

Eixo Temático ET-06-009 - Energia

**VIABILIDADE ECONÔMICA PARA COLETORES SOLARES TÉRMICOS EM
UMA FÁBRICA DE SORVETE NA PARAÍBA**Luiz Moreira Coelho Junior¹, Thiago Freire Melquiades², Edvaldo Pereira Santos Júnior³,
Levi Pedro Barbosa de Oliveira¹

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB/João Pessoa, Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, Paraíba, Brasil; ²Universidade Federal da Paraíba – UFPB/João Pessoa, Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Paraíba, Brasil; ³Universidade Federal da Paraíba – UFPB/João Pessoa, Engenharia de Energias Renováveis, Paraíba, Brasil.

RESUMO

Os níveis de radiação solar brasileiros apresentam um elevado padrão, se comparados com os países europeus. Isso expõe a grande capacidade de exploração do território nacional quanto ao uso da energia solar. A utilização da energia solar térmica na indústria cresceu, saindo de 3%, em 2013, para 17%, em 2014. Com isso, este artigo analisou a viabilidade técnica e econômica do uso de coletores solares térmicos em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, localizada em João Pessoa. A metodologia utilizada para dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar - SAS seguiu as definições da NBR 15569. Para a análise dos custos dos projetos de investimento, foram utilizados alguns indicadores: Valor Presente dos Custos (VPC), Custo Periódico Equivalente (CPE), *Levelized Cost Of Electricity* (LCOE), *payback* descontado e Custo Médio de Produção (CMeP). A partir dos resultados e análises realizadas, foi possível concluir que o uso do SAS na etapa de aquecimento do processo de pasteurização nas empresas de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa foi viável.

Palavras-chave: Economia da energia; Sistema de aquecimento solar; Alimentos e bebidas.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta um grande potencial de aplicações do uso de energia solar (térmico e fotovoltaico), no que diz respeito a vastas áreas de insolação ainda pouco aproveitadas, principalmente na indústria. Para Martins et al. (2007), os níveis de radiação solar brasileiros apresentam um elevado padrão, se comparados com os países europeus. Isso expõe a grande capacidade de exploração do território nacional quanto ao uso da energia solar.

Para o Departamento Nacional de Energia Solar (DASOL, 2016), a utilização da energia solar térmica na indústria cresceu de 3%, em 2013, para 17%, em 2014. Em 2014, a produção brasileira de coletores solares cresceu 4,5%, o equivalente a 1,44 milhões de m² e área coletora acumulada de 11,24 milhões de m², chegando a atingir uma capacidade de 7.354 GWh. Já a produção de reservatórios térmicos, cresceu 57,2% em 2014, sendo produzidas 269.207 unidades, comprovando o espaço para investimento do setor.

Algumas indústrias apresentam diversas aplicações da demanda de energia térmica em seus processos produtivos, a média dessa demanda chega a 13% de todo consumo de energia final. Desse percentual, 23% estão entre baixa ($\geq 60^\circ$) e média temperaturas ($60^\circ \leq 150^\circ$). A utilização destas temperaturas se encontra nos processos de limpeza, secagem, pasteurização, cozimento, aquecimento da água, etc. (SCHWEIGER *et al.* 2000, DGGE, 2004).

A avaliação econômica orienta esse tipo de investimento para as indústrias, auxiliando no processo de tomada de decisão, justificando a compra e substituição dos sistemas em questão. Essa análise inclui a avaliação dos custos de instalação, custos operacionais e despesas com manutenção (AL-SALAYMEH *et al.*, 2010). Os investimentos em Sistemas de

Aquecimento Solar – SAS requerem uma análise da necessidade de energia e seus custos, do dimensionamento, das condições climáticas regionais, também é necessária a pesquisa de mercado.

OBEJTIVO

Neste artigo analisou a viabilidade técnica e econômica do uso de coletores solares térmicos em uma em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, localizada em João Pessoa.

MATERIAL E MÉTODOS

Objeto de estudo

O estudo de caso foi realizado em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, estabelecida em 2000, localizada em João Pessoa, Paraíba, Brasil. Em 2015, classificada como microempresa possui 20 colaboradores e comercializa picolé, açaí e sorvete.

Analisou-se o processo produtivo de sorvete e picolé, especificamente a etapa de aquecimento no processo de pasteurização. A empresa em estudo conta com o auxílio de um queimador atmosférico de passagem (*Boiler*) à Gás Liquefeito de Petróleo – GLP, adquirido junto com a planta de pasteurização, em 22 de abril de 2013. A organização também conta com caldeiras e um sistema de resfriamento. Para o cálculo do consumo de GLP anual e produção de energia, foi considerado o poder calorífico de 11.100 kcal/kg (EPE, 2015).

A pasteurização consiste em uma etapa importante na fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, por possibilitar o tratamento térmico para matérias-primas como o leite, ovos e seus derivados (BRASIL, 2003). Essa etapa consiste no aquecimento da água até uma temperatura de 80 °C, aplicando o tratamento térmico à mistura no interior das caldeiras, em seguida, a mistura é imediatamente resfriada.

A fim de comparar o atual sistema de aquecimento do processo de pasteurização via queimador atmosférico de passagem, foi dimensionando um SAS com uso de placas solares planas, configurado de acordo com as informações climáticas do município de João Pessoa. Isso possibilita verificar os indicadores de análise econômica para um horizonte de 10 anos de vida útil, tanto para o projeto de uso do queimador atmosférico de passagem, quanto para o SAS, visando à minimização de custos para a empresa.

Para o cálculo do dimensionamento do SAS foram considerados os 185 litros de água quente utilizados na operacionalização da etapa de aquecimento via queimador atmosférico e um uso diário variando entre 2h e 3h para essa etapa, resultando em 40 h e 60 h mensais, respectivamente. Para o processo de pasteurização via SAS, foram considerados 80°C como temperatura de consumo e armazenagem da água. Já para cálculo dos coeficientes de ganho e perda dos coletores solares, foi utilizada a classificação elaborada pelo Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO (BRASIL, 2015a).

Foram selecionadas três marcas de placas solares considerando modelos de coletores de 1m² e 2m² (Tabela 1). Os coletores das marcas B e C apresentaram maior coeficiente de ganho admissional. Para o coeficiente de perda, o coletor solar de marca A apresenta o maior valor.

Pesquisa de mercado

Segundo Gomes (2013), a pesquisa de mercado consiste em uma ferramenta importante na coleta de dados de um determinado segmento. As informações referentes ao atual sistema de pasteurização foram obtidas em visitas técnicas à empresa e entrevista com os responsáveis. A Tabela 2 mostra o atual preço de mercado de um queimador atmosférico de passagem, com modelo semelhante ao utilizado pela empresa na etapa de aquecimento do processo de pasteurização. Sendo considerado o preço do equipamento novo, valor de instalação, manutenção e peças.

Tabela 1. Marcas de Placas Solares Selecionadas.

Placa Solar	Ganho e Perda dos Coletores	
	<i>Fr</i> (ganho)	<i>FrUL</i> (perda)
Marca A	0,74	6,07
Marca B	0,76	5,97
Marca C	0,76	5,48

Fonte: INMETRO (2015).

Tabela 2. Orçamento para o investimento inicial no queimador atmosférico.

Investimento	Preço	
Equipamento (novo)	R\$	13.300,00
Lavagem e Regulagem (anual)	R\$	350,00
Instalação	R\$	500,00
Eletrodos (trienal)	R\$	300,00
Termopar (trienal)	R\$	185,00
Piloto de Chamas (trienal)	R\$	185,00

A Tabela 3 demonstra os valores para investimento no SAS. Entre os coletores solares, o maior preço foi verificado para a marca B, tanto para o de 1m² quanto para o de 2m². Para os demais componentes: *boiler* de 400l e 600l, instalação e limpeza foi possível considera-los dentro do preço médio de mercado.

Tabela 3. Orçamento para o Investimento Inicial do SAS.

Componentes do SAS	Preço	
	1m ²	2m ²
Placas Solares (Marca A)	R\$ 465,00	R\$ 828,00
Placas Solares (Marca B)	R\$ 551,00	R\$ 1.074,00
Placas Solares (Marca C)	R\$ 539,00	R\$ 968,00
Boiler 400l	R\$ 1.978,00	
Boiler 600l	R\$ 2.485,00	
Instalação	R\$ 1.000,00	
Limpeza (anual)	R\$ 250,00	

A Tabela 4 expõe os investimentos iniciais complementares necessários tanto para implantação do sistema de aquecimento via queimador atmosférico de passagem, quanto para o SAS. Para a quantidade de itens, foi considerada a atual localização da planta de pasteurização da empresa em estudo, desde o número de bombas da etapa de aquecimento, até o diâmetro das tubulações de cobre e conexões.

O dimensionamento foi de acordo com a NBR 15.569 normatiza Sistemas de Aquecimento Solar – SAS de coletores planos com ou sem reservatório de água, considerando desde seu dimensionamento até a sua manutenção (ABNT, 2008). Para o dimensionamento do SAS, é necessário seguir as seguintes etapas de: cálculo do volume demandado de água quente, volume necessário de armazenagem de água quente, demanda de energia útil e área coletora.

Tabela 4. Orçamento de Materiais Complementares para o Queimador Atmosférico e SAS.

Item	Unidade	Preço Unitário	Valor Final
Bomba d'água de 1CV	1 unidade	R\$ 680	R\$ 680
Tubulação de Cobre de 1/2"	19 metros	R\$ 83	R\$ 1577
Joelho em Cobre	10 unidades	R\$ 14	R\$ 140

Avaliação econômica do investimento

Segundo Rezende e Oliveira (2001), a avaliação econômica de um investimento consiste em comparar os custos e as receitas efetivamente ocorridas ao longo do tempo, sendo imprescindível analisar o comportamento das receitas obtidas, verificando se são superiores aos custos necessários à execução do projeto. Assim, podendo ser determinada a sua viabilidade econômica. Entretanto, a avaliação de um investimento deve ocorrer em um período pré-determinado, denominado horizonte de planejamento.

Para a análise dos custos dos projetos de investimento, é necessário o uso de alguns indicadores: Valor Presente dos Custos (VPC), Benefício (Custo) Periódico Equivalente (B(C)PE), *Levelized Cost Of Electricity* (LCOE).

O Valor Presente Líquido (VPL) é o indicador de seleção de projetos mais conhecido e utilizado. Para Rezende e Oliveira (2001), este método consiste fundamentalmente em descontar todos os custos e receitas incorridos ao longo do tempo para o período que vai de zero até uma determinada taxa de desconto, conforme a equação 1, que deve ser aplicada quando os custos ocorrem apenas no ano zero. Assim, temos que o R_j corresponde à receita no final do ano j , C_j representa o custo no final do ano j , C_0 caracteriza o custo inicial do investimento, i a taxa de juros e n , o tempo de duração do projeto. Neste trabalho foi utilizado o Valor Presente dos Custos – VPC, que consiste no C_j , como mostra a equação 1, já que o objetivo deste artigo é a minimização dos custos da empresa em análise.

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^j - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \quad (1)$$

$$VPC = \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^j \quad (2)$$

O Benefício (Custo) Periódico Equivalente – B(C)PE, consiste no valor periódico e constante para pagamento em relação a uma parcela referente ao VPL de um investimento, assim, considerando sua vida útil e possibilitando a comparação entre diferentes projetos, conforme a equação 3 (SILVA, 1992; REDEZEN; OLIVEIRA, 1993; LIMA JÚNIOR, 1995). Considerando que se pretende analisar a alternativa de menor custo, admitiu-se o VPC no lugar do VPL, selecionando o projeto com o menor valor, como mostra a equação 11.

$$B(C)PE = VPL \times \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \quad (3)$$

$$B(C)PE = VPC \times \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \quad (4)$$

Para verificação dos custos de geração de um determinado sistema, é analisado o *Levelized Cost Of Electricity* – LCOE, de acordo com a equação 12. em que o I_t é o investimento no ano t , o M_t representa o gasto com manutenção e operações no ano t , o F_t são os gastos com combustíveis no ano t , o E_t é a geração de eletricidade no ano t , r representa a taxa de desconto e n a vida útil do sistema (IEA e NEA, 2010).

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos meses entre fevereiro de 2013 a maio de 2015, foi verificado que o consumo de GLP não apresentou periodicidade mensal entre os anos, impactando no total pago. A média mensal de consumo do GLP foi de 171 kg, com um preço médio de R\$ 5,39 e um valor médio pago de R\$ 924,60. Nos meses de maior consumo do processo produtivo de pasteurização, o aquecimento foi utilizado por 48 horas mensais. Para os meses de menor consumo, o processo foi utilizado em torno de 20 horas mensais, fornecendo uma média de 34 horas mensais de operação da etapa de aquecimento no processo de pasteurização via queimador atmosférico.

A Tabela 4 demonstra o resultado para o VPC, B(C)PE e LCOE em relação aos custos do projeto do sistema de aquecimento por meio queimador atmosférico de passagem à GLP no processo de pasteurização. Nessa análise, foi admitida uma taxa de juros de 10% a.a. Após 10 anos, o VPC seria de R\$ 171.875 e B(C)PE de R\$ 27.972 e um LCOE de R\$ 1,20 por kWh.

Tabela 4. Resultados do VPC, B (C) PE e LCOE para o Investimento no Queimador Atmosférico de Passagem à GLP.

VPC	(R\$ 171.875,00)
B(C)PE	(R\$ 27.972,00)
LCOE (kWh)	(R\$ 1,20)

A Tabela 5 mostra os resultados para o VPC, B (C) PE e LCOE do SAS para as marcas de coletores solares A, B e C a uma taxa de juros de 10% a.a. Ao final de 10 anos, o menor VPC será apresentado pelo SAS da marca de coletores A, com R\$ 15.233, B(C)PE de R\$ 2.479 e um valor de produção de R\$ 0,13 por kWh. Seguido pelo SAS de coletores da marca C, que obteve um VPC de R\$ 16.073, B(C)PE de R\$ 2.615 e LCOE de R\$ 0,14 por kWh. Já o SAS via modelo B de coletores, apresentou um VPC de R\$ 16.709, B(C)PE de R\$ 2.719 e LCOE de R\$ 0,14 por kWh.

Tabela 5. Resultados do VPC, B (C) PE e LCOE para o Investimento no SAS das Marcas de Coletores Solares A, B e C.

Modelos	VPC	B(C)PE	LCOE
A	(R\$ 15.233)	(R\$ 2.479)	(R\$ 0,13)
B	(R\$ 16.709)	(R\$ 2.719)	(R\$ 0,14)
C	(R\$ 16.073)	(R\$ 2.615)	(R\$ 0,14)

CONCLUSÕES

A partir dos resultados e análises realizadas, chegou-se às seguintes conclusões:

O uso do SAS na etapa de aquecimento do processo de pasteurização nas empresas de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa é viável tecnicamente e economicamente.

O investimento no SAS é menor, se comparado com a instalação do queimador atmosférico de passagem a GLP, considerando uma vida útil de 10 anos.

O coletor solar de marca A apresentou os melhores resultados para os indicadores de VPC, B (C) PE e LCOE para instalação do SAS.

Para o VPC e B(C)PE, o SAS com uso do coletor solar de marca A obteve aproximadamente 91% menor valor em relação ao sistema de aquecimento via queimador atmosférico de passagem à GLP, para o município de João Pessoa.

O LCOE foi de 89% menor para produção de cada kWh em um horizonte de 10 anos comparando o SAS ao queimador atmosférico.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15569**: sistema de aquecimento solar de água em circuito elétrico direto: projeto e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- AL-SALAYMEH, A.; AL-RAWABDEH, I.; EMRAN, S. Economical investigation of an integrated boiler-solar energy saving system in Jordan. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 8, p. 1621-1628, 2010.
- BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica**. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.
- BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 267. **Regulamento técnico de boas práticas de fabricação para estabelecimentos industrializadores de gelados comestíveis**. Brasília, 2003. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/9f880600474595599d2edd3fbc4c6735/RDC_267_2003.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 09 out. 2015.
- BRASIL. INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2015a.
- BRASIL. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações e dados**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 01 set. 2015b.
- DASOL - Departamento Nacional de Aquecimento Solar. **Dados de mercado**. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/>>. Acesso em: 19 jan. 2016.
- DGGE - Direção Geral de Geologia e Energia. **Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial**. Lisboa, 2004.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional 2015: ano base 2014**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2015.
- GOMES, I. M. **Manual como elaborar uma pesquisa de mercado**. Belo Horizonte: SEBRAE/MG, 2013.
- GUIMARÃES, B.; GONÇALVES, C. E. S. **Introdução à Economia**. São Paulo: Elsevier, 2010.
- IEA - International Energy Agency; NEA - Nuclear Energy Agency. **Projected costs of generating electricity: 2010**. OECD/IEA, 2010.
- LEMES, A. B. J.; CHEROBIM, A. P. M. S.; RIGO, C. M. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 2010.
- LIMA JÚNIOR, V. B. **Determinação da taxa de desconto para uso na avaliação de projetos de investimentos florestais**. Sc. Tesis. Imprensa Universitária. Viçosa, Brasil, 1995.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. **Solar Energy**, v. 81, n. 4, p. 517-528, 2007.
- PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. 7. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Avaliação de projetos florestais**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1993.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: UFV, 2001.

SCHWEIGER, H. et al. **The Potential of Solar Heat in Industrial Processes**. Denmark: Copenhagen, 2000.

SILVA, R. P. **Simulação e avaliação econômica de um programa plurianual de reflorestamento para fins de planejamento da empresa florestal**. Viçosa: UFV, 1992. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1992.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. Software for computing and graphics. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 25 out. 2015.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: princípios básicos**. 7^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.