

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA PARA O PROCESSO DE MOSTURAÇÃO DE CERVEJA

Maíra Nunes de Sousa – mairansousa@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Engenharia de Energia

Arthur da Rocha Geremia – arthurgeremia@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

2.2. Sistemas Solares Térmicos: aquecimento de água, espaço e refrigeração

Resumo. *Dentre os processos industriais com potencial para o emprego de sistemas de aquecimento solar (SAS), a fabricação de cerveja figura como uma opção promissora. Principalmente devido à utilização de água aquecida à baixa temperatura em várias etapas desse processo. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo dimensionar sistemas de aquecimento solar de água para três microcervejarias, com demandas distintas, e avaliar a viabilidade econômica para a sua implementação. As microcervejarias localizam-se na cidade de Porto Alegre. A etapa escolhida como caso de estudo é a mosturação, por ser o primeiro processo a exigir o uso de água quente e por demandar a menor temperatura, 60°C. Para esta etapa, as demandas de água aquecida são de 267 L para a microcervejaria A, 500 L para a microcervejaria B, e 950 L para a microcervejaria C. O software f-chart é utilizado para dimensionar os sistemas, a partir da simulação de vários arranjos com número de coletores distintos, porém mantendo-se o volume do reservatório constante. A escolha do número de coletores, para cada microcervejaria, é feita em função da análise de viabilidade econômica, ou seja, em termos da maior taxa interna de retorno calculada. O investimento é considerado como sendo a soma do custo dos coletores, da bomba hidráulica e do reservatório. O rendimento é dado em termos da economia com a fatura de eletricidade, pelo período de quinze anos. Todos os três arranjos selecionados são viáveis economicamente. A microcervejaria A apresenta o maior tempo de retorno, 10,7 anos, enquanto que a microcervejaria C apresenta o menor tempo de retorno, 8,3 anos. As frações solares para os três arranjos selecionados são 0,360, 0,295 e 0,314, para as microcervejarias A, B e C, respectivamente.*

Palavras-chave: Sistema de aquecimento solar de água, Fabricação de cerveja, Coletor solar plano.

1. INTRODUÇÃO

Em junho de 2017, o Brasil promulgou o Acordo de Paris, no qual se compromete a reduzir, em 37% até 2025 e em 43% até 2030, os gases de efeito estufa lançados na atmosfera, tendo como ano base de 2005 (O Globo, 2017). Para atender essas metas, o governo busca implementar fontes diversificadas na sua matriz energética atual e sugere, segundo Plano Nacional de Energia (PNE), o uso de energias limpas, como a energia solar. Assim, o uso da energia solar térmica para determinadas aplicações industriais figura como uma opção promissora, diminuindo o emprego da eletricidade em processos envolvendo o aquecimento de água.

A indústria brasileira começou o ano de 2017 com o maior consumo de energia elétrica dos últimos dois anos (Exame, 2017). Esta é responsável por 33% do consumo de energia, sendo 19,9% em eletricidade (BEN, 2017). Bordignon (2016) identificou etapas favoráveis ao uso de sistemas de aquecimento solar, SAS, em processos de produção, em indústrias do Rio Grande do Sul. Um setor industrial com potencial significativo para o emprego do SAS é a produção de cerveja. Segundo o SEBRAE/RS (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas do Rio Grande do Sul), em 2016 eram 102 microcervejarias artesanais no Estado, 30 delas somente na capital gaúcha (Correio do Povo, 2016).

A produção de cerveja é feita por bateladas. A primeira etapa, chamada de mosturação, consiste na adição de grãos moídos, em água aquecida, para posterior fermentação. Segundo Ortiz (2014), para essa etapa, a água deve estar a uma temperatura de 60 °C. A faixa de temperatura da água, fornecida por sistemas que utilizam coletores solares planos, é de 30 °C a 80 °C, aproximadamente, tornando viável o seu uso para a mosturação, conforme observado por Bordignon (2016).

Mauthner *et al.* (2014) identificaram processos que utilizam SAS com placas planas na indústria de *malting plants* e cervejarias. Eles citam os exemplos de pasteurização, secagem e trituração de grãos da companhia Heineken, porém sem apresentar a análise financeira. Na planta de Valencia, por exemplo, a simulação estimou que aproximadamente 45% da energia térmica do processo de pasteurização é suprida pelo SAS. Segundo os autores, essa planta produz 2,3 milhões de litros de cerveja por ano.

O *software f-chart* (Duffie *et al.*, 2013) é uma ferramenta de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar que utilizam tanto líquidos, quanto o ar, como fluidos de trabalho. Esse *software* fornece a fração solar média mensal, bem como a anual, para vários tipos de configuração de sistemas de aquecimento. Neste trabalho, utilizou-se a opção *General Solar Heating System* (sistema geral de aquecimento solar) que consiste em coletores, bomba hidráulica, reservatório térmico e válvulas de alívio de pressão. As tubulações foram desconsideradas. O volume de cada reservatório térmico foi mantido fixo, para cada uma das três microcervejarias. Como hipótese, assumiu-se que as microcervejarias já possuíam tanque de aquecimento, que seria utilizado na implementação do SAS, e que as mesmas já possuem filtros para a utilização da água no processo de mosturação.

Portanto, o objetivo principal deste trabalho consistiu em dimensionar um SAS, para cada uma das três microcervejarias, avaliando diferentes arranjos, com quantidades distintas de coletores, e selecionando a configuração que proporcionou a maior taxa interna de retorno, TIR. Esta metodologia de seleção foi a mesma utilizada por Bordignon (2016). Uma vez dimensionados os SAS, analisou-se a viabilidade econômica de sua implementação, bem como o tempo de retorno, através do valor presente líquido, VPL, para um intervalo de quinze anos. Os custos com instalação e manutenção foram desconsiderados. Além disso, elaborou-se um fluxo de caixa no qual o custo inicial é representado pelo custo de aquisição dos coletores, do reservatório térmico e da bomba, e o rendimento é representado pela economia na fatura de eletricidade.

2. CASO ESTUDADO

O SAS selecionado para este trabalho foi adaptado do sistema doméstico ativo de água quente para dois tanques sugerido por Buckles *et al.* (1980). Esse sistema assemelha-se ao *General Solar Heating System* disponível no *software f-chart* de Klein (2017). A mesma água, que funciona como fluido de trabalho no coletor, é o produto final utilizado no processo. O reservatório térmico é abastecido por água da rede, caracterizando o sistema como *loop* aberto. A circulação da água pelos coletores, e pelo reservatório térmico, é forçada, feita por uma bomba hidráulica. Há a presença de duas válvulas de alívio de pressão, que não foram levadas em consideração na avaliação econômica.

Quando se inicia a produção de cerveja, a água aquecida é transferida do tanque de armazenamento para o tanque de aquecimento auxiliar. Se necessário, as resistências elétricas elevarão a temperatura da água até 60 °C. A Fig. (1) ilustra o sistema utilizado.

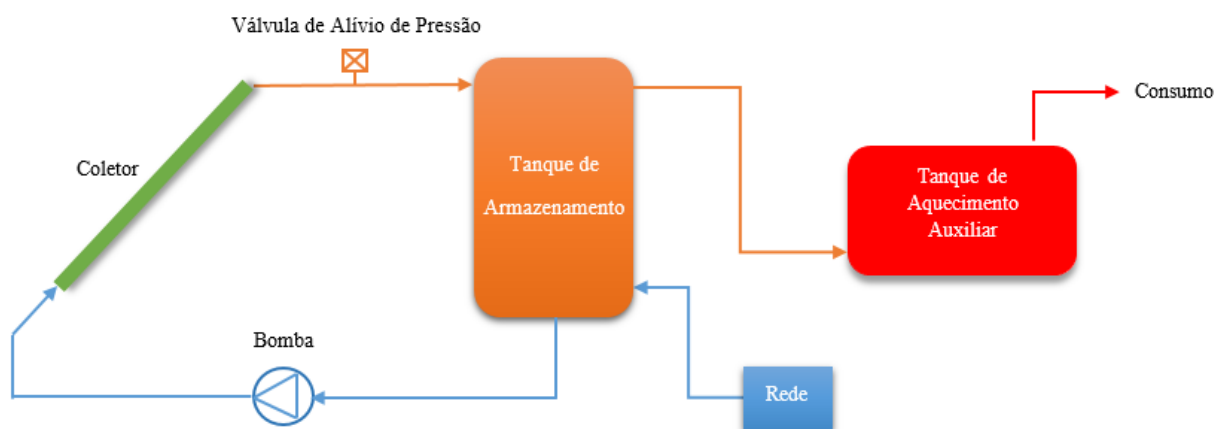


Figura (1) – Exemplificação do SAS utilizado.

3. SIMULAÇÃO E DIMENSIONAMENTO

Os dados necessários para realizar a simulação foram os seguintes: a radiação solar média global horizontal, a temperatura média mensal e a umidade relativa para cidade de Porto Alegre (PROGENSA, 1993 *apud* Chigueru e Fraidenraich, 2000). Considerou-se que a temperatura da água da rede é igual a 20 °C para todos os meses, e que a refletância é igual a 0,2. O modelo de coletor solar, tipo placa plana, selecionado foi o MC 10 Evolution Pro da marca Heliotek, cuja classificação no Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO (2017a) é B, com eficiência energética média de 57,11%. O coletor solar possui 1 m² de área coletora, 0,716 de eficiência óptica, coeficiente de perdas térmicas igual 5,787 W/m² °C, e uma cobertura de vidro simples (INMETRO, 2017a). Assumiu-se que a inclinação dos coletores é igual a 40°, ou seja, latitude do local mais dez graus. A razão entre vazão mássica e área coletora é igual a 0,015 kg/s m², conforme sugerido pelo *software f-chart*.

Para o sistema em questão, o parâmetro de efetividade do trocador de calor é igual a 1, pois não se utilizou esse equipamento no SAS. A temperatura mínima necessária, para água utilizada no processo, é de 60 °C. Assumiu-se que o calor específico da água é constante e igual a 4,19 kJ/kg °C e a massa específica, também constante, é igual a 1000 kg/m³. O aquecimento auxiliar é efetuado por resistores elétricos, com eficiências iguais a 95%, que se situam dentro do tanque de aquecimento de baixa pressão. O tanque de armazenamento possui um coeficiente de transferência térmica igual a

2,7 W/m² K (Dantas, 2013), isolamento térmico de poliuretano, materiais do corpo interno de aço inox (INMETRO, 2017b), e corpo externo de alumínio.

O volume do tanque de armazenamento foi determinado em função dos valores utilizados comercialmente, conforme a tabela de reservatórios térmicos fornecida pelo INMETRO (2017b). Segundo a norma ABNT NBR 15569:2008 (ABNT, 2008), o volume do tanque de armazenamento sugerido deve ser igual ou maior que 75% do volume de consumo. Os volumes dos tanques de armazenamento, disponíveis comercialmente, são pré-definidos em múltiplos de 100, entre 200 e 1000 litros. Com exceção dos reservatórios de 700 e 900 litros, que não são comercializados.

Os tanques de armazenamento possuem tronco cilíndrico e bases côncavas. Para determinar a área de transferência de calor, aproximou-se o formato real por um cilindro com bases planas, mantendo-se o volume e o diâmetro constantes. Esses valores de diâmetro e volume foram obtidos da Tabela do INMETRO (2017b). Conhecendo a área superficial, e multiplicando a mesma pelo coeficiente de transferência térmica, foi possível obter a perda térmica, por unidade de temperatura, para cada um dos três reservatórios, conforme a Tab. (1).

A energia média diária necessária para cada microcervejaria, presente na Tab. (1), foi obtida através da equação do calor sensível. Esses dados foram obtidos pelo produto do consumo mássico diário médio respectivo de cada cervejaria, do calor específico da água e da diferença entre as temperaturas final e inicial. Os dados são os mesmos utilizados nas simulações no *software f-chart*.

Tabela (1) - Demandas diárias de massa e energia

	MICROCERVEJARIA A	MICROCERVEJARIA B	MICROCERVEJARIA C
Consumo volumétrico diário médio	267 litros/dia	500 litros/dia	950 litros/dia
Consumo mássico diário médio	267 kg/dia	500 kg/dia	950 kg/dia
Perda térmica	5,113 W/K	8,569 W/K	13,28 W/K
Energia média diária necessária	0,04469333 GJ/dia	0,0838 GJ/dia	0,15922 GJ/dia
Volume do reservatório	200 litros	400 litros	800 litros

Para cada microcervejaria, foram realizadas várias simulações, com arranjos com números distintos de coletores, obtendo-se as frações médias mensais e anuais. Os parâmetros utilizados nas simulações são apresentados na Tab. (1). A Fig. (2) apresenta as frações solares médias anuais em função do número de coletores para as microcervejarias A, B e C.

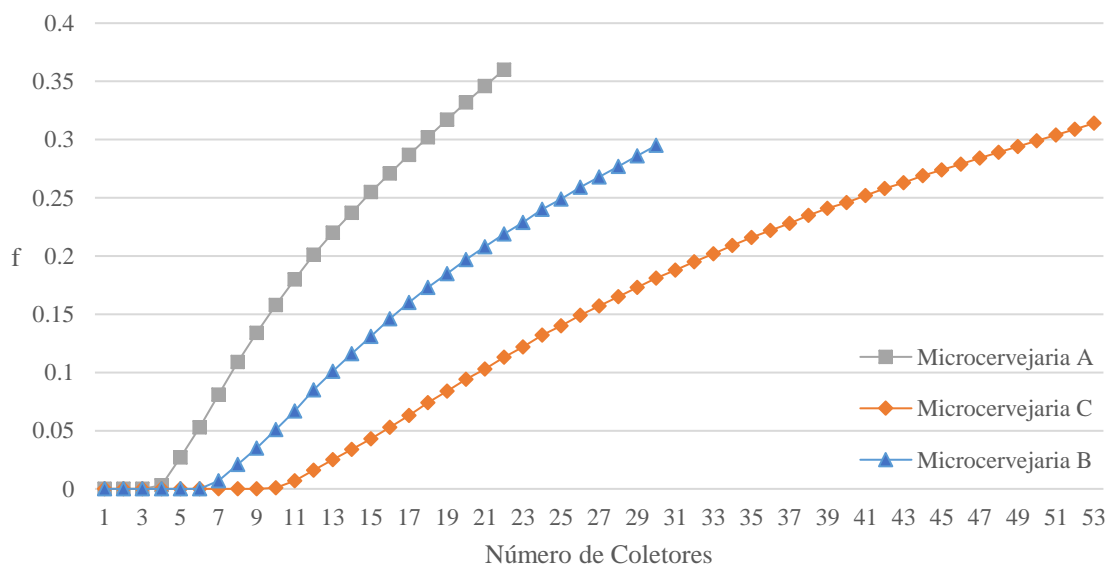


Figura (2) – Frações solares médias anuais f dos arranjos simulados para a microcervejarias A, B e C.

4. ANÁLISE ECONÔMICA

Conforme mencionado anteriormente, para a análise econômica do SAS foram considerados os custos com a aquisição da bomba hidráulica, do reservatório térmico e dos coletores, sendo desconsiderados custos com instalação e manutenção. O valor unitário utilizado para os coletores, R\$ 582,60 (Energy Shop, 2017), e o valor de cada reservatório, Tab. (2) foram obtidos a partir do cálculo da média de valores disponíveis em websites de fornecedores.

Tabela (2) – Valor do tanque de armazenamento

	PREÇO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO
Microcervejaria A	R\$ 1.551,31
Microcervejaria B	R\$ 1.442,67
Microcervejaria C	R\$ 3.101,74

Salienta-se que na aquisição de um grande número de coletores, o preço unitário é menor, devido ao desconto, prática comumente utilizada pelo mercado. Para mensurar o desconto, utilizou-se a expressão, Eq. (1), utilizada por Dantas (2013)

$$C_C = 582,60 \left\{ A_C \left[0,65 + 0,35 \left(2^{\frac{1-A_C}{10^4}} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

na qual A_C é a área total dos coletores e 582,60 é o preço de um único coletor.

O custo com a aquisição da bomba foi calculado pela Eq. (2) (Dantas, 2013)

$$C_B = 407 + (719\dot{m}A_C) \quad (2)$$

na qual \dot{m} é a vazão mássica, por unidade de área dos coletores, igual a 0,015 kg/m²s.

O preço final, PF , da energia utilizada no custo com eletricidade é obtido através da Eq. (3), de acordo com a companhia local de distribuição, CEEE-D, cujo valor do kWh sem impostos, ou seja, o preço homologado, PH , é igual a R\$ 0,39116 para indústria e o ICMS é fixado em 30% (CEEE, 2017). Os impostos PIS e COFINS variam mensalmente.

$$PF = \frac{PH}{(1 - PIS(\%) - COFINS(\%) - ICMS(\%))} \quad (3)$$

Assim, calculou-se a média do preço do kWh dos últimos 12 meses. O preço final médio de R\$ 0,596218 por kWh foi utilizado para calcular os gastos com eletricidade com e sem o SAS para o ano atual. No custo com eletricidade pode haver um adicional devido ao sistema de bandeiras tarifárias, o qual depende do tipo de geração de eletricidade. Considerou-se a bandeira amarela cujo preço é de R\$ 2,00 para cada 100 kWh consumidos (ANEEL, 2015). Para os demais quinze anos, considerou-se que o custo final da eletricidade, PF , é corrigido pela inflação, igual à da meta de 2017, ou seja, igual a 4,5% ao ano (Banco Central, 2017).

Conhecendo-se a fração solar média anual, determinou-se o quanto de energia o SAS fornece à água e, conseqüentemente, o quanto de energia deverá ser suprido pela fonte auxiliar. Logo, levando-se em consideração a eficiência, é possível determinar o custo com eletricidade ao ano. Para tanto, elaborou-se um fluxo de caixa no qual o custo inicial é representado pelo custo de aquisição dos coletores, do reservatório térmico e da bomba, e o rendimento é representado pela economia na fatura de eletricidade. Em seguida, foi calculada a TIR, para um intervalo de quinze anos, para cada um dos arranjos simulados, como pode observado nas Fig. (3), Fig. (4) e Fig. (5), para as microcervejarias A, B e C, respectivamente.

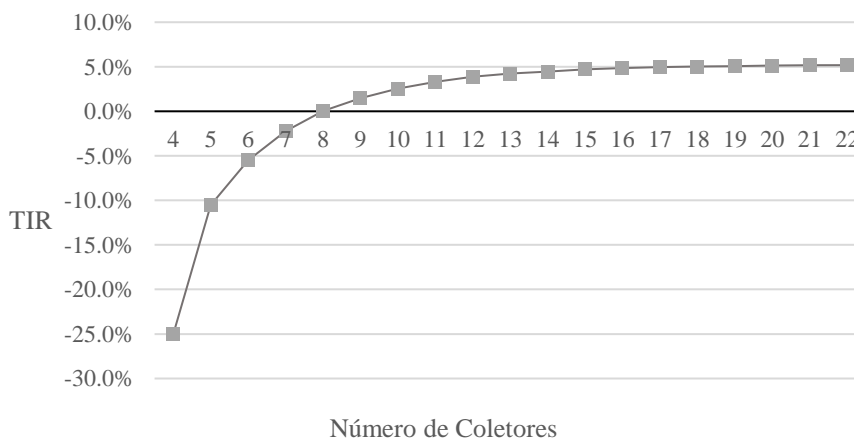


Figura (3) – TIR da microcervejaria A.

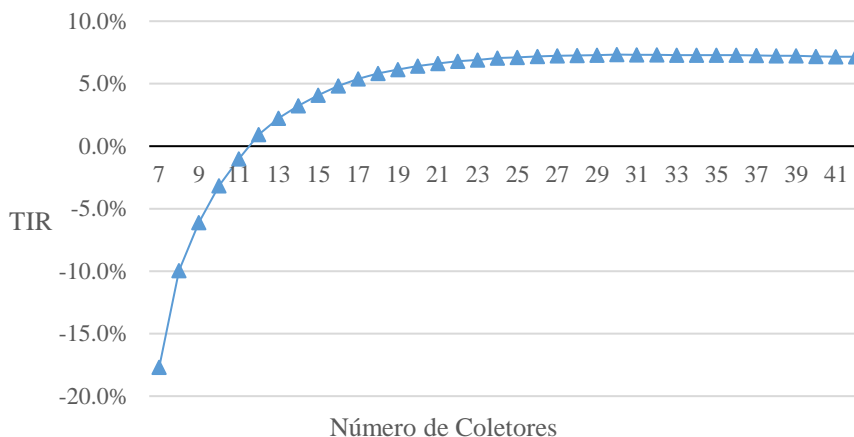


Figura (4) – TIR da microcervejaria B.

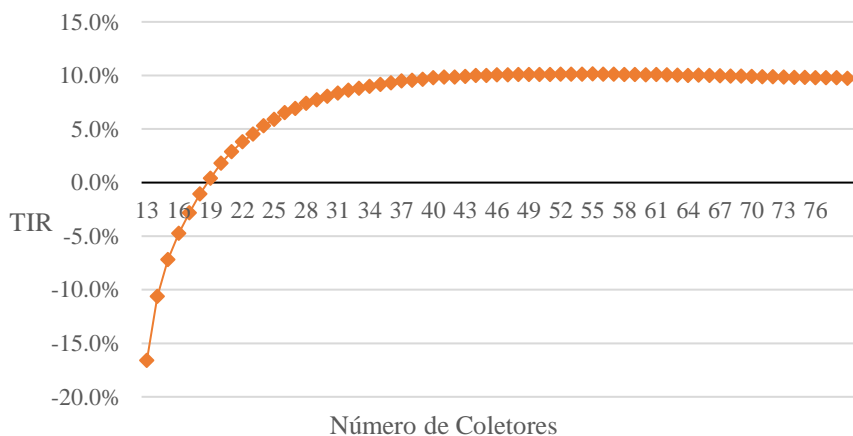


Figura (5) – TIR da microcervejaria C.

As taxas internas de retorno, com valores negativos, demonstram que para um número pequeno de coletores não há retorno no período avaliado. Conforme comentado anteriormente, a escolha do número de coletores, considerado ideal, se deu pelo maior valor de TIR calculado. Assim, para a microcervejaria A, a maior TIR foi de 5,18% para um arranjo de 22 coletores, correspondendo a uma vazão mássica de 0,33 kg/s. Para o caso da microcervejaria B, a maior TIR foi de 7,33% para um arranjo de 30 coletores, correspondendo a uma vazão mássica de 0,45 kg/s. Finalmente, para o caso da microcervejaria C, a maior TIR foi de 10,14% para um arranjo de 53 coletores, correspondendo a uma vazão mássica de 0,80 kg/s. Para as microcervejarias B e C, a TIR alcançou um valor máximo e, em seguida, começou a diminuir monotonamente.

O gasto com eletricidade para cada microcervejaria ao longo dos quinze anos avaliados, com e sem o emprego do SAS, pode ser observado na Fig. (6). Nota-se que para os três casos há redução significativa do gasto. Para a microcervejaria A a economia foi de 59,62%, para a microcervejaria B foi de 46,06% e para microcervejaria C foi de 46,01%, levando-se em consideração os investimentos iniciais.

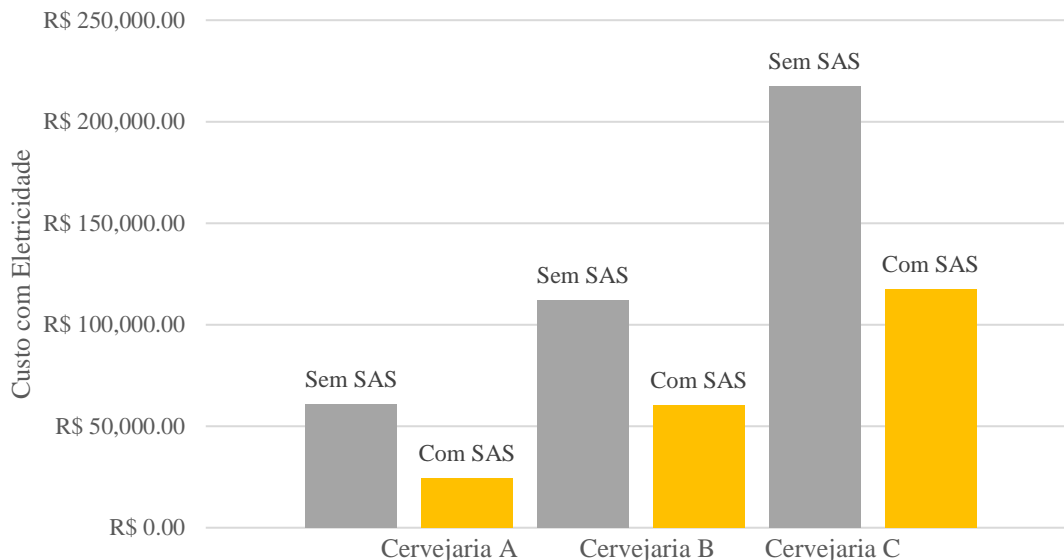


Figura (6) – Gasto com eletricidade, com e sem o SAS, para as microcervejarias num período de 15 anos.

A fração solar mensal para cada microcervejaria, utilizando o arranjo selecionado pela avaliação da TIR, é apresentada na Fig. (7). As frações solares médias anuais para as microcervejarias A, B e C são, respectivamente, 0,360, 0,295 e 0,314. Pode-se observar que a economia de cada microcervejaria é superior a fração solar média anual devido a correção do preço da eletricidade pela inflação, ao longo dos quinze anos analisados.

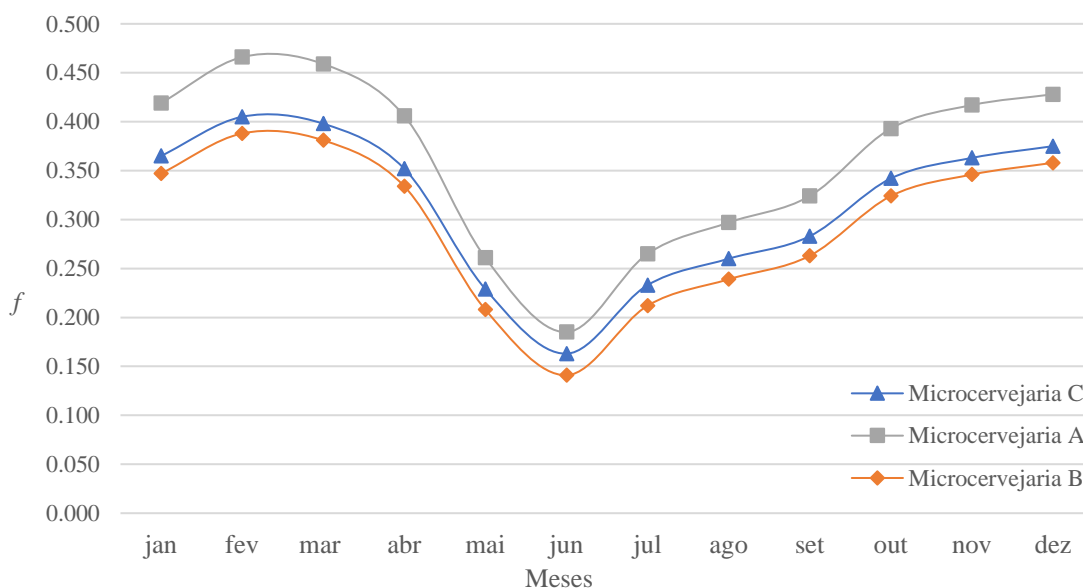


Figura (7) – Fração solar mensal para cada microcervejaria.

Para obter o tempo de retorno para cada situação analisada acima, foram avaliados os somatórios do VPL, apresentados na Fig. (8). Para a microcervejaria A, o tempo de retorno é de 10,7 anos, para a microcervejaria B é de 9,6 anos e para a microcervejaria C é de 8,3 anos. Os valores iniciais, no ano zero, são os investimentos em cada microcervejaria, sendo R\$ 14.426, 87 para a microcervejaria A, R\$ 18.586,10 para a microcervejaria B e R\$ 31.792,78 para a microcervejaria C. Pode se observar, também, que a microcervejaria C é o caso no qual há a maior economia e o menor tempo de retorno ao longo dos quinze anos. Por outro lado, a microcervejaria A apresenta a menor economia e o maior tempo de retorno.

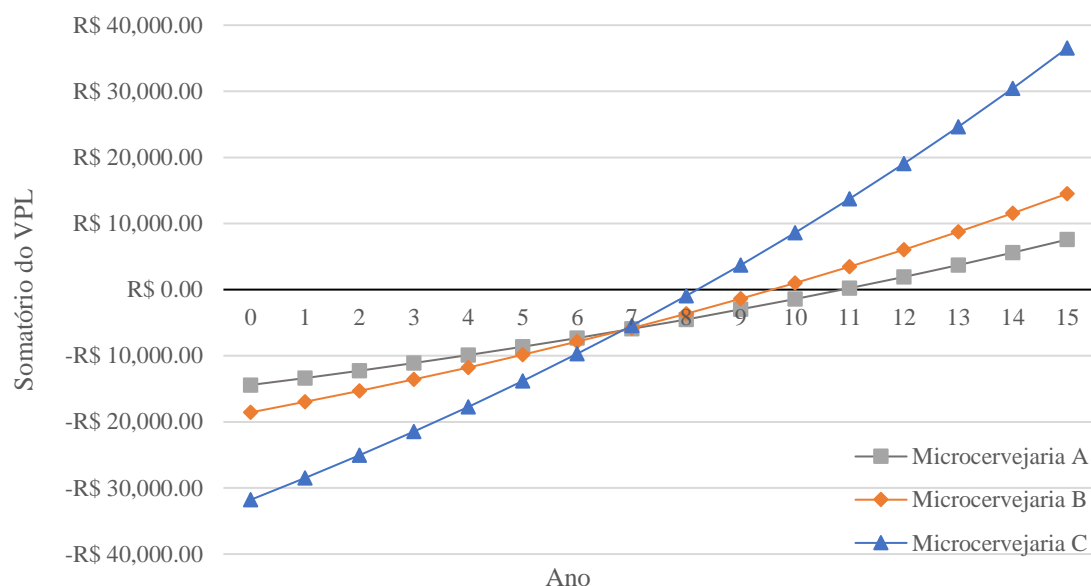


Figura (8) – Somatório do VPL ao longo de 15 anos para cada microcervejaria.

Observa-se que o tempo de retorno diminui com o aumento da demanda. No caso da microcervejaria C, de maior demanda, a implementação do SAS é mais atrativa, visto que possui a maior TIR e o menor tempo de retorno do investimento. É importante lembrar que o modelo de coletor utilizado na simulação tem eficiência energética média de 57,11%, que não é a maior dentre os coletores disponíveis comercialmente. Por exemplo, um coletor de placa plana com preço semelhante ao selecionado, porém de etiquetagem A, pode apresentar eficiência energética média acima de 70%, aumentando a economia e diminuindo o tempo de retorno. Finalmente, a Tab. (3) sumariza os principais resultados obtidos.

Tabela (3) – Características e resultados dos sistemas analisados

	MICROCERVEJARIA A	MICROCERVEJARIA B	MICROCERVEJARIA C
Número de coletores	22	30	53
Fração solar média anual	0,360	0,295	0,314
Máxima TIR	5,18 %	7,33 %	10,14 %
Investimento	R\$ 14.426,87	R\$ 18.586,10	R\$ 31.792,78
Economia com o gasto em eletricidade em 15 anos	59,62 %	46,06 %	46,01 %
Tempo de retorno do investimento	10,7 anos	9,6 anos	8,3 anos
Vazão mássica	0,33 kg/s	0,45 kg/s	0,80 kg/s

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho tinha como objetivo principal dimensionar e analisar a viabilidade econômica de três sistemas de aquecimento solar de água para três microcervejarias localizadas na cidade de Porto Alegre. O processo escolhido para utilizar o sistema de aquecimento foi a mosturação, a qual exige que a temperatura da água seja de 60 °C. A demanda diária de água quente é de 267 litros para a microcervejaria A, 500 litros para a microcervejaria B e de 950 litros para a microcervejaria C.

O dimensionamento dos sistemas foi feito com a utilização do *software f-chart*. Foram testados vários arranjos, com número distinto de coletores, e avaliada a taxa interna de retorno de cada um. Os três arranjos selecionados foram os que apresentaram a maior TIR calculada. Ou seja, 22 coletores para a microcervejaria A, com TIR igual a 5,18 %, 30 coletores para a microcervejaria B, com TIR igual a 7,33% e 53 coletores para a microcervejaria C, com TIR igual a 10,14%. Os coletores utilizados no dimensionamento foram do tipo placa plana com cobertura de simples, de vidro.

As frações solares médias anuais, para as configurações acima, foram de 0,360, 0,295 e 0,314 para as microcervejarias A, B e C, respectivamente. Em termos de das frações solares mensais, as máximas foram 0,466, 0,388 e 0,405, nesta ordem.

Com relação à análise financeira, os tempos de retorno de investimento, para as microcervejarias A, B e C, foram de 10,7 anos, 9,6 anos e 8,3 anos, respectivamente. O emprego do SAS implicou em reduções acima de 46% no gasto com eletricidade. Esta análise demonstra que a implementação do SAS, nos três casos, é viável, haja vista que o tempo de retorno se dá antes do tempo estipulado de quinze anos. Dentre as microcervejarias, o SAS dimensionado para a microcervejaria C é o mais atrativo, devido à sua maior TIR e ao menor tempo de retorno.

Por outro lado, é importante salientar que se trata de uma avaliação simplificada. No caso do investimento inicial, o custo como a instalação e com as tubulações não foi levado em consideração. No somatório de VPL os custos com manutenção não foram contemplados.

Agradecimentos

A primeira autora agradece o apoio financeiro, em bolsa de Iniciação Científica, por parte da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

REFERÊNCIAS

ABNT, 2008. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15569:2008 - Sistema de Aquecimento de Água em Circuito Direto - Projeto e Instalação.

ANEEL, 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. Bandeiras tarifárias. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 21/09/2017.

Banco Central, 2017. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/pt-br/#!/home>. Acesso em: 29/09/2017.

BEN, 2017. Balanço Energético Nacional. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/benrelatoriosintese.aspx>. Acesso em: 06/10/2017.

Bordignon, J. D., 2016. Identificação de Etapas de Processos de Produção Favoráveis ao Uso de Sistema Solar de Aquecimento de Água, Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Porto Alegre.

Buckles, W.E. and Klein S.A., 1980. Analysis of Solar Domestic Water Heaters, Solar Energy, vol. 25, pp. 417 – 424.

CEEE, 2017. Grupo Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul. Tabela de Tarifas e Custos de serviços. Disponível em: http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Tabela_de_Tarifas_e_Custos_de_Servicos_80641.pdf. Acesso em: 15/09/2017.

Chigueru, T. e Fraidenraich, N. 2000. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres. Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia, Departamento de Energia Nuclear - UFPE - Recife - PE – Brasil, 2002

Correio do Povo, 2016. Cresce cultura da cerveja artesanal no RS. Disponível em: <http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Economia/2016/8/594378/Cresce-cultura-da-cerveja-artesanal-no-RS>. Acesso em: 05/10/2017.

Dantas, F. S., 2013. Emprego de Energia Solar para pré-aquecimento de água de reposição de caldeira, Dissertação de Mestrado, UERJ, Rio de Janeiro.

Dantas, F. S., 2013. Emprego de Energia Solar para pré-aquecimento de água de reposição de caldeira, Dissertação de Mestrado, UERJ, Rio de Janeiro.

Duffie, J. A. e Beckman, W.A., 2013. Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, 4ª ed.

Energy Shop. Disponível em: <https://www.energyshop.com.br/produto/busca?q=MC+10+evolution+pro>. Acesso em: 22/09/2017.

Exame, 2017. Indústria começa 2017 com maior consumo de energia. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/economia/industria-comeca-2017-com-maior-consumo-de-energia/#>. Acesso em: 06/10/2017.

Governo do Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2013/09/mais-de-183-mil-casas-tem-aquecimento-solar-no-Brasil>. Acesso em: 06/10/2017.

INMETRO, 2017a. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. PBE – Coletores solares para banho e piscina. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares-banho-e-piscina.pdf>. Acesso em: 15/09/2017.

INMETRO, 2017b. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. PBE – Reservatórios térmicos de alta e baixa pressão. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/reservatorios-termicos-alta-baixa-pressao.pdf>. Acesso em: 13/09/2017.

Klein, 2017. *f*-chart, versão 6.88W.

Mauthner, F.; Hubmann, M.; Brunner, C.; Fink, C, 2014. Manufacture of Malt and Beer with Low Temperature Solar Process Heat, v. 48, pp. 1188 – 1193.

O Globo, 2017. Temer promulga compromisso do Brasil no Acordo de Paris. Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/temer-promulga-acordo-de-paris-e-amplia-parque-da-chapada-dos-veadeiros.ghtml>. Acesso em: 25/10/2017.

Ortiz, P. B., 2014. Análise do Consumo Energético do Processo de Produção de Cerveja Artesanal por Bateladas, Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Porto Alegre.

Portal Solar, 2017. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-de-aquecimento-solar.html>. Acesso em: 21/09/2017.

PROGENSA, 1993. Centro de Estudios de la Energía Solar. Valores Medios de Irradiación Solar sobre Suelo Horizontal. Argentina.

ANALYSIS OF ECONOMICAL FEASIBILITY AND DESIGN OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR MASHING MICRO BREWING PROCESS

Abstract. *Brewing is a promising option among the industrial processes with potential to use solar heating systems (SHS), mainly due to the use of heated water at low temperature in several steps of its process. In this sense, the aim of this work is to design solar water heating systems for three microbreweries, with different demands, and to evaluate the economic viability for its implementation. The microbreweries are located in the city of Porto Alegre. The process selected as a case study is the mashing brewing process. It is the first process that requires the use of hot water at low temperature, 60°C. For this procedure, the demands of heated water are 267 L for microbrewery A, 500 L for microbrewery B, and 950 L for microbrewery C. The software f-chart is used to design the systems from the simulation of several arrangements - with different number of collectors, but keeping the tank volume constant. For each microbrewery, the choice of collectors number is made based on the economic viability analysis, that is, in terms of the highest internal rate of return calculated. The investment is considered to be the sum of the cost of the collectors, the hydraulic pump and the reservoir. The yield is given in terms of the economy with the electricity bill for a period of fifteen years. All three selected arrangements are economically viable. Microbrewery A presents the longest return time, 10.7 years, while microbrewery C presents the shortest return time, 8.3 years. The solar fractions for the three selected arrays are 0.360, 0.295 and 0.314 for microbreweries A, B and C, respectively.*

Keywords: *Solar water heating system, Brewing, Flat-plate collector.*