

# ANÁLISE ECONÔMICA E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA UTILIZANDO O PROGRAMA TRNSYS PARA PEQUENA CERVEJARIA DE PORTO ALEGRE

**Maíra Nunes de Sousa** – mairansousa@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia de Energia

**Bruno Polydoro Cascaes** – cascaes.bruno@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

**Letícia Jenisch Rodrigues** – leticia.jenisch@mecanica.ufrgs.br

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

**Resumo.** O objetivo deste trabalho é a avaliação da viabilidade do uso de sistemas de aquecimento solar (SAS) de água em uma etapa da produção de cerveja por uma empresa de pequeno porte, localizada na cidade de Porto Alegre. A produção de cerveja apresenta potencial de utilização de SAS devido a utilização de água aquecida a temperaturas inferiores à 100 °C em diferentes etapas do processo produtivo. Assim, utilizando dados conhecidos de demanda de água aquecida da empresa, pode-se elaborar um modelo no software TRNSYS. Neste, é avaliado o uso de coletores solares de placa plana, com área variando de 4 a 8 m<sup>2</sup>, utilizando como fonte auxiliar de calor aquecedores elétricos ou de passagem a gás. A instalação apresentou um retorno de investimento de até 4 anos, com uma redução do custo com energia chegando a até 60%. Também se observa um aumento no valor presente líquido (VPL) do investimento proporcional ao aumento da área do sistema. Já através da avaliação da taxa interna de retorno (TIR), percebe-se que os sistemas que possuem áreas pares se mostram mais atrativos, visto que módulos de 2 m<sup>2</sup> apresentam menor custo por unidade de área, reduzindo assim o investimento inicial.

**Palavras-chave:** Sistema de Aquecimento Solar, Software TRNSYS, Aplicação de SAS em pequenas cervejarias

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a IEA (*International Energy Agency* – Agência Internacional de Energia) (2018), as escolhas e os objetivos alcançados pela política energética brasileira comparam-se a alguns dos desafios energéticos mais urgentes no mundo. Em 2016, o consumo mundial de energia proveniente de fontes renováveis era de 14,1%. No mesmo ano, 43,5% da demanda de energia primária brasileira foi atendida por fontes renováveis, um valor bem acima da média mundial (EPE, 2018). Contudo, a tarifa de energia elétrica é cara. Prolongados períodos de estiagem diminuíram os níveis de reservatórios, consequentemente diminuindo a geração predominante que é a hídrica, e aumentaram o despacho de usinas térmicas cujos custos de geração são maiores. Ainda, há grande cobrança de impostos e erros políticos que oneram os consumidores (Gazeta do Povo, 2018).

Além dos custos de geração, transmissão e distribuição existem custos com perdas de energia nas redes, as quais chegam a 17% (ANEEL, 2018a) e tributos federais e estaduais. Os tributos estaduais podem variar de 18%, como no estado de Minas Gerais, a 32%, como no Rio de Janeiro (Gazeta do Povo, 2018). Não obstante, desde 2015, pode incidir para todo o SIN (Sistema Interligado Nacional) o adicional de Bandeira Tarifária sobre a tarifa em função dos despachos de geração de energia por usinas mais caras (ANEEL, 2018b).

O GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), conhecido popularmente como gás de cozinha, é composto de 70% de propano e 30% de butano, ambos combustíveis fósseis que liberam CO<sub>2</sub> em sua queima. No Brasil, tomando por base os custos médios nas principais capitais, o preço do GLP é composto por: 3% de PIS/PASEP (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para o Financiamento de Seguridade Social), 16% de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), 37% realização da Petrobras e 44% de distribuição e revenda (PETROBRAS, 2019). Os preços do GLP referem-se à preços de paridade de importação, custo do produto importado trazido para o Brasil, nos portos de Suape (PE) e Santos (SP) (ANP, 2019). Logo, esse custo é diretamente influenciado pelos preços do mercado internacional.

Assim, visando utilizar maneiras mais eficientes, sustentáveis e econômicas, sugere-se o emprego de SAS (Sistema de Aquecimento Solar) de água em baixas temperaturas por coletores solares planos (Cascaes, 2019) em processos industriais. A água quente é amplamente utilizada na indústria de alimentos e bebidas. Podendo-se destacar a produção de cervejas e chopes que correspondem a cerca de 40% da produção de bebidas no país (Cervieri, 2014). Neste mercado, as cervejarias artesanais vêm ganhando destaque. Em 2018, o Brasil contava com cerca de 889 cervejarias artesanais, sendo o Rio Grande do Sul o estado com o maior número destas (ABRACERVA, 2018). O número de pequenas cervejarias é crescente, principalmente devido ao interesse dos jovens em abrir seu próprio negócio (Melin, 2017).

Portanto, o presente trabalho visa avaliar a viabilidade técnica e o impacto econômico do uso de coletores solares, tipo placa plana, por uma cervejaria de pequeno porte localizada na cidade de Porto Alegre. Para tanto, são simulados o desempenho de diferentes arranjos de coletores no programa TRNSYS, visando suprir uma demanda de 350 litros de água aquecida. Também foram avaliados dois horários de consumo distintos, visando maximizar o aproveitamento da radiação solar. A fração solar e o retorno financeiro são obtidos ao comparar o emprego de SAS em sistemas de aquecimento de água já existentes de aquecedores de passagem com GLP e com resistências elétricas. Por fim, os diferentes casos avaliados são comparados, a fim de se determinar quais apresentam maiores vantagens.

## 2. ESTUDO DE CASO

A pequena cervejaria artesanal estudada está localizada em Porto Alegre, capital brasileira do estado mais meridional do país. O proprietário da cervejaria adaptou sua casa para oferecer doze tipos diferentes de cervejas artesanais. Oito delas são produzidas no local. As cervejas mais consumidas levam em torno de oito horas para serem fabricadas. As menos populares e ditas mais “encorpadas” (mais viscosas) levam até doze horas. A fase inicial para a produção de cerveja é chamada de mosturação. É nela que ocorre a adição do malte moído em água aquecida (Sousa, 2018).

Em janeiro de 2018, as cervejas eram produzidas em bateladas de 350 litros e utilizavam água quente entre 48 e 60 °C. Era utilizado um aquecedor de passagem pela queima de gás liquefeito de petróleo (GLP). Para esse caso, o SAS adotado para a simulação é um Sistema Ativo de Circulação Direta adaptado, sugerido por Kalogirou (2016). O fluido de trabalho é a água, que circula através do trabalho realizado por uma bomba hidráulica, entre os coletores solares e o tanque de armazenamento. O reservatório é abastecido com água da rede. O aquecedor elétrico auxiliar no interior do tanque de armazenamento foi substituído por um aquecedor de passagem genérico na tubulação de saída para o consumo. Quando se inicia a produção de cerveja, a água aquecida pelo SAS é conduzida para o aquecimento auxiliar, que será utilizado caso a temperatura seja inferior a 60 °C, e posterior consumo. A Fig. 1 mostra o sistema adaptado de Kalogirou (2016) e utilizado no programa TRNSYS.

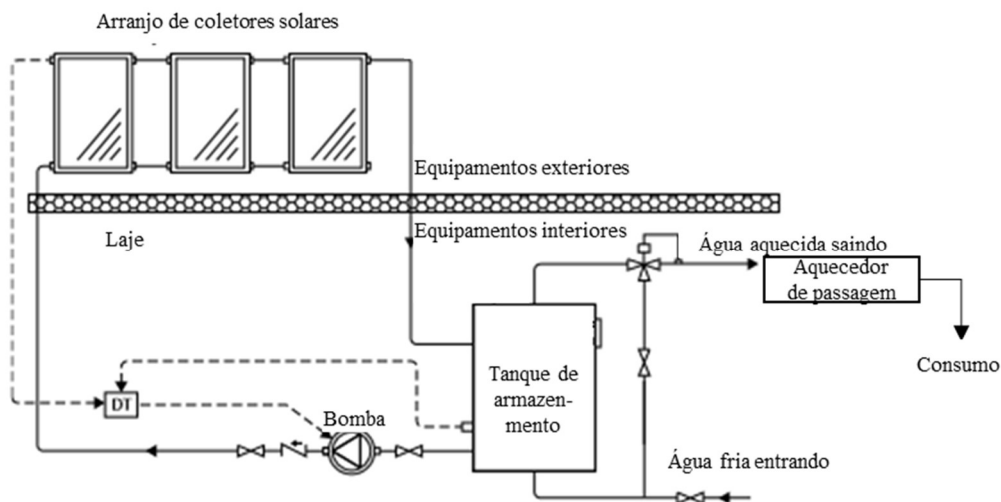


Figura 1 - Sistema ativo de circulação direta adaptado. Fonte: Adaptado de Kalogirou (2016, pg. 269)

Um controlador de temperatura diferencial (DT) monitora a diferença entre as temperaturas na saída do arranjo de coletores e na saída do tanque, para controlar a bomba (Kalogirou, 2016). São desconsiderados componentes do SAS, presentes na ABNT NBR 15569:2008 (ABNT, 2008), como válvula de alívio de pressão, válvula de retenção, válvula eliminadora de ar, válvula quebra-vácuo, respiro, tubos e conexões.

## 3. SIMULAÇÃO E DIMENSIONAMENTO

Optou-se pelos coletores solares de placa plana, devido a faixa de temperatura de aquecimento de água ser inferior a 100 °C e por ser mais resistente, já que há ocorrências de geadas nos meses de inverno. Para evitar possíveis contaminações de cobre na água, foi escolhido um coletor cujo tubo é de inox AISI 304. Os coletores utilizados são os modelos KOCS AB 1.0 e 2.0 da marca Komeco. Possuem classificação B de acordo com o programa brasileiro de etiquetagem do INMETRO (2018) com eficiência energética média de 53,1%, áreas externas de 1 e 2 m<sup>2</sup>, isolamento de poliuretano expandido e uma cobertura de vidro (Komeco, 2017).

O fabricante não especifica a vazão a ser utilizada nos coletores, logo foi utilizada vazão sugerida por Duffie (2013), igual a 0,015 kg/(s m<sup>2</sup>). Essa vazão recomendada foi utilizada na bomba. O coeficiente de ganho do coletor solar  $Fr(\tau\alpha)_n$  é igual a 0,66 e o coeficiente de perdas do coletor solar  $FrUL$  é igual a 5,47 W/(m<sup>2</sup> K) (INMETRO, 2018). Considerou-

se que a área externa é igual a área coletora.

Como não há comercialmente um tanque de armazenamento de 350 litros, escolheu-se o de volume igual a 400 litros. A escolha foi feita devido à diferença entre os preços dos reservatórios de 300 e 400 litros ser pequena frente ao custo de aquisição dos mesmos. O tanque foi dividido em 6 *nodes* de 0,25m cada, como utilizado pelo programa TRNSYS. Os *nodes* são utilizados para promover a estratificação do fluido no interior do tanque. Utilizou-se o coeficiente de perda na parede do tanque igual a 2,7 W/m<sup>2</sup>.K (Dantas, 2014).

Caso a energia fornecida pelo SAS não for suficiente para aquecer a água à temperatura desejada, um aquecedor de passagem genérico fará a complementação de energia. A partir dele será obtida a energia auxiliar do sistema, utilizando aquecimento elétrico ou aquecedor de passagem a gás, cujos rendimentos são valores típicos iguais, respectivamente, a 95% e 85% (INMETRO, 2017).

Para o cálculo dos custos com eletricidade foi utilizada a tarifa da distribuidora local CEEE (2019a). A classe comercial, pertencente ao subgrupo B3, possui alíquota de ICMS fixa de 30% e preço homologado na modalidade convencional de R\$/kWh igual a 0,5476. O preço final é calculado pela Eq. 1 a partir do preço homologado, ICMS, PIS e COFINS.

$$Preço\ Final = \frac{Preço\ Homologado}{(1-PIS(\%)-COFINS(\%)-ICMS(\%))} \quad (1)$$

O PIS e COFINS variam mensalmente logo foi calculada a média deles, do período de outubro de 2015 a setembro de 2019 a partir de dados da CEEE (2019b), sendo a soma igual a 4,56%. O preço final encontrado foi de R\$ 0,836759 por kWh.

Ainda, desde 2015, é cobrado um adicional de Bandeira Tarifária. O sistema de bandeiras tarifárias é dividido em 4 categorias sendo elas verde, amarela, vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2 que cobram, respectivamente, R\$/kWh 0,00, R\$/kWh 0,015, R\$/kWh 0,04 e R\$ 0,06 (Globo, 2019a).

A partir dessas tarifas e do histórico mensal das categorias de bandeiras desde 2016, foram calculadas as médias mensais das tarifas de bandeira. O ano de 2015 foi desconsiderado pois ele foi um período de secas nos principais reservatórios de água do país. Assim, a ocorrência de bandeiras vermelhas foi alta e o ano ficou muito distante de representar um ano típico. A Tab. 1 apresenta os valores encontrados de adicionais de bandeiras para cada mês e o preço final de energia somado a elas. Tomando por exemplo o mês de março, é possível observar que é um mês que está mais próximo da bandeira verde (adicional próximo a zero).

Tabela 1 - Adicional de bandeira e tarifas mensais de energia elétrica em R\$/kWh.

Mês	Adicional de Bandeira	Tarifa Final
Janeiro	0,0100	0,8468
Fevereiro	0,0100	0,8468
Março	0,0075	0,8443
Abril	0,0100	0,8468
Mai	0,0175	0,8543
Junho	0,0150	0,8518
Julho	0,0225	0,8593
Agosto	0,0350	0,8718
Setembro	0,0288	0,8655
Outubro	0,0400	0,8768
Novembro	0,0300	0,8668
Dezembro	0,0133	0,8501

Para o cálculo dos custos com o consumo do GLP foi considerado o valor da localidade, referente ao mês outubro de 2019, da empresa Supergasbrás (2019), de R\$/kg 6,01 para todo o ano, o Poder Calorífico Inferior de 11.100 kcal/kg (ANP, 2017) e a eficiência do aquecedor.

### 3.1 O software TRNSYS

O TRNSYS é uma ferramenta que simula sistemas transientes. A Fig. 2 mostra o sistema montado no TRNSYS (2019). O sistema de aquecimento de água é composto por coletores solares planos (Unit 2 – Type1b), processador de arquivo climático com dados da cidade de Porto Alegre (Unit 20 – Type15-3), bomba hidráulica (Unit 4 – Type3b), controlador da bomba por diferença de temperaturas (Unit 5 – Type2b), tanque de armazenamento (Unit 7 – Type4c), aquecedor de passagem (Unit 21 – Type6), escala de utilização da água (Unit 8 – Type14b), válvula T (Unit 13 – Type11h) e válvula de desvio (Unit 12 – Type11b).

Os demais componentes auxiliam na obtenção dos dados. As *Units* 3, 6, 14 e 16 são saídas de dados. As *Units* 11 e 10 são integradores temporais, ou seja, somam dados diariamente e anualmente, respectivamente. As *Units* 9, 15, 17, 18 e 19 são equações, transformam os dados de entrada para serem utilizados por outra *Unit*.

Foi utilizada a temperatura da rede de abastecimento de água fornecida pelo processador de arquivo climático; entretanto, com a função adaptada para o hemisfério Sul. A equação que calcula essa temperatura da água considera a ordem das estações do ano para o hemisfério norte. As *Units* 20, 21 e 22 são responsáveis pelos equacionamentos que

corrigem esse deslocamento. Essa alteração é importante, pois a temperatura da água fornecida pela rede muda sazonalmente com as condições do ambiente, sendo maior no verão e menor no inverno. Assim, para aquecer a mesma quantidade de água, é necessário utilizar mais energia no inverno do que no verão.

O arquivo climático utilizado foi um TMY (*Typical Meteorological Year – Ano Meteorológico Típico*) com medições realizadas na estação meteorológica do aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre, disponível no site do LABEEE (2019). Ele é compilado a partir dos dados de 2003 a 2017, seguindo os padrões indicados pela ASHRAE (*The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado*).

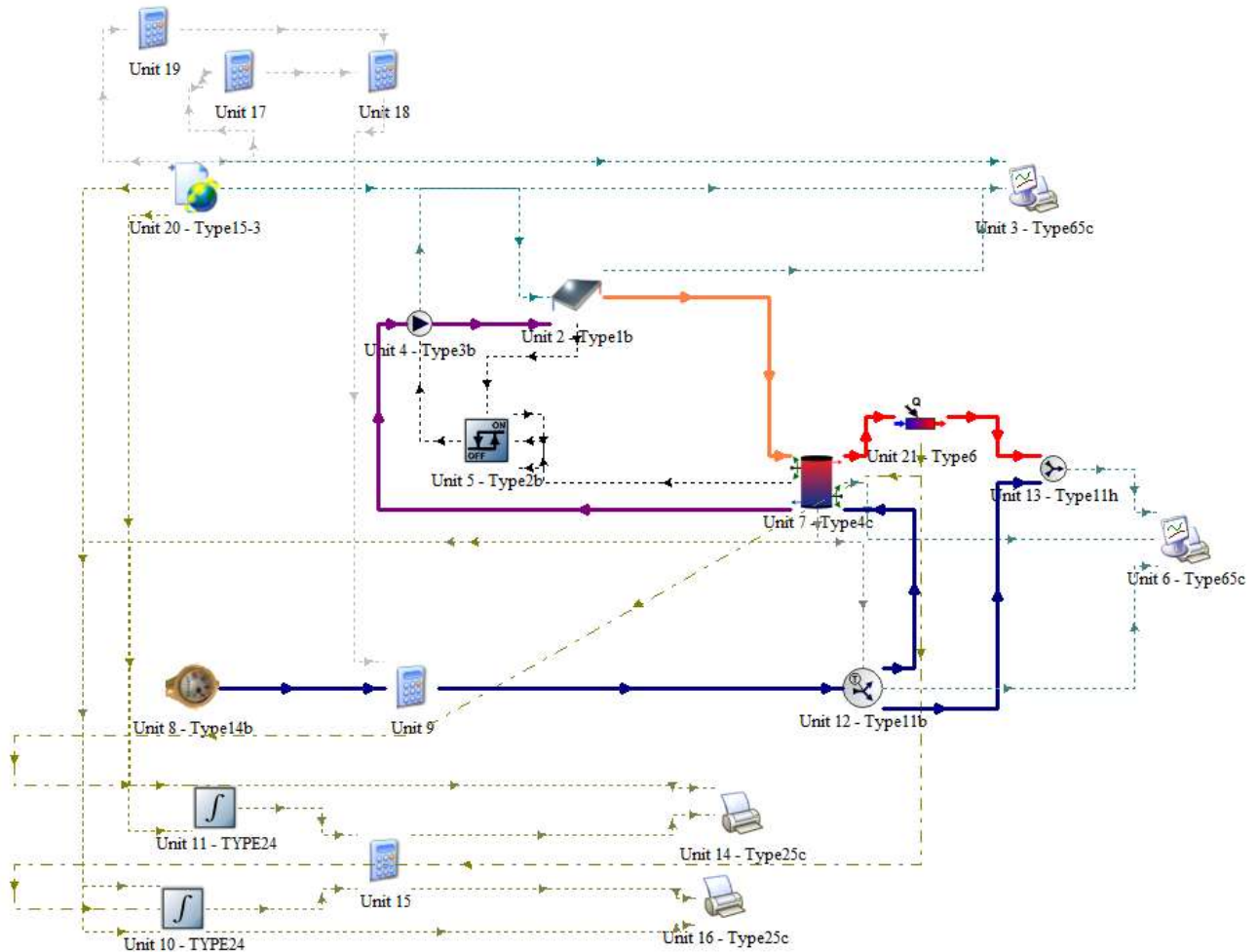


Figura 2 - Sistema de aquecimento de água no software TRNSYS.

#### 4. ANÁLISE ECONÔMICA

Simulou-se o consumo de 350 litros de água aquecida à 60 °C em dois horários distintos: treze e dezesseis horas. Esses horários foram escolhidos visando maximizar o uso do SAS sem que o produtor tenha que esperar até a noite para iniciar a fabricação da cerveja. Foram empregadas áreas de coletores de 4 a 8 m<sup>2</sup>. A possibilidade de empregar áreas coletoras de 9 m<sup>2</sup> ou mais foi descartada devido ao sistema alcançar temperaturas superiores a 100 °C na saída dos coletores e por frações solares superiores a 0,7, não recomendada pela ABNT NBR 15569 (2008). A Fig. 3 mostra as frações solares  $f$  em função da área coletora.

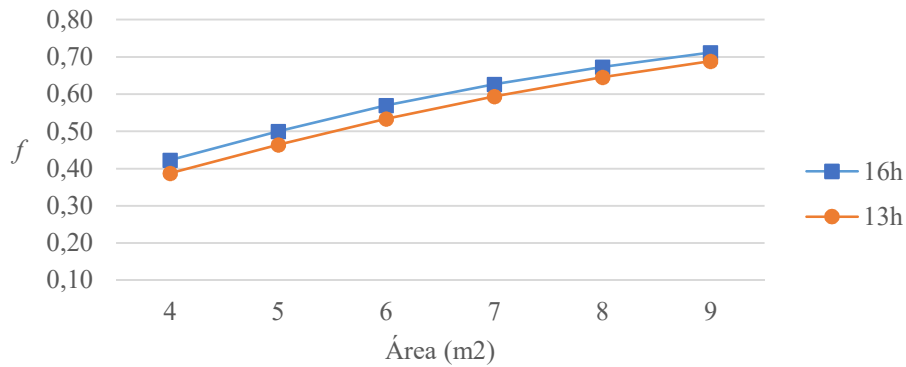


Figura 3 – Frações solares em função da área de coletores solares para as treze e dezesseis horas.

A análise econômica levou em consideração a diferença entre utilizar, ou não, o SAS tanto para o caso de aquecimento por resistências elétricas quanto para aquecedor a GLP. Essa diferença de custos, ou economia, é considerada como retorno financeiro. Assim, obteve-se o VPL (Valor Presente Líquido) para os dez casos e posteriormente a TIR (Taxa Interna de Retorno). O período avaliado foi de vinte anos, pois é o considerado como a vida útil do sistema. Aplicou-se a inflação de 3,65% (Globo, 2019b) para ajustar as tarifas de eletricidade e GLP anualmente.

Foram considerados os custos com coletores solares de 1 e 2 m², respectivamente iguais a R\$ 691,59 (Mercado Livre, 2019) e R\$ 976,45 (Acquafort, 2019). Assim, para áreas ímpares foram utilizados coletores de 1 m² e áreas pares foram utilizados coletores de 2m². Ainda, foi considerado um custo de R\$ 395,25 para uma bomba de 0,5 cv (Merito, 2019) e R\$ 1.250,00 para o reservatório térmico (Americanas, 2019). Foram desconsiderados custos com frete, instalação, manutenção, tubulações, junções e válvulas. Levou-se em consideração que o cervejeiro já possui filtros e ambos os aquecedores.

A energia necessária para o aquecimento de água a 60 °C, no período de um ano, nos horários de consumo das treze e às dezesseis está presente na Tab. 2. Ainda, apresenta os custos referentes a um ano, sem a utilização do SAS, utilizando o aquecedor complementar.

Tabela 2 – Energia necessária para aquecimento e custos com aquecimento utilizando GLP e eletricidade no ano de 2019.

Horário	Energia (MJ)	GLP	Eletricidade
13 horas	20.204,89	R\$ 3.074,98	R\$ 5.064,91
16 horas	20.204,99	R\$ 3.075,00	R\$ 5.064,92

Nota-se que os custos anuais por fonte são próximos para horários distintos mesmo apresentando diferença na energia consumida. Pode-se observar ainda que o custo com GLP é em torno de 60% do custo com aquecimento por resistências elétricas.

A Fig. 4 mostra, utilizando o VPL, o melhor e o pior caso para as treze e dezesseis horas com a fonte auxiliar sendo eletricidade. O ano zero é considerado como o investimento inicial com o SAS. É possível observar que o investimento é pago em até três anos e que a economia será de, no mínimo, R\$ 50.000,00.

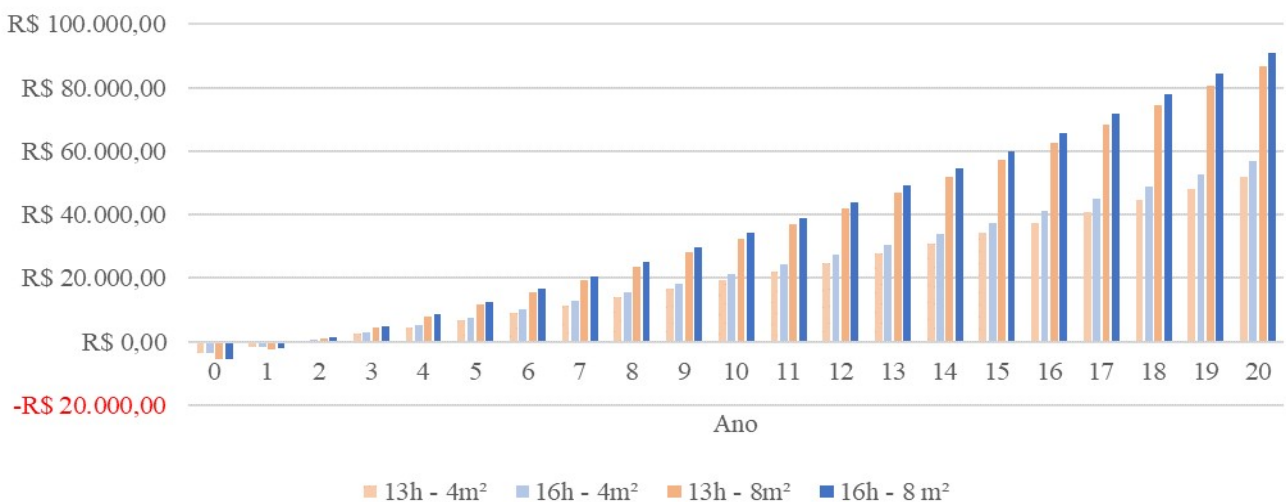


Figura 4 – VPL da fonte auxiliar eletricidade para o melhor e pior caso das treze e das dezesseis horas.

Já na Fig. 5, o VPL mostrado é referente aos melhores e piores casos para os dois horários de consumo com a fonte auxiliar sendo o GLP. Observa-se que o investimento é pago em até quatro anos e que a economia será maior do que R\$ 30.000,00. Ainda, comparando os dois gráficos das Fig. 3 e Fig. 4, é possível observar que o VPL fazendo uso de eletricidade é maior. Isso pois o custo com eletricidade é maior como visto na Tab. 2 e, conseqüentemente, a economia com o uso do SAS.

O custo utilizando somente eletricidade para fornecer a demanda de água aquecida desejada é de, aproximadamente, R\$ 145.462,00, para as treze e dezesesseis horas, considerando vinte anos corrigidos pela inflação. As Tab. 3 e Tab. 4 apresentam os resultados de economia e viabilidade financeira utilizando SAS e aquecimento auxiliar de resistências elétricas.

Tabela 3 – Resultados para as simulações com aquecimento auxiliar com eletricidade às treze horas para 20 anos.

	13h - 4 m <sup>2</sup>	13h - 5 m <sup>2</sup>	13h - 6 m <sup>2</sup>	13h - 7 m <sup>2</sup>	13h - 8 m <sup>2</sup>
VPL	R\$ 52.058,47	R\$ 61.405,88	R\$ 71.910,31	R\$ 78.603,91	R\$ 86.912,52
TIR	57,44%	48,87%	61,82%	49,17%	61,60%

Tabela 4 – Resultados para as simulações com aquecimento auxiliar com eletricidade às dezesesseis horas para 20 anos.

	16h - 4 m <sup>2</sup>	16h - 5 m <sup>2</sup>	16h - 6 m <sup>2</sup>	16h - 7 m <sup>2</sup>	16h - 8 m <sup>2</sup>
VPL	R\$ 56.933,50	R\$ 66.730,38	R\$ 77.044,45	R\$ 83.472,71	R\$ 91.149,58
TIR	62,18%	52,55%	65,74%	51,82%	64,27%

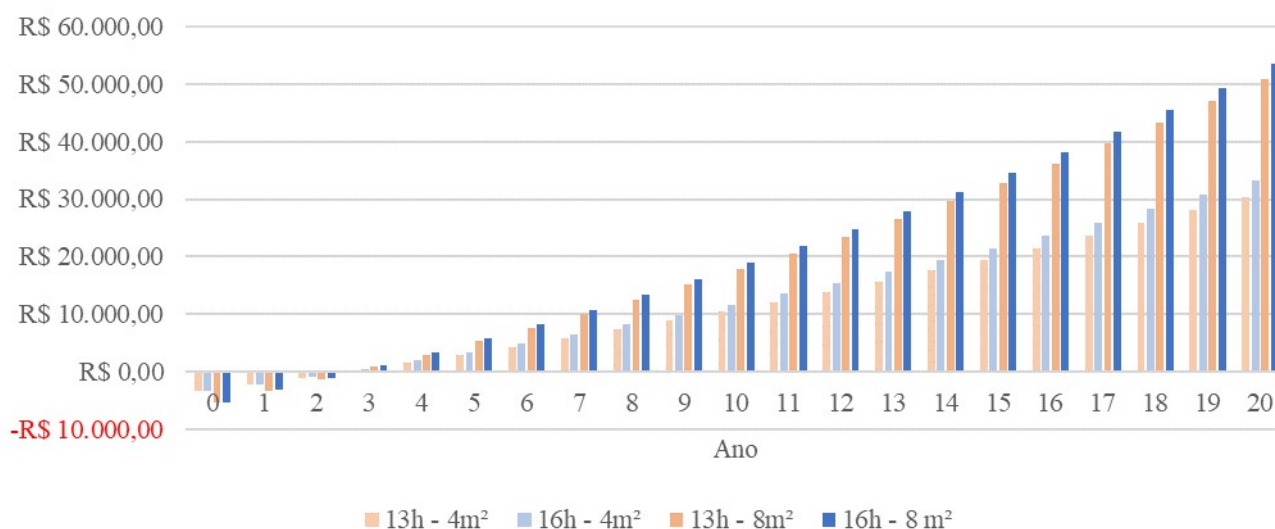


Figura 5 – VPL da fonte auxiliar GLP para o melhor e pior caso das treze e das dezesesseis horas.

Pode-se observar que as maiores TIR são aquelas para os arranjos com áreas pares. Isso ocorre pois o coletor de 2m<sup>2</sup> é mais barato, proporcionalmente por área, do que o de 1m<sup>2</sup>. Os demais itens levados em consideração para a análise financeira possuem mesmo valor, logo não interferem significativamente na TIR.

Para a análise utilizando GLP, o custo para fornecer a demanda de água aquecida desejada é, aproximadamente R\$ 88.312,00, para as treze e dezesesseis horas, ao final de vinte anos corrigidos pela inflação. As Tab. 5 e Tab. 6 apresentam os resultados de economia e viabilidade financeira utilizando SAS e aquecimento auxiliar com o aquecedor de passagem com queima de GLP.

Tabela 5 – Resultados para as simulações com aquecimento auxiliar com GLP às treze horas para 20 anos.

	13h - 4 m <sup>2</sup>	13h - 5 m <sup>2</sup>	13h - 6 m <sup>2</sup>	13h - 7 m <sup>2</sup>	13h - 8 m <sup>2</sup>
VPL	R\$ 30.338,01	R\$ 35.294,46	R\$ 42.083,64	R\$ 45.200,85	R\$ 50.879,21
TIR	37,10%	30,21%	40,24%	30,41%	40,27%

Tabela 6 – Resultados para as simulações com aquecimento auxiliar com GLP às dezesesseis horas para 20 anos.

	16h - 4 m <sup>2</sup>	16h - 5 m <sup>2</sup>	16h - 6 m <sup>2</sup>	16h - 7 m <sup>2</sup>	16h - 8 m <sup>2</sup>
VPL	R\$ 33.306,23	R\$ 38.537,66	R\$ 45.211,07	R\$ 48.165,46	R\$ 53.458,25
TIR	40,22%	32,63%	42,82%	32,15%	42,03%

Os casos de maior eficiência energética para o uso de eletricidade e GLP, para área coletora de 8 m<sup>2</sup> e consumo às dezesesseis horas são detalhados na Fig. 6. Nela é possível observar a diferença entre custos fazendo uso de SAS no período de vinte anos com reduções cerca de 62,6% e 60,5%, respectivamente.

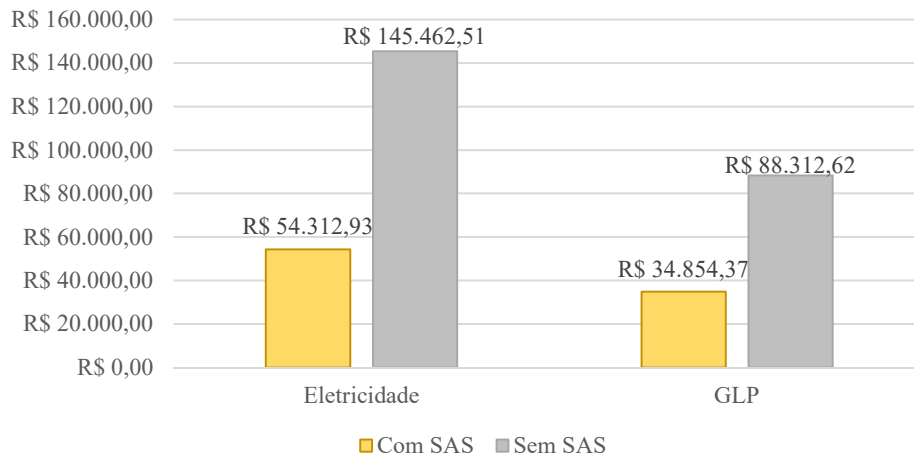


Figura 6 – Custos com e sem o emprego de SAS para aquecimento de água com eletricidade e GLP para o caso de maior eficiência e retorno, 8 m<sup>2</sup> de coletores e consumo às 16 horas.

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se verificar que, através dos resultados das simulações no *software* TRNSYS, houve viabilidade econômica para o emprego do SAS no aquecimento de água, tanto para aquecedores a GLP quanto para aquecedores por eletricidade. As reduções dos custos com energia podem chegar a mais de 60% para o arranjo de 8m<sup>2</sup> de área de coletores solares com consumo às dezesseis horas. Ainda, quanto maior a área coletora maior é o VPL. Já a escolha de horário de consumo não interfere significativamente no resultado, considerando que a quantia economizada é pequena para o período avaliado de vinte anos.

Observou-se, também, que os casos com maiores TIR são aquelas com áreas pares que utilizam coletores de 2 m<sup>2</sup>. Isso pois o coletor de maior área é mais barato, proporcionalmente, do que o de 1m<sup>2</sup>. A TIR varia de 30% a 65%, com valores maiores para uso de aquecimento complementar por resistências elétricas e menores por aquecedor a GLP. Porém utilizar GLP é mais econômico.

É importante salientar que a análise econômica é simplificada, já que não leva em consideração a tubulação e demais acessórios, que representam parcela significativa dos custos de SAS. Também não levou em consideração as variações de preço da eletricidade e GLP, apenas foram corrigidos pela inflação, por serem influenciados pelo clima, mercado externo e, ainda, fatores políticos. Entretanto, devido ao tempo de retorno de vinte anos e as reduções significativas de custos apresentados o investimento ainda será economicamente viável para aplicação em uma pequena cervejaria.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Vapor e Refrigeração (LAFRIG), ao Laboratório Ensaio Térmicos e Aerodinâmicos (LETA) e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) por disponibilizarem o espaço e o *software* TRNSYS para a realização das simulações. O segundo autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC) da UFRGS.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15569, 2008, Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação.
- ABRACERVA, 2018, Brasil fecha 2018 com 889 cervejarias, 210 a mais do que em 2017. Disponível em: <https://abracerva.com.br/2019/02/04/brasil-fecha-2018-com-889-cervejarias-210-a-mais-do-que-em-2017/>. Acesso em: 18/11/2019.
- Acquafort, 2019, Coletor Solar 2,0X1,0M Inox Kocs Ab 2. 0 Ambient Komeco. Disponível em: [https://www.acquafort.com.br/produto/2627/coletor-solar-20x10m-inox-kocs-ab-2-0-ambient-komeco?utm\\_source=google-shop&utm\\_medium=shop&utm\\_campaign=google\\_shop&gclid=EAIaIQobChMIiaeUnq3x5QIVewmRCh2bkQ6gEAKYASABEgI55fD\\_BwE](https://www.acquafort.com.br/produto/2627/coletor-solar-20x10m-inox-kocs-ab-2-0-ambient-komeco?utm_source=google-shop&utm_medium=shop&utm_campaign=google_shop&gclid=EAIaIQobChMIiaeUnq3x5QIVewmRCh2bkQ6gEAKYASABEgI55fD_BwE). Acesso em: 17/11/2019.
- Americanas, 2019, Reservatório Térmico Boiler Solar Sem Apoio Elétrico Ribsol Energia Solar 400 Litros. Disponível em: [https://www.americanas.com.br/produto/423129383?opn=YSMESP&WT.srch=1&loja=22229095000152&epar=b\\_p\\_pl\\_00\\_go\\_pla\\_casaconst\\_geral\\_gmv&acc=e789ea56094489dfd798f86ff51c7a9&i=5b9c7761ecc3dfb1f89a2957&o=5d833d9a6c28a3cb50aee4e8&gclid=EAIaIQobChMIrtTPpMX35AIVQZyzCh1dXQCUEAkYA\\_iABEGl89\\_D\\_BwE](https://www.americanas.com.br/produto/423129383?opn=YSMESP&WT.srch=1&loja=22229095000152&epar=b_p_pl_00_go_pla_casaconst_geral_gmv&acc=e789ea56094489dfd798f86ff51c7a9&i=5b9c7761ecc3dfb1f89a2957&o=5d833d9a6c28a3cb50aee4e8&gclid=EAIaIQobChMIrtTPpMX35AIVQZyzCh1dXQCUEAkYA_iABEGl89_D_BwE). Acesso em: 29/09/2019.

- ANEEL, 2018a, Perdas de Energia. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4>. Acesso em: 08/08/2018.
- ANEEL, 2018b, Bandeiras Tarifárias. Disponível em: [www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias](http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias). Acesso em: 09/08/2018.
- ANP, 2017, Fatores de conversão, densidades e poderes caloríficos inferiores. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/central-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/2018/anuario-2018-fatores-convencoes.pdf>. Acesso em: 12/11/2019.
- ANP, 2019, Preços de paridade de importação. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos-de-paridade-de-importacao>. Acesso em: 29/11/2019.
- CASCAES, B. P., 2019, Avaliação de oportunidades do uso de energia solar térmica em aplicações industriais no Brasil, Tese de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- CEEE, 2019a, Tarifas e Custos dos Serviços. Disponível em: [http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Folder\\_Grupo\\_B\\_2018\\_60788.pdf](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Folder_Grupo_B_2018_60788.pdf). Acesso em: 15/09/2019.
- CEEE, 2019b, PIS e COFINS. Disponível em: [http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/BTFormService\\_PisCofins.aspx](http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/BTFormService_PisCofins.aspx). Acesso em: 15/09/2019.
- Cervieri Júnior, Osmar et al., 2014, O setor de bebidas no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 40.
- Dantas, F., Fonseca, M. A., e Filho, C., 2014, Thermal and Economical Analysis of the Solar Preheating of Steam Boiler Feed Water.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2013. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- EPE, 2018, Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: [www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica](http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica). Acesso em: 07/08/2018.
- Gazeta do Povo, 2018, "Brasil caminha para ter a energia mais cara do planeta". Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/brasil-caminha-para-ter-a-energia-mais-cara-do-planeta-86tyszyyp8czy77fbcvtovdsq/>. Acesso em: 08/08/2018.
- Globo, 2019a, Aneel reajusta valor das bandeiras tarifárias; maior alta é de 50% na bandeira amarela. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/05/21/aneel-reajuste-valor-das-bandeiras-tarifarias-maior-alta-foi-de-50percent-na-bandeira-amarela.ghtml>. Acesso em 15/09/2019.
- Globo, 2019b, Mercado reduz estimativas de inflação e de alta do PIB para 2019 e 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/08/26/mercado-reduz-estimativas-de-inflacao-e-de-alta-do-pib-para-2019-e-2020.ghtml>. Acesso em: 29/09/2019.
- IEA, Brazil, 2018. Disponível em: [www.iea.org/countries/non-membercountries/brazil/](http://www.iea.org/countries/non-membercountries/brazil/). Acesso em: 07/08/2018.
- INMETRO, 2017, Aquecedores de Água a Gás Instantâneos. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/aquecedorAgua\\_2015.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/aquecedorAgua_2015.pdf). Acesso em: 10/11/2019.
- INMETRO, 2018, PBE – Coletor Solar – Banho. Disponível em: [www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf). Acesso em: 28/09/2018.
- Kalogirou, S. A., 2016, Engenharia de energia solar: Processos e Sistemas, Elsevier.
- Komeco, 2017, Manual do usuário e de instalação. Disponível em: [http://www.Komeco.com.br/fmanager/Komeco2017/manuais\\_produtos/arquivo27\\_1.pdf](http://www.Komeco.com.br/fmanager/Komeco2017/manuais_produtos/arquivo27_1.pdf). Acesso em: 08/09/2018.
- LABEEE, 2019, Arquivos climáticos em formato TRY, SWERA, CSV e BIN. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em: 12/10/2019.
- Mercado Livre, 2019, Coletor Solar 1,0x1,0m Inox Kocs Ab 1. 0 Ambient Komeco. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1085165767-coletor-solar-10x10m-inox-kocs-ab-1-0-ambient-Komeco-JM>. Acesso em: 29/09/2019.
- Merito, 2019. Disponível em: [https://www.meritocomercial.com.br/marcas/schneider?pht=21031544017584631&gclid=EAIAIqObChMI-IuU8cj35AIVTD0MCh1GFAp-EAAYAiAAEgIld\\_D\\_BwE](https://www.meritocomercial.com.br/marcas/schneider?pht=21031544017584631&gclid=EAIAIqObChMI-IuU8cj35AIVTD0MCh1GFAp-EAAYAiAAEgIld_D_BwE). Acesso em: 15/10/2019.
- Merlin, G., 2017, “Com 144 microcervejarias, RS é o estado com mais empresas que produzem cervejas artesanais no Brasil”. Disponível em: [g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/com-144-microcervejarias-rs-e-o-estado-com-mais-empresas-que-produzem-cervejas-artesanais-no-brasil.ghtml](http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/com-144-microcervejarias-rs-e-o-estado-com-mais-empresas-que-produzem-cervejas-artesanais-no-brasil.ghtml). Acesso em: 16/08/2018.
- PETROBRAS, 2019, Gás Liquefeito de Petróleo. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/composicao-de-precos-de-venda-ao-consumidor/gas-liquefeito-de-petroleo-glp/>. Acesso em: 29/11/2019.
- Sousa, M. S., Geremia, A. R., 2018. Entrevista anônima sobre cervejaria e processos em 31/01/2018.
- Supergasbrás, 2019, Comunicação pessoal em novembro.
- TRNSYS, 2019. Versão 17. Madison, EUA.

#### ECONOMIC ANALYSIS AND SIZING OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS USING THE TRNSYS PROGRAM FOR SMALL BREWING IN PORTO ALEGRE

**Abstract.** The main objective of this paper was to evaluate the feasibility of using solar heating systems in a stage of beer production, by a small brewing company located in the city of Porto Alegre. Beer production has the potential to use solar heating systems due to the use of water heated to temperatures below 100 ° C in different stages of the production



*process. Thus, using known data from the company's heated water demand, a model can be elaborated in the TRNSYS software. It is evaluated the use of flat plate solar collectors, with an area ranging from 4 to 8 m<sup>2</sup>, using as auxiliary source of heat electric or gas passage heaters. The installation showed a return on investment of up to 4 years, with energy cost savings of up to 60%. There is also an increase in net present value (NPV) of investment proportional to the increase in system area. By evaluating the internal rate of return (IRR), it is clear that the systems that have even areas are more attractive, since modules of 2 m<sup>2</sup> have lower cost per unit of area, thus reducing the initial investment.*

**Key words:** *Solar Energy, Software TRNSYS, Solar heating in brewing company*