

# COLETORES FRESNEL COMO ALTERNATIVA PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE GÁS NATURAL NAS INDÚSTRIAS LOCALIZADAS NA CIDADE DE RECIFE – PE

Grazielli Bueno – grazielli.bueno@ifpr.edu.br  
Eduardo Lucas Konrad Burin  
Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina

**Resumo.** Mundialmente ocorre a busca por alternativas que possam reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema híbrido, utilizando a energia solar térmica, tecnologia de coletores Fresnel, sem armazenamento, combinada com caldeiras de gás natural, para a produção de vapor de processo no setor industrial da cidade de Recife, localizada no estado de Pernambuco. A simulação quanto à geração de vapor pelo campo solar se deu por meio do software SAM. Quanto aos resultados encontrados, observou-se que a operação híbrida promoveu uma redução de até 11,01% no custo nivelado do calor (R\$/MWh) referente à produção do vapor saturado. Além disso, para todos os cenários propostos, houve redução no consumo de gás natural. Com isso, a hibridização se torna uma opção a ser considerada no setor industrial que utiliza a energia térmica, uma vez que o estudo aponta a viabilidade econômica, além dos benefícios ambientais, como o aproveitamento de uma fonte inesgotável de energia, assim minimizando a emissão de gases de efeito estufa. Contudo, por se tratar de uma tecnologia pouco explorada no Brasil, o uso da energia solar em processos industriais para produção de calor deve ser analisado em diversas situações, tais como a parte técnica e local a ser instalada.

**Palavras-chave:** Energia solar térmica, LCOH, Vapor de processo.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de produtos confeccionados em diversos setores – como o de eletrônicos, automobilístico, entre outros – tem crescido no mundo, promovendo um aumento na demanda de energia. Por consequência, observou-se o aumento da concentração de poluentes na atmosfera em decorrência da queima de combustíveis fósseis para geração de energia térmica (Chaim e Lavaca, 2005).

Ademais, é notória a busca mundial quanto à redução de impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes da geração de energia. Assim, se destacam pesquisas e campanhas referentes à minimização do consumo de combustíveis fósseis. Todavia, segundo o Instituto Humanitas Unisinos (IHU, 2019), a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera atingiu altos níveis no ano 2019 e, com isso, o mundo precisará, além de parar de emitir gases de efeito estufa (GEE), realizar emissões negativas, limpando a atmosfera. Dessa forma, evidencia-se a importância de empregar fontes de energia sustentáveis e renováveis na matriz energética, de modo a favorecer esse processo.

No mundo, os combustíveis de origem fóssil representam uma elevada parcela da matriz energética, ressaltando o petróleo e derivados com 31,9%, o carvão com 27,1% e o gás natural (GN) com 22,1% (IEA, 2018). Em que, o GN apresentou notável aumento no consumo, 4,6% no ano de 2018, correspondendo a quase metade do aumento da demanda global de energia (IEA, 2019).

Coelho Júnior *et al.* (2016) relatam que antes de 1998 o consumo de GN no Brasil era baixo. Todavia, a partir do ano 2000 o consumo desse combustível passou a crescer consideravelmente, representando em 2012 o montante de 714,9 tep. Já em 2020, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2021), foram produzidos 45,9 bilhões de metros cúbicos de gás natural.

A ANP afirma que o gás natural, no Brasil, é utilizado principalmente na geração elétrica (termoelétricas) e consumo industrial, na geração de calor de processo ou como matéria-prima na indústria petroquímica, no qual é empregado na fabricação de plásticos, tintas, fibras sintéticas e borracha (REIS, 2018). Nesse contexto, a FGV Energia (2020, p. 36), descreve que no mês de outubro de 2019, o setor industrial brasileiro consumiu 36,5 milhões de metros cúbicos por dia (m<sup>3</sup>/dia) de GN, aproximadamente 40% da demanda total.

No setor industrial que utiliza vapor de processo, o gás natural é queimado em caldeiras. Dessa maneira, o uso da energia solar se torna uma alternativa que pode propiciar a redução de custos relacionados com a compra do combustível, bem como a redução da emissão de gases do efeito estufa.

Em termos de fontes de energia renovável, há perspectiva de aumento no consumo de calor renovável mundialmente, no qual o Brasil se destaca ao apresentar níveis elevados de incidência de radiação solar. Dentre as regiões de maior incidência destaca-se a região Nordeste, na qual o semiárido tem os melhores índices, com valores típicos de 1.752 a 2.190 kWh/m<sup>2</sup> por ano de radiação incidente (IEA, 2017).

Nesse sentido, o presente estudo visa avaliar a viabilidade técnica e econômica da energia solar concentrada (CSP), utilizando a tecnologia de coletores Fresnel sem armazenamento para reduzir o consumo de gás natural em indústrias localizadas na cidade de Recife, no estado de Pernambuco, e que fazem uso do vapor de saturado. O trabalho contempla diferentes demandas de vapor de processo, variando de 10 a 40 toneladas por hora (t/h). Além disso, foram fixados os valores do investimento (15,3 MR\$) e da capacidade do campo solar Fresnel (3,4 MW<sub>t</sub>).

## 2. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho se dá pelo conceito de um sistema híbrido, no qual há o consumo de gás natural no processo industrial para geração de vapor saturado. No qual, a unidade geradora de vapor opera em paralelo com um campo de coletores Fresnel, sem armazenamento. Assim, a demanda do vapor de processo é atendida parcialmente por meio do calor solar durante as horas em que houver sol e, em caso de dias nublados e durante a noite, a demanda de vapor é atendida por meio da utilização de GN.

Para as simulações computacionais do campo solar, utilizou-se o *software System Advisor Model* (SAM), versão 2020.2.29, do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). Em que, realizou-se o estudo para a cidade de Recife tomando-se como base os dados meteorológicos fornecidos pelo *National Solar Radiation Database* (NSRDB), instalado diretamente no SAM, com simulações anuais detalhadas em intervalos de uma em uma hora.

Com os resultados anuais referentes à geração de vapor pelo campo solar, calculou-se (Eq. 1) o calor útil fornecido pelo campo solar por hora, por meio do Excel®, assim considerando obter o vapor de processo necessário para atender a demanda industrial.

$$Q_{cal} = \dot{m} \cdot (h_{out} - h_{in}) \quad (1)$$

Onde:  $Q_{cal}$  é o calor de processo, referente ao vapor gerado [kW];  $\dot{m}$  é a vazão mássica de vapor de processo [kg/s];  $h_{out}$  é a entalpia do vapor gerado (vapor saturado a 10 bar - 180°C);  $h_{in}$  é a entalpia da água de alimentação a 80°C.

O cálculo da economia do combustível,  $EF$  [Nm<sup>3</sup>/ano], no qual se considera a operação híbrida da caldeira foi realizado utilizando-se a Eq. 2.

$$EF = \sum_{ano} (\dot{m}_{p,b} - \dot{m}_{p,h}) \quad (2)$$

Onde: os sub-índices  $b$  e  $h$  indicam o consumo de GN do caso base e da planta híbrida, respectivamente.

Em sistemas híbridos solares, um parâmetro a ser considerado é a fração solar, calculado anualmente para este estudo, como mostrado na Eq. 3 (Almeida, 2018).

$$FS_a = \sum_{t=1}^{8760} \frac{\dot{m}_{b-eco}(t)}{\dot{m}_{b-T}(t)} \quad (3)$$

Onde:  $FS_a$  é a fração solar anual;  $\dot{m}_{b-eco}$  representa a economia de GN devido à operação do campo solar [Nm<sup>3</sup>/h] e  $\dot{m}_{b-T}$  é a quantidade total de GN consumido pela fonte convencional [Nm<sup>3</sup>/h].

A fim de realizar o estudo da viabilidade das usinas híbridas, considerou-se a avaliação do Custo Nivelado do Calor, LCOH [R\$/MWh], Eq. 4, (Nian *et al.*, 2016).

$$LCOH = \frac{\sum_{t=0}^n (CAPEX_t + OPEX_t + C_t) (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n (H_t) (1+r)^{-t}} \quad (4)$$

Onde:  $CAPEX_t$  [R\$] é o custo de investimento,  $OPEX_t$  [R\$/ano] representa os custos anuais de operação e manutenção,  $C_t$  [R\$/ano] as despesas anuais relacionadas à compra de combustível,  $H_t$  [MWh/ano] a produção de calor,  $r$  [%] a taxa de desconto,  $t$  [anos] o tempo e  $n$  [anos] a vida útil da planta.

Além disto, para avaliar a atratividade econômica da implementação da tecnologia CSP, calculou-se o Valor Presente Líquido (VPL, Eq. 5), a Taxa Interna de Retorno (TIR, Eq. 6), e o tempo de retorno do investimento (*payback*).

$$VPL = \sum_{t=0}^n FC (1 + TMA)^{-t} \quad (5)$$

$$0 = VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+TIR)^t} \quad (6)$$

Onde:  $FC$  [R\$] é o fluxo de caixa a valor presente,  $t$  [ano] é o enésimo período no tempo,  $n$  [anos] representa o número de períodos,  $TMA$  é a taxa mínima atrativa do investimento e a  $TIR$  é a taxa de desconto que zera a VPL, devendo a  $TIR$  ser maior que a  $TMA$  para que o projeto possa ser considerado economicamente viável.

Ainda, o estudo considera o *payback* descontado, no qual os benefícios são somados já descontados a uma taxa de desconto igual à  $TMA$ . Dessa forma, é representado o tempo necessário para que os benefícios gerados pelo projeto possam compensar o investimento realizado.

### 3. ESTUDO DE CASO

Esta seção apresenta um estudo de caso que considera o uso de concentradores Fresnel, sem armazenamento (Fig. 1), para produção de vapor de processo no setor industrial como uma alternativa para se reduzir o consumo de gás natural, considerando diferentes cargas normais de consumo de vapor em toneladas hora, tendo como referência de pesquisa a cidade de Recife, situada em Pernambuco.

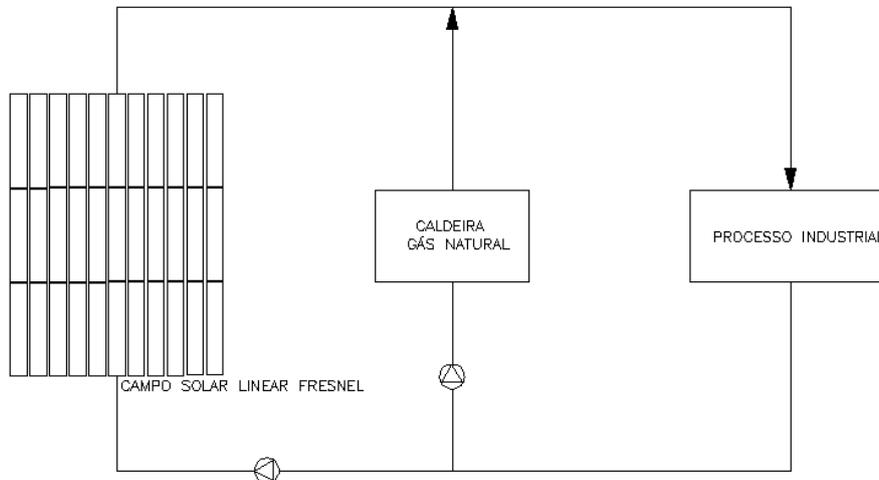


Figura 1 – O conceito estudado

#### 3.1 Premissas técnicas e econômicas

As premissas técnicas adotadas para o projeto e as simulações da planta são: geração de vapor saturado a 10 bar (180 °C), durante 24 horas por dia e sete dias por semana, empregando para o gás natural o Poder Calorífico Inferior (LHV) de 8364 kJ/N.m<sup>3</sup> (GasBrasiliano, [201-]) e eficiência da caldeira de 90%. Em relação à demanda de vapor por parte da indústria, foram considerados os seguintes valores: 10, 15, 20, 25, 30 e 40 t/h. Em cada caso, o consumo de vapor foi considerado constante e a caldeira a gás natural foi dimensionada para suprir exatamente a demanda de vapor da indústria.

Dimensionou-se o campo solar para fornecer 5 t/h na condição de projeto (equivalente a 3,4 MW<sub>t</sub>). Assim, para o cenário com demanda de vapor de 10 t/h, a carga mínima da caldeira de GN ficou limitada a 50% para não influenciar significativamente na eficiência e as emissões deste equipamento.

No SAM foram inseridos os dados de performance do campo solar fornecidos pelo fabricante do equipamento, modelo *Fresnel Collector LF-11 Datasheet*, sendo este a irradiação normal direta (Industrial Solar, 2021), bem como os parâmetros adicionados nos tópicos *System Design* e *Solar Field*, conforme mostrado na Tab. 1.

Tabela 1 – Parâmetros adicionados no SAM para *System Design* e *Solar Field*

| Parâmetro                                          | Unidade          | Valor          |
|----------------------------------------------------|------------------|----------------|
| Temperatura na entrada do campo solar (condensado) | °C               | 80             |
| Irradiação normal direta (DNI)*                    | W/m <sup>2</sup> | 900            |
| Capacidade do campo solar ( <i>design point</i> )  | MW <sub>t</sub>  | 3,4            |
| Temperatura ambiente no ponto do projeto           | °C               | 30             |
| Múltiplo Solar (MS)                                | %                | 20<br>(MS=1,2) |

A Tab. 2 mostra os custos do GN reportados pelo boletim mensal de acompanhamento da indústria de gás natural, relativo ao mês de junho de 2021, para o segmento industrial dentro da faixa de consumo de 0 a 50000 m<sup>3</sup>/dia (MME, 2021). Para as faixas acima de 50000 m<sup>3</sup>/dia adotou-se o preço de 2,801 R\$/m<sup>3</sup>. Na Fig. 2, por sua vez, é apresentado o mapa da distribuição espacial da irradiação global média diária (Wh/m<sup>2</sup>-dia) do período de 2015 a 2017, do estado de Pernambuco (Cavalcanti e Pedrosa Filho, 2020).

Tabela 2 – Preço do GN ao consumido final (com tributos) junho, 2021

| Segmento   | Faixa de consumo (m <sup>3</sup> /dia) | R\$/m <sup>3</sup> | US\$/MMBtu |
|------------|----------------------------------------|--------------------|------------|
| Industrial | até 2000                               | 3,317              | 17,668     |
|            | de 2001 até 20000                      | 2,868              | 15,274     |
|            | de 20001 até 50000                     | 2,801              | 14,919     |

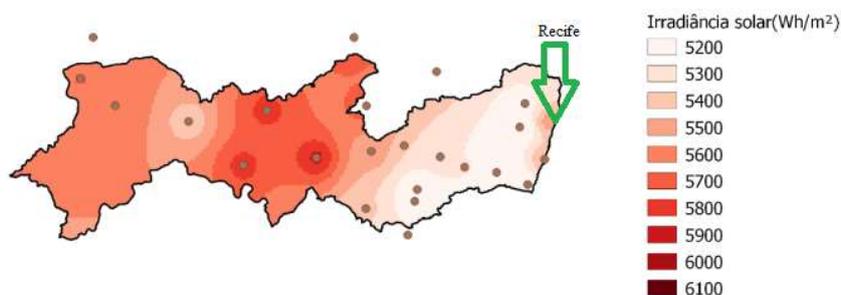


Figura 2 – Irradiação global diária no estado de Pernambuco

As simulações foram realizadas utilizando uma série dados TMY para a cidade de Recife-PE, obtida por meio do SWERA, sendo que a incidência anual de radiação direta normal disponível na localidade é de 1735 kWh/m<sup>2</sup> - ano.

Por fim, as premissas adotadas para a análise de viabilidade econômica são (Tab. 3): 1. Cotação dos valores para o campo Fresnel e a caldeira a gás natural com demanda de vapor de processo de 10 t/h; 2. Estimativa dos valores das demais demandas de vapor de processo; 3. TMA conforme Siqueira Neto (2018); 4. Tempo de vida útil descrito pelo fabricante (Industrial Solar, 2021).

Tabela 3 – Premissas econômicas adotadas para o Sistema Fresnel

| Parâmetro                | Unidade | Valor         |
|--------------------------|---------|---------------|
| Campo Fresnel (CAPEX)    | R\$     | 15.298.595,24 |
| Caldeira - 10t/h (CAPEX) | R\$     | 1.550.000,00  |
| Caldeira - 15t/h (CAPEX) | R\$     | 2.325.000,00  |
| Caldeira - 20t/h (CAPEX) | R\$     | 3.100.000,00  |
| Caldeira - 25t/h (CAPEX) | R\$     | 3.875.000,00  |
| Caldeira - 30t/h (CAPEX) | R\$     | 4.650.000,00  |
| Caldeira - 40t/h (CAPEX) | R\$     | 5.425.000,00  |
| OPEX                     | R\$/ano | 1% do CAPEX   |
| TMA                      | %       | 10            |
| Tempo de vida útil       | anos    | 25            |

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O custo do gás natural no Brasil é elevado se comparado aos preços praticados em locais como Estados Unidos ou Espanha. Ainda, segundo a *Energy Information Administration* (2021), o valor do GN apresentou aumento de aproximadamente 27% no período de setembro de 2020 a setembro de 2021, no mundo. Ademais, o boletim de acompanhamento da indústria brasileira, do MME, aponta que, durante o ano de 2021, o GN vem apresentando variações no preço médio, resultando em um acréscimo nas despesas mensais das indústrias.

Os resultados encontrados quanto aos custos relativos ao consumo de GN durante o ano e o LCOH do sistema base, desconsiderando a implantação de concentradores de energia solar, são mostrados na Tab. 4.

Tabela 4 – Resultados relativos aos cenários estudados (sem solar)

| Demanda de vapor de processo (t/h)            | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     | 40     |
|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Consumo de GN (MNm <sup>3</sup> /ano)         | 6,785  | 10,178 | 13,57  | 16,963 | 20,355 | 27,14  |
| Custos GN (10 <sup>6</sup> R\$/ano)           | 179,69 | 266,30 | 352,60 | 438,90 | 528,89 | 713,36 |
| Custo específico do GN (R\$/Nm <sup>3</sup> ) | 2,916  | 2,881  | 2,861  | 2,849  | 2,841  | 2,831  |
| LCOH, R\$/MWh <sub>t</sub>                    | 292,94 | 289,42 | 287,41 | 286,20 | 285,39 | 284,36 |

Os resultados da análise termodinâmica para as plantas híbridas, por sua vez, são encontrados na Tab. 5. Como demonstrado anteriormente, a capacidade de produção de vapor do campo solar foi mantida fixa, sendo consideradas distintas demandas de vapor de processo e, conseqüentemente, as capacidades instaladas para as caldeiras a gás natural. Desse modo, pode-se verificar que a quantidade economizada de gás natural, em MNm<sup>3</sup>/ano, ficaram iguais para todas as configurações. Contudo, as cargas mínimas das caldeiras gás natural (na condição de projeto do campo solar) foram de 50,0%, 65,89%, 74,41%, 79,53%, 82,94% e 87,21%, para as demandas de processo de 10, 15, 20, 25, 30 e 40 t/h, respectivamente.

Tabela 5 – Resultados termodinâmicos das plantas híbridas

| Demanda de vapor de processo (t/h)      | 10        | 15         | 20         | 25         | 30         | 40         |
|-----------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Capacidade do campo solar (MW)          | 3,4       | 3,4        | 3,4        | 3,4        | 3,4        | 3,4        |
| Carga anual de vapor gerado (MWh/ano)   | 67.583,94 | 101.375,91 | 135.167,88 | 168.959,85 | 202.751,82 | 270.335,76 |
| Consumo de GN (MNm <sup>3</sup> /ano)   | 6,785     | 10,178     | 13,526     | 16,963     | 20,355     | 27,140     |
| GN economizado (MNm <sup>3</sup> /ano)  | 0,812     | 0,812      | 0,812      | 0,812      | 0,812      | 0,812      |
| Fração solar na condição de projeto (%) | 50,00     | 34,11      | 25,59      | 20,47      | 17,06      | 12,79      |
| Fração solar anual (%)                  | 11,97     | 7,98       | 5,99       | 4,79       | 3,99       | 2,99       |

Na Tab. 6 está descrito os resultados da análise de viabilidade econômica das plantas híbridas com diferentes demandas de vapor de processo. Nesse sentido, a análise a ser feita consiste na comparação entre o valor do LCOH da planta com o custo do vapor gerado com GN, apresentando a economia anual após a instalação do sistema com coletores Fresnel.

Tabela 6 – Resultados econômicos das plantas híbridas

| Demanda de vapor de processo (t/h)                    | 10       | 15       | 20       | 25       | 30       | 40       |
|-------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Economia anual (10 <sup>3</sup> R\$/ano)              | 2.328,68 | 2.241,43 | 2.241,43 | 2.241,43 | 2.274,28 | 2.274,28 |
| Planta híbrida combinada LCOH (R\$/MWh <sub>t</sub> ) | 260,74   | 268,82   | 271,96   | 273,61   | 274,70   | 276,31   |

A Fig. 3 apresenta um comparativo entre o custo nivelado do vapor saturado para a planta em que há somente o uso do GN e a planta com tecnologia CSP (sistema híbrido – GN/ Fresnel). Em vista disso, a economia por MWh<sub>t</sub> é de 11,01%, 7,12%, 5,38%, 4,40%, 3,75% e 2,83%, ao implantar o sistema híbrido para as demandas de processo 10, 15, 20, 25, 30 e 40 t/h, respectivamente. Ademais, além de promover redução dos custos operacionais com compra de combustível, a concepção híbrida promove redução das emissões de gases de efeito estufa em decorrência da redução do consumo de gás natural.

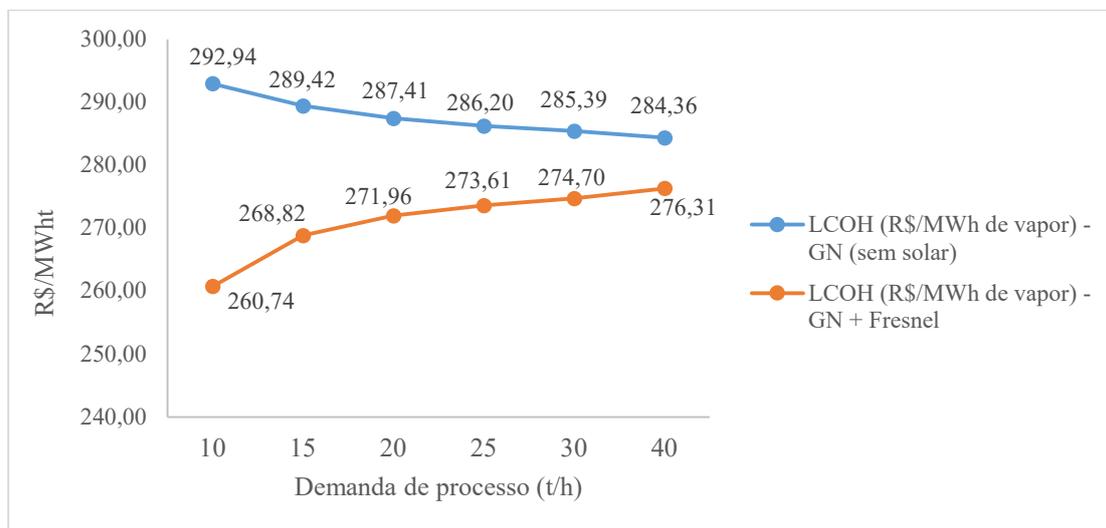


Figura 3 – Comparativo entre o LCOH para a planta a GN e planta com tecnologia CSP (sistema híbrido – GN/ Fresnel).

A tecnologia de coletores Fresnel ainda não é explorada no Brasil. Em vista disso, seus equipamentos e materiais a serem implementados devem ser importados, tornando o custo de investimento inicial elevado (Almeida, 2018). Entretanto, os valores da TIR obtidos ficaram acima de 10%, os VPL, foram positivos e o *payback* menor do que a vida útil disponibilizada pelo fabricante (Tab. 7).

Tabela 7 – Indicadores de viabilidade econômica referentes à integração do campo solar Fresnel com às unidades geradoras de vapor à GN.

| Demanda de vapor de processo (t/h) | 10       | 15       | 20       | 25       | 30       | 40       |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| TIR (%)                            | 17,36    | 16,54    | 16,54    | 16,54    | 16,85    | 16,85    |
| VPL (10 <sup>3</sup> R\$)          | 7.090,61 | 6.298,64 | 6.298,64 | 6.298,64 | 6.596,81 | 6.596,81 |
| <i>Payback</i> (anos)              | 9,2      | 10,3     | 10,3     | 10,3     | 10,4     | 10,4     |

Mundialmente, o coletor Fresnel ainda está em fase de consolidação. Por sua vez, o estudo apresenta resultados com potencial promissor quanto à implantação da tecnologia para gerar vapor saturado nas indústrias da cidade de Recife, visto que há uma perspectiva na redução de custo e, conseqüentemente, podendo minimizar as emissões de gases de efeito estufa.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da integração de sistemas Fresnel em processos de geração de vapor saturado nas indústrias instaladas na cidade de Recife-PE. Nesse cenário, o Brasil se destaca por apresentar níveis de radiação solar relevantes, principalmente na região Nordeste.

A análise da viabilidade econômica se deu por meio do cálculo do custo nivelado do calor, permitindo que se determinasse o custo do vapor de processo industrial em R\$/MWh<sub>t</sub> gerado, utilizando-se somente o GN, bem como para a concepção híbrida. Nesse contexto, os resultados mostraram que, mesmo fixando a capacidade do campo solar em 3,4 MW<sub>t</sub>, todos os cenários estudados apresentaram redução no valor do LCOH. Ainda, observou-se que a demanda de vapor de processo se mostra como um parâmetro que afeta o valor do LCOH, isso devido a variação do preço do gás natural conforme a faixa de consumo diário que se encontra.

Apesar da capacidade do campo solar ter sido considerada constante nesse trabalho, o sistema pode ser ampliado por apresentar um design modular. Desse modo, quanto maior a área do campo solar, maior será a fração solar da unidade. Entretanto, se torna importante observar se a carga parcial mínima que a caldeira a gás natural poderá operar de modo a não promover queda significativa na sua eficiência ou proporcionar a redução das emissões gases na atmosfera, ficando acima do estabelecido na legislação.

Por fim, os resultados da análise de viabilidade econômica do presente estudo mostram que a cidade de Recife apresenta condições favoráveis para a integração do calor de processo solar nos segmentos industriais. Contudo, no Brasil ainda se faz necessária a redução nos preços dos coletores Fresnel, para que o investimento seja menor, assim se tornando cada vez mais vantajosa sua instalação.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2021. Boletim de Recursos e Reservas de Petróleo e Gás Natural 2020.
- Almeida, T. E. G., 2018. Energia termossolar como alternativa na geração de vapor e água quente no setor agroindustrial, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis.
- Banco Central do Brasil (BCB), 2021. Taxa Selic.
- Cavalcanti, E. B., Pedrosa Filho, M. H. O., 2020. Desenvolvimento de mapa de irradiação solar global para o estado de Pernambuco, VIII CBENS - VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.
- Chaim, R. C. P., Lacava, P. T., 2005. Avaliação sobre a emissão de poluentes na substituição de óleo combustível por gás natural – Estudo de caso para caldeiras geradoras de vapor industrial, Revista Tecnologia, vol. 26, n. 2.
- Coelho Junior, L. M., *et al.*, 2016. Concentração Energética na Indústria Brasileira de Celulose e Papel, CONGESTAS 2016 - Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, vol. 4, João Pessoa.
- Energy Information Administration, 2021. Highlights: September 2021.
- FGV Energia, 2020. Boletim de conjuntura do setor energético. FGV Energia - janeiro.
- GasBrasiliano, [201-]. Manual de instalações gás natural segmentos residencial e comercial, 1. ed.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2021. Inflação.
- Industrial Solar, 2021. Technologies: Fresnel Collector LF-11.
- International Energy Agency (IEA), 2019. World Energy Outlook 2019: Flagship report.
- International Energy Agency (IEA), 2018. Data and statistics.
- International Energy Agency (IEA), 2017. Renewables information: Overview 2017, IEA Statistics.
- Instituto Humanitas Unisinos (IHU), 2019. Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera atinge novo recorde em maio de 2019. Revista IHU on-line, São Leopoldo.
- Ministério de Minas e Energia (MME), 2021. Acompanhamento da indústria de gás natural. Boletim mensal, n. 172, jun. 2021.
- Nian, V., *et al.*, 2016. A comparative cost assessment of energy production from central heating plant or combined heat and power plant. Energy Procedia, v. 104, pp. 556-561.
- Reis, H. L.S., 2018. Gás natural, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Siqueira Neto, A. T., 2018. Planta de cogeração a biomassa como alternativa para geração de energia elétrica e térmica em uma indústria frigorífica de frangos, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis.

### FRESNEL COLLECTORS AS AN ALTERNATIVE TO REDUCE NATURAL GAS CONSUMPTION IN INDUSTRIES LOCATED IN THE CITY OF RECIFE - PE

**Abstract.** *There is a worldwide search for alternatives that can reduce the consumption of fossil fuels. Thus, the present study aimed to analyze the technical and economic feasibility of employing a hybrid system, using solar thermal energy, Fresnel collector technology, without storage, combined with natural gas boilers, for the production of process steam in the industrial sector of the city of Recife, located in the state of Pernambuco. The simulation of steam generation by the solar field was performed using the SAM. In this regard, it was observed that the hybrid operation promoted a reduction of up to 11.01% in the leveled cost of heat (R\$/MWh) related to the saturated steam production. In addition, for all proposed scenarios, there was a reduction in the consumption of natural gas. Thus, hybridization becomes an option to be considered in the industrial sector that uses thermal energy, since the study points to the economic feasibility, in addition to the environmental benefits, such as the use of an inexhaustible source of energy, thus minimizing the emission of greenhouse gases. However, as it is a technology little explored in Brazil, the use of solar energy in industrial processes for heat production must be analyzed in several situations, such as the technical part and the location to be installed.*

**Keywords:** *Solar thermal energy, LCOH, Process steam.*