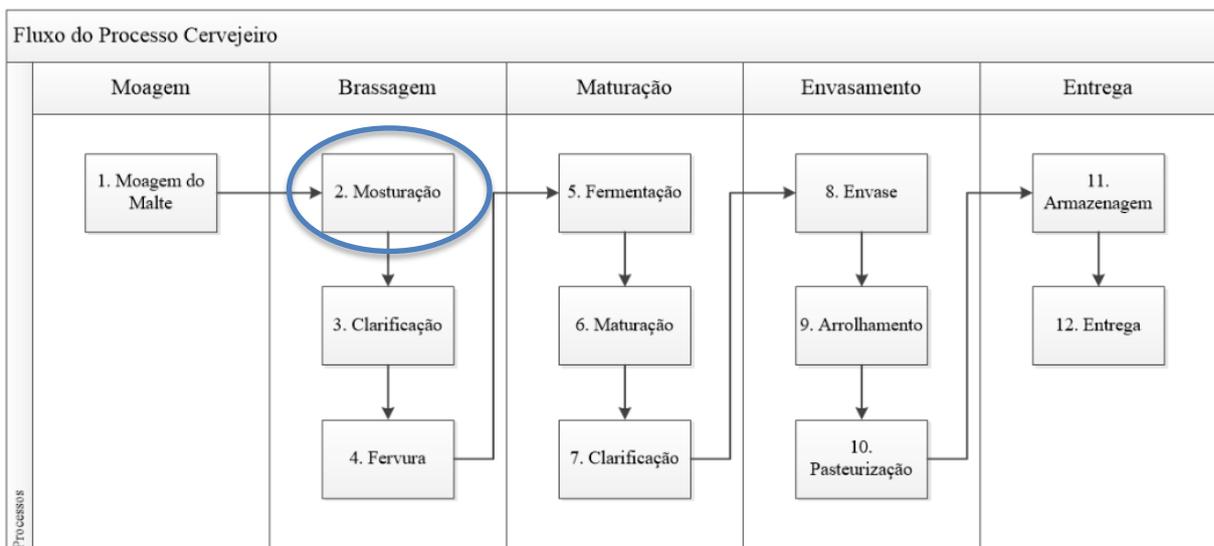


Figura 2.1 – Fluxos dos processos de produção da cerveja [Bonato, 2016].

O processo de fabricação de uma cerveja começa com a moagem do malte. Esta fase serve para abrir as cascas e garantir um índice maior de extração de suas substâncias. Na sequência, no processo de mosturação é adicionada água quente, entre 48 e 60°C, ao malte moído. Dependendo do tipo de cerveja a temperatura inicial da água pode variar. Este processo consiste em aumentar e baixar a temperatura de acordo com padrões predefinidos. Ainda nesta etapa, os amiláceos do malte são hidrolisados e é produzido um licor que garante uniformidade de gosto no produto final. O produto da mosturação é chamado de mosto. É na fase de pré-aquecimento da água do mosto que este trabalho vai se concentrar.

Na etapa de clarificação é realizada a separação das substâncias que estão diluídas das substâncias que são insolúveis com a utilização de filtros. O próximo processo é chamado de fervura e consiste na fervura e na evaporação do mosto durante o período de uma a duas horas. No processo de fervura o mosto é esterilizado, proteínas em grão são coaguladas, a atividade das enzimas é parada, componentes voláteis são retirados da mistura, substâncias são extraídas do lúpulo e a cor e o sabor são intensificados. De forma a clarificar o mosto e remover impurezas indesejadas, a cerveja passa por um dos seguintes processos: sedimentação, filtração, centrifugação ou voragem.

O mosto depois de clareado e fervido, é resfriado. Sistemas de resfriamento podem utilizar o ar ou líquidos como meio para diminuir a temperatura. O mosto entra nos trocadores de calor a temperaturas entre 96 e 99°C e sai a diferentes temperaturas, de acordo com o tipo de cerveja que será produzida. Para a cerveja tipo Lager, por exemplo, a temperatura de saída fica entre 6 e 15°C. Algumas cervejarias arejam o mosto antes do resfriamento a fim de retirar compostos orgânicos indesejados.

Uma vez que o mosto é resfriado, ele é oxigenado e misturado com fermento para então ser passado para a uma vasilha de fermentação. Durante a fermentação, o fermento metaboliza os açúcares do mosto para produzir álcool e dióxido de carbono. A etapa seguinte chama-se maturação. O tempo de maturação varia com o tipo de cerveja a ser produzida e com a quantidade de álcool desejada, durando poucos dias para as cervejas tipo Ale, até dez dias para cervejas tipo Lager. Para remover o excesso de fermento que ainda está na cerveja é realizado novamente o processo de clarificação.

Por fim, a cerveja pronta passa para fase de envase e arrolhamento. Nestes processos a cerveja é colocada em garrafas de vidro e são fechadas com tampas de metal. A fim de remover qualquer organismo vivo patogênico restante dos processos anteriores e aumentar a conservação cerveja as garrafas passam por um processo de pasteurização onde são aquecidas a 60°C e em seguida resfriadas. Este processo é mais importante para as bebidas com maior tempo de guarda.

2.2 Componentes e Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar – SAS

Os principais componentes de um SAS são o coletor solar, o reservatório térmico e a fonte auxiliar de energia. Com relação ao tipo de sistema pode-se ter as seguintes configurações: sistema direto com circulação forçada, sistema indireto com circulação forçada, sistema direto com circulação natural ou termossifão e sistema indireto com circulação natural.

2.2.1 Componente: Coletor Solar de Placa Plana

A Figura 2.2 apresenta o esquema de um coletor solar do tipo placa plana, o qual é composto pelos seguintes itens: uma placa absorvedora (cor preta), uma malha, ou serpentina, de tubos ascensores, por onde passa o fluido de trabalho, uma caixa com isolamento térmico inferior e uma cobertura superior transparente, usualmente vidro.

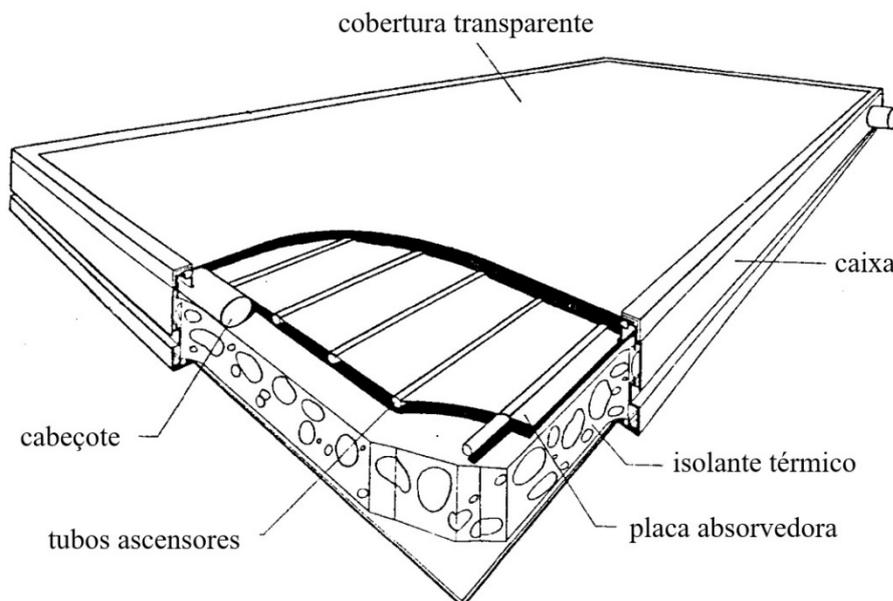


Figura 2.2 – Esquema em corte de um coletor solar tipo placa plana [Adaptado de Muñoz, 2009].

Os coletores solares tipo placa plana fabricados no Brasil são usualmente constituídos por uma superfície absorvedora feita de alumínio ou cobre, a qual está em contato com tubos de cobre para transferir calor por condução. A cobertura transparente normalmente é constituída por uma única camada de vidro. Os isolantes térmicos frequentemente utilizados são a lã mineral e a lã de vidro [Borges, 2000]. Este coletor exerce três funções principais que são: absorver a maior quantidade de radiação solar possível, transferir o calor para o fluido, e por fim, perder a menor quantidade de energia para seus arredores [Jordanou, 2009].

2.2.2 Componente: Reservatório Térmico

O reservatório térmico é o local onde é armazenada a água quente até sua utilização. A Figura 2.3 apresenta um exemplo de reservatório térmico com aquecimento auxiliar elétrico.

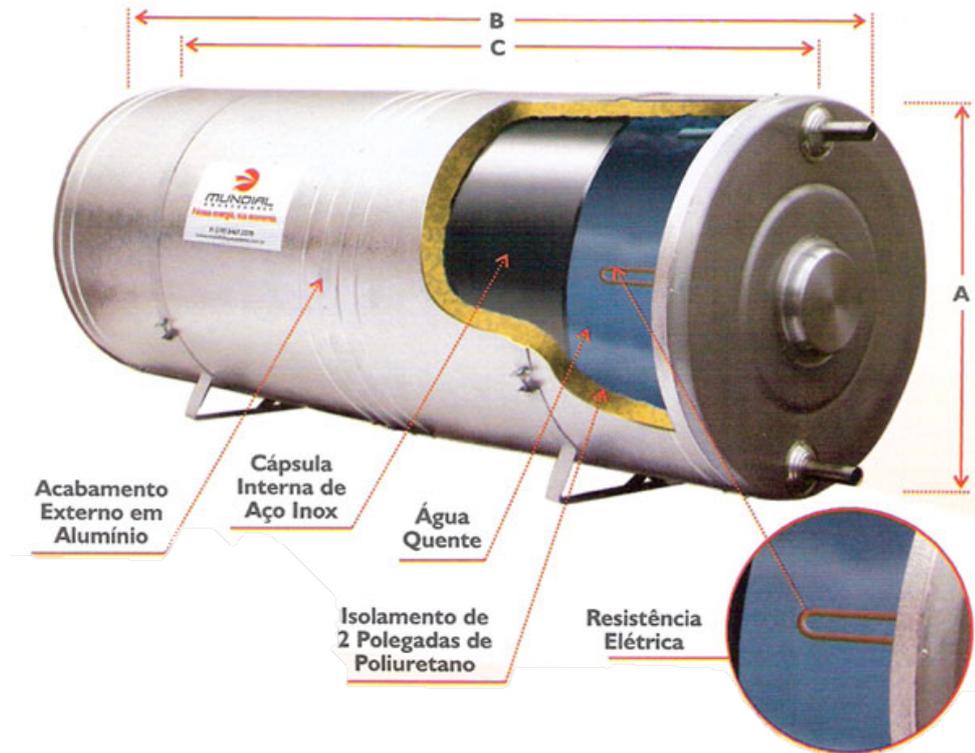


Figura 2.3 – Esquema contendo os principais componentes de um reservatório térmico [Hidraucenter, 2018].

A função do isolamento térmico é reduzir a perda de energia térmica contida na água do reservatório para o meio. Portanto, o isolamento deve ser produzido de um material com baixa condutividade térmica, k , como por exemplo o poliuretano ($k = 0,026 \text{ W/mK}$). O corpo interno é responsável por suportar a pressão mecânica exercida pela água dentro do reservatório. Devido ao contato direto com a água, este deve ser fabricado com material resistente à oxidação e à corrosão, como o aço inoxidável, por exemplo. O corpo externo geralmente feito de alumínio, aço galvanizado ou aço carbono pintado, para proteger o isolamento [Miyazato, 2012]. Uma das funções do termostato é medir a temperatura dentro do reservatório e informar o consumidor, ou outros pontos de controle do sistema.

Por fim, a resistência elétrica interna é utilizada como fonte auxiliar de energia para que o sistema sempre chegue a temperaturas desejadas, principalmente em dias com pouca radiação. Caso seja utilizado um sistema a gás como fonte auxiliar de energia, essa resistência é desligada. Não obstante, pode-se ter um sistema auxiliar com fonte elétrica fora do reservatório.

2.2.3 Componente: Fonte Auxiliar de Energia

A fonte auxiliar de energia pode ser um aquecedor elétrico, um aquecedor a gás ou uma bomba de calor ligada em série. O aquecedor elétrico geralmente vem integrado ao reservatório térmico sendo constituído por resistências elétricas blindadas que garantem maior durabilidade ao sistema. A resistência elétrica localizada dentro do reservatório é uma forma de instalação chamada de aquecimento de acumulação. Quando a mesma é ligada externamente ao reservatório é chamada de aquecimento de passagem, por exemplo, pode ser um chuveiro elétrico [Lima, 2013]. Na Figura 2.4 são apresentadas três formas de instalação de uma fonte auxiliar de energia a um SAS, as quais são descritas abaixo, de acordo com Duffie e Beckman, 2013.

Quando a fonte auxiliar de energia localiza-se dentro do reservatório térmico (configuração A, Figura 2.4), esta geralmente é uma resistência elétrica controlada por um termostato. Este tipo de instalação possui a desvantagem de aquecer todo o fluido que está no tanque, gastando mais energia do que a necessária. Por outro lado, sua vantagem é que a maioria dos reservatórios térmicos já possui uma resistência elétrica instalada dentro deles o que exclui a necessidade de instalação.

A fonte auxiliar de energia também pode ser instalada na saída do reservatório térmico. Quando a temperatura do fluido na saída do reservatório é inferior à desejada, a fonte auxiliar de energia (configuração B, Figura 3.4) tem a função de aquecê-la até uma temperatura preestabelecida. Este tipo de arranjo tem a vantagem de aquecer apenas o volume do fluido que será utilizado, gastando menos energia que o arranjo da configuração A, Figura 2.4.

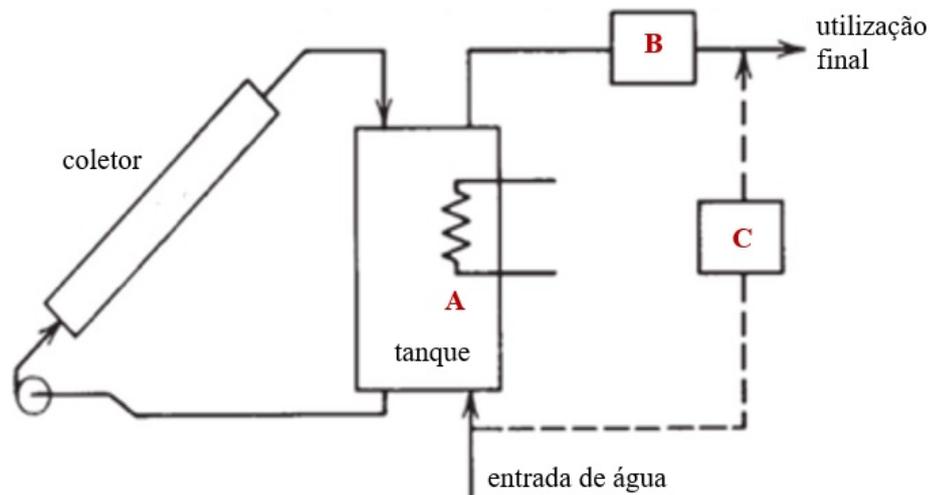


Figura 2.4 – Possíveis configurações de instalações de fontes auxiliares de energia, A, aquecedor por acumulação, B, aquecedor de passagem, C, bomba de calor [Adaptado de Duffie e Beckman, 2013].

Na configuração C, Figura 2.4, a fonte auxiliar funciona em paralelo com o tanque. Para utilizar esta forma de instalação é necessário que o reservatório térmico esteja com a temperatura superior à temperatura desejada. Desta forma, um misturador combina a água da rede com a água do reservatório, diminuindo a temperatura final do fluido. Geralmente, esta configuração é instalada em conjunto com a configuração A ou com a configuração B, Figura 3.4, com a finalidade de diminuir a temperatura da água do SAS em dias de intensa exposição à radiação solar.

2.2.4 Tipos de Sistemas de Aquecimento Solar – SAS

Os SAS utilizam a radiação oriunda do Sol para aquecer a água ou outro fluido de transferência de calor. Seu funcionamento dá-se quando esse fluido entra em contato com a superfície negra (placa absorvedora) que está recebendo a radiação. Na Figura 3.5 são apresentados os seguintes tipos de configuração de SAS: sistema direto com circulação forçada (A), sistema indireto com circulação forçada (B), sistema direto com circulação natural, ou termossifão (C), e sistema indireto com circulação natural (D).

Dependendo do circuito percorrido pelo fluido o sistema pode ser classificado como sistema direto ou indireto. Isto é, quando o fluido que circula no coletor solar é o mesmo entregue à utilização final, chama-se o sistema de direto. Por outro lado, quando o fluido que

circula no coletor é utilizado apenas para aquecer o fluido que é entregue à utilização final - ou seja, são fluidos diferentes que não se misturam - chama-se o sistema de indireto [Patel, 2012].

Com relação à força motriz que propicia a circulação do fluido, o sistema pode ser classificado como sistema com circulação natural ou circulação forçada. Se a circulação se dá com o auxílio de uma bomba, chama-se o mesmo de sistema de circulação forçada. Quando a circulação se dá devido ao gradiente de massa específica do fluido, o mesmo é chamado de sistema termossifão ou de circulação natural [Patel, 2012].

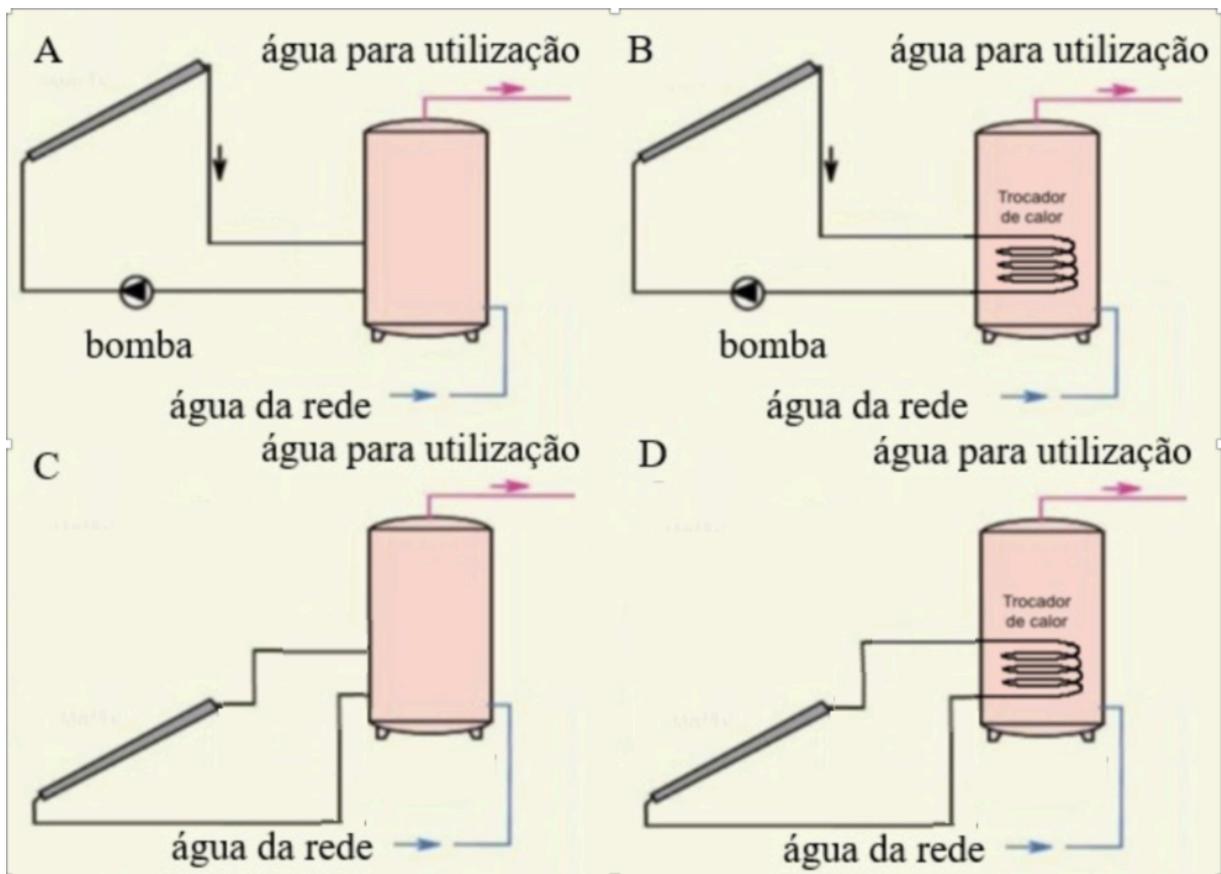


Figura 2.5 – Formas de instalação de um SAS [Adaptado de Abrava, 2018].

2.3 Qualidade da Água

O limite de cobre e chumbo recomendado pela Portaria do Ministério da Saúde nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, é de 2 mg/L e 10 µg/L ou de 31,5 µmol/L e 48,3 nmol/L, respectivamente. Os principais meios de contaminação da água com cobre são alguns processos industriais e as atividades agrícolas. Entretanto, quando a água quente circula pelos canos de cobre do aquecedor solar, ela acaba absorvendo uma quantidade, ainda que diminuta, deste

metal. A ingestão deste, em quantidade superior aos limites recomendados, pode ser prejudicial à saúde [Grigoletto et al., 2012].

Em um estudo realizado em algumas regiões de Ribeirão Preto/SP, foi analisado o nível de cobre e chumbo na água, em diversas residências com SAS [Grigoletto et al., 2012]. Uma das análises realizadas foi a comparação entre a quantidade de cobre e chumbo na água que passa por um SAS e na água que não passa por um SAS. Para o caso sem SAS, foram detectados 3.200 nmol/L de cobre e 7,55 nmol/L de chumbo. Já no caso com o SAS, foram detectados 4.550 nmol/L de cobre e 6,65 nmol/L de chumbo. Desta forma, a água que passou pelo SAS apresentou o equivalente a 40% a mais de cobre do que a água que não passou pelo SAS. Ainda assim, o teor medido foi aproximadamente sete vezes menor que o valor recomendado pelo Ministério da Saúde [Grigoletto et al., 2012].

Para ilustrar, a Figura 2.6 apresenta o esquema de funcionamento de um filtro que poderia ser utilizado em uma microcervejaria. Primeiramente, a água passa pela areia, onde as partículas sólidas, como barro, areia, ferrugem, e outras impurezas, são retidas. Após, a água passa pelo carvão ativado granulado. Nesta etapa do processo de filtração são retirados odores, sabores, o excesso de cloro, e ainda qualquer partícula de rejeito que ainda permaneça na água. No seixo 1 ocorre a remoção de materiais biológicos como bactérias e compostos orgânicos. No seixo 2, formado por resinas aniônicas e catiônicas, os metais pesados, cátions e ânions são removidos. Por fim, no seixo 3 é onde ocorre a retenção do flúor contido na água [Hidrotek, 2018].

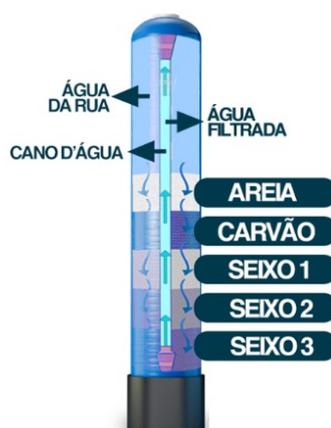


Figura 2.6 – Esquema de funcionamento de um filtro [Adaptado de Hidrotek, 2018].

De qualquer forma, é importante salientar que, independentemente da utilização, ou não, de SAS em processos de aquecimento de água para a indústria alimentícia e de bebidas, é

necessária a realização de análises periódicas da água, mantendo-se assim um rigoroso controle de qualidade.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para avaliação da utilização de um SAS em uma cervejaria. É exposta a definição do problema, detalhada a cervejaria estudada, detalhada as condições climáticas de Porto Alegre, explicado o funcionamento do software TRNSYS e suas *types*, e apresentada a forma que é realizada a análise financeira.

3.1 Definição do Problema

Neste trabalho foram realizadas as análises térmica, energética e financeira, da utilização de um SAS em uma cervejaria localizada na cidade de Porto Alegre. O tamanho do pavilhão, a inclinação do telhado, e a distância entre o SAS e o ponto de consumo da água, são dados hipotéticos. As análises térmica e energética foram realizadas através de simulações no programa TRNSYS, variando-se o perfil (horário) de consumo de água quente pela cervejaria. Para análise econômica foi utilizado o valor presente líquido (VPL).

O mesmo SAS foi utilizado em todas as simulações. O perfil de consumo de água quente variou da seguinte forma: avaliou-se a utilização da mesma para fabricação de cerveja às 4, 7, 10, 13 e 16 horas. Para cada um dos perfis, variou-se a fonte auxiliar de energia entre um aquecedor de passagem com resistência elétrica e um aquecedor de passagem a gás. Desta forma, foram realizadas dez simulações, ou seja, foram avaliados dez casos diferentes.

Tendo em vista que a cervejaria não possui um padrão de horário para começar a produzir a cerveja, os cinco horários foram avaliados a fim de verificar se é possível aproveitar uma maior fração da energia proveniente do SAS alterando o padrão de consumo.

A análise térmica teve o objetivo de analisar a quantidade de dias do ano em que a temperatura dentro do tanque ultrapassa a temperatura de segurança limite de 80°C.

A análise energética buscou avaliar se é mais vantajoso utilizar gás ou eletricidade como fonte de energia auxiliar, a radiação solar recebida (ganho de energia útil) e a quantidade de energia solicitada das fontes auxiliares.

Por último, a análise econômica avaliou qual dos horários de consumo seria economicamente mais “vantajoso”, qual o tempo de retorno do investimento e o VPL de cada uma.

3.2 Caso de Estudo

Para realização deste trabalho foram utilizados alguns dados de uma cervejaria localizada no polo cervejeiro da capital gaúcha, no bairro Anchieta. Nesta cervejaria produz-se diariamente 350 litros de cerveja que são armazenados em barris de 20 e 30 litros. Para o presente estudo considerou-se que a produção de cerveja é realizada nos 365 dias do ano, pois de segunda a sexta-feira o cervejeiro está com 100% de sua capacidade ocupada produzindo a sua cerveja, e nos finais de semana a cervejaria é alugada para cervejarias ciganas, que são cervejarias que não possuem um local próprio de produção, desta forma ao analisar os 365 dias do ano obtém-se um resultado mais próximo da realidade.

A cervejaria em questão produz os seguintes tipos de cerveja: Pilsen Extra, English IPA, Weiss, Helles, APA, Dry Stout, X Bacon e Black Metal. A partir da análise dos processos de produção destas cervejas verificou-se que, na maioria dos casos, na fase de mosturação é utilizado o preaquecimento da água à 48°C. Portanto, decidiu-se que a implementação do SAS, dar-se-ia no processo de preaquecimento da água de mosturação. Consequentemente, as análises englobam somente as cervejas que apresentam esta mesma temperatura de preaquecimento.

O SAS foi montado como um sistema direto com circulação forçada, ou seja, o fluido que circula no coletor solar, por bombeamento, é o mesmo utilizado no processo. Foi realizado um breve dimensionamento do SAS utilizando o método F-chart. Com isto foi utilizado uma bomba de 0,5 cv (ou 735,5 W) de potência. Na Figura 3.1 é apresentado um esquema simplificado de como seria a instalação do sistema.

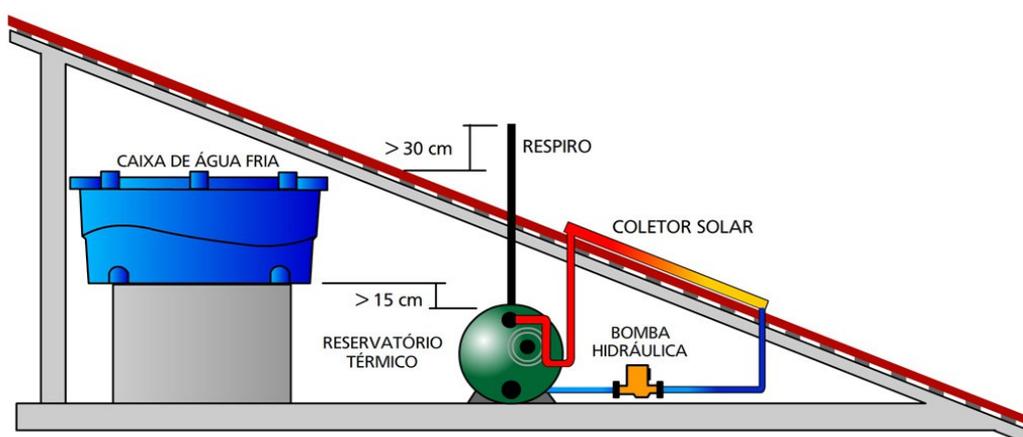


Figura 3.1 – SAS (direto com circulação forçada) [Climadek, 2018].

3.2.1 Irradiação e Temperatura

Os dados climáticos utilizados são do tipo *test reference year* (TRY) que pode ser traduzido como ano climático de referência. Os dados contidos em arquivos TRY apresentam a média de radiação e temperatura ao longo de anos, mas os anos em que ocorreram temperaturas extremas, fora do normal, são excluídos para obter uma maior representatividade de um ano referência [Carlo, 2005].

O arquivo TRY utilizado apresenta medições climáticas medidas no aeroporto de Porto Alegre desde 1957 até 2005. Os dados de irradiação utilizados neste trabalho são apresentados na Figura 3.2, que apresenta a irradiação média diária incidente no plano inclinado em $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$.

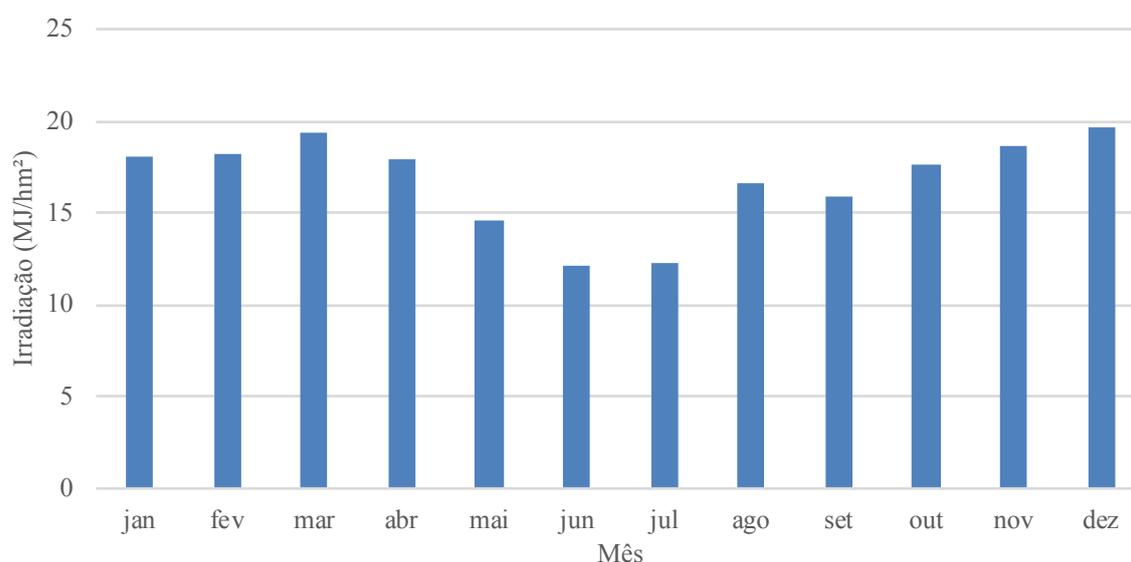


Figura 3.2 – Irradiação diária média recebida no plano inclinado [Carlo, 2005].

A fim de obter uma maior veracidade dos dados foi considerado que a temperatura média diária é igual a temperatura de entrada da água no tanque.

3.2.2 Coletor Solar tipo Placa Plana

O coletor solar escolhido para as simulações é o Heliotek MC 20 Evolution Pro, reconhecido com conceito “A” dentro dos padrões do Programa Brasileiro de Etiquetagem, que avalia a eficiência energética de diversos objetos variando do mais eficiente “A” até o menos

eficiente “E” ou “G”, dependendo do equipamento em questão [Inmetro, 2018]. A classe dos coletores é apresentada na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Classe dos coletores solar de acordo com a produção de energia mensal [Inmetro, 2018].

Classe	Produção Específica Mensal (kWh/mês/m ²)
A	$P_{mensal} > 71$
B	$77 \geq P_{mensal} > 71$
C	$71 \geq P_{mensal} > 61$
D	$61 \geq P_{mensal} > 51$
E	$51 \geq P_{mensal} > 41$

Tabela 3.2 - Especificações técnicas MC 20 Evolution Pro [Heliotek, 2018].

Componente	Especificações
Dimensões A x L X P (mm)	2000 x 1000 x 69
Área externa (m ²)	2
Volume interno do absorvedor (L)	1,61
Superfície Absorvedora	Black Paint
Produção mensal de energia por m ² de coletor (kWh/mês/m ²)	89,7
Produção mensal de energia por coletor (kWh)	179
Eficiência (%)	64,3
Vazão de água recomendada por coletor (L/h)	70
Tipo de vidro	Temperado
Peso (kg)	27

De acordo com o catálogo do fabricante Heliotek, 2018 o coletor solar possui as seguintes características gerais: absorvedor em chapa única de alumínio soldada por ultrassom; espaçador entre o vidro e a chapa do absorvedor, que garante o “efeito estufa” e a eficiência dos coletores; caixa em alumínio resistente e robusta; conexões em cobre de 22 mm para solda; revestimento interno aluminizado, que reflete o calor para a chapa aumentando a eficiência; e

vidro temperado, resistente à impactos, como chuvas de granizo. As especificações técnicas do coletor utilizado são apresentadas na Tabela 3.2.

3.2.3 Reservatório Térmico

Foi utilizado o método F-chart para realizar o dimensionamento do SAS, e depois foi verificado se os valores obtidos apresentam os melhores resultados, variando o número de coletores solar, potência da bomba e tamanho do reservatório. O ideal seria utilizar um reservatório com o dobro da capacidade que é utilizada diariamente, ou seja 700 litros. De acordo com espaço destinado a instalação do SAS na cervejaria estudada, o maior reservatório que se pode instalar é de 400L. O reservatório escolhido é classificado como “A” no Programa Brasileiro de Etiquetagem [INMETRO, 2018].

O reservatório escolhido foi o Aquakent 400L, que apresenta as seguintes características: revestimento interno de aço inoxidável AISI 304 e 316L; revestimento externo constituído de chapa de alumínio; tubulações em aço inoxidável; suporte de apoio em aço galvanizado com pintura eletrostática; anodo de sacrifício em magnésio para tanque interno em aço inoxidável AISI 316L e 304; pressão de trabalho máxima de 20 mca; e proteção IP24 - objetos protegidos contra jorro de água. O reservatório possui área de superfície de 2,77 m², e ao longo de seu corpo possui isolamento uniforme com um coeficiente global de transferência de calor igual a 2,5 W/m²K [Industek, 2018].

3.2.4 Filtro da água

Ao passar pelo SAS a água acaba carregando alguns metais contidos nos canos de cobre. Embora o nível de cobre na água que passa pelo SAS medidos por Grigoletto et al., 2012 tenham ficado sete vezes menor que o recomendado por lei, faz-se necessário inserir o filtro para garantir que a água esteja própria para o consumo, uma vez que a água avaliada no artigo é proveniente de fontes diferentes das quais serão utilizadas pela cervejaria estudada.

O filtro escolhido foi o Tanque FPR, o qual possui temperatura de operação entre 5 e 50°C, sua vazão é de 1500 L/h e sua pressão de operação fica entre 137,9 e 551,6 kPa. Na simulação, por simplicidade, a utilização do filtro foi desconsiderada, contudo, seu valor foi considerado na análise econômica. De acordo com o fabricante, deve-se trocá-lo em média a cada 5 anos, devido à sua função de retrolavagem, que limpa o filtro e evita que se acumulem materiais indesejados.

3.2.5 TRNSYS

O TRNSYS é um programa desenvolvido na Universidade de Wisconsin, nos Estados Unidos, que simula o comportamento de sistemas transientes. Muito utilizado pela comunidade da engenharia e arquitetura serve tanto para simulação de eficiência energética em construções quanto para a análise de sistemas térmicos solares [TRNSYS, 2018], como é o caso de estudo deste trabalho.

Um dos grandes fatores de sucesso do programa TRNSYS é sua estrutura aberta e modular. O código fonte do *kernel*, bem como a hierarquia de funcionamento dos componentes são distribuídas aos usuários finais. Isto faz com que seja desnecessário o desenvolvimento de novos programas para atingir as necessidades específicas de cada usuário [TRNSYS, 2018].

A arquitetura baseada em DLL permite aos usuários e desenvolvedores que produzam componentes customizados (*types*) com a utilização de linguagens de programação como: C, C++, PASCAL, FORTRAN, etc. O TRNSYS exporta e importa dados a outros softwares para o pré ou pós processamento dos dados, ele também executa chamadas interativas entre softwares durante a simulação. Exemplos destes softwares são: Microsoft Excel, Matlab, COMIS, etc. [TRNSYS, 2018].

Um projeto realizado no TRNSYS é tipicamente criado arrastando e soltando componentes na área de trabalho, conectando-os entre si e definindo os parâmetros globais de simulação. As *types* são descritos por um modelo matemático que representa o comportamento de uma fração do sistema. Cada *type* possui uma caixa onde pode-se definir os dados de entrada, saída, e parâmetros de utilização [TRNSYS, 2018].

Na Figura 3.3 é apresentado um exemplo do desenvolvimento de um projeto de um SAS no TRNSYS. À direita da Figura 3.3 observa-se a galeria de componentes, que são arrastados para o centro da imagem, onde o projeto é montado. O lado esquerdo da Figura 3.3 apresentam-se as ferramentas para conectar as *types*, mover as *types*, dar zoom no projeto, etc.

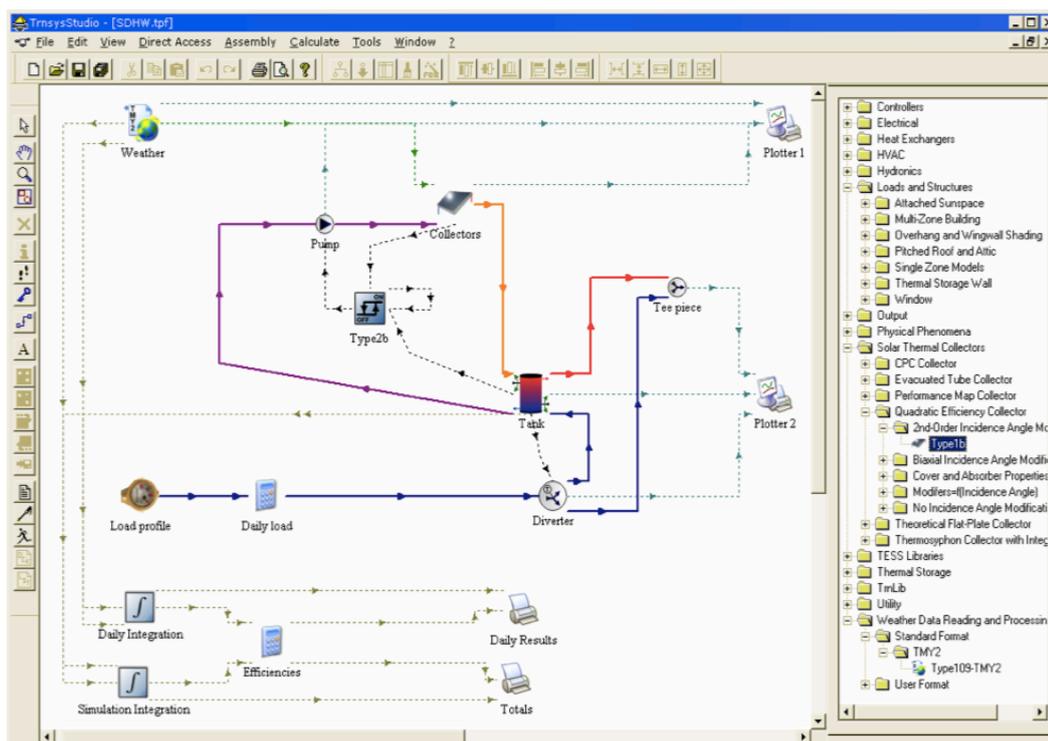


Figura 3.3 – Exemplo de criação de um projeto no TRNSYS [TRNSYS, 2018].

Na Figura 3.4 apresenta-se o esquema da montagem do SAS no programa TRNSYS utilizado neste trabalho. O funcionamento do sistema dá-se da seguinte maneira, a água da rede entra pela *type14h*, e passa para o tanque de armazenamento (*type4c*), onde então é bombeada (*type3b*) para os painéis solares (*type1b*), e volta para o tanque de armazenamento. Ao abrir a torneira a água quente sai da parte superior do tanque (onde se concentra a porção de água mais quente) e passa por um aquecedor de passagem elétrico ou a gás (*type6*), que analisa a temperatura da água, e entra em ação caso esteja abaixo de 48 °C. Se a temperatura da água está acima de 48 °C, o misturador (*type11h*), por sua vez, analisa quanto de água da rede deve ser inserido para chegar a uma temperatura final de 48°C. O tanque nunca fica vazio, quando uma porção de água é retirada do sistema, instantaneamente é repostada com água da rede.

O sistema repete um padrão de funcionamento a cada 24 horas. Sendo assim, nas simulações realizadas variou-se o horário de utilização da água entre às 4 horas e 4 horas e 20 minutos para a simulação das 4 horas; 7 horas e 7 horas e 20 minutos para a simulação das 7 horas; 10 horas e 10 horas e 20 minutos para a simulação das 10 horas; 13 horas e 13 horas e 20 minutos para a simulação das 13 horas; e 16 horas e 16 horas e 20 minutos para a simulação das 16 horas.

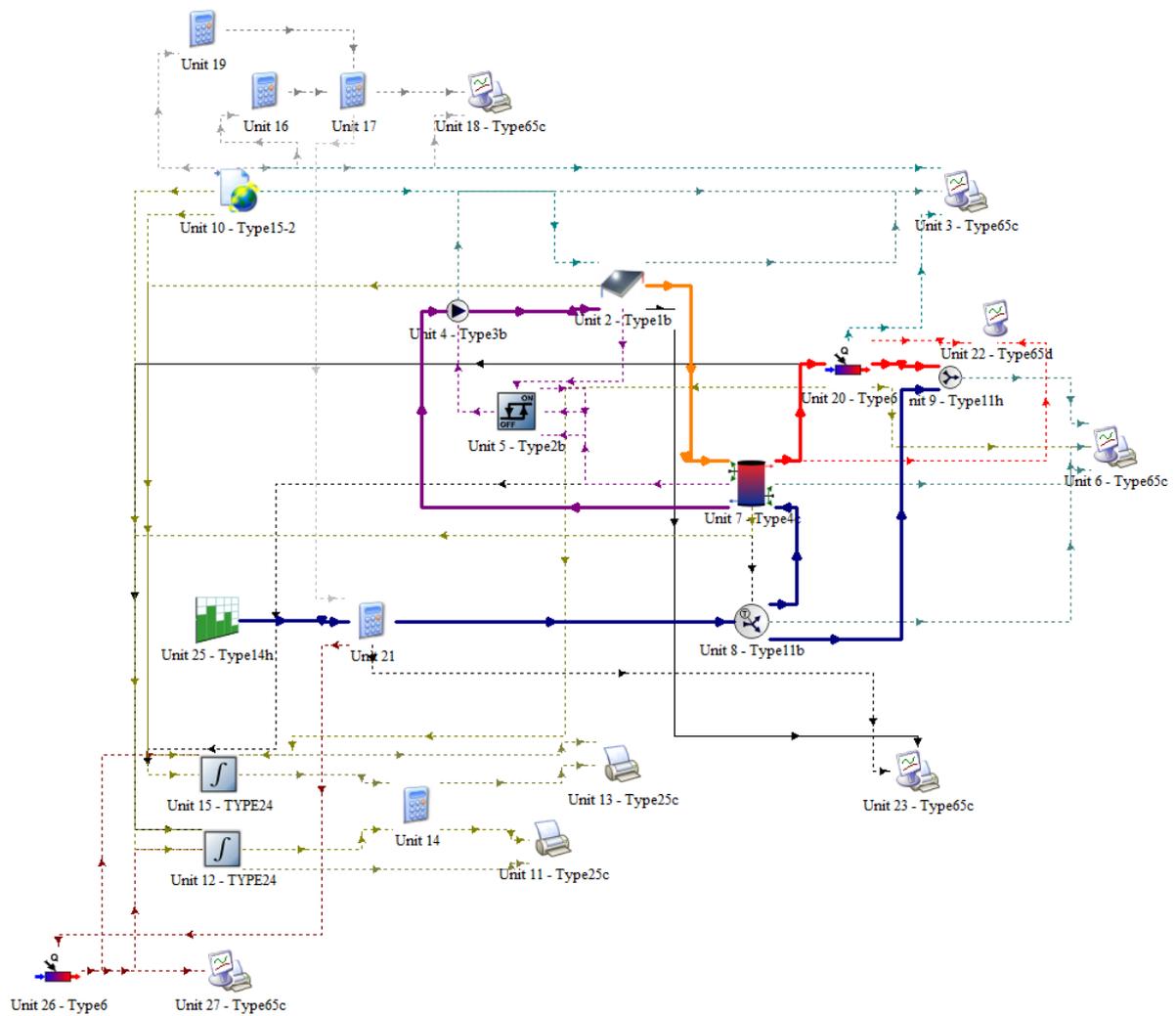


Figura 3.4 – Projeto utilizado para a simulação do SAS para a cervejaria.

Com a variedade de *types* existentes existe a possibilidade de realizar os mais variados tipos de simulações. Internamente, essas *types* resolvem equações que descrevem seu comportamento utilizando os dados de entrada do usuário. As *types* utilizadas no presente trabalho são apresentadas a seguir.

A *type14h* é utilizada para forçar a entrada de água por um determinado período de tempo, em uma determinada hora. Foi definido que a vazão do sistema é de 17,5 L/min, com isto em 20 min o tanque de destino da água é cheio. Com esta *type* foi possível determinar o horário de utilização da água. As equações resolvidas por esta *type* são apresentadas a seguir, nas quais, C_T é o tempo total do ciclo, em horas, V_i valor da função no ponto i , t_i é o tempo entre o início do ciclo e o momento em que os pontos i e V_i são atingidos, V_l é o valor da média linear interpolada da função, e Δt é o tempo de duração da simulação, em horas.

$$t_c = MOD(TIME, C_T) - \frac{\Delta t}{2} \quad (3.1)$$

$$R = \frac{t_c - t_{c-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (3.2)$$

$$V_l = V_{i-1} + R(V_i - V_{i-1}) \quad (3.3)$$

A *type11b* refere-se a um cano em formato de *Y*, chamado de divisor, onde é possível dividir a entrada de água no sistema, conforme ilustra a Figura 3.5. Esta *type* é utilizada para “transportar” apenas uma propriedade do fluido, a temperatura. A decisão de qual o volume de água que passará por cada lado é definido pela *type11h* podendo variar de 0 a 100% no cano que vai para a *type11h*, e de 100 a 0% no cano que vai para a *type4c*. A temperatura do fluido se mantém a inalterada, ou seja, $T_i = T_1 = T_2$, como pode-se ver na Figura 3.5.

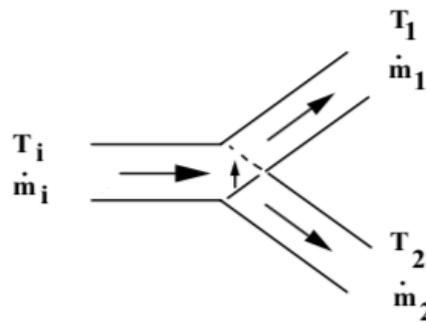


Figura 3.5 – Representação de um divisor [Adaptado de SEL, 2011].

A *type4c* refere-se ao tanque de armazenamento estratificado. Este tanque foi segmentado em 6 partes iguais representando seis regiões nas quais a temperatura é a mesma. A condutância de perdas globais de carga térmica é igual a 2,5 W/m²K. Esta condutância é medida em temperatura ambiente, assumida igual a 24 °C, e com o interior do tanque vazio. O tanque possui um aquecedor elétrico interno. Entretanto, para este estudo, o mesmo foi desconsiderado. Esta *type* ainda conta com uma “válvula de alívio de pressão”. Assim, se o fluido entrar em ebulição, esta válvula é aberta, evitando explosões. A taxa de energia perdida e a variação na energia do tanque, podem ser obtidos pelas equações abaixo, nas quais, \dot{Q}_{env} é a taxa de energia perdida do tanque para o meio, em W, UA_i é a condutância total para perda de carga, em W/K, T_i é a temperatura do tanque no iésimo segmento, T_a é a temperatura ambiente, γf é uma função de controle que define se o aquecedor auxiliar interno está ligado ou desligado (sendo 1 ligado e 0 desligado), $UA_{f,i}$ representa as perdas de calor, em W/K, para

o i ésimo segmento do tanque, e T_f é a temperatura média da válvula de escape quando o aquecedor interno não está operando, \dot{Q}_s é a taxa de energia sensível removida do tanque, em W, \dot{m}_L é a vazão mássica que vai para carga, em kg/s, C_{pf} é o calor específico do fluido contido no tanque, em J/kgK, T_1 é a temperatura da primeira divisão do tanque, e T_L é a temperatura do fluido que está circulando entre as divisões vizinhas, em K, \dot{Q}_{in} é a taxa de energia que está sendo inserida no tanque pela corrente de água quente, em W, \dot{m}_h é a vazão mássica, em kg/s, que circula entre o coletor solar (fonte de calor) e o tanque, T_h é a temperatura que o fluido está entrando no tanque, oriundo da fonte de calor, e T_N é a temperatura do segmento do tanque mais frio, ΔE é a variação de energia da água dentro do tanque, em J, V é o volume do tanque, em m^3 , ρ_f é a massa específica do fluido, em kg/m^3 , e N é o número de segmentos do tanque. Temperaturas em K.

$$\dot{Q}_{env} = \sum_{i=1}^N UA_i(T_i - T_a) + \gamma f \sum_{i=1}^{i=l} UA_{f,i}(T_i - T_f) \quad (3.4)$$

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_L C_{pf}(T_1 - T_L) \quad (3.5)$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_h C_{pf}(T_h - T_N) \quad (3.6)$$

$$\Delta E = \frac{V \rho_f C_{pf} [\sum_{i=1}^N T_i - \sum_{i=1}^N T_{i,TIME0}]}{N} \quad (3.7)$$

A *type3b* representa uma bomba que faz com que a água circule entre o coletor solar e o reservatório térmico. Ela leva em consideração, inclusive, a quantidade de calor que é passado da bomba para o fluido circulante baseado na potência da bomba, a qual foi definida em 735,5 W, com vazão mássica máxima igual a 210 kg/h. Esta *type* resolve as seguintes equações para a temperatura de saída do fluido e para a vazão mássica de saída da bomba, nas quais, T_o é a temperatura de saída do fluido, T_i é a temperatura de entrada do fluido, P é o consumo de energia da bomba, em W, f_{par} é a fração de energia da bomba que é convertida em energia térmica do fluido, \dot{m} é a vazão mássica da bomba, em kg/s, e C_p é o calor específico do fluido, em J/kgK, \dot{m} é a vazão mássica da bomba, em kg/s, γ é uma função de controle sendo 0

quando está desligada e 1 quando está ligada, \dot{m}_{max} é a vazão mássica máxima da bomba, em kg/s.

$$T_o = T_i + \frac{P * f_{par}}{mC_p} \quad (3.8)$$

$$\dot{m} = \gamma \dot{m}_{max} \quad (3.9)$$

A *type1b* representa o coletor de placa plana. Nesta simulação foram utilizados três coletores de 2 m² totalizando 6 m² de área coletora, todos conectados em série, inclinados a 45° com a horizontal e orientados para o Norte geográfico. Possuem fator de perdas $FrUL$ igual a 5,051 W/m²K e fator óptico $Fr'(\tau\alpha)_n$ igual a 0,739, adimensional. As equações resolvidas por esta *type* são a eficiência do coletor e a correção da vazão no coletor. Estas equações são apresentadas abaixo, nas quais, η é a eficiência do coletor solar, F_R é o fator de eficiência de remoção de calor do coletor, adimensional, $(\tau\alpha)_n$ é o produto da transmitância da cobertura do coletor solar a incidência normal de radiação com a absorptância do absorvedor, adimensional, U_L é o coeficiente de perdas térmicas por unidade de área, em kJ/(hm²K), T_i é a temperatura de entrada do fluido no coletor, em K, T_a é a temperatura ambiente, em K, I_T é a irradiação global horária incidente no plano do coletor, em kJ/hm², e $U_{L/T}$ é o coeficiente de perdas térmicas com dependência da temperatura, em kJ/(hm²K), r_1 é o fator de correção da taxa de vazão, adimensional, F_R é o fator de eficiência de remoção de calor do coletor, adimensional, U_{L-USE}^1 é o coeficiente de perdas térmicas por unidade de área em uso, em kJ/h.m²K, e U_{L-TEST}^1 é o coeficiente de perdas térmicas por unidade de área testado, em kJ/h.m²K.

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (3.10)$$

$$r_1 = \frac{F_R U_{L-USE}^1}{F_R U_{L-TEST}^1} \quad (3.11)$$

A *type6* representa um aquecedor de passagem. Sua função é elevar a temperatura do fluido utilizando controle interno, externo ou ambos. Neste trabalho é utilizado controle interno, onde o aquecedor de passagem detecta a temperatura do fluido, verifica se é menor que a

temperatura determinada, e decide se deve ser acionado ou não. O aquecedor de passagem funciona como aquecedor elétrico e aquecedor a gás, no qual é apenas modificada a eficiência do aparelho. O aquecedor elétrico possui eficiência de 90% e o aquecedor a gás possui eficiência de 85%. Em ambos os tipos de aquecedores é fixada uma temperatura de saída igual a 48 °C. Abaixo são apresentadas as funções que esta *type* resolve, nas quais, \dot{m}_o é a vazão mássica de saída e \dot{m}_i é a vazão mássica de entrada, em kg/s, T_o é a temperatura de saída, em °C, \dot{Q}_{max} é a taxa máxima de aquecimento do aquecedor, em kJ/h, η_{htr} é a eficiência do aquecedor, adimensional, \dot{m} é a vazão mássica, em kg/h, C_{pf} é o calor específico do fluido, em kJ/kgK, T_i é a temperatura de entrada, em °C, \dot{Q}_{fluid} taxa de adição de calor ao fluido, em kJ/h, \dot{Q}_{loss} taxa de perdas térmicas do aquecedor para o ambiente, em kJ/h, UA é o coeficiente global de perdas de calor entre o aquecedor e o meio, em kJ/h, T_m é a temperatura média entre a entrada e saída do fluido, em °C, T_a é a temperatura ambiente, em °C, \dot{Q}_{max} é a taxa máxima de aquecimento do aquecedor, em kJ/h.

$$\dot{m}_o = \dot{m}_i \quad (3.12)$$

$$T_o = \frac{\dot{Q}_{max}\eta_{htr} + \dot{m}C_{pf}T_i + UAT_a - \frac{UAT_i}{2}}{\dot{m}C_{pf} + \frac{UA}{2}} \quad (3.13)$$

$$\dot{Q}_{fluid} = \dot{m}_o C_{pf} (T_o - T_i) \quad (3.14)$$

$$\dot{Q}_{loss} = UA(T_m - T_a) + (1 - \eta_{htr})\dot{Q}_{max} \quad (3.15)$$

$$T_m = \frac{T_o + T_i}{2} \quad (3.16)$$

A *type11h* realiza o trabalho inverso da *type11b*, ela serve como um misturador de água. Sua função é detectar a temperatura de entrada da água. Caso esteja acima da temperatura definida, de 48 °C, ela define a vazão mássica da água da rede necessária para misturar com a água quente, e atingir a temperatura definida. Caso a temperatura de entrada da água já esteja a 48 °C, esta *type* não realiza nenhuma função. Esta *type* está representada na Figura 3.6 e as

equações que ela resolve são apresentadas na sequência, nas quais, T_o é a temperatura de saída do fluido, em °C, \dot{m}_1 é a vazão mássica no ponto 1, em kg/h, T_1 é a temperatura no ponto 1, em °C, \dot{m}_2 é a vazão mássica no ponto 2, em kg/h, T_2 é a temperatura no ponto 2, em °C, e γ é uma função de controle que vale 0 quando está desligado e 1 quando está ligado, \dot{m}_o é vazão mássica de saída. Todas as vazões mássicas são em kg/h.

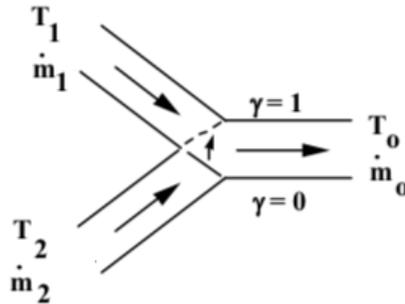


Figura 3.6 – Misturador de água, type1h. [Adaptado de SEL, 2011]

$$T_o = \frac{\dot{m}_1 T_1 (1 - \gamma) + \dot{m}_2 T_2 \gamma}{\dot{m}_1 (1 - \gamma) + \dot{m}_2 \gamma} \quad (3.17)$$

$$\dot{m}_o = \dot{m}_1 (1 - \gamma) + \dot{m}_2 \gamma \quad (3.18)$$

A *type2b* realiza o trabalho de controlar o funcionamento da bomba. Com a divisão do tanque em 6 partes iguais, o controlador analisa a temperatura de cada parte e decide se deve ligar, permanecer ligado, desligar ou permanecer desligado. Ainda é possível determinar uma temperatura limite que, caso a mesma seja ultrapassada, o sistema para de circular água entre o SAS. Para realizar este controle, ele obedece às funções de controle descritas abaixo, nas quais, γ_i é a função de controle de entrada que analisa se a bomba está ligada ou desligada, sendo 1 e 0, respectivamente, ΔT_L é a diferença de temperatura das duas partes inferiores do tanque, T_L é a temperatura de saída da água do tanque, T_H temperatura de entrada da água no tanque, ΔT_H é a diferença de temperatura das duas partes superiores do tanque, e γ_o é função de controle de saída, quando é 1 a bomba deve ligar ou permanecer ligada, quando é 0 a bomba deve desligar ou permanecer desligada. Todas as temperaturas estão em °C.

$$\text{Se } \gamma_i = 1, \text{ e } \Delta T_L \leq (T_H - T_L), \gamma_o = 1 \quad (3.19)$$

$$\text{Se } \gamma_i = 1, \text{ e } \Delta T_L > (T_H - T_L), \gamma_o = 0 \quad (3.20)$$

$$\text{Se } \gamma_i = 0, \text{ e } \Delta T_H \leq (T_H - T_L), \gamma_o = 1 \quad (3.21)$$

$$\text{Se } \gamma_i = 0, \text{ e } \Delta T_H > (T_H - T_L), \gamma_o = 0 \quad (3.22)$$

A *type15-2* lê e interpreta dados do meteorológicos. Esta *type* pode calcular a radiação total, radiação direta, radiação difusa, radiação refletida pelo solo, e o ângulo de incidência da radiação direta. Dentro dos dados meteorológicos é possível determinar a temperatura da água. Neste trabalho foi considerado que a temperatura da água é a média diária da temperatura ambiente.

A *type65c* funciona como uma impressora *online*. Através dela é possível visualizar o comportamento de variáveis específicas dentro do sistema em intervalos de tempo determinados. Através deste componente é possível descobrir diversas informações do sistema, bem como analisar se o sistema está funcionando de acordo com o desejado. Esta *type*, além de mostrar os dados do sistema graficamente, gera um arquivo com as extensões .xls e .txt, com todos os dados analisados, facilitando o posterior tratamento dos mesmos.

A *type25c* também funciona como uma impressora *online*, mas sua função é apresentar um dado ou uma variável do sistema, em um intervalo de tempo específico. Cada *type25c* pode apresentar até quinhentas variáveis.

A *type24* é utilizada para integrar uma quantidade em um determinado período de tempo. Neste trabalho foi utilizada como um contador de consumo de energia. Cada *type24* pode realizar até 250 integrais, e não há uma quantidade máxima de *type24* que pode ser utilizada na simulação.

3.3 Aproveitamento Solar

O aproveitamento solar é o percentual de energia útil que é aproveitado do sol, quando comparado com a energia total necessária para aquecer o fluido a uma dada temperatura, sem a utilização de um SAS. O aproveitamento solar é dado por [Kalogirou, 2013] apresentado na equação 4.23, na qual P' é o aproveitamento solar, adimensional, L é a energia mensal necessária para suprir a carga, apresentada neste trabalho em GJ, e L_{aux} é a energia mensal complementar necessária para suprir a carga, em GJ.

$$P' = \frac{L - Laux}{L} \quad (3.23)$$

3.4 Análise Econômica

Nesta parte do trabalho é apresentada a forma como foram realizadas as análises econômicas. Também são apresentados alguns valores definidos, tais como: valor da energia elétrica, valor do GLP e taxa de desconto.

3.4.1 Valor da tarifa de Energia Elétrica

A tarifa de energia elétrica no Brasil sofre grande influência política e das condições climáticas, sendo assim é difícil prever o valor futuro baseado em anos anteriores. Na Figura 3.7 são apresentados os valores finais de energia elétrica, com os impostos PIS, COFINS e ICMS para as indústrias, no período entre julho de 2014 e junho de 2018.

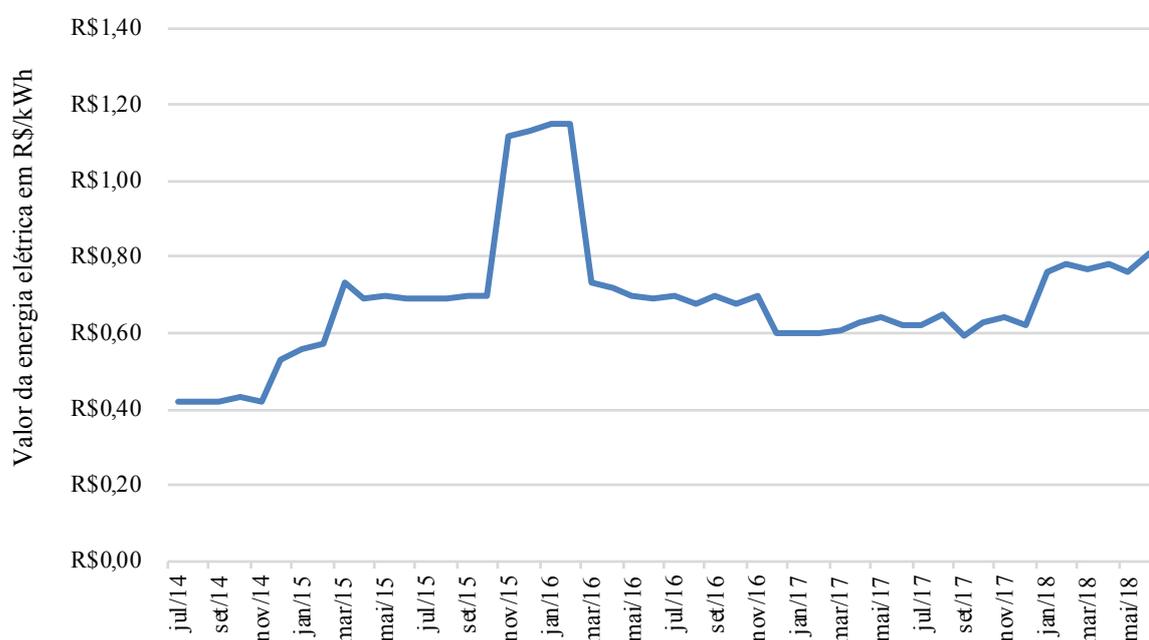


Figura 3.7 – Valor de Energia Elétrica no Brasil. [CEEE, 2018]

Considerando as influências do preço da energia elétrica no Brasil, decidiu-se que o valor utilizado para a realização da avaliação econômica seria uma média dos valores entre janeiro de 2018 e junho de 2018, resultando em R\$ 0,78/kWh.

3.4.2 Valor da Tarifa de Gás

A tarifa de gás foi determinada através de consultas realizadas no mês de junho de 2018 a cinco fornecedores de gás liquefeito de petróleo (GLP) que vendem para o bairro Anchieta de Porto Alegre. A média dos cinco valores resultou em R\$ 6,50/kg de GLP.

A fim de calcular o consumo de GLP, foi determinado que a queima 1 kg de GLP corresponde a 49 MJ, de acordo com Gasmig, 2018. O cálculo da quantidade de GLP consumido é obtido através da equação abaixo, na qual m é a massa de GLP, em kg, Q_{aux} é a energia gasta pelo aquecedor de passagem a gás, em MJ, e R é igual ao poder calorífico superior do GLP.

$$m = \frac{Q_{aux}}{R} \quad (3.24)$$

3.4.3 Taxa de Desconto

A taxa de desconto é o custo do capital quando é analisado um investimento de longo prazo. Esta taxa é amplamente utilizada em análises de investimento a fim de verificar se um investimento é economicamente viável ou não.

A previsão de aumento das taxas de juros, da inflação e do dólar dificilmente são fidedignas ao que ocorre, ainda mais quando analisamos um cenário de 20 anos à frente. Portanto, para fins de análise considera-se a meta da Selic para os anos de 2020, 2021, 2022 e 2023, que segundo Bradesco, 2018 é de 7% ao ano. O mesmo foi considerado como valor absoluto de todas as taxas de desconto relativas aos produtos e à energia.

3.4.4 Valor Presente Líquido

O valor presente líquido (VPL) é um método de avaliação econômica de investimento que leva em consideração o fluxo de caixa, o período de investimento e uma taxa de juros, que pode ser a inflação, os juros bancários, etc. O VPL é calculado através da seguinte equação, na qual FC_t representa o fluxo de caixa no tempo t , em anos, k' é a taxa de desconto, I é o investimento inicial em unidade monetária.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + k')^t} - I \quad (3.25)$$

Quando o VPL é menor ou igual que zero, o investimento não teve lucro, sendo inviável economicamente. Por outro lado, se o VPL for maior que zero significa que o investimento possivelmente é viável, dependendo das expectativas e julgamento do investidor.

3.4.5 *Payback* descontado

Existem diversos tipos de *payback*, mas o mais utilizado em sistemas energéticos é o *payback* descontado, o qual determina o tempo necessário para que o valor economizado com combustível se iguale ao total do investimento inicial. Em outras palavras, pode ser entendido como o tempo necessário para o retorno do valor investido no SAS devido às economias provindas do seu uso. Quanto menor for o valor do *payback*, mais atrativo se torna o investimento. Pode-se calcular o *payback* através de Kalogirou, 2013, na qual C_s é o investimento inicial, em R\$, i_F é a taxa de desconto, apresentada na Seção 3.4.3, F é o aproveitamento solar, adimensional, L é o valor da energia para aquecer a água, em R\$/GJ, C_{F1} é a quantidade de energia gasta no primeiro ano, em GJ/ano, e M é a manutenção anual do sistema, em reais.

$$PB = \frac{C_s(1 + i_F)}{FLC_{F1} - M} \quad (3.26)$$

4 RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos através das simulações no software TRNSYS. Em seguida é realizada uma comparação entre os casos avaliados, identificando as melhores condições de uso do SAS.

Foram realizadas cinco simulações onde variou-se o perfil de consumo da água do SAS. Para simulação 1 deu-se às 4h; para simulação 2 deu-se às 7h; Para a simulação 3 deu-se às 10h; para simulação 4 deu-se às 13h; para simulação 5 deu-se às 16h. Em cada uma das simulações variou-se, também, o tipo de fonte de energia auxiliar utilizada no SAS entre GLP e eletricidade. As cinco simulações representam os 5 diferentes horários do começo da fase de mosturação. Todas as simulações utilizaram a mesma base de irradiação apresentada na Figura 3.2.

4.1 Simulação 1 – Utilização às 4 horas

Na simulação 1 utiliza-se água quente proveniente do SAS às 4 horas da manhã ao começar o processo de mosturação. Os perfis de temperatura média mensal que se obtém utilizando água do SAS a esta hora são apresentados na Figura 4.1. O reservatório foi dividido em 6 partes iguais. Seu perfil de temperatura é representado pelas temperaturas médias mensais na parte superior, na qual se concentra o volume de água mais quente, e na parte inferior, onde se concentra o volume de água mais fria. É apresentado o perfil de temperatura de consumo que se mantém em 48°C como pré-definido, e a temperatura média ambiente às 4 horas da manhã.

O mês que apresentou as temperaturas médias mais altas dentro do reservatório foi março, no valor de 54,8°C e 50°C respectivamente na parte superior e inferior do reservatório térmico. Já o mês que apresentou a temperatura média mais baixa dentro do reservatório foi julho, com temperaturas da água na parte inferior do reservatório iguais a 31,9°C e 35°C na parte superior. Nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro as temperaturas médias na parte superior do reservatório ficaram acima da temperatura de consumo. Somente no mês de março a temperatura média na parte inferior do reservatório superou a temperatura de consumo.

Na Figura 4.2 é apresentada a quantidade de energia recebida pelo coletor, a quantidade de energia aproveitada do SAS (ganho de energia útil), as perdas (quantidade de energia não aproveitada), e o aproveitamento solar, determinado através da Equação 3.23.

Como o tanque de armazenamento possui 400L, e são utilizados apenas 350L diariamente, foram consideradas como perda toda a quantidade de energia térmica que foi absorvida e não foi utilizada.

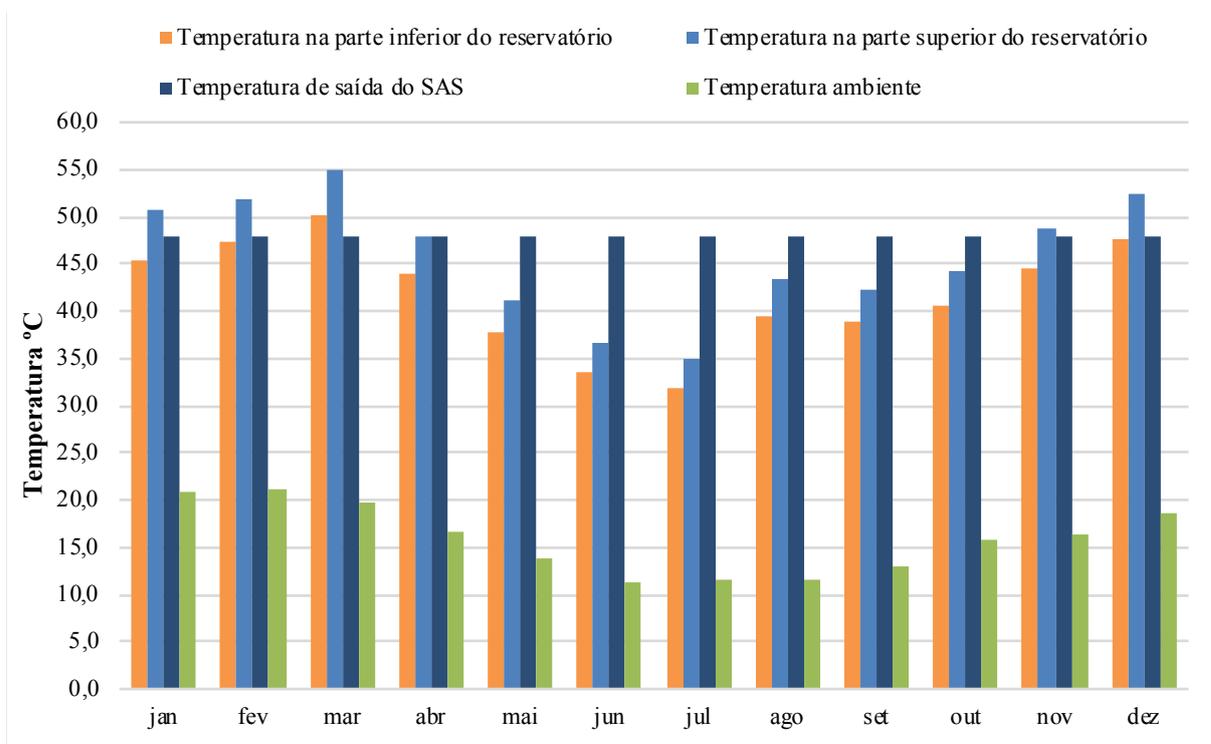


Figura 4.1 – Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 4h da manhã.

Março apresenta a maior quantidade de energia recebida pelo coletor e também as maiores perdas do coletor. O mês que apresenta o maior ganho de energia útil foi em agosto, na ordem de 1 GJ. Fevereiro apresenta o menor ganho de energia útil, na ordem de 0,5 GJ. O aproveitamento solar anual é igual a 72,2%, o que indica que mais da metade da energia necessária para aquecer a água a 48°C é suprida pelo Sol. O mês com o maior aproveitamento solar foi março, com 88,1%, e com menor foi julho, com 54,1%.

Na Tabela 4.1 é apresentada a energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um aquecedor elétrico (Q_{el}), a energia útil do SAS ($Q_{\text{útil SAS}}$), a energia elétrica auxiliar para atingir a temperatura de saída de 48°C ($Q_{\text{aux el}}$), e a energia total do SAS ($Q_{\text{tot SAS}}$) que é a soma entre a $Q_{\text{útil SAS}}$ e $Q_{\text{aux el}}$. Nos meses de inverno necessita-se de mais energia auxiliar para aquecer a água, pois a água do tanque perde mais energia para o meio e a temperatura média ambiente apresenta-se mais baixa que nas outras estações do ano.

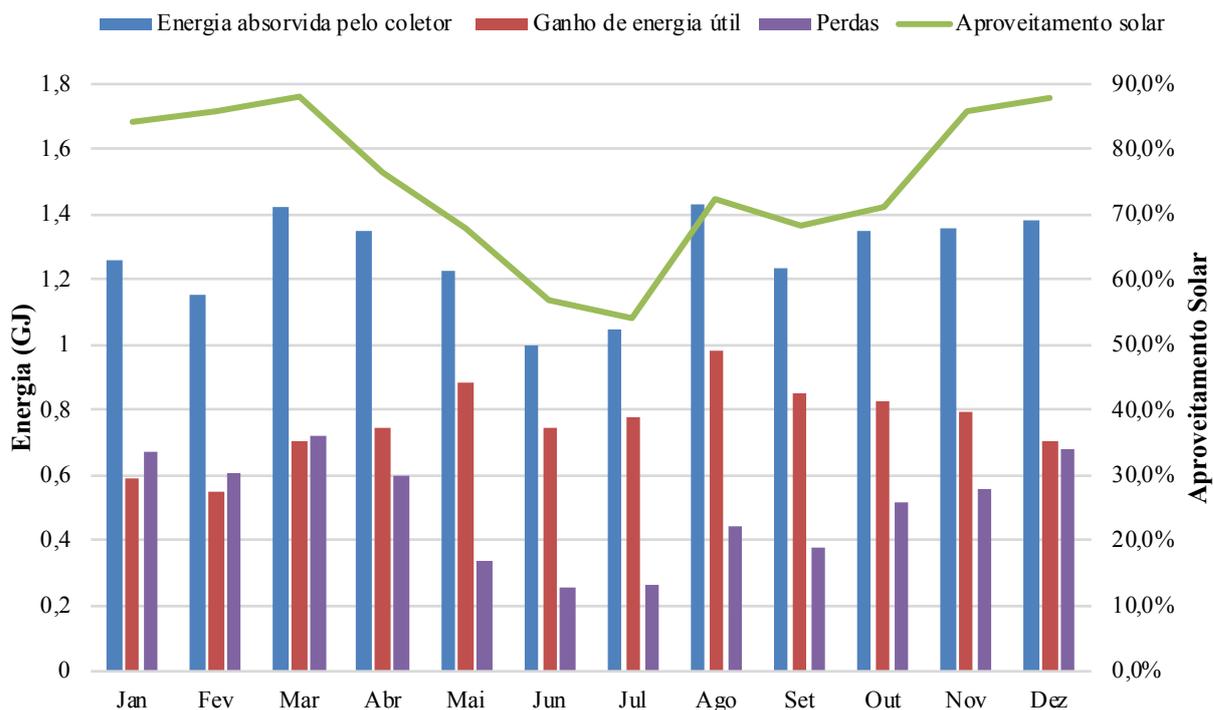


Figura 4.2 – Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 4 horas.

Ao avaliar os valores mensais da Tabela 4.1, a energia anual para aquecer a água com eletricidade, sem o SAS, é 14,1 GJ. A $Q_{tot\ SAS}$ é 13,1 GJ dos quais 3,9 GJ são referentes a energia complementar elétrica e 9,2 GJ são referentes a energia útil proveniente do aquecedor solar. Quando compara-se os valores de Q_{el} com os valores da $Q_{aux\ el}$, $Q_{aux\ el}$ representa 27,7% de Q_{el} .

Na Tabela 4.2 é apresentada a energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um aquecedor a gás ($Q_{gás}$), a energia útil do SAS ($Q_{útil\ SAS}$), a energia auxiliar proveniente do GLP para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux\ GLP}$), e a energia total do SAS ($Q_{tot\ SAS}$) que é a soma entre a $Q_{útil\ SAS}$ e $Q_{aux\ GLP}$.

Tabela 4.1 – Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar na simulação 1.

Mês	Q_{el} (GJ)	$Q_{\acute{u}til\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ el}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,78	0,59	0,12	0,71
fev	0,72	0,55	0,10	0,65
mar	0,89	0,70	0,11	0,81
abr	1,09	0,75	0,25	1,00
mai	1,45	0,89	0,47	1,36
jun	1,46	0,75	0,63	1,38
jul	1,61	0,78	0,74	1,52
ago	1,51	0,98	0,42	1,40
set	1,39	0,85	0,44	1,30
out	1,30	0,83	0,38	1,20
nov	1,03	0,80	0,15	0,95
dez	0,89	0,71	0,11	0,81
Total	14,11	9,18	3,91	13,09

4.2 – Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar na simulação 1.

Mês	$Q_{g\acute{a}s}$ (GJ)	$Q_{\acute{u}til\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ GLP}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,82	0,59	0,13	0,72
fev	0,76	0,55	0,11	0,66
mar	0,94	0,70	0,11	0,82
abr	1,15	0,75	0,27	1,02
mai	1,54	0,89	0,49	1,38
jun	1,55	0,75	0,67	1,42
jul	1,70	0,78	0,78	1,56
ago	1,59	0,98	0,44	1,42
set	1,47	0,85	0,47	1,32
out	1,37	0,83	0,40	1,23
nov	1,10	0,80	0,16	0,95
dez	0,95	0,71	0,12	0,82
Total	14,94	9,18	4,15	13,32

Durante um ano são necessários 14,9 GJ de GLP para atingir a temperatura de consumo da água sem a utilização de um SAS. Já com a utilização do SAS e GLP como energia complementar é necessário 13,3 GJ de energia útil, dos quais 4,15 GJ são referentes a demanda de energia auxiliar de GLP e 9,18 GJ são referentes a energia recebida do aquecedor solar. Quando compara-se os valores de $Q_{gás}$ com os valores da $Q_{aux\ GLP}$, $Q_{aux\ GLP}$ representa 27,8% de $Q_{gás}$.

4.2 Simulação 2 – Utilização às 7 horas

Na simulação 2 utiliza-se água quente proveniente do SAS às 7 horas da manhã ao começar o processo de mosturação. Na Figura 4.3 é possível observar os perfis de temperatura obtidos nesta condição, tais como a temperatura média mensal na parte inferior do reservatório, temperatura média mensal na parte superior de reservatório, temperatura de consumo e a temperatura média mensal ambiente às 7 horas da manhã.

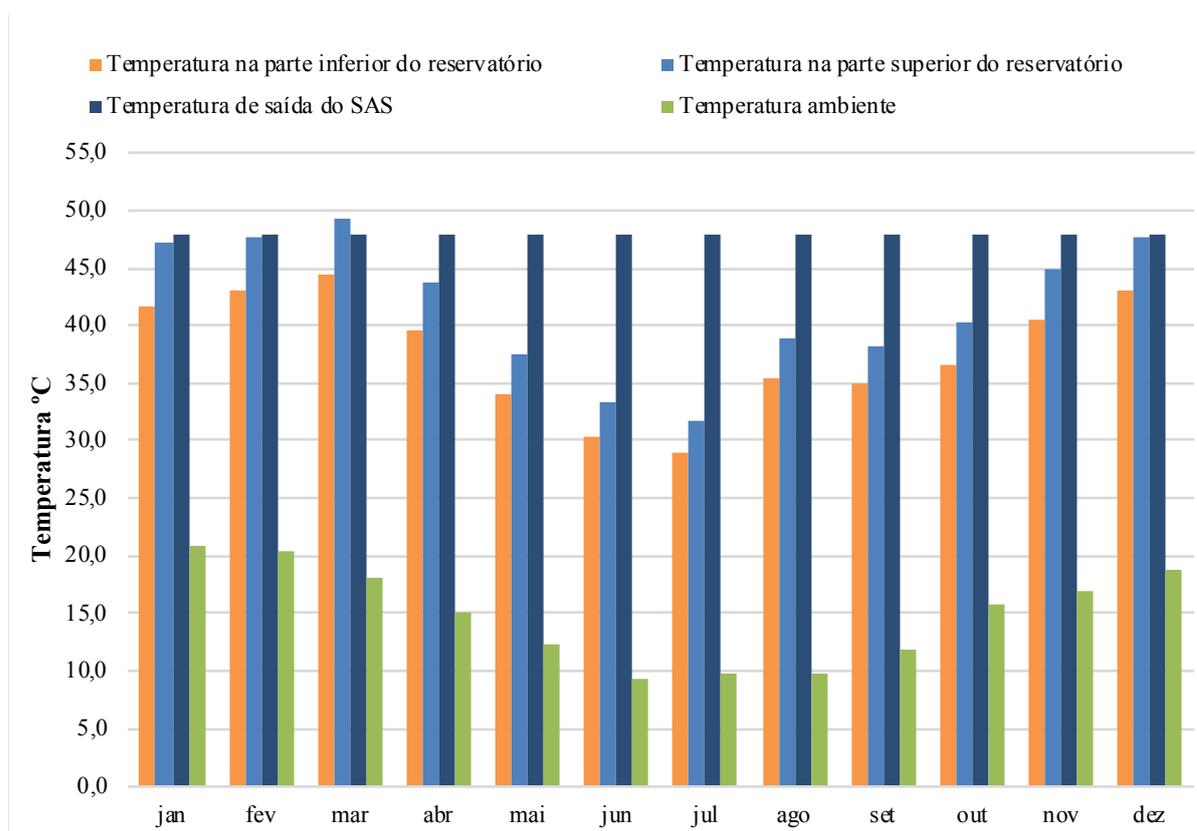


Figura 4.3 – Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 7h da manhã.

Na Figura 4.3 é visto que a temperatura média mensal na parte inferior do reservatório, no horário de utilização da água, não atingiu a temperatura de consumo em nenhum mês. A

temperatura na parte superior do reservatório ficou acima da temperatura de consumo somente em março, às 7 horas da manhã. Março foi o mês que apresentou as temperaturas médias mais altas dentro do tanque, na ordem de 49,3°C na parte superior do tanque e 44,5°C na parte inferior do tanque. Julho foi o mês que apresentou as menores temperaturas médias na parte superior e inferior do tanque, respectivamente 31,7°C e 29,1°C.

Na Figura 4.4 é apresentada a quantidade de energia recebida pelo coletor, a quantidade de energia aproveitada do SAS (ganho de energia útil), as perdas e o aproveitamento solar. O maior aproveitamento solar foi em março com 86,1% e o menor foi em julho com 52,2%, já o aproveitamento solar anual do sistema foi 69,6%. O pico de ganho de energia útil foi em agosto com 0,95 GJ. O mês com o menor ganho de energia útil foi fevereiro com 0,53 GJ. Embora fevereiro tenha recebido menos energia útil que julho, foi necessária uma quantidade de energia auxiliar menor que julho para atingir a temperatura de consumo devido as temperaturas ambientes serem mais elevadas no mês de fevereiro. Sendo assim, o aproveitamento solar de fevereiro apresenta-se 52,2 pontos percentuais maior que em julho. Durante um ano o sistema perdeu 6,4 GJ.

Na Tabela 4.3 é apresentada a energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um aquecedor elétrico (Q_{el}) às 7 horas da manhã, a energia útil do SAS ($Q_{\text{útil SAS}}$), a energia elétrica auxiliar para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux\ el}$) e a energia total do SAS utilizando eletricidade como energia auxiliar ($Q_{tot\ SAS}$).

São necessários, durante um ano, 14,1 GJ para aquecer a água com energia elétrica (Q_{el}) e utiliza-la às 7 horas da manhã. Já com a utilização do SAS com energia auxiliar elétrica são necessários 13,1 GJ para atingir a temperatura de consumo, sendo que 4,3 GJ são destinados a energia auxiliar elétrica e 8,8 GJ são provenientes do aquecedor solar. Quando compara-se os valores de Q_{el} com os valores da $Q_{aux\ el}$, $Q_{aux\ el}$ representa 30,4% de Q_{el} .

Na Tabela 4.4 é apresentada a energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um aquecedor a gás ($Q_{gás}$) às 7 horas da manhã, a energia útil do SAS ($Q_{\text{útil SAS}}$), a energia auxiliar proveniente do GLP para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux\ GLP}$) e a energia total do SAS utilizando GLP como energia auxiliar ($Q_{tot\ SAS}$).

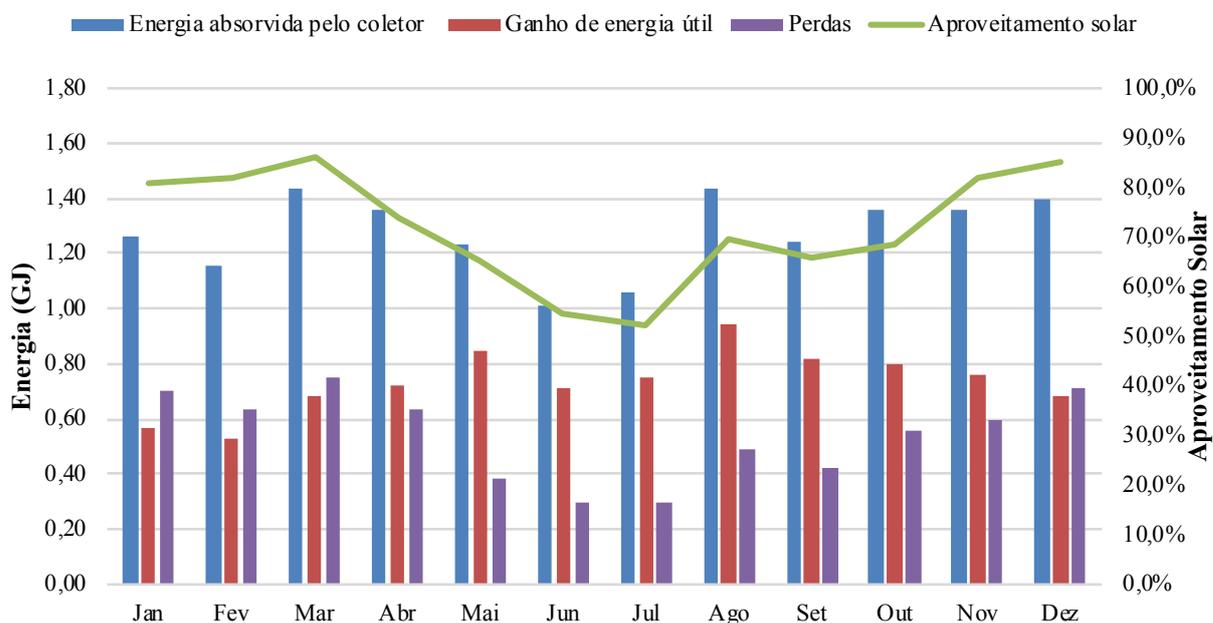


Figura 4.4 – Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 7 horas.

Tabela 4.3 – Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar na simulação 2.

Mês	Q_{el} (GJ)	$Q_{útil\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ el}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,78	0,57	0,15	0,71
fev	0,72	0,53	0,13	0,66
mar	0,89	0,69	0,12	0,81
abr	1,09	0,72	0,29	1,01
mai	1,45	0,85	0,51	1,36
jun	1,46	0,72	0,67	1,38
jul	1,61	0,76	0,77	1,52
ago	1,51	0,95	0,46	1,40
set	1,39	0,82	0,48	1,30
out	1,30	0,80	0,41	1,21
nov	1,03	0,76	0,19	0,95
dez	0,89	0,68	0,13	0,82
Total	14,11	8,84	4,29	13,13

Ao utilizar um SAS com GLP como energia auxiliar às 7 horas da manhã, o SAS deve fornecer 13,4 GJ, sendo que 4,6 GJ são referentes a energia auxiliar a gás e 8,8 GJ são provenientes do aquecedor solar. Ao aquecer a água somente com aquecedor a gás gasta-se 14,9 GJ de energia. Quando compara-se os valores de $Q_{gás}$ com os valores da $Q_{aux\ GLP}$, $Q_{aux\ GLP}$ representa 37% de $Q_{gás}$.

Tabela 4.4 – Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar na simulação 2.

Mês	$Q_{gás}$ (GJ)	$Q_{útil\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ GLP}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,82	0,57	0,16	0,72
fev	0,76	0,53	0,14	0,66
mar	0,94	0,69	0,13	0,82
abr	1,15	0,72	0,30	1,03
mai	1,54	0,85	0,54	1,39
jun	1,55	0,72	0,70	1,42
jul	1,70	0,76	0,81	1,57
ago	1,59	0,95	0,48	1,43
set	1,47	0,82	0,51	1,33
out	1,37	0,80	0,43	1,23
nov	1,10	0,76	0,20	0,96
dez	0,95	0,68	0,14	0,82
Total	14,94	8,84	4,54	13,38

4.3 Simulação 3 – Utilização às 10 horas

Na simulação 3 utiliza-se água quente proveniente do SAS às 10 horas da manhã ao começar o processo de mosturação. As temperaturas médias mensais na parte superior do tanque, na parte inferior do tanque, na saída do SAS e a temperatura ambiente às 10 horas da manhã são apresentadas na Figura 4.5. Pode-se observar que as menores temperaturas médias da água na parte superior e inferior do tanque são obtidas no mês de julho, 34,4°C e 30,6°C, respectivamente. Já as maiores temperaturas médias na parte superior e inferior do tanque são obtidas no mês de março, 53,8°C e 48,8°C, respectivamente.

Nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro, as temperaturas médias da água na parte superior do reservatório ficaram acima da temperatura de consumo no horário de utilização. Enquanto que, somente em março as temperaturas médias da água na parte inferior do reservatório atingiram os 48°C, às 10 horas da manhã.

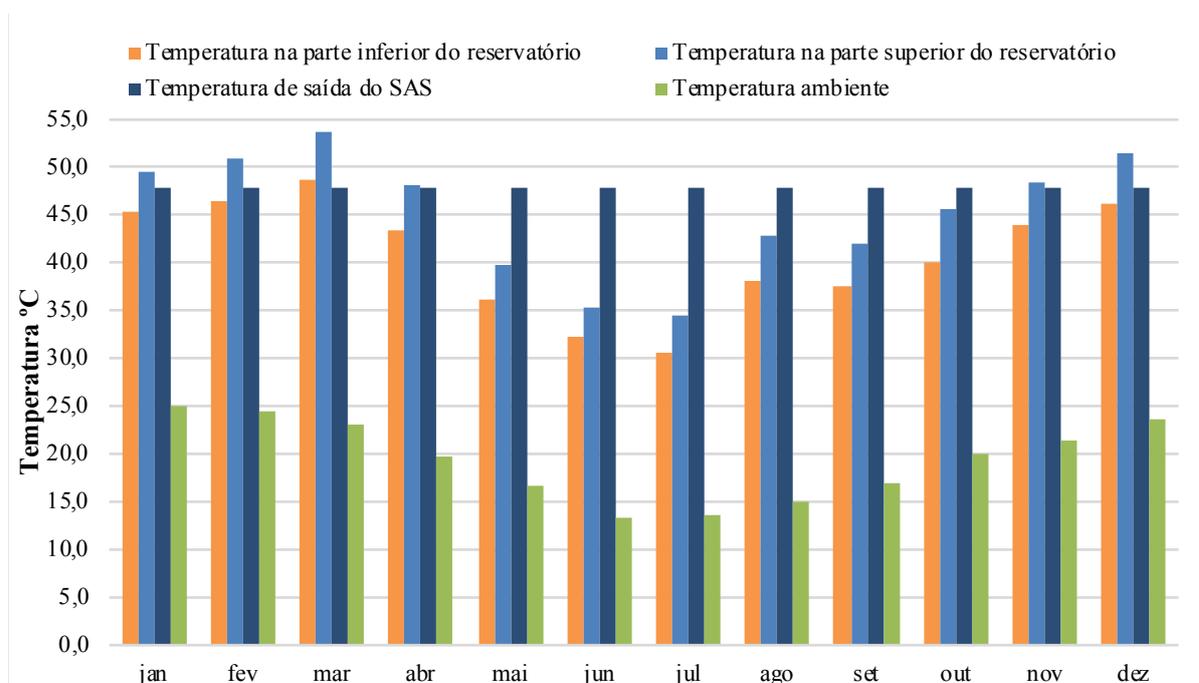


Figura 4.5 – Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 10h da manhã.

Na Figura 4.6 é apresentada a quantidade de energia recebida pelo coletor, a quantidade de ganho de energia útil, as perdas e o aproveitamento solar. O menor aproveitamento solar foi obtido em junho com 51,9%, e o maior em março com 87,9%, já o aproveitamento anual foi igual a 70,5%. Durante um ano o sistema recebeu 15,1 GJ, dos quais 9 GJ foram utilizados e 6,1 GJ foram perdidos. Agosto foi o mês que apresentou a maior quantidade de energia útil recebida pelo coletor, 0,95 GJ, e fevereiro o mês com menor quantidade de energia útil recebida, com um valor 42,1% menor que agosto, na ordem de 0,55 GJ.

Na Tabela 4.5 é apresentada a energia necessária para aquecer a água com a utilização de um aquecedor elétrico (Q_{el}) às 10 horas da manhã, a energia útil do SAS ($Q_{util\ SAS}$), a energia elétrica auxiliar para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux\ el}$), e a energia total do SAS com energia auxiliar elétrica ($Q_{tot\ SAS}$). Durante um ano de utilização do SAS às 10 horas da manhã são necessários 13,1 GJ, dos quais 8,9 GJ são fornecidos pelo coletor solar, e 4,2 GJ

são fornecidos pela fonte auxiliar de energia elétrica. Quando compara-se os valores de Q_{el} com os valores da $Q_{aux\ el}$, $Q_{aux\ el}$ representa 29,4% de Q_{el} .

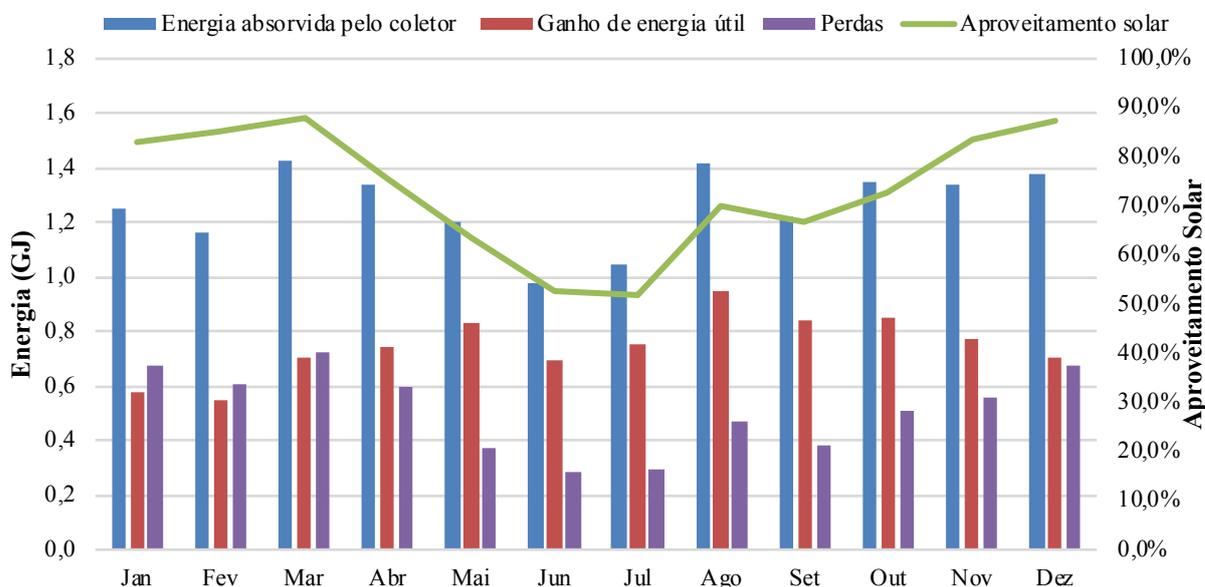


Figura 4.6 – Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 10 horas.

Na Tabela 4.6 é apresentada a energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um aquecedor a gás ($Q_{gás}$) às 10 horas da manhã, a energia útil do SAS ($Q_{útil\ SAS}$), a energia auxiliar proveniente do GLP para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux\ GLP}$), e a energia total do SAS ($Q_{tot\ SAS}$).

Durante um ano são necessários 14,9 GJ de GLP para aquecer a água às 10 horas da manhã à 48°C utilizando somente um aquecedor a gás. Com a utilização do SAS e GLP como energia auxiliar são necessários 13,4 GJ, dos quais, 4,4 GJ são referentes a demanda de energia auxiliar de GLP, e 9 GJ são referentes a energia útil recebida pelo aquecedor solar. Quando compara-se os valores de $Q_{gás}$ com os valores da $Q_{aux\ GLP}$, $Q_{aux\ GLP}$ representa 27,5% de $Q_{gás}$.

Tabela 4.5 – Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar na simulação 3.

Mês	Q_{el} (GJ)	$Q_{útil\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ el}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,78	0,58	0,13	0,71
fev	0,72	0,55	0,11	0,65
mar	0,89	0,70	0,11	0,81
abr	1,09	0,74	0,26	1,01
mai	1,45	0,83	0,53	1,36
jun	1,46	0,69	0,69	1,38
jul	1,61	0,75	0,77	1,52
ago	1,51	0,95	0,45	1,40
set	1,39	0,84	0,46	1,30
out	1,30	0,85	0,36	1,20
nov	1,03	0,78	0,17	0,95
dez	0,89	0,70	0,11	0,81
Total	14,11	8,95	4,16	13,12

Tabela 4.6 – Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar na simulação 3.

Mês	$Q_{gás}$ (GJ)	$Q_{útil\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ GLP}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,82	0,58	0,14	0,72
fev	0,76	0,55	0,11	0,66
mar	0,94	0,70	0,11	0,82
abr	1,15	0,74	0,28	1,02
mai	1,54	0,83	0,57	1,39
jun	1,55	0,69	0,73	1,43
jul	1,70	0,75	0,82	1,57
ago	1,59	0,95	0,48	1,43
set	1,47	0,84	0,49	1,33
out	1,37	0,85	0,38	1,22
nov	1,09	0,78	0,18	0,96
dez	0,95	0,70	0,12	0,82
Total	14,94	8,95	4,41	13,36

4.4 Simulação 4 – Utilização às 13 horas

Na simulação 4 utiliza-se água quente proveniente do SAS às 13 horas ao começar o processo de mosturação. A média mensal das temperaturas na parte superior do tanque, a média mensal das temperaturas na parte inferior do tanque, as temperaturas médias mensais na saída do SAS e as temperaturas médias ambiente às 13 horas, são apresentadas na Figura 4.7. Pode-se observar que a média mensal das temperaturas na parte inferior do reservatório foi menor em julho, 32,7°C e maior em março, 55,8°C, correspondendo com as outras simulações apresentadas até agora. As temperaturas médias na parte superior do reservatório, da mesma forma, foram menores em julho, 38,2°C, e maior em março, 61,8°C. As temperaturas médias da água na parte inferior do reservatório não superaram a temperatura de utilização de maio a outubro, já nos meses de maio, junho, julho e setembro, as temperaturas médias da parte superior do reservatório não superou os 48°C.

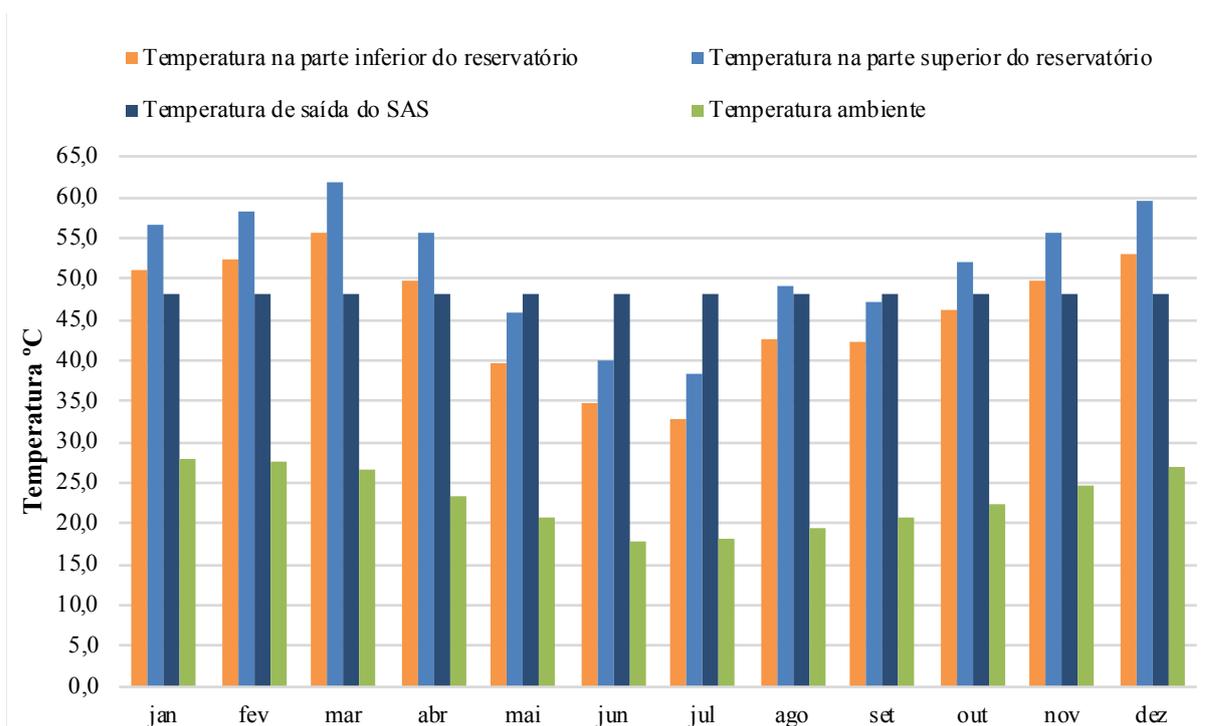


Figura 4.7 – Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 13h.

Na Figura 4.8 é apresentada a quantidade de energia recebida pelo coletor, a quantidade de energia aproveitada do SAS (ganho de energia útil), as perdas (quantidade de energia não aproveitada) e o aproveitamento solar, determinado através da Equação 3.23.

Durante um ano o SAS absorveu um total de 15,4 GJ, dos quais perdeu 5,3 GJ. O aproveitamento solar anual foi igual a 79,4%, sendo julho o mês com o menor aproveitamento solar do ano, igual a 59%, e dezembro com o maior aproveitamento solar, igual a 95,2%. O maior ganho de energia útil foi em agosto, 1,1 GJ, e o menor em fevereiro, 0,6 GJ. Durante um ano o sistema obteve um ganho de energia útil igual a 10,1 GJ.

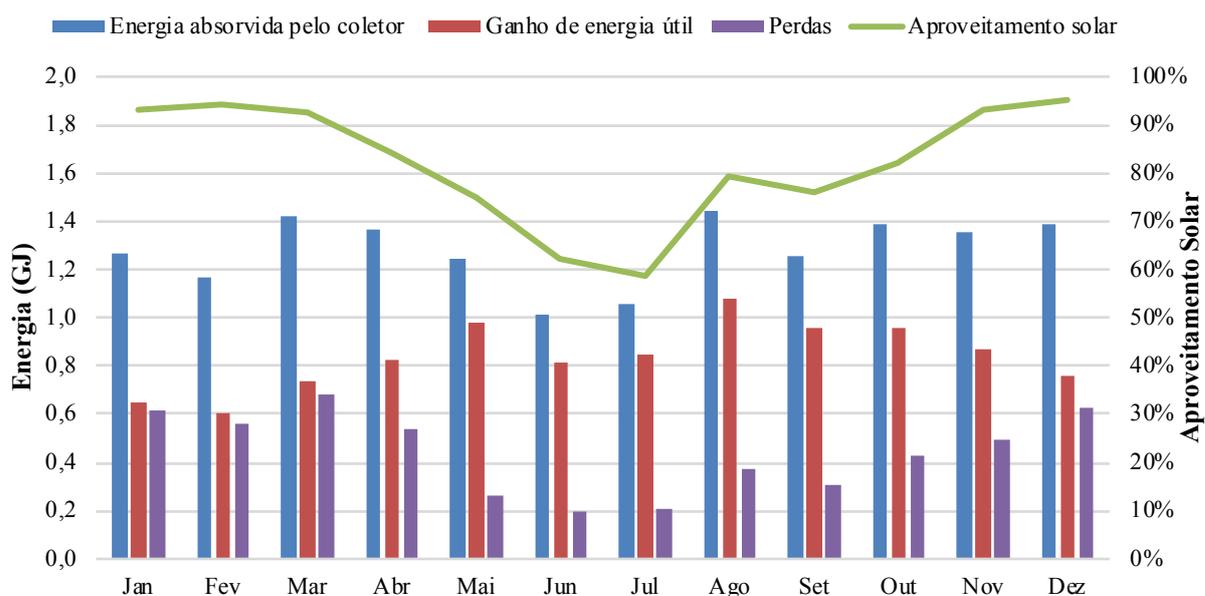


Figura 4.8 – Comportamento energético e aproveitamento solar mensais utilizando água quente às 13 horas.

Na Tabela 4.7 é apresentada a energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um aquecedor elétrico (Q_{el}) às 13 horas, a energia útil do SAS ($Q_{útil\ SAS}$), a energia elétrica auxiliar para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux\ el}$), e a energia total do SAS ($Q_{tot\ SAS}$). São necessários 14,1 GJ para utilizar a água às 13 horas durante um ano com energia elétrica, (Q_{el}). Com a utilização do SAS são necessários, anualmente, 13 GJ de energia útil para atingir a temperatura de consumo, sendo que 2,9 GJ são fornecidos pela energia auxiliar elétrica e 10,1 GJ são provenientes do SAS. Quando compara-se os valores de Q_{el} com os valores da $Q_{aux\ el}$, $Q_{aux\ el}$ representa 20,5% de Q_{el} .

Tabela 4.7 – Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar na simulação 4.

Mês	Q_{el} (GJ)	$Q_{útil\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ el}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,78	0,65	0,05	0,70
fev	0,72	0,61	0,04	0,65
mar	0,89	0,74	0,06	0,81
abr	1,09	0,83	0,17	1,00
mai	1,45	0,98	0,37	1,35
jun	1,46	0,82	0,55	1,37
jul	1,61	0,85	0,66	1,51
ago	1,51	1,08	0,31	1,39
set	1,39	0,95	0,33	1,29
out	1,30	0,95	0,24	1,19
nov	1,03	0,87	0,07	0,94
dez	0,89	0,76	0,04	0,81
Total	14,11	10,09	2,90	12,99

Tabela 4.8 – Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar na simulação 4.

Mês	$Q_{gás}$ (GJ)	$Q_{útil\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ GLP}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,82	0,65	0,06	0,71
fev	0,76	0,61	0,04	0,65
mar	0,94	0,74	0,07	0,81
abr	1,15	0,83	0,18	1,01
mai	1,54	0,98	0,39	1,37
jun	1,55	0,82	0,58	1,40
jul	1,70	0,85	0,70	1,55
ago	1,59	1,08	0,33	1,40
set	1,47	0,95	0,35	1,31
out	1,37	0,95	0,25	1,20
nov	1,09	0,87	0,08	0,94
dez	0,94	0,76	0,05	0,81
Total	14,94	10,09	3,07	13,16

Na Tabela 4.8 é apresentada a energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um aquecedor a gás ($Q_{gás}$) às 13 horas da tarde, a energia útil do SAS ($Q_{útil SAS}$), a energia auxiliar proveniente do GLP para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux GLP}$), e a energia total do SAS ($Q_{tot SAS}$). Para suprir demanda energética anual do sistema são necessários 13,1 GJ de energia útil, sendo que 3 GJ são de energia auxiliar a gás e 10,1 GJ são provenientes do aquecedor solar. Ao aquecer a água somente com aquecedor a gás, gasta-se 14,9 GJ de energia. Quando compara-se os valores de $Q_{gás}$ com os valores da $Q_{aux GLP}$, $Q_{aux GLP}$ representa 20,5% de $Q_{gás}$.

4.5 Simulação 5– Utilização às 16 horas

Na simulação 5 utiliza-se água quente proveniente do SAS às 16 horas ao começar o processo de mosturação. Na Figura 4.9 são apresentados os valores das temperaturas médias mensais na parte superior do reservatório, na parte inferior do reservatório, na saída do SAS e a temperatura ambiente às 16 horas.

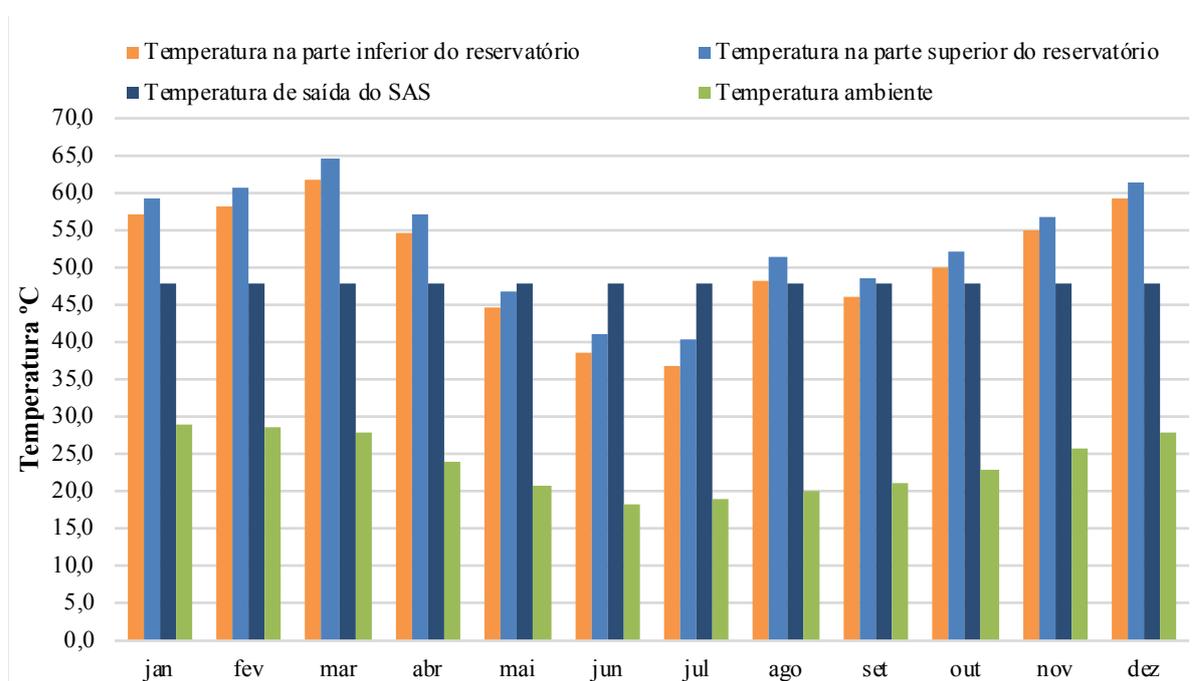


Figura 4.9 – Perfis de temperatura média mensal utilizando o sistema às 16h.

Pode-se observar que as menores temperaturas médias da água na parte superior e inferior do reservatório são obtidas no mês de julho, 40,4°C e 36,9°C respectivamente. Já as

maiores temperaturas médias na parte superior e inferior do tanque são obtidas no mês de março, 64,5°C e 61,8°C respectivamente. Nos meses de maio, junho e julho as temperaturas médias da água na parte superior do reservatório ficaram abaixo da temperatura de consumo. Já a temperatura média da água na parte inferior do reservatório não atingiu os 48°C, nos meses de maio, junho, julho e setembro.

Na Figura 4.10 é apresentada a quantidade de energia recebida pelo coletor, a quantidade de energia aproveitada do SAS (ganho de energia útil), as perdas e o aproveitamento solar. O mês que apresentou o menor aproveitamento solar foi julho com 63,7%, já o melhor foi em março, com 96,5%. O aproveitamento solar anual foi igual a 81,9%. Durante um ano o sistema absorveu 15,1 GJ de energia, dos quais, 10,4 GJ foram utilizados e 4,7 GJ foram perdidos. Agosto foi o mês que apresentou a maior quantidade de energia útil recebida pelo coletor, na ordem de 1,1 GJ, e fevereiro o mês com a menor quantidade de energia útil recebida, com valor 43,5% menor que agosto, na ordem de 0,6 GJ.

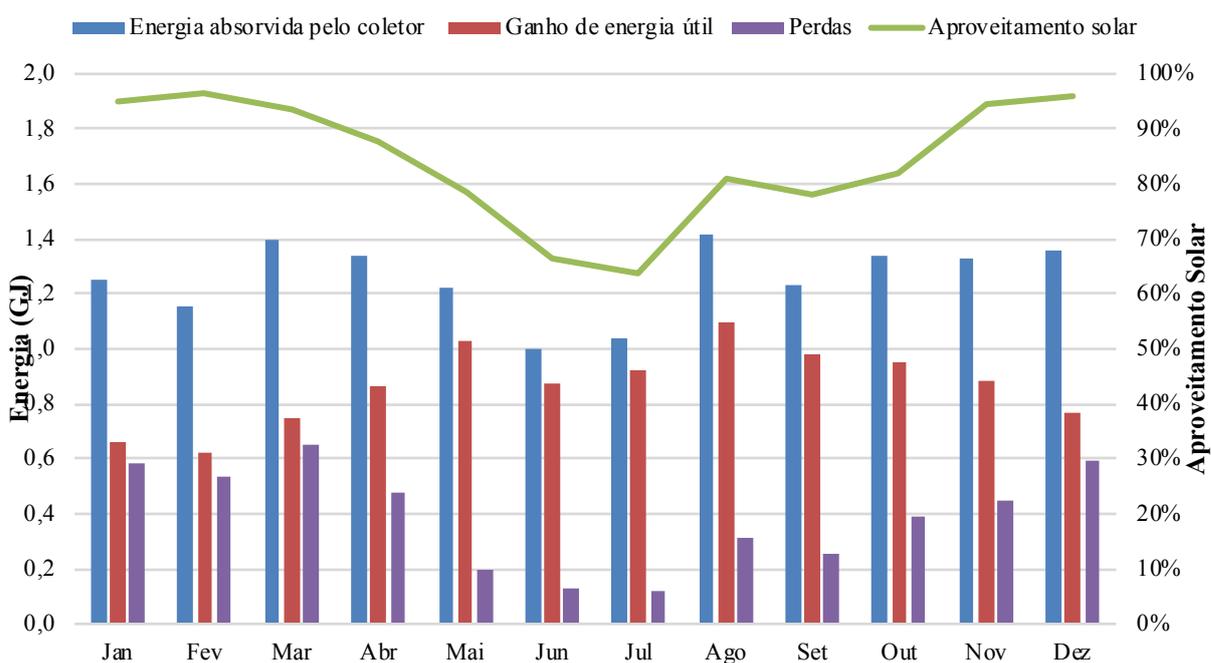


Figura 4.10 – Comportamento energético e aproveitamento solar mensais, utilizando água quente às 16 horas.

Na Tabela 4.9 é apresentada a energia necessária para aquecer a água com a utilização de um aquecedor elétrico (Q_{el}) às 16 horas, a energia útil do SAS ($Q_{util\ SAS}$), a energia elétrica auxiliar para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux\ el}$), e a energia total do SAS ($Q_{tot\ SAS}$).

Durante um ano de utilização do SAS às 16 horas são necessários 12,9 GJ de energia útil, dos quais, 10,4 GJ são fornecidos pelo aquecedor solar e 2,5 GJ são fornecidos pela fonte auxiliar de energia. Ao utilizar a energia elétrica para aquecer a água, sem o auxílio do SAS, gasta-se 14,1 GJ. Quando compara-se os valores de Q_{el} com os valores da $Q_{aux\ el}$, $Q_{aux\ el}$ representa 18,1% de Q_{el} .

Tabela 4.9 – Comportamento energético do SAS com utilização de eletricidade como energia complementar na simulação 5.

Mês	Q_{el} (GJ)	$Q_{útil\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ el}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,78	0,66	0,04	0,70
fev	0,72	0,62	0,03	0,65
mar	0,89	0,75	0,06	0,80
abr	1,09	0,86	0,13	0,99
mai	1,46	1,03	0,31	1,34
jun	1,46	0,88	0,49	1,36
jul	1,61	0,92	0,58	1,50
ago	1,51	1,10	0,28	1,38
set	1,39	0,98	0,30	1,28
out	1,30	0,96	0,23	1,19
nov	1,03	0,88	0,06	0,94
dez	0,89	0,77	0,04	0,81
Total	14,11	10,41	2,55	12,95

Na Tabela 4.10 é apresentada a energia necessária para aquecer a água somente com a utilização de um aquecedor a gás ($Q_{gás}$) às 16 horas, a energia útil do SAS ($Q_{útil\ SAS}$), a energia auxiliar proveniente do GLP para atingir a temperatura de consumo ($Q_{aux\ GLP}$) e a energia total do SAS ($Q_{tot\ SAS}$).

Durante um ano são necessários 14,9 GJ de GLP para atingir a temperatura de consumo da água, sem a utilização de um SAS. Já com a utilização do SAS e GLP como energia complementar é necessário 13,1 GJ, dos quais, 3,7 GJ são referentes a demanda de energia auxiliar de GLP e 10,4 GJ são referentes a energia útil. Quando compara-se os valores de $Q_{gás}$ com os valores da $Q_{aux\ GLP}$, $Q_{aux\ GLP}$ representa 18,1% de $Q_{gás}$.

Tabela 4.10 – Comportamento energético do SAS com utilização de GLP como energia complementar na simulação 4.

Mês	$Q_{gás}$ (GJ)	$Q_{útil\ SAS}$ (GJ)	$Q_{aux\ GLP}$ (GJ)	$Q_{tot\ SAS}$ (GJ)
jan	0,82	0,66	0,04	0,70
fev	0,76	0,62	0,03	0,65
mar	0,94	0,75	0,06	0,81
abr	1,15	0,86	0,14	1,00
mai	1,54	1,03	0,33	1,36
jun	1,55	0,88	0,52	1,39
jul	1,70	0,92	0,62	1,54
ago	1,59	1,10	0,30	1,40
set	1,47	0,98	0,32	1,30
out	1,37	0,96	0,25	1,20
nov	1,09	0,88	0,06	0,94
dez	0,94	0,77	0,04	0,81
Total	14,94	10,41	2,70	13,10

4.6 Análise comparativa

A fim de analisar qual sistema apresenta os melhores resultados realiza-se uma análise comparativa dos cinco casos. Na Figura 4.11 é apresentada a energia necessária para aquecer a água, a 48°C, com o aquecedor a gás presente atualmente na cervejaria, a energia recebida pelo SAS, a energia útil do SAS, a energia total do SAS com aquecedor a gás e a energia total do SAS com aquecedor elétrico.

Durante um ano a variação da energia necessária para aquecer a água utilizando somente o aquecedor a gás não sofre alteração entre as simulações, portanto permanece o valor de 14,9 GJ, pois a entrada de água para todas as simulação é a mesma média da temperatura diária. Da mesma forma, a energia recebida pelo SAS nos diferentes horários sofre pequenas alterações que se tornam irrelevantes na análise anual. Esta diferença de energia se deve ao horário de utilização da água sendo menor nas simulações da parte da manhã e maior nas simulações da parte da tarde.

Em ordem decrescente o ganho de energia útil das simulações ficou: 16h (10,4 GJ), 13h (10,1 GJ), 4h (9,1 GJ), 10h (8,9 GJ), e 7h (8,8 GJ). Pode-se explicar esta ordem através da

Tabela 4.11, onde são apresentadas as temperaturas da água na parte superior do tanque. Ao utilizar água quente às 7 horas da manhã, além de muitas vezes o SAS não ter começado a receber energia, o sistema fica desde o pôr do Sol perdendo sua energia térmica, atingindo os valores mais baixos de temperatura das simulações. Ao comparar a utilização do SAS entre às 4 horas e às 10 horas nota-se que a energia útil é 9,6% maior às 4 horas. Quando se analisa a utilização às 13 horas obtém-se um aumento significativo no ganho de energia útil, pois o SAS passou mais tempo recebendo energia, da mesma forma às 16 horas onde se obteve as maiores temperaturas da água no SAS.

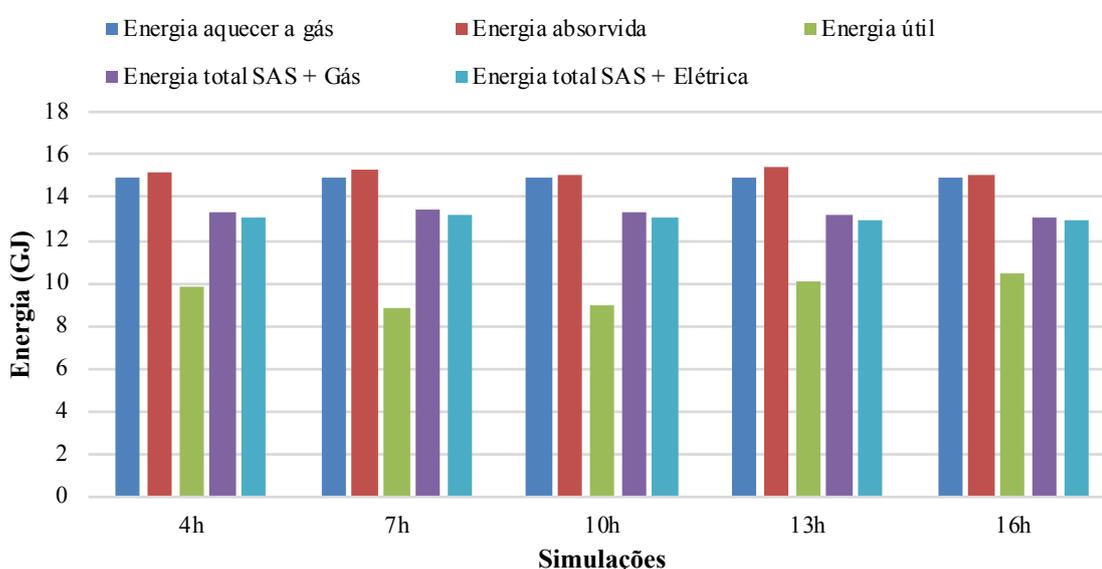


Figura 4.11 – Análise comparativa das energias do SAS

A temperatura máxima de segurança foi definida em 80°C para todas as simulações. Nas simulações das 4, 7 e 10 horas, as temperaturas máximas superiores do tanque no horário de utilização foram, respectivamente, 68,9°C, 60,7°C e 67,8°C, respectivamente nos dias 16 de março, 9 de abril e 9 de abril. Na simulação das 13 horas, a temperatura máxima superior do tanque atingida foi 78,4°C no dia 15 de março. Portanto, nas simulações das 4, 7, 10 e 13 horas as temperaturas máximas superiores do tanque não ultrapassaram a temperatura máxima de segurança de 80°C. Contudo, na simulação das 16 horas as temperaturas máximas superiores do tanque atingiram a temperatura limite nos seguintes dias: 80,7°C dia 14 de março; 82,6°C no dia 15 de março; 81,9°C no dia 16 de março; 81,6°C no dia 8 de abril; e 80,8°C no dia 21 de março. Nestes dias foi necessário simular a abertura da válvula de segurança do reservatório térmico.

Tabela 4.11 – Comparativo entre as médias da temperatura superior do tanque nos diferentes horários de utilização do SAS.

Mês	4h	7h	10h	13h	16h
jan	50,8°C	47,1°C	49,6°C	56,7°C	59,3°C
fev	51,9°C	47,6°C	51,1°C	58,1°C	60,5°C
mar	54,8°C	49,3°C	53,8°C	61,8°C	64,5°C
abr	47,9°C	43,6°C	48,3°C	55,6°C	57,0°C
mai	41,3°C	37,5°C	39,9°C	45,8°C	46,9°C
jun	36,5°C	33,4°C	35,3°C	39,9°C	41,0°C
jul	35,0°C	31,7°C	34,4°C	38,2°C	40,4°C
ago	43,3°C	38,9°C	42,8°C	49,1°C	51,4°C
set	42,3°C	38,2°C	42,0°C	47,3°C	48,5°C
out	44,4°C	40,3°C	45,7°C	52,1°C	52,3°C
nov	48,8°C	44,8°C	48,5°C	55,7°C	56,9°C
dez	52,4°C	47,7°C	51,4°C	59,4°C	61,5°C

Na Figura 4.12 é apresentado o gráfico da quantidade de energia auxiliar (gás e elétrica) necessária para aquecer a água até a temperatura de consumo e o aproveitamento solar em cada simulação. O aproveitamento solar foi 17,7% maior às 16 horas em comparação às 7 horas, devido a necessidade de utilizar mais energia complementar às 7 horas. Em todas as simulações ao utilizar o GLP como energia auxiliar gastou-se 5,9% a mais de energia quando comparado a eletricidade, devido a eficiência do aquecedor a gás ser 5,6% menor que a do aquecedor elétrico.

A simulação que apresentou a menor quantidade de energia total, o maior ganho de energia útil, o maior aproveitamento solar e o menor consumo de energia auxiliar foi utilizando água quente às 16 horas com aquecedor elétrico como energia auxiliar. Em seguida, a simulação que obteve os resultados mais próximos também foi utilizando o SAS às 16 horas, mas utilizando GLP como energia auxiliar. Depois foi a simulação das 13 horas com energia auxiliar elétrica, 13 horas com energia auxiliar a gás, 4 horas com energia auxiliar elétrica, 4 horas com energia auxiliar a gás, 10 horas com energia auxiliar elétrica, 10 horas com energia auxiliar a gás, 7 horas com energia auxiliar elétrica. Por fim, o caso que apresentou o menor de ganho de

energia útil, a maior quantidade de energia total, o menor aproveitamento solar e o maior consumo de energia auxiliar foi a simulação das 7 horas com energia auxiliar a gás.

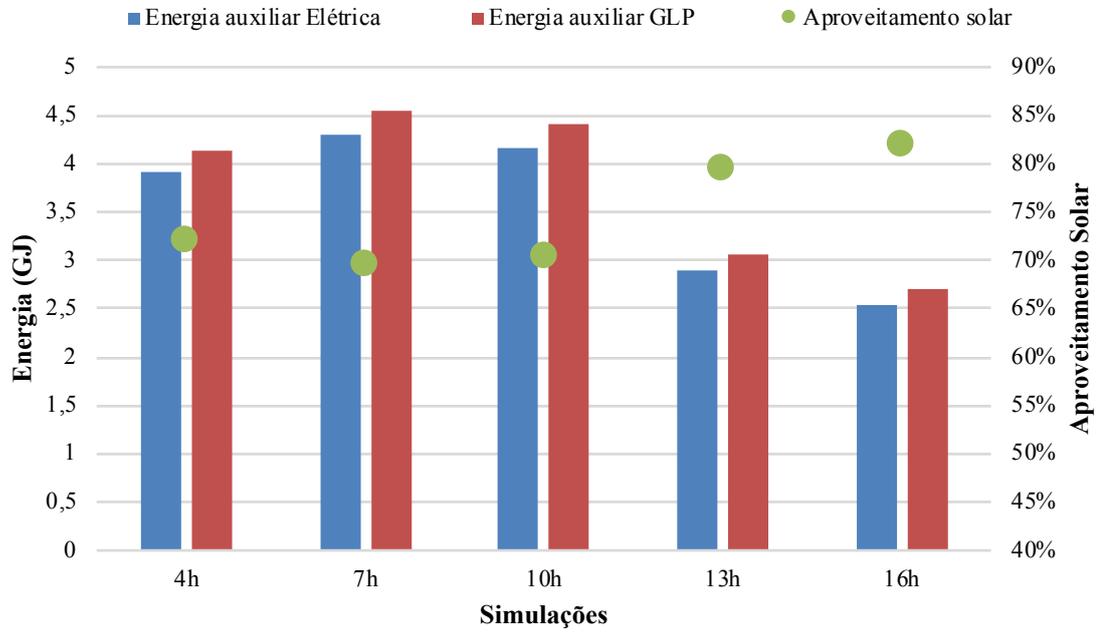


Figura 4.12 – Comparativo entre as energias auxiliares e o aproveitamento solar

5 ANÁLISE ECONÔMICA

Neste capítulo apresenta-se a análise econômica realizada para a implementação, utilização e manutenção do SAS utilizando o *payback* e o valor presente líquido (VPL) como metodologias de avaliação. Realiza-se uma discussão dos resultados obtidos, a fim de verificar se o SAS é mais econômico que o sistema implementado atualmente, e qual das simulações apresenta o melhor rendimento.

A cervejaria estudada utiliza um sistema de aquecimento a gás para suprir todas as demandas térmicas. Portanto as análises financeiras levaram em consideração o valor anual de pré-aquecimento da água da mosturação que era gasto com GLP, de R\$ 1.975,95, a fim de calcular o retorno do investimento de cada simulação.

5.1 Valor dos produtos e instalação

Os valores dos materiais, de manutenção e de instalação foram definidos a partir da média de três orçamentos realizados em Porto Alegre e região, em agosto de 2018. Na Tabela 5.1 estão discriminados os valores e as quantidades considerados para cada componente de instalação. Já na Tabela 5.2 estão discriminados os valores e as quantidades dos materiais hidráulicos utilizados.

Tabela 5.1 – Orçamento de instalação do SAS.

Componentes	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Coletor solar	3	R\$ 1.080,00	R\$ 3.240,00
Acumulador solar	1	R\$ 3.570,90	R\$ 3.570,90
Bomba hidráulica	1	R\$ 502,91	R\$ 502,91
Instalação	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00
Materiais hidráulicos	1	R\$ 551,44	R\$ 551,44
Filtro	1	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00
Quadro controlador	1	R\$ 649,90	R\$ 649,90
Total			R\$ 11.115,15

O valor total dos componentes e instalação do sistema ficou em R\$ 11.115,15. Foi considerado um valor de manutenção anual de R\$ 180,00, neste valor está inserido o valor de

limpeza do coletor solar, o valor de troca da bomba e pequenos ajustes que devem ser realizados devido a depreciação do sistema. A cada 5 anos é necessário fazer a troca do filtro, o valor desta troca não está inclusa no valor anual de manutenção mas foi calculado separadamente.

Tabela 5.2- Materiais hidráulicos.

Componente	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Cano (3m)	10	R\$ 32,9	R\$ 329,00
Emendas (un)	5	R\$ 7,49	R\$ 37,45
Joelhos (un)	10	R\$ 17,99	R\$ 179,90
Fita isolante (un)	1	R\$ 5,09	R\$ 5,09
Total			R\$ 551,44

Nas Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam-se os valores do primeiro ano de utilização da energia auxiliar elétrica e energia auxiliar a gás, respectivamente, para cada simulação. Para transformar o valor do consumo de gás de GJ para kg foi utilizado a Fórmula 4.24. O valor do GLP no primeiro ano é R\$ 6,50, e o valor do kWh no primeiro ano é R\$ 0,78.

Tabela 5.3 – Valores anuais de utilização da energia auxiliar elétrica.

Simulação	Energia auxiliar elétrica (GJ)	Energia auxiliar elétrica (kWh)	Valor
4h	3,91	1087,46	R\$ 848,22
7h	4,28	1191,06	R\$ 929,03
10h	4,16	1156,53	R\$ 902,09
13h	2,90	805,92	R\$ 628,62
16h	2,55	707,52	R\$ 551,87

Tabela 5.4 – Valores anuais de utilização de energia auxiliar GLP.

Simulação	Energia auxiliar GLP (GJ)	Energia auxiliar GLP (kg)	Valor
4h	4,14	84,31	R\$ 548,02
7h	4,54	92,34	R\$ 600,21
10h	4,41	89,67	R\$ 582,86
13h	3,10	62,48	R\$ 406,12
16h	2,70	54,85	R\$ 356,53

Todos os componentes do sistema, o custo da energia elétrica e o custo do GLP sofreram reajuste anual de valor igual a taxa de desconto de 7%. Foi desconsiderado o avanço da tecnologia para estes componentes, como por exemplo, a invenção de um filtro mais barato. Também foram desconsiderados possíveis danos causados ao sistema por intempéries. Na Figura 5.1 apresenta-se a variação dos valores da energia elétrica, da manutenção, do GLP e do filtro, durante 20 anos em escala logarítmica (log base 10) para facilitar a visualização dos dados. O filtro é substituído três vezes durante todo período de utilização do SAS, portanto é necessário avaliar os valores nos anos 6, 11, 16, e no ano inicial, quando é instalado.

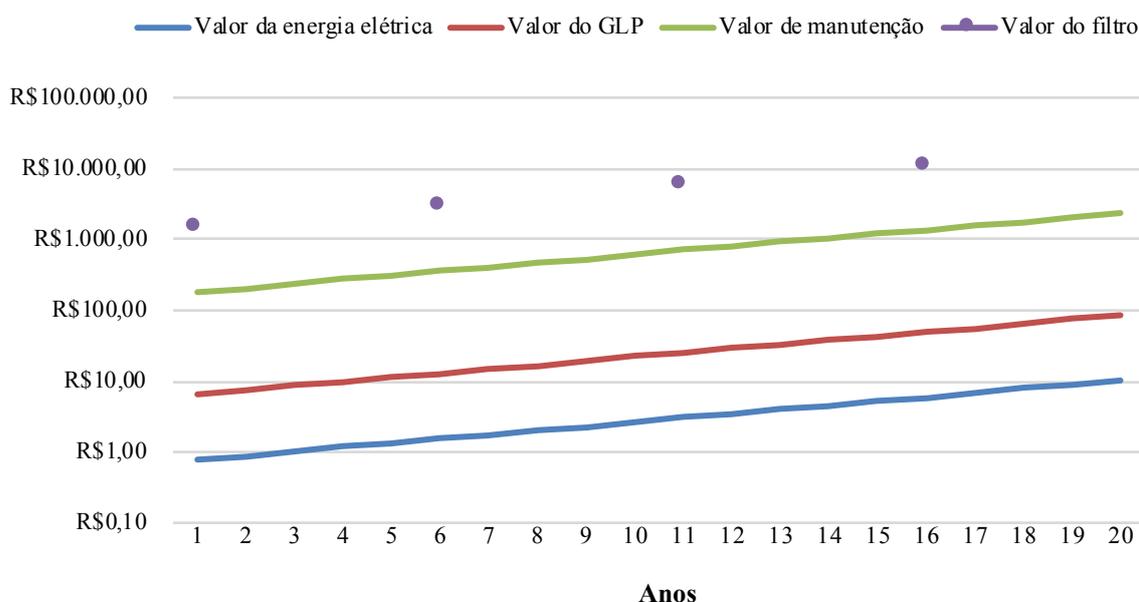


Figura 5.1 – Gráfico em escala logarítmica com a variação dos valores de energia elétrica, GLP, manutenção e filtro.

5.2 Valor presente líquido

Foram calculados quatro VPL variando entre 5, 10, 15 e 20 anos de utilização do SAS. O valor presente líquido foi calculado de acordo com a Equação 4.25. Na Tabela 5.5 são apresentados os VPL calculados para os quatro períodos de utilização do SAS com fonte de energia auxiliar elétrica.

Tabela 5.5 – VPL das cinco simulações utilizando energia complementar elétrica.

Tempo	4h	7h	10h	13h	16h
5 anos	-R\$ 6.254,35	-R\$ 6.631,96	-R\$ 6.506,10	-R\$ 5.228,18	-R\$ 4.869,52
10 anos	-R\$ 1.561,77	-R\$ 2.316,99	-R\$ 2.065,28	R\$ 490,57	R\$ 1.207,88
15 anos	R\$ 3.130,80	R\$ 1.997,98	R\$ 2.375,55	R\$ 6.209,32	R\$ 7.285,29
20 anos	R\$ 9.623,38	R\$ 8.112,95	R\$ 8.616,38	R\$ 13.728,07	R\$ 15.162,69

Como pode ser observado, caso o sistema seja utilizado por no máximo 5 anos nenhuma das simulações apresenta um VPL positivo, tornando-se inviáveis economicamente. A partir dos 10 anos de utilização do SAS, somente as simulações prevendo a utilização às 13h e às 16h apresentam-se como alternativas viáveis ao sistema implementado atualmente. Já quando é realizada uma análise de VPL com 15 anos de utilização do SAS, todos os horários de utilização apresentam-se economicamente favoráveis.

Na Tabela 5.6 é apresentado o VPL das simulações que utilizam GLP como fonte de energia complementar ao SAS.

Tabela 5.6 – VPL das cinco simulações utilizando GLP como energia complementar.

Tempo	4h	7h	10h	13h	16h
5 anos	-R\$ 4.851,53	-R\$ 5.095,43	-R\$ 5.014,33	-R\$ 4.188,47	-R\$ 3.956,72
10 anos	R\$ 1.243,87	R\$ 756,06	R\$ 918,26	R\$ 2.569,99	R\$ 3.033,49
15 anos	R\$ 7.339,27	R\$ 6.607,56	R\$ 6.850,85	R\$ 9.328,45	R\$ 10.023,71
20 anos	R\$ 15.234,66	R\$ 14.259,06	R\$ 14.583,45	R\$ 17.886,91	R\$ 18.813,92

Com a utilização de GLP como energia complementar ao SAS, nos primeiros 5 anos de uso nenhuma simulação apresentou-se viável utilizando o VPL. Quando é considerado 10 anos de utilização todas as simulações apresentam-se como viáveis.

Como esperado, os VPL para os sistemas que utilizam gás como aquecedor auxiliar apresentaram-se com maiores VPL. Embora o aquecedor elétrico possua maior eficiência é mais barato aquecer a água com GLP, pois 1 real de GLP corresponde a 7,56 MJ e 1 real de energia elétrica corresponde a 4,61 MJ.

5.3 *Payback* descontado

O *payback* avalia qual o tempo necessário para igualar os valores gastos com o sistema com os valores economizados a partir do sistema. Quanto menor for o *payback* mais interessante torna-se o investimento. Na Tabela 5.7 é apresentado os valores de *payback* para as dez simulações realizadas.

Tabela 5.7 – *Payback* descontado.

Simulação	SAS + Elétrico	SAS + Gás
4 Horas	11,55 anos	8,94 anos
7 Horas	12,54 anos	9,31 anos
10 Horas	12,19 anos	9,19 anos
13 Horas	9,52 anos	8,08 anos
16 Horas	8,97 anos	7,82 anos

O caso estudado com o maior tempo de *payback* é quando se utiliza eletricidade como energia auxiliar e a utilização da água dá-se às 7 horas da manhã, neste caso o *payback* fica em 12,54 anos. Já o caso avaliado com menor *payback* é quando se utiliza água quente às 16h e o aquecedor auxiliar utiliza GLP como combustível, levando 7,82 anos para retorno do investimento. A situação com o menor tempo de *payback* apresenta-se com retorno do investimento 2,2 vezes mais rápido que a maior.

5.4 Discussão dos resultados

Se obtém um resultado financeiro melhor quando o horário de utilização da água quente é às 16 horas e utiliza-se aquecedor a gás como fonte de energia auxiliar ao SAS.

Entretanto, ao analisar os valores de instalação e manutenção do SAS durante 15 anos, todas as análises apresentaram-se como viáveis.

Em todos os resultados da avaliação econômica o horário de utilização da água que apresentou os piores números foi às 7 horas. Este resultado está diretamente ligado à quantidade de energia complementar necessária para atingir a temperatura de utilização da água. Da mesma forma o horário que apresentou os melhores resultados foi utilizando a água às 16 horas devido à necessidade de menor quantidade de energia complementar ao sistema.

Os resultados da avaliação econômica de utilização do SAS com fonte de energia auxiliar a gás apresentaram-se melhores que o do SAS com fonte de energia complementar elétrica. Isto deve-se ao fato de que para se atingir a mesma temperatura em um determinado volume de água utilizando aquecedor elétrico com eficiência de 90%, gasta-se 54,8% a mais do que um aquecedor a gás com eficiência de 85%.

Um dos fatores que contribuiu para o aumento excessivo do valor total do SAS foi a necessidade de utilização de um filtro para remover os metais pesados que o coletor solar pode depositar na água. Este componente, na instalação inicial, representou 16,2% do valor dos equipamentos e instalação, ainda faz-se necessário trocá-lo a cada 5 anos. Então, trazendo o valor de todos os filtros utilizados durante 20 anos para o VPL, este componente representa 43,6% de todo o equipamento.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram analisadas as viabilidades técnica e econômica de implementação e uso de um SAS solar em uma cervejaria que consumiria diariamente 350 litros de água quente. O SAS utilizando coletores solares do tipo placa plana, foi implementado na fase de pré-aquecimento da água do processo de mosturação. Foram realizadas cinco análises variando o horário de utilização da água quente, às 4h, 7h, 10h, 13h e 16 h, e avaliando a energia extra, elétrica ou a gás, necessária para atingir a temperatura de 48°C.

A simulação com utilização da água quente às 16 horas apresentou o maior aproveitamento solar, de 82%, já às 7 horas foi o horário que obteve o menor aproveitamento da energia solar, com apenas 69,6%. Em ordem decrescente, os horários de utilização da água que apresentaram o melhor aproveitamento do Sol são: 16, 13, 4, 10 e 7 horas. Esta mesma ordem serve para a quantidade de energia auxiliar necessária para o sistema, sendo que às 16h foi a menor quantidade e às 7h foi a maior quantidade. Em todas as simulações a quantidade de energia auxiliar a gás excedeu em 5,9% a energia auxiliar elétrica.

O menor ganho de energia útil foi utilizando o SAS às 7 horas, já o maior foi às 16 horas, o qual aproveitou 17,7% a mais de energia quando comparado a simulação das 7 horas.

Para verificar se o sistema tornou-se financeiramente viável foram realizadas duas análises: o valor presente líquido em 5, 10, 15 e 20 anos e o *payback* de cada simulação. Nos primeiros 5 anos os VPL de todas as simulações que utilizaram fonte de energia auxiliar a gás apresentaram valores negativos, ou seja, gasta-se mais para utilizar este SAS do que o sistema de aquecimento a gás presente na cervejaria. De forma similar, no primeiros 10 anos de utilização do SAS com fonte de energia auxiliar a elétrica somente as simulações com utilização da água às 13 e 16 horas apresentaram valores positivos. Dada a utilização do sistema por 15 anos todas as simulações apresentaram VPL positivo.

O *payback* mais curto foi de 7,8 anos na simulação das 16h horas utilizando energia auxiliar a gás. Já o *payback* mais longo foi de 12,5 anos na simulação das 7 horas utilizando energia auxiliar elétrica.

Todas as simulações utilizaram um filtro para remover possíveis metais pesados depositados pelo coletor solar. Este filtro aumentou o valor de instalação do sistema estendendo o retorno do investimento e diminuindo o VPL.

6.1 Recomendações para trabalhos futuros

Recomenda-se realizar as mesmas análises apresentadas neste trabalho trocando os coletores solares do tipo placa plana por coletores solares de tubo evacuado e também o reservatório térmico de acumulação por um reservatório térmico com trocador de calor. Desta forma elimina-se a necessidade de ter um filtro no circuito de água. Pode-se também analisar outros perfis de consumo a fim de verificar se depois das 16 horas obtém-se melhores valores de aproveitamento solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA (Brasil). **Projetando uma instalação de aquecimento solar passo a passo**. <http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/curso2.pdf>, 2010. Acesso em: 08-09-2018.

Allouhi, A., Agrouaz, Y., Mohammed, B. A., Rehmand, S., Buker, M. S., Kousksou, T., Jamil, A., e Benbassou, A. Design optimization of a multi-temperature solar thermal heating system for an industrial process. **Applied Energy**, Casablanca, vol. 206, n. 1, p.382-392, nov. 2017.

Andrade, Charles. **Níveis de irradiação solar no mundo**. <http://charlezine.com.br/niveis-de-irradiacao-solar-no-mundo>, 2018. Acesso em: 1-12-2018.

Ayompe, L. M., Duffy, A., McCormack, S. J., e Conlon, M. Validated TRNSYS model for forced circulation solar water heating systems with flat plate and heat pipe evacuated tube collectors. **Applied Thermal Engineering**, Dublin, vol. 31, n. 8-9, p.1536-1542, jun. 2011.

Baniassadi, A., Momen, M., Amidpour, M., e Pourali, O.. Modeling and design of solar heat integration in process industries with heat storage. **Journal Of Cleaner Production**, Arizona, vol. 170, n. 1, p.522-534, jan. 2018.

Basso, Diego Morello. **Simulação do sistema de aquecimento de ar de um secador solar híbrido de produtos agroalimentícios usando o trnsys**. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

Bonato, Samuel Vinícius. **Método para gestão de resíduos na cadeia cervejeira do rio grande do sul**. 2016. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

Borges, T. P. F. **Síntese otimizada de sistemas de aquecimento solar de água**. Campinas, 2000. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

BRADESCO (Brasil). **Projeções Bradesco Longo Prazo**. <https://www.economiaemdia.com.br/vgn-ext-templating/v/index.jsp?vgnextoid=065098037f782310VgnVCM100000882810acRCRD&vgnextfmt=default>, 2018. Acesso em: 07-08-2018.

Brunner, C., Slawitsch, B., Giannakopoulou, K., e Schnitzer, H. **Industrial Process Indicators and Heat Integration in Industries**, Booklet IEA SHC Task 33/IV, Joanneum Research, Graz, 2008.

Caetano, Marcela. **Cervejarias avançam pouco, mas artesanais ganham espaço.** <https://www.dci.com.br/impresso/cevejarias-avancam-pouco-mas-artesanais-ganham-espaco-1.688762>, 2018. Acesso em: 02-10-2018.

Carlo, Joyce Correna. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**, 2018. http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf, 2005. Acesso em: 08-12-2018.

CEEE. **Tarifas e Custos dos Serviços.** http://www.cee.com.br/pportal/cee/Archives/Upload/Tarifas_B-2017-11_97023.pdf. Acesso em: 06-05-2018.

CLIMADEK (Brasil). **Aquecimento de água solar.** <http://climadek.com.br/produtos/aquecimento-de-agua-solar>, 2018. Acesso em: 07-07-2018.

CNI. **A Indústria em Números.** http://www.fiemt.com.br/arquivos/1937_a_industria_em_numeros_agosto_2015.pdf, 2015. Acesso em: 15-10-2018.

Diffie, John A.; Beckman, William A.. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

Eiholzer, T., Olsen, D., Hoffmann, S., Sturm, B., e Wellig, B. Integration of a solar thermal system in a medium-sized brewery using pinch analysis: Methodology and case study. **Applied Thermal Engineering**, Escócia, vol. 113, n. 1, p.1558-1568, fev. 2017.

GASMIG. **Como converter a quantidade de um energético para a equivalente em gás natural.** <http://www.gasmig.com.br/GasNatural/Paginas/Tabela-de-Convertao.aspx>, 2018. Acesso em: 09-07-2018.

Grigoletto, T. L. B., Fuzari, B. H. C., Andrade, A. R. D., Campos, M. L. A. D. M., Gerlach, R. F., e Santos, J. E. T. D. Fatores químicos e físicos que afetam a contaminação por chumbo e cobre em água potável: uma abordagem para o estudo de caso em química analítica. **Química Nova**, São Paulo, vol. 10, n. 35, p.10-22, 03 jul. 2012.

HELIOTEK (Org.). **Coletores solares para banho MC Evolution e MC Evolution Pro.** <http://www.heliotek.com.br/download/Principal/30>, 2018. Acesso em: 06-07-2018.

HIDROTEK (Org.). **Tanque FRP 9*35 - 2.000 L/H.**
<https://www.hidrotekbrasil.com.br/tanque-frp-9-35-2-000-l-h-sem-valvula-e-sem-elementos-filtrantes-p592>, 2018. Acesso em: 08-08-2018.

HIDRAUCENTER. **Reservatório térmico.**
<http://site.cadeshop.com.br/site/site/indexInst.aspx?acao=prod&id=29544&usuid=368&contudo=Reservatório%20Solar>, 2018. Acesso em: 16-09-2018.

INDUSTEK. **Reservatório Térmico Industek.**
<http://www.industek.com.br/?go=aquecedor-solar&item=reservatorio-termico&ID=4>, 2018. Acesso em: 07-07-2018.

INMETRO (Comp.). **PBE- Coletor Solar aplicação Banho e Piscina.**
<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Coletor-Solar-Banho-PBE-2018.pdf>, 2018. Acesso em: 02-03-2018a.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos Climatológicos (1931-1960 e 1961-1990).** <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>, 2018. Acesso em: 09-09-2018b.

Iordanou, Grigorios. **Flat-Plate Solar Collectors for Water Heating with Improved Heat Transfer for Application in Climatic Conditions of the Mediterranean Region.** 2009. 248 f. Tese (Doutorado) - Curso de Filosofia, Duhram University, Durham, 2009.

Kalougirou, Soteris A. **Solar energy engineering: processes and systems.** Academic Press, 2013.

Lima, Juliana Benoni Arruda. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa trnsys.** 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Marcusso, Eduardo Fernandes; MULLER, Carlos Vitor. **A cerveja no brasil: O ministério da agricultura informando e esclarecendo.** http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/a-cerveja-no-brasil-28-08.pdf/@@download/file/A_CERVEJA_NO_BRASIL-28.08.pdf, 2017. Acesso em: 25-10-2017.

Mauthner, F., Hubmann, M., Brunner, C., e Fink, C. **Manufacture of Malt and Beer with Low Temperature Solar Process Heat.** *Energy Procedia*, Freiburg, vol. 48, n. 1, p.1188-1193, set. 2014a.

Mauthner, F., Hubmann, M., Brunner, C., e Fink, C. **Solar Process Heat in Breweries**. Pretoria: Institute For Sustainable Technologies, 2014b. 24 slides, color.

Miyazato, Tarsila. **Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) ao projeto de edificações residenciais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, University of São Paulo, São Paulo, 2012. Acesso em: 2018.08.04.

Müller, Holger. **Solar Process Heat in the Food Industry: Methodological Analysis and Design of a Sustainable Process Heat Supply System in a Brewery and a Dairy**. 2016. 311 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energy And Sustainable Development, Universidade de Montfort, Leicester, 2016.

Muñoz, Alvaro Escudeiro. **Analysis of the efficiency of solar collectors in the domestic warm water net in the context of the reduction of CO2 emissions**. 2009. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Politechnika Wroclauska, Wroclau, 2009.

Murray, C., Quiñones, G., Cortés, F., Escobar, R., e Cardemil, J. M. Solar Assisted Absorption Machine for the Fermentation Cooling and Maceration Heating Processes in the Winemaking Industry. **Energy Procedia**, Chile, vol. 91, n. 1, p.805-814, jun. 2016.

Olajire, A.A., **The brewing industry and the environmental challenges**, Journal of Cleaner Production (2012).

Patel, Kishan; PATEL, Mrs. Pragna; PATEL, Mr. Jatin. REVIEW OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS. **Technical Journals Online.com**. Gandhinagar-gujarat, p. 146-149.

<http://www.technicaljournalsonline.com/ijeat/VOL%20III/IJAET%20VOL%20III%20ISSUE%20IV%20%20OCTBER%20DECEMBER%202012/Article%2034%20Vol%20III%20issue%20IV%202012.pdf>, 2012. Acesso em: 2-08-2018.

Sharma, A. K., Sharma, C., Mullick, S. C., e Kandpal, T. C. Potential of solar industrial process heating in dairy industry in India and consequent carbon mitigation. **Journal Of Cleaner Production**, New Delhi, vol. 140, n. 1, p.714-724, jan. 2017.

SEL (Estados Unidos). **Volume 4: Mathematical Reference**. Wisconsin: Solar Energy Lab, <https://pt.scribd.com/document/313103671/TRNSYS-17-Volume-4-Mathematical-Reference-pdf>, 2011. Acesso em: 16-09-2018.

SEL (Estados Unidos). **Volume 9: Weather Data**. <http://web.mit.edu/parmstr/Public/Documentation/09-WeatherData.pdf>, 2018. Acesso em: 09-09-2018.

Sobral, Lilian (Ed.). **Os países que mais bebem e produzem cerveja.** <https://exame.abril.com.br/economia/os-paises-que-mais-bebem-e-produzem-cerveja/>, 2016. Acesso em: 31 jul. 2018.

SOLAR HEAT WORLDWIDE. Gleisdorf, Austria, <http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2018.pdf>, 2018. Acesso em: 20-06-2018.

Suresh, N.s.; RAO, Badri S.. Solar energy for process heating: A case study of select Indian industries. **Journal Of Cleaner Production**, Karnataka, vol. 151, n. 1, p.439-451, maio 2017.

TRNSYS. **Features** - Interface. <http://www.trnsys.com/features>, 2018. Acesso em: 01-06-2018.

Vasconcelos, Yuri. **Inovações nas cervejeiras.** <http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/01/09/inovacoes-cervejeiras/>, 2017. Acesso em: 02 out. 2018.

Villela, Sumaia. **Ministério quer tirar obrigação de aquecimento solar no Minha Casa, Minha Vida.** <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-08/ministerio-quer-tirar-obrigacao-de-aquecimento-solar-no-minha-casa-minha-vida>, 2016. Acesso em: 02-10-2018.