

POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA NAS LAVANDERIAS INDUSTRIAIS DO APL DE CONFECCÕES DO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Lorena Barros Guimarães – lorena.bguimaraez@gmail.com

Luis Arturo Gómez Malagón – lagomezma@poli.br

Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco – Mestrado Profissional de Tecnologia de Energia

Jefferson Silva – jeffersonsilva702@gmail.com

Osmar Souto Baraúna – osmar@itep.br

João José de Souza Marques – jmarques@itep.br

Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Gerência de Engenharia Sustentável – Núcleo de Energia Sustentável

Resumo. Os setores de confecções e da indústria têxtil são de grande importância para a economia brasileira, já que, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções (ABIT), são responsáveis por 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB) do país. Dentre os mais variados processos que se encontram nestes setores, o que se destaca é o setor das lavanderias industriais. Os processos atrelados à cadeia produtiva de tal setor consomem grandes quantidades de energia térmica por conta das suas receitas, através das quais pode-se obter o produto final desejado. A água, principal insumo desses sistemas, é vital para o desempenho das atividades executadas no setor. No entanto, o Arranjo Produtivo Local (APL) de confecções de Pernambuco, que se concentra na região agreste do Estado, possui o abastecimento de água e de lenha bastante escasso, tornando-os principais gargalos desse setor. Assim, a aplicação de tecnologias que minimizem esses consumos, sem afetar negativamente a cadeia de processo, se faz necessária. É bem sabido que Pernambuco se encontra localizado próximo à linha do equador, o que lhe confere um enorme potencial na geração de energia solar. Nesse contexto, este estudo permite avaliar o potencial de aplicação de um sistema de aquecimento solar como fonte auxiliar no fornecimento de calor de processo para as lavanderias industriais presentes no APL de confecções do Estado de Pernambuco como uma opção técnico-econômica viável de abrangência ambiental. Como resultado, a metodologia proposta nesse estudo permitiu concluir que o uso da energia solar térmica em lavanderias consideradas de pequeno e médio porte é viável do ponto de vista técnico e econômico.

Palavras-chave: Lavanderias Industriais, Calor de Processo, Energia Termossolar.

1. INTRODUÇÃO

O Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco é formado pelas cidades de 13 municípios, com destaque para as cidades de Santa Cruz do Capibaribe, Toritama, Caruaru, Vertentes e Surubim. O surgimento do Polo remonta à década de 70, quando nasceu a partir de um movimento espontâneo, por iniciativa de pequenos empreendedores locais, sem qualquer intervenção do Estado. Constitui um dos Arranjos Produtivos Locais (APL) de maior importância para o desenvolvimento econômico e tecnológico de Pernambuco, contribuindo com 10% do PIB estadual. Produz cerca de 60 milhões de peças de vestuário por mês, que correspondem a 15% da produção da indústria brasileira de vestuário. É o segundo maior polo de confecções do Brasil, composto por cerca de 20 mil empresas que processam juntas cerca de 210 mil toneladas de tecido por ano (SEBRAE, 2012).

Um segmento importante desse polo de desenvolvimento é o de fabricação de vestuário em jeans, que produz mensalmente aproximadamente 4,8 milhões de peças que são processadas em 175 lavanderias industriais de beneficiamento têxtil. Esta produção de vestuário corresponde a uma quantidade mensal de 5.300 toneladas de tecido de jeans. A água, insumo bastante escasso nessa região do agreste pernambucano, tem consumo, por tonelada de tecido envolvida nos processos de beneficiamento têxtil de vestuário em jeans das lavanderias, que varia dependendo da característica das confecções de cada cidade. Segundo Schoeberl et al. (2004), na indústria têxtil, a água é utilizada como principal agente de remoção de impurezas, na aplicação de corantes e outros agentes de acabamento. Nos processos de beneficiamento de vestuário em jeans, a água utilizada é aquecida até uma temperatura de 60°C a 90°C. Nesses processos, o vapor utilizado é proveniente de caldeiras a lenha. Observa-se que, em todas as unidades integrantes da malha industrial, há uma produção em excesso de calor de processo não aproveitado, ocasionando um desperdício econômico para as empresas e uma contribuição significativa, pelo montante adicional desnecessário de lenha demandado, para a emissão suplementar de gases e partículas poluentes, que concorrem para o agravamento do efeito estufa.

Os coletores solares são dispositivos capazes de coletar a energia radiante proveniente do sol e convertê-la em energia térmica, capaz de prover o aquecimento de um fluido. Dependendo do tipo de tecnologia termossolar empregada, esses dispositivos podem atender a demanda de energia calorífica de processos produtivos realizados dentro de uma faixa de 30°C à 100°C (Bastian, Elza Y. Onishi et al., 2009), o que os caracteriza como sistemas de baixas temperaturas. Sendo

assim, verifica-se que a aplicação de tecnologias termossolares como fontes auxiliares no provimento do calor de processo no setor das lavanderias industriais, faz-se tecnicamente relevante.

Nesse contexto, é notória a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que avaliem o potencial energético de implementação de tecnologias termossolares como fonte auxiliar no fornecimento da demanda térmica atrelada a cadeia produtiva do setor de lavagem industrial, haja vista a importância da minimização do consumo da lenha e de água utilizadas em seus processos. Sendo assim, este trabalho consistirá na determinação do potencial de aplicação desses sistemas nesse setor industrial, baseando-se na utilização de métodos de previsão da quantidade de energia solar radiante que pode ser convertida em energia térmica útil e em informações coletadas pela Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP/OS junto às lavanderias industriais de beneficiamento de jeans, sediadas nas cidades de Caruaru e no seu distrito do Juá, Toritama, Riacho das Almas, Vertentes, Surubim e Frei Miguelinho, no período de 2003 a 2014; utilizadas nos projetos: “Lavar sem Sujar”, parceria ITEP/SEBRAE no ano de 2007; “Aprolav”, parceria FINP/SEBRAE, nos anos de 2006 à 2008; e “Consciência Limpa”, parceria ITEP/SEBRAE, nos anos de 2009 à 2011.

2. CARACTERIZAÇÃO DO POLO DE LAVANDERIAS DO AGRESTE DE PERNAMBUCO

O polo de confecções de vestuário em jeans do Agreste de Pernambuco surgiu no município de Toritama, que é o menor município do Estado de Pernambuco com 34,8 km², situado na microrregião do Alto Capibaribe, distante 179 km da cidade do Recife, cujas condições naturais da região são incompatíveis com as necessidades hídricas do processo do beneficiamento têxtil, em função da quantidade de água necessária que esse processo exige. Daí houve a necessidade de se difundir essa atividade econômica para regiões próximas que pudessem atender a demanda hídrica. Atualmente, a maioria das empresas desse APL está localizada nos municípios de Caruaru, Cupira, Toritama, Riacho das Almas, Vertentes, Surubim, Frei Miguelinho e Santa Cruz do Capibaribe, sendo a concentração de lavanderias industriais de beneficiamento de jeans verificada nas cidades de Caruaru, Toritama, Riacho das Almas, Vertentes e Surubim, conforme apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1 – Distribuição das lavanderias do APL de confecções de Pernambuco

Caruaru	Toritama	Riacho das Almas	Vertentes	Surubim
33%	30%	18%	15%	4%

Fonte: ITEP

A produção de artigos de vestuário em jeans pela maior parte das empresas de cada cidade do APL é segmentada em confecções de artigos infantis, infante-juvenil e adultos. Assim, as características das empresas de cada cidade com a predominância do tipo de artigo confeccionado têm influência direta no consumo de água, consumo de lenha, quantidade de roupa processada, entre outras, por esse motivo algumas cidades apresentam percentuais de consumo diferentes, conforme apresentadas na Tab. 2. Na cidade de Toritama predomina a confecção de artigos para adultos com fino acabamento, por esse motivo apresenta um consumo de água de processo maior que as cidades de Caruaru, onde há predominância da confecção de artigos para adultos e infante-juvenil; de Vertentes e de Surubim, onde se predomina a confecção de artigos infante-juvenil; e em Riacho das Almas, em que a predomina a confecção de artigos infantis, cujo consumo de água de processo é menor que os demais tipos de artigos confeccionados.

Tabela 2 – Característica das lavanderias por cidade

Cidade	Quantidade de roupa processada (t/mês)	Consumo de água utilizada (m ³ /mês)	Consumo de lenha (m ³ /mês)
Caruaru	1.848	160.739	3.105
Toritama	1.708	179.360	4.517
Riacho das almas	223	9.348	827
Vertentes	395	28.036	1.200
Surubim	122	8.626	370
Total	4.296	286.109	10.019

Fonte: ITEP

O ciclo de produção de artigos de vestuário em jeans é composto pelas etapas de design ou concepção do modelo; confecção dos moldes ou modelagem; gradeamento; elaboração de encaixe; corte; costura; acabamento; customização e lavagem (SANTOS, 2001). No processo de beneficiamento de vestuário, a etapa de lavagem de artigos em tecidos denim, deixou de ter o propósito de remoção da sujidade e passou a ser aplicada com o propósito de conferir efeito diferenciados aos artigos.

Segundo Gorini (1999), uma característica do tecido denim é o aspecto de envelhecimento ocasionado pelo gradativo desbotamento ocorrido a cada lavagem, o que levou a indústria a desenvolver processos de envelhecimento acelerado, inicialmente aplicáveis a tecidos aberto e posteriormente às peças prontas de vestuário. Dentre os processos existentes, o mais empregado pelas lavanderias é o denominado “stone wash” (Lavagem com pedras), onde o processo mecânico perdeu o espaço para o processo químico através do uso de enzimas.

A quantidade de água utilizada nos processos de beneficiamento de vestuário em jeans nas lavanderias de cada cidade varia em função da relação de banho de cada processo (volume de água /kg de tecido) ou nível de água adotado na receita do processo de lavagem para os tipos de artigos a serem beneficiados. A Tab. 3 apresenta informações coletadas em três lavanderias distintas nas cidades de Toritama, Caruaru e Riacho das Almas, com valores de processo para um mesmo tipo de lavagem.

Tabela 3 – Exemplo de receita do processo de Estonagem de uma lavanderia de cada cidade

DADOS E ETAPAS DO PROCESSO	CARUARU	TORITAMA	RIACHO DAS ALMAS
Quantidade de artigos	168	158	308
Peso (kg)	80	85	110
Peso médio dos artigos (kg/artigos)	0,476	0,538	0,357
Tempo de processo (horas)	3	2,8	2,7
ETAPA DE PROCESSO	CONSUMO DE ÁGUA (L)		
Desengomagem	520	700	800
Enxague	520	1.200	600
Estonagem	100	150	150
Enxague	520	1.200	600
Enxague	520	1.200	600
Alvejamento	200	200	600
Enxague	520	1.200	700
Enxague	520	1.200	700
Amaciamento	520	300	200
TOTAL DO CONSUMO DE ÁGUA (L)	3.940	7.350	4.950
CONSUMO DE ÁGUA POR PESO (L/kg)	49,3	86,5	45

Fonte: ITEP

A quantidade de processos possíveis de serem aplicados ao tecido denim Índigo blue são bastante extensas e depende das informações referente a Moda do momento, o que não nos permite relacionar todos. Grande parte desses processos são oriundos de outros países trazidos ao Brasil pelos produtores de Moda, e alguns são desenvolvidos aqui e usados por outros países.

Os processos mais utilizados pelas lavanderias nos últimos anos são: Estonagem; Amaciado; Cationizações; Délavé; Destroyed; Dirty washed; Reduções; Sujinho; Stone washed; Super Stone; Tied Dye; tricolor; Used; Used washed. A maior parte desses processos de lavagem são utilizados nos artigos de vestuários em jeans para adultos e infanto-juvenil. A distribuição da quantidade de lavanderias industriais do agreste pernambucano por perfil de consumo de água pode ser observada na Fig. 1.

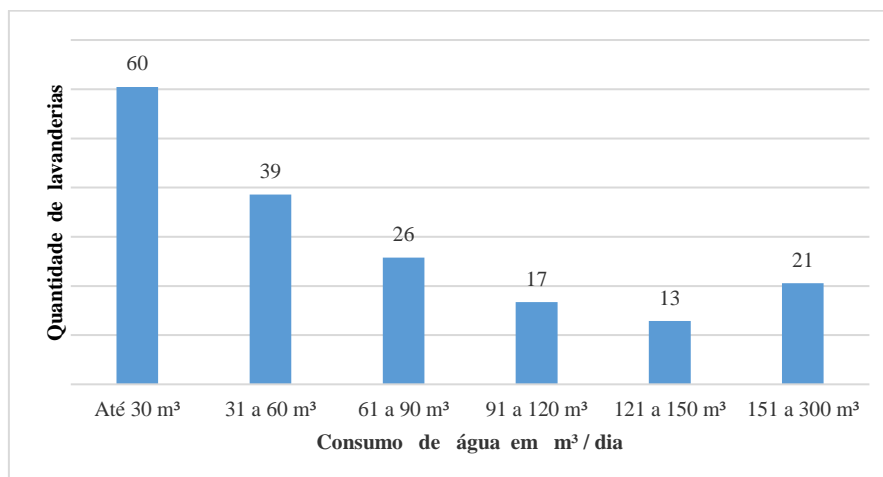


Figura 1 - Perfil do consumo de água das lavanderias industriais do Agreste de Pernambuco.

Fonte: ITEP

Dentro do setor de lavanderias, observa-se que o perfil de consumo de água quente apresenta algumas variações dependendo do tipo de processo a ser executado pela empresa, ou seja, se o processo de lavagem atua em artigos de vestuário em fase de fabricação ou já confeccionados. No que condiz aos artigos já confeccionados, a demanda de água se dá em torno de 14-20% (Rose M. Smutko, 2006), entretanto as lavanderias hospitalares diferenciam ligeiramente das demais, apresentando um perfil de consumo de água em cerca de 7-10% (Thiago P. Lima, 2015), em virtude dos diferentes processos de tratamento de lavagem existentes, em função da presença de agentes contaminantes sobre os tecidos. Já as lavanderias que atuam no setor de fabricação, possuem um consumo em torno de 50-60% (Nick Gibson, 1981), devido a presença de diversos produtos químicos que foram utilizados durante diversas etapas de confecção antecedentes ao processo de lavagem. No entanto, as lavanderias de jeans do agreste pernambucano apresentam um perfil de consumo na ordem de 40% de água de processo, correspondendo a 98,4 milhões de litros de água aquecida mensalmente.

3. A FONTE ENERGÉTICA DO APL DE CONFECÇÕES DO AGRESTE DE PERNAMBUCO

O semiárido brasileiro é considerado a região árida mais habitada do mundo. A formação vegetal presente nessa região é a Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro. Contudo, a pressão antrópica sobre esse bioma vem-se intensificando ao longo dos anos, principalmente, a partir do corte indiscriminado de espécies arbóreas nativas (Drummond, 2008).

A exploração de lenha da caatinga para fins energéticos é uma das únicas fontes economicamente viável para a lavagem de jeans nas lavanderias industriais do agreste, sendo também uma das maiores preocupações dos órgãos ambientais com a destruição de espécies da vegetação sem que antes haja um registro do que de fato há no bioma (Sobrinho, 2005; Riegelhaupt, 2010). Na Caatinga pernambucana são reconhecidos pelos menos três tipos estruturais: a savana estépica arborizada, a savana estépica parque e a savana estépica florestada. Variações de solo, topografia e precipitação proporcionam não só diferenças na estrutura da vegetação, mas determinam diferenças na composição de espécies e na estrutura funcional da comunidade. Prova dessa diversificação é a existência de 12 tipos vegetacionais na Caatinga (Silva, 2009).

De acordo com os dados de “Cenários para o Bioma Caatinga” (2004), o Estado de Pernambuco possuía uma área de 81.723,97 km² em 1997, que correspondia a 8,55% do total do bioma, incluindo o Distrito Estadual de Fernando de Noronha. Grande parte de seus recursos florestais foram utilizados como fonte de pastagem natural para o setor agrário, como fonte de energia para as indústrias de diversos segmentos, como: cerâmicas, padarias, gesso, olarias, confecções e fábricas de doce; e também, como fonte de energia para as residências rurais e urbanas na forma de lenha e carvão vegetal.

A grande demanda atual por energéticos florestais em toda a Região Nordeste, notadamente lenha e carvão, representa uma oportunidade de ocupação e renda para os agricultores e assentados. Considerando que atualmente existe um consumo industrial e comercial estimado entre 25 e 30 milhões de estéreos de lenha por ano, responsáveis pelo atendimento de 25 a 30% da matriz energética do Nordeste, a atividade florestal é responsável pela geração de aproximadamente 90.000 empregos diretos na zona rural (Estatística florestal da caatinga, 2015).

Em Pernambuco no ano de 2007, foi estimado uma produção de lenha de 232.000 m³ nas áreas manejadas. Somando a lenha autorizada nos desmatamentos e a oriunda do manejo florestal, havia uma oferta total de 549.000 m³ por ano, ou 45.750 m³ mensais, sendo que, essa oferta de lenha legalizada da vegetação nativa atendia apenas 13,7 % da demanda do estado (Pareyn, 2010). Essa observação estruturada permitiu a obtenção de uma ideia parcial da demanda de lenha na região e a dimensão de custos ambientais nas empresas, relativos a essa fonte energética nas lavanderias de jeans. O consumo médio de lenha para a geração de vapor nas lavanderias do agreste de Pernambuco é de da ordem de 2,82 m³ estéreo por tonelada de tecido processado, correspondendo a um consumo médio mensal de 10.000 m³ de lenha. O perfil de consumo de água e lenha das lavanderias industriais do agreste de Pernambuco é apresentado na Fig. 2, a fim de estabelecer um levantamento prévio da demanda de energia térmica por meio da relação estabelecida entre os consumos.

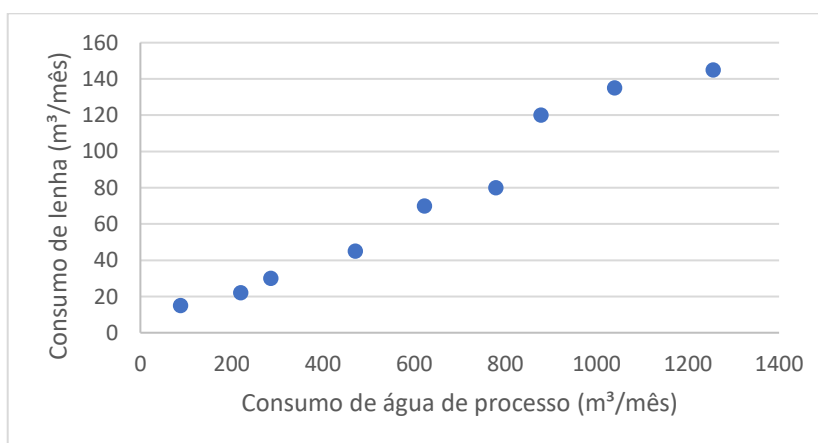


Figura 2 - Perfil do consumo das lavanderias industriais do agreste de Pernambuco.

Fonte: ITEP

Atualmente, a lenha consumida pelas lavanderias é de algaroba de produtores de Pernambuco e da Paraíba. A região do semiárido brasileiro tem condições desfavoráveis para o plantio da algaroba, já que o solo é raso e possui baixa capacidade hídrica implicando em uma área de manejo o povoamento seja de 280 árvores/ha, na qual uma árvore com cerca de oito anos de idade produz 10 m³ de lenha (Ribaski, 2009). O consumo de lenha das lavanderias é equivalente ao desmatamento mensal de uma área de 1.000 ha. A lenha nativa contém 20% de umidade, densidade aparente de 350 kg/m³ e poder calorífico inferior de 3.000 kcal/kg. Utilizada para a produção de vapor em uma caldeira, por exemplo com capacidade de 800 kg, geraria um potencial térmico útil de 513.600 Kcal/h. Segundo informações obtidas durante pesquisa de campo, realizada pelos autores, o custo da lenha na região varia de R\$100,00/m³ a R\$120,00/m³. Considerando-se que a eficiência média das caldeiras seja em torno de 55%, o custo específico da energia no agreste pernambucano se mostrou superior de 14% a 57% do valor da biomassa.

4. ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DO POTENCIAL TERMOSSOLAR

O potencial de geração de energia através da captação da radiação proveniente do sol por superfícies coletoras depende, fundamentalmente, da quantidade de energia radiante útil que atinge o local de instalação, da área necessária disponível para a coleta dessa radiação e das características técnicas intrínsecas dos dispositivos selecionados para a configuração do sistema a vir a ser implementado. A determinação dessa quantidade de energia útil disponível é baseada na aplicação de métodos de previsão climatológica acerca da capacidade que o sistema solar possui em cobrir parte da carga térmica de processo.

4.1 Análise técnica do potencial termossolar

Os métodos de análise técnica podem ser abordados de duas formas. A primeira dispõe da utilização de softwares de simulação computacional, como o TRNSYS, e a segunda utiliza-se de métodos de dimensionamento aproximado que determinam as informações específicas necessárias para a aplicação do sistema. Embora a segunda abordagem seja menos precisa que a primeira, a mesma propicia a obtenção de dados de forma mais simplificada (S. A. Klein, 1978).

Dentre os métodos de dimensionamento existe a técnica da carta-F, aplicado em sistemas residenciais, cuja temperatura mínima da energia entregue seja próxima de 20°C (Duffie, J. A., 1991); a técnica da utilizabilidade, aplicada em sistemas cuja temperatura de processo é maior que 20°C e que não apresentam dispositivos de perdas de calor associados à linha de processo do sistema, como a presença de tanques armazenadores (Ari Rabl, 1981); o método de Φ -Carta F, o qual é um método híbrido entre as duas técnicas anteriores e por assim ser, sua temperatura de processo é maior que 20°C e apresenta possibilidade de presença de dispositivos de perda de calor na linha de processo, como tanques armazenadores e trocadores de calor (Kalogirou, S. A., 2009).

4.2 Análise econômica do potencial termossolar

Os métodos de análise econômica para sistemas solares podem ser abordados de duas formas. A primeira relaciona a economia proporcionada pela implementação do sistema com os custos e as taxas envolvidas durante o ciclo de vida útil do mesmo, sendo denominado de “Life-Cycle Saving” (LCS) ou ainda de método de análise de ciclo de vida econômico; e a segunda relaciona as economias poupadas com a implementação do sistema como uma diferença existente entre a redução dos custos atrelados ao consumo de combustível convencional e os custos adicionais referente aos investimentos exigidos pela aplicação do mesmo, denominado de método P1, P2 (Kalogirou, S. A., 2009). A aplicação da análise econômica permite a determinação de parâmetros otimizados de configuração específicas para os sistemas propostos com base no período de vida útil dos mesmos. As taxas, os custos e os riscos atrelados à implementação do projeto proposto, devem atender aos indicadores atuais vigentes relativos ao investimento a vir a ser realizado.

5. FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA

O método de dimensionamento selecionado foi baseado no método de Φ -Carta F, constituído por um banco de coletores e um tanque armazenador, conforme mostrado na Fig. 3. A ferramenta de simulação foi desenvolvida no software Excel, já que permite um acesso mais simplificado aos bancos de dados técnicos presentes no sistema, como por exemplo, as especificações técnicas de coletores e os dados de radiação solar do local selecionado para o estudo.

Assim, é notório salientar que o processo de lavagem industrial encontrado no APL de confecções de Pernambuco é baseado em um processo de mistura, no qual a água fria é injetada dentro das máquinas de lavagem e por meio de um sistema de aquecimento convencional, como as caldeiras, o vapor proveniente das mesmas é injetado em pequenas quantidades, visto que esse vapor sai saturado com temperatura em torno de 165°C e pressão de trabalho a 8 bar, a fim de aquecer a água anteriormente injetada. Diante disso, a aplicação da configuração selecionada para simulação não provocaria mudanças bruscas na organização física já dispostas nesse setor.

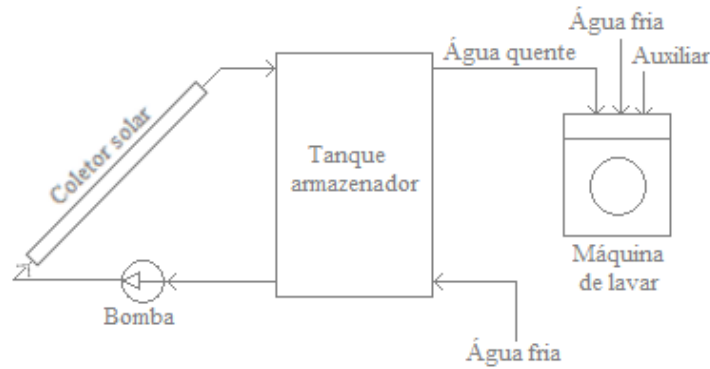


Figura 3 – Sistema proposto pela ferramenta de simulação apenas com a presença de tanque armazenador.

O algoritmo principal da ferramenta de dimensionamento foi baseado no acionamento de duas sub-rotinas de simulação, primeiro a referente a análise técnica e segundo a referente a análise econômica. O conjunto de dados de entrada e as operações matemáticas que constituem o código são utilizados a fim de determinar um perfil ótimo de operação sem alterar a cadeia de processo ao passo que promove uma otimização industrial.

O método de Φ -Carta F consiste em determinar a fração diária média mensal da energia utilizável (Φ), tendo em vista que a mesma depende das condições climáticas do local de instalação, principalmente no que condiz ao nível de irradiação crítica diária média mensal. A sub-rotina destinada a esse método no algoritmo da ferramenta de simulação necessita de operações matemáticas iterativas que ajustem a demanda de calor de processo da indústria com as condições as quais o sistema auxiliar proposto estaria sendo submetido, conforme apresentado na Fig. 4.

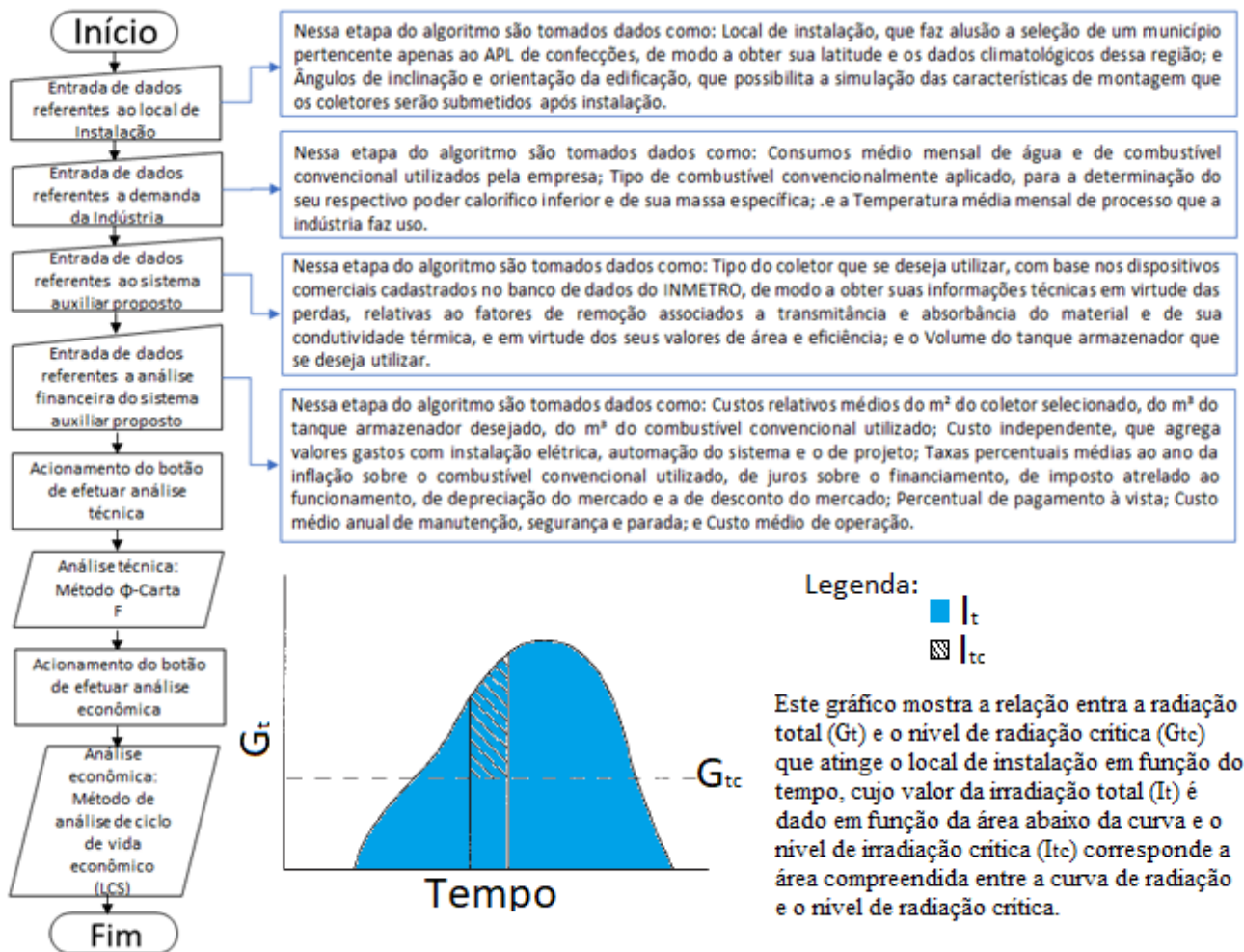


Figura 4 – Fluxograma principal da ferramenta de simulação.

De tal forma que efetuada a análise técnica, a ferramenta de simulação retornasse como resposta: a fração solar, que consiste em ser o percentual de energia entregue pelo sistema de aquecimento solar em relação à demanda de energia; a área de coleta mínima necessária para realizar essa captação de energia utilizável; a quantidade mínima de coletores

comerciais a serem utilizados; e o volume comercial ideal do tanque armazenador a ser utilizado. A equação 1, descrita abaixo, representa, de forma simplificada, como o cálculo para obtenção da energia utilizável é realizada.

$$\sum \bar{Q}_u = A_c \cdot F_r \cdot (\bar{\tau}\alpha) \cdot \bar{H}_t \cdot \bar{\varphi}_{m\acute{a}x}$$

Em que:

$\sum \bar{Q}_u$ → Representa a energia utilizável diária média mensal;

A_c → Representa a área de coleta;

F_r → Representa o fator de remoção de calor do sistema;

$(\bar{\tau}\alpha)$ → Representa a relação entre a energia absorvida diária média mensal e a energia incidente diária média mensal;

\bar{H}_t → Representa a radiação solar diária média mensal que atinge o local de instalação;

$\bar{\varphi}_{m\acute{a}x}$ → Representa a fração máxima diária média mensal da energia utilizável.

Através da análise técnica obtém-se uma área mínima de coleta para atender as necessidades de processo, no entanto, essa área obtida pode não ser a área economicamente mais viável, em virtude da fração solar média anual que o local de instalação pode fornecer ao sistema. Assim, pode-se inferir que o objetivo da análise do empreendimento é garantir a determinação de uma área máxima que forneça o melhor custo benefício em razão da análise do ciclo de vida econômico do sistema a ser implementado.

O método da análise de ciclo de vida econômico (LCS) relaciona o custo do sistema solar auxiliar proposto com o custo do sistema convencional utilizado, em termos de valores presentes e em função dos valores das taxas atuais vigentes em uma linha de crédito de interesse do empresário. Os valores das taxas inseridas para compor a ferramenta de simulação são baseadas nas pertencentes a linha de financiamento FNE verde do Banco do Nordeste, conforme descritos na Tab. 4. O período de vida útil do sistema proposto na ferramenta foi estimado em cerca de 20 anos de operação.

Tabela 4 – Valores das taxas atreladas a linha FNE verde do Banco do Nordeste

Geração de energia renovável e/ou Eficiência energética		
Porte Empresa	Média	Grande
Taxa Participação	80-95%	70-90%
Encargos Integrais	8,55% a.a.	10,14% a.a.
Encargos com Bônus	7,27% a.a.	8,61% a.a.

Fonte: Banco do Nordeste

A sub-rotina destinada a esse método no algoritmo da ferramenta de simulação necessita, além do fornecimento dos valores das taxas e do período de vida útil do sistema, de valores relacionados aos custos do sistema auxiliar proposto e do sistema convencional utilizado. De modo que, por meio de iterações, seja possível determinar a área máxima para o sistema proposto, a fração solar atrelada a essa área e o período de retorno sobre o investimento que melhor atendam ao perfil do empresário. A ferramenta permite a determinação de dois tipos de paybacks: o amortizado, que se refere ao período em que o empreendimento começa a gerar um retorno positivo de capital através da economia gerada pela implementação do sistema auxiliar sobre o convencional; e o equitativo, que se refere ao período em que o empreendimento começa a gerar um retorno positivo sobre o capital através da economia acumulada gerada pela implementação do sistema auxiliar sobre o convencional. De tal forma, torna-se válido salientar que para LCS negativo, temos que não houve nenhuma geração de ganho; para LCS igual a zero, temos que os custos se igualaram com os ganhos; e, finalmente, para LCS positivo temos geração de ganho sobre o investimento, em que se dá o payback amortizado.

6. ANÁLISE DO POTENCIAL TERMOSSOLAR DA REGIÃO

Através de dados coletados por meio de visitas técnicas a diversas lavanderias industriais pertencentes ao agreste pernambucano, foi realizada a seleção de quatro indústrias típicas da região com consumos de água diferente e catalogadas como empresas de pequeno e médio porte. Tais dados encontram-se dispostos na Tab. 5.

Tabela 5 – Característica de produção das lavanderias de diferentes portes

Lavanderia	Porte	Município	Consumo de água (m³/mês)	Consumo lenha (m³/mês)	Regime de trabalho (h/mês)
A	Pequeno	Caruaru	110	15	173
B	Pequeno	Riacho das Almas	220	15	192
C	Médio	Riacho das Almas	550	22	192
D	Médio	Caruaru	692,8	30	173

Fonte: ITEP

Assim, a fim de averiguar as potencialidades do sistema a ser implementado na região, foi realizada uma simulação relativa a cada lavanderia de diferentes perfis, buscando determinar os parâmetros técnico-econômicos de sua aplicação. A configuração proposta ao modelo simulado utilizou o sistema simplificado apresentado na Fig. 3. O coletor selecionado, dentre os cadastrados na tabela do INMETRO, foi o coletor solar Termomax: MAX VÁCUO – 15, visto que, de acordo com o fabricante (Termomax), tal dispositivo consegue atingir as temperaturas de processo. Do ponto de vista econômico, foram empregadas as taxas apresentadas na Tab. 4 e os custos dos componentes foram inseridos de acordo com os valores típicos do mercado. Os resultados simplificados da análise são mostrados na Tab. 6, contudo, a análise representada diz respeito apenas a análise técnica de dimensionamento, ou seja, atua apenas na representação da área mínima de coleta do sistema, já que os empresários do setor não apresentaram interesse na determinação da área economicamente mais viável destinada aos seus empreendimentos.

Tabela 6 – Análise técnica das lavanderias de diferentes portes realizadas pela ferramenta de dimensionamento

Lavanderia	Porte	Município	Área de coleta (m ²)	Fração solar (%)	Volume tanque (m ³)	Quantidade de coletores	Custo do projeto (R\$)	Payback amortizado (anos)	Payback equitativo (anos)
A	Pequeno	Caruaru	25,2	74,61	1,3	10	14.352,00	1	2
B	Pequeno	Riacho das Almas	47,4	75,89	2,4	20	20.324,00	1	1
C	Médio	Riacho das Almas	117,1	76,67	5,9	48	43.246,00	1	1
D	Médio	Caruaru	156,1	76,75	7,8	65	58.386,00	1	1

A Fig. 5 apresenta a análise gráfica de cada empresa em função da fração solar média anual, da economia proporcionada pela aplicação e seu período de vida útil em função da área de coleta média anual determinada pela ferramenta de simulação. Os resultados mostram que para atender os requisitos de processo, a média anual da fração solar é praticamente constante em todos os casos, e as dimensões dos dispositivos do sistema de aquecimento, tais como coletores e tanque de armazenamento, crescem com o aumento do consumo de água quente, assim como o custo do projeto. Por outro lado, o tempo máximo de amortização do investimento é de dois e de um ano para empreendimentos de pequeno e médio porte, respectivamente, os quais são menores que os tempos de payback praticados no setor industrial. Sendo assim, o uso da energia termossolar para geração de calor de processo na indústria têxtil mostrasse como uma alternativa viável do ponto de vista técnico e econômico.

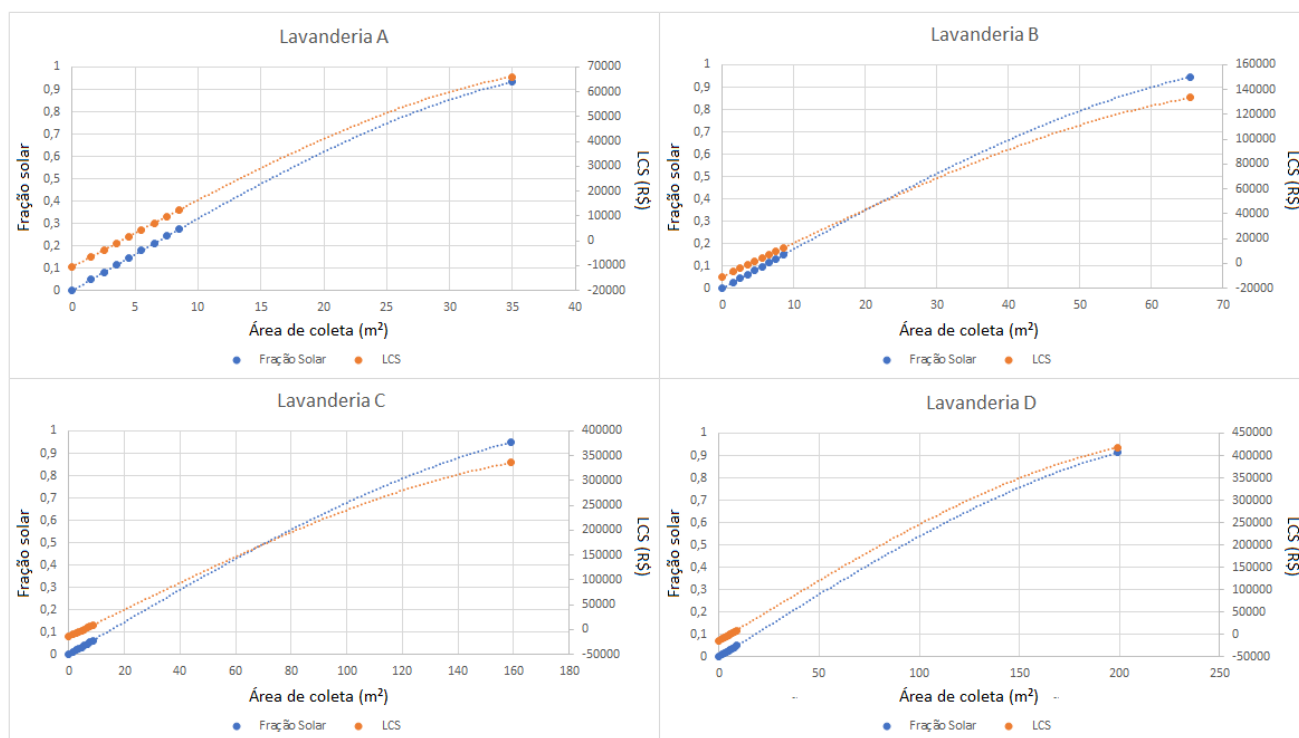


Figura 5 – Representação gráfica da relação entre a fração solar e o ciclo de vida econômico em função da área de coleta, para cada lavanderia dimensionada pela ferramenta de simulação.

7. CONCLUSÕES

Diversas atividades realizadas dentro do setor industrial empregam energia térmica como fonte de seus processos produtivos, dentre eles tem-se o setor das lavanderias industriais. Grande parte dos processos realizados nesse setor se enquadram dentro de uma faixa de baixas e médias temperaturas, podendo ser fornecidos por meio da aplicação de coletores solares térmicos. Todavia, a aplicação desses sistemas requer uma análise acerca do fluxograma de processo para realização do levantamento da demanda de calor, a fim de definir eficazmente o projeto técnico-econômico a ser desenvolvido. Deste modo, diante dos resultados obtidos pode-se verificar que o polo industrial de confecções presente na região do agreste pernambucano, apresenta um ambiente tecnicamente favorável a aplicação do sistema auxiliar proposto neste estudo, já que consegue atender cerca de 75% da demanda de processo através da aplicação dos coletores solares térmicos, reduzindo os custos e os efeitos nocivos de poluição associados ao consumo de combustíveis convencionais, como o uso da lenha.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o suporte recebido pela Fundação Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), a Universidade de Pernambuco/Escola Politécnica de Pernambuco (UPE/POLI) e ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

REFERÊNCIAS

- Ari Rabl. Yearly average performance of the principal solar collector types. *Solar Energy*, v. 27, p. 215-233, 1981.
- Associação brasileira da Indústria Têxtil e Confecções (ABIT). Disponível em: < <https://www.abit.org.br> >. Acesso em: 04/08/2017.
- Bastian, Elza Y. Onishi et al. Guia técnico ambiental da indústria têxtil. São Paulo, CETESB: SINDITÊXTIL, 2009.
- Cenário para o Bioma Caatinga. Impactos das políticas sobre o desenvolvimento do bioma caatinga. Recife: SECTMA, 2004. 283 p.
- Drummond, M. A. et al. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no semiárido brasileiro. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.665-669, 2008.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons.
- Estatística Florestal da Caatinga. - V.2, ago. 2015. Recife: Associação Plantas do Nordeste, v.1, 2008 - ISBN: 978-85-89692-19-9
- Gorini, A.P.F. O segmento de índigo. *BNDS Setorial*, Rio de Janeiro – RJ. set.1999, n. 10, p. 313 – 334.
- Kalogirou, S. A. *Solar energy engineering: processes and systems*. Edição 1. Editora Academic Press, EUA, 2009.
- Nick Gibson. *Market Research on Industrial Laundries*. Georgia Institute of Technology, 1981.
- Pareyn, F.G.C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no estado de Pernambuco – o papel do manejo florestal sustentável. In: GARIGLIO, M.A. et al. (Orgs). *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. Cap. 02, p. 99-112.
- Ribaski, J. et al. Algaroba (*Prosopis juliflora*): Árvore de Uso Múltiplo para a Região Semiárida Brasileira. Comunicado Técnico 240 – EMBRAPA. Colombo, PR. Outubro, 2009.
- Riegelhaupt, E. M. e Pareyn, F. G. C. A questão Energética in: *Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da CAATINGA*. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília: 2010. 368p.
- Rose M. Smutko. *Assessment of water savings for commercial washers*. San Diego County Authority, 2006.
- S. A. Klein. Calculation of flat-plate collector utilizability. *Solar Energy*, v. 21, p. 393-402, 1978.
- Santos, M. Análise dos resultados financeiros operacionais de micro e pequenas empresas: Um estudo de caso das indústrias do vestuário do município de Campo Grande – MS. Florianópolis 2001. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- Schoeberl, P. et al. Treatment and Recycling of Textile wastewater. Case study and development as a recycling concept. 2004. v. 171.p. 173-183.
- SEBRAE. Relatório final: Estudo econômico do arranjo produtivo local de confecções do agreste pernambucano. Pernambuco, 2012.
- Silva, E. R.; Pedrosa, I. V. A exploração da lenha da caatinga como fonte de energia para as lavanderias de jeans em Toritama-Pernambuco. 2009. In: 12º Congresso Nordestino de Ecologia, 2009, Gravatá - PE. Anais do 12º Congresso Nordestino de Ecologia. Recife - PE: Sociedade Nordestina de Ecologia - SNE, 2009. v. 1. p. 1-3.
- Sobrinho, V. *As Regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização*. Recife: fotocópia impressa pela CPRH da edição de 1970 do CONDEPE, 2005.
- Termomax, excelência em aquecimento solar. Disponível em: < <http://www.termomax.com.br> >. Acesso em: 31/10/2017.
- Thiago P. Lima, Jose Carlos C. Dutra, Ana Rosa M. Primo, Janardan Rohatgi, Alvaro Antonio V. Ochoa. Solar water heating for a hospital laundry: A case study. *Solar Energy*, v. 122, p. 737 – 748, 2015.

POTENTIAL FOR HARNESSING SOLAR ENERGY FOR WATER HEATING IN INDUSTRIAL LAUNDRIES OF THE APL CLOTHING ON THE RURAL REGION OF THE PERNAMBUCO STATE

Abstract. *The sectors of clothing and textile industry are of great importance for the Brazilian economy, since, according to the Brazilian Association of the Textile and Clothing Industry (ABIT), are responsible for 3.5% of gross domestic product (GDP) of the country. One of the most varied processes that are in these sectors, what stands out is the sector of industrial laundries. The processes linked to the productive chain of such sector consumes large amounts of heat energy on account of their revenue, through which one can get the desired end product. Water, main raw material of these systems is vital to the performance of the activities carried out in the sector. However, the Local Productive Arrangement (APL) in Pernambuco confections, which focuses on rural region of the State, has the water and firewood rather scarce, making it the main bottlenecks of this sector. Thus, the application of technologies that minimize these consumption without negatively affecting the process, if necessary. It is well known that Pernambuco is located near the equator, which gives it an enormous potential in solar power generation. In this context, this study allows to evaluate the potential for application of a solar heating system as the source of heat supply to industrial laundries process at APL clothing gifts in the State of Pernambuco as a techno-economical option viable environmental coverage. As a result, the methodology proposed in this study that the use of solar thermal energy in laundromats considered small and medium-sized enterprises is feasible from a technical point of view.*

Key words: *Industrial Laundries, Process Heat, Thermo-Solar Energy.*