

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE
AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA
EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

ETEVALDO FRANCISCO CARREIRA JUNIOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

SÃO PAULO
2015

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE
AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA
EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

ETEVALDO FRANCISCO CARREIRA JUNIOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Benedito Sacomano

Área de Concentração: Gestão de Sistemas de Operação

Linha de pesquisa: Redes de Empresas e Planejamento da Produção

Projeto de pesquisa: Análise Quantitativa de Redes de Empresas

SÃO PAULO
2015

Carreira Junior, Etevaldo Francisco.

Utilização de sistemas de aquecimento solar de água em processos industriais / Etevaldo Francisco Carreira Junior. - 2015.

75 f. : il. color. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2015.

Área de concentração: **Gestão de Sistemas de Operação.**

Orientador: Prof. Dr. José Benedito Sacomano.

1. Aquecimento de água. 2. Aquecimento solar de água. 3. Energia solar. 4. Energia renovável. 5. Processos industriais I. Sacomano, José Benedito (orientador). II. Título.

UNIVERSIDADE PAULISTA

ETEVALDO FRANCISCO CARREIRA JUNIOR

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA
EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista - UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

____ / ____ / ____
Prof. Dr. José Benedito Sacomano - Orientador
Universidade Paulista - UNIP

____ / ____ / ____
Prof. Dr.^a Márcia Terra da Silva
Universidade Paulista – UNIP

____ / ____ / ____
Prof. Dr. Mario Mollo Neto
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP – Tupã - SP

DEDICATÓRIA

À minha esposa Elaine Cristina e aos meus filhos Junia, Lucas e Tarsila, pelos momentos que subtraí da nossa convivência durante o período do curso do mestrado.

Aos meus pais Etevaldo Francisco Carreira (*in memoriam*) e Adelaide Volpi Carreira (*in memoriam*), que desde sempre me fizeram ver o quanto estudar é muito importante para o nosso crescimento, desenvolvimento e realização.

A todos os professores que já tive desde a minha primeira aula, na infância, que contribuíram de maneira inestimável com a minha formação.

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. José Benedito Sacomano, pela dedicação, comprometimento e incentivo com que sempre me atendeu.

À Universidade Paulista (UNIP), onde trabalho desde o ano 2000 e pela valiosa contribuição na forma de bolsa parcial para o curso de mestrado.

Aos professores doutores: Oduvaldo Vendrametto, Mario Mollo Neto, Irenilza de Alencar Nääs, Márcia Terra, Rodrigo Franco Gonçalves e João Gilberto Mendes dos Reis.

Aos companheiros de estudos durante o curso de mestrado, nos quais sempre busquei e encontrei o estímulo e o incentivo para seguir em frente, mesmo quando o cansaço ameaçava me abater.

À professora Silvia Helena Ramos Hernandes, Coordenadora do curso de Administração do Campus Tatuapé da UNIP, pela oportunidade de trabalhar em sua equipe e pelo grande incentivo que me deu para cursar o mestrado.

À professora Dra. Anna Cristina Barbosa Dias de Carvalho, diretora da Fatec Itaquera, pela compreensão, quando foi necessário flexibilizar horários e atividades.

EPÍGRAFE

“Nossa maior fraqueza está em desistir.”

“O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.”

Thomas Edson

RESUMO

O aumento do consumo mundial de energia gerou a busca de fontes alternativas, entre as quais, das fontes de energias renováveis, a solar é a de maior facilidade de utilização, principalmente para fins de aquecimento de água. Este estudo buscou identificar o estágio atual no mundo e as possibilidades no Brasil, do uso de aquecimento solar de água para uso em processos industriais. Para atingir os objetivos do trabalho foi utilizada pesquisa bibliográfica em artigos internacionais de publicações científicas relevantes, visando identificar o estágio atual das aplicações de aquecimento solar de água para fins industriais no mundo e pesquisa exploratória de dados secundários do mercado brasileiro de sistemas de aquecimento solar no Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol), vinculado à Associação Brasileira Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (Abrava) e no Plano Nacional de Eficiência Energética 2010-2030 do Ministério de Minas e Energia, visando caracterizar esse setor em seu estágio atual de desenvolvimento. A coleta de dados secundários sobre o setor industrial no Brasil utilizou o Panorama da Indústria de Transformação Brasileira, elaborado pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp). A análise do ensino de energias renováveis nos cursos de Engenharia e Tecnologia apoiou-se na Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional, nos Referenciais Curriculares Nacionais dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura, na Resolução 218 do Confea e nas grades curriculares dos cursos de uma amostra de instituições de ensino superior. O estudo mostra que o uso de aquecimento solar de água em indústrias representa uma alternativa viável para processos industriais, apesar da existência de barreiras que dificultam sua expansão. Além disso, a indústria brasileira, por ser grande e diversificada, oferece grandes oportunidades de aproveitamento da energia solar para aquecimento. Os resultados mostram ainda que no Brasil, os maiores consumidores finais de energia elétrica são as indústrias, mas que os programas de fomento ao uso da energia solar para aquecimento de água estimulam aplicações residenciais. Finalmente, mostram que há grande carência de profissionais com formação na área de energia renovável para atuar na cadeia de fornecimento de sistemas de aquecimento solar de água, no Brasil e no mundo.

Palavras-chave: Aquecimento de água, aquecimento solar de água, energia solar, energia renovável, processos industriais.

ABSTRACT

The increase in the worldwide energy consumption has generated a search for alternative sources. Among the renewable energy sources, solar has the easiest to use, especially for water heating. This study aimed identify the current status of the water heating applications in industries around of the world and in Brazil. To achieve the research objectives an bibliographic research articles in international was done in relevant scientific publications to identify the current status of solar water heating for industrial applications worldwide, and exploratory research of secondary data from the Brazilian market of solar heating systems was done in the *Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol)*, linked to the *Associação Brasileira Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (Abrava)* and the *Plano Nacional de Eficiência Energética 2010-2030* of the *Ministério das Minas e Energia*, to characterize this sector in its current stage of development. The collected of secondary data on the industrial sector in Brazil, has used the *Panorama da Indústria de Transformação Brasileira*, prepared by the *Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP)*. The analysis of the teaching of renewable energy in engineering and technology courses was based on the *Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional*, in the *Referenciais Curriculares Nacionais dos Cursos De Bacharelado e Licenciatura*, in the Confea Resolution 218 and in a grid of college courses curriculum. The study shows that the use of solar water heating in industries represents a feasible alternative to heating industrial processes, and the Brazilian industry is large and diverse, offering great opportunities for harnessing solar heating energy. The results also show that in Brazil, the largest end-users of electricity are the industries, however the programs that have to encourage the use of solar energy only encourage residential water heating applications. Finally, the results show that there still is a dearth of trained professionals in the area of renewable energy to work in the water solar heating supply chain, in Brazil and the entire world.

Keywords: Water heating, solar water heating, solar energy, renewable energy, industrial processes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição setorial do consumo de eletricidade (%) - Brasil.....	13
Tabela 2 – Tipos de coletores de energia solar.....	21
Tabela 3 – Faixas de temperaturas para diferentes processos industriais	22
Tabela 4 – Visão geral dos setores industriais com aquecimento solar instalado	24
Tabela 5 – Sistemas de aquecimento solar de grande porte - Austrália 1976-1984.....	26
Tabela 6 – Valor adicionado da indústria de transformação por setores no Brasil - 2011	32
Tabela 7 – Empregados formais por setores da indústria de transformação brasileira - 2012	33
Tabela 8 – Estabelecimentos da indústria de transformação por setores no Brasil - 2012.....	34
Tabela 9 – Estabelecimentos por porte para setores da indústria de transformação no	35
Tabela 10 – Fontes de consulta aos melhores cursos de Engenharia em São Paulo	62
Tabela 11 – <i>Links</i> de acesso às matrizes curriculares - amostra das instituições de ensino superior - SP	63
Tabela 12 – Cursos de Engenharia que têm disciplina de energia renovável na grade curricular.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo mundial total de energia 1973-2011	12
Figura 2 – Consumo mundial total de energia total projetado para 2035.....	13
Figura 3 – Consumo de energia nas indústrias brasileiras.....	14
Figura 4 – Mercado brasileiro de aquecimento solar	15
Figura 5 – Sistema de energia industrial típico	19
Figura 6 – Integração de coletor solar em sistema térmico industrial	19
Figura 7 – Esquema de um circuito de aquecimento indireto	23
Figura 8 – PIB por setores na economia brasileira - 2013.....	30
Figura 9 – Empregos formais por setores da economia brasileira - 2012	30
Figura 10 – Estabelecimentos por setor da economia brasileira - 2012	31
Figura 11 – Estabelecimentos de grande porte por estado - 2012	36
Figura 12 – Dez principais países com instalações acumuladas de aquecimento solar de água (MWth)	37
Figura 13 – Evolução do mercado de aquecimento solar brasileiro.....	37
Figura 14 – Área de coletores instalados no Brasil	38
Figura 15 – Mapa mundial de insolação média anual	46
Figura 16 – Insolação global sobre os principais países em instalações acumuladas de aquecimento solar	47
Figura 17 – Rede de relacionamentos dos programas de eficiência energética na área educacional	55

LISTA DE SIGLAS

ABRAVA - Associação Brasileira Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

CONFEA - Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CPC - Conceitos Preliminares de Curso

CTS - Ciência, Tecnologia e Sociedade

DASOL - Departamento Nacional de Aquecimento Solar

FATEC - Faculdade de Tecnologia do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

IEA - *International Energy Agency*

IGC - Índice Geral de Cursos

IRENA - *International Renewable Energy Agency*

MEC - Ministério da Educação

LDB - Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional

MME - Ministério das Minas e Energia

PIB - Produto Interno Bruto

PNEf - Plano Nacional de Eficiência Energética

PROCEL - Programa Brasileiro de Etiquetagem

SIUP - Serviços Industriais de Utilidade Pública

VA - Valor Adicionado

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.1	Introdução	12
1.2	Justificativa	14
1.3	Pergunta de pesquisa.....	15
1.4	Hipóteses.....	16
1.5	Objetivos	16
1.5.1	Objetivo geral	16
1.5.2	Objetivos específicos.....	16
1.6	Estrutura do trabalho.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Aquecimento solar de água em processos industriais no mundo.....	18
2.1.1	O estado da arte em aquecimento solar de água em processos industriais no mundo.....	18
2.1.2	Exemplos de aplicações industriais de aquecimento solar de água no mundo	25
2.2	Panorama do setor industrial brasileiro	29
2.2.1	A indústria de transformação no Brasil.....	31
2.3	O setor de aquecimento solar de água no Brasil	36
2.4	Possibilidades de uso dos sistemas de aquecimento solar de água na indústria	39
2.4.1	Aspectos da viabilidade dos sistemas de aquecimento solar de água	39
2.4.2	Possíveis barreiras à utilização de sistemas de aquecimento solar de água	48
2.4.3	Disseminação da informação e do conhecimento sobre aquecimento solar	50
2.4.3.1	Educação em energias renováveis no mundo	50
2.4.3.2	Educação em energias renováveis no Brasil.....	54
3	METODOLOGIA	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
	CONCLUSÃO.....	70
	REFERÊNCIAS	72

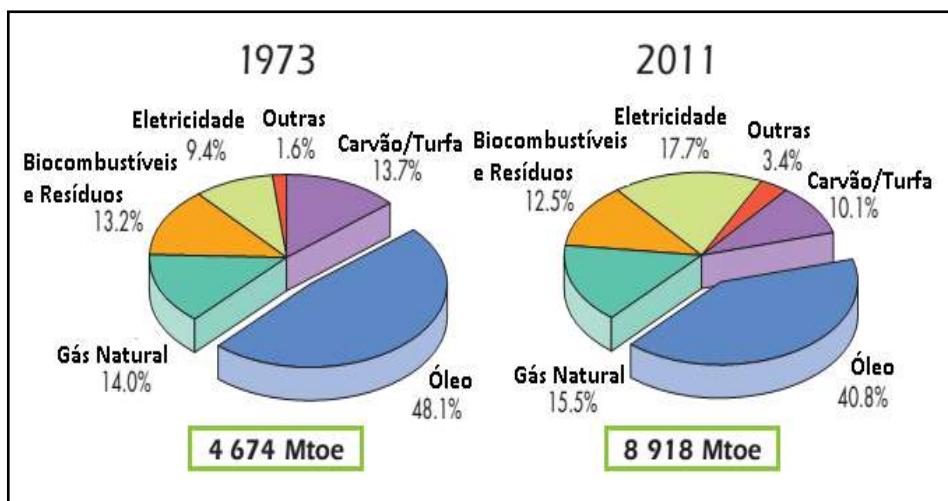
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

Este trabalho refere-se às possibilidades de uso de água aquecida por energia solar em processos industriais.

Os avanços tecnológicos e o desenvolvimento econômico e social têm demandado o incremento do consumo de energia, com baixa participação de energias renováveis no composto das fontes energéticas, como pode ser visto na Figura 1. De 1973 a 2011 o setor industrial consumiu 65% mais energia, e apesar de ter havido aumento do uso de energia de fontes alternativas (mostrado como "outras", na Figura 1), sua participação está abaixo dos 4% (IEA, 2013).

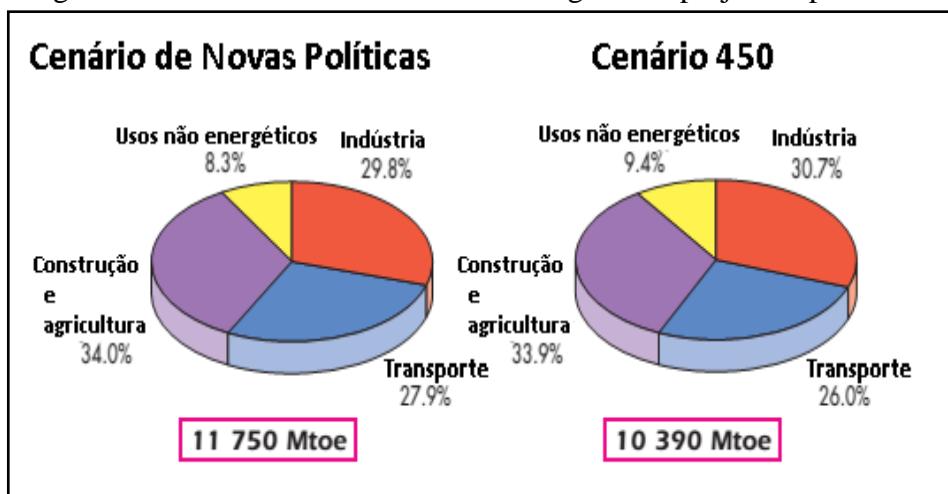
Figura 1 – Consumo mundial total de energia 1973-2011



Fonte: IEA (2013)

A *International Energy Agency* (IEA) projeta crescimento de 24% no consumo final de energia até o ano 2035, sendo que o consumo para fins industriais deverá representar cerca de 30% do total, conforme mostra a Figura 2. O Cenário 450 define que para reduzir para metade a probabilidade da temperatura global não aumentar mais que 2°C é necessário estabilizar os Gases de Efeito Estufa na atmosfera numa concentração de 450 ppm CO₂eq (IEA, 2013).

Figura 2 – Consumo mundial total de energia total projetado para 2035



Fonte: IEA (2013)

No Brasil, de 2003 a 2012, houve aumento de 40% no consumo final de energia e de 31% para fins industriais. A indústria consumiu 35,1% do total de energia. O suprimento total de energias renováveis alternativas, dentre essas a solar, passou de 2,8% para 4,1%, enquanto que na indústria passou de 5,7% para 6,7% do total do consumido, um crescimento percentual ligeiramente mais significativo do uso de fontes alternativas. Em 2012, a indústria foi o maior consumidor de energia elétrica (42,1%), seguido por residências (23,6%), comércio (16,0%), uso público (8,0%), agropecuário (4,7%) e transportes (0,4%), de acordo com os dados da Tabela 1 (MME - BEN, 2013).

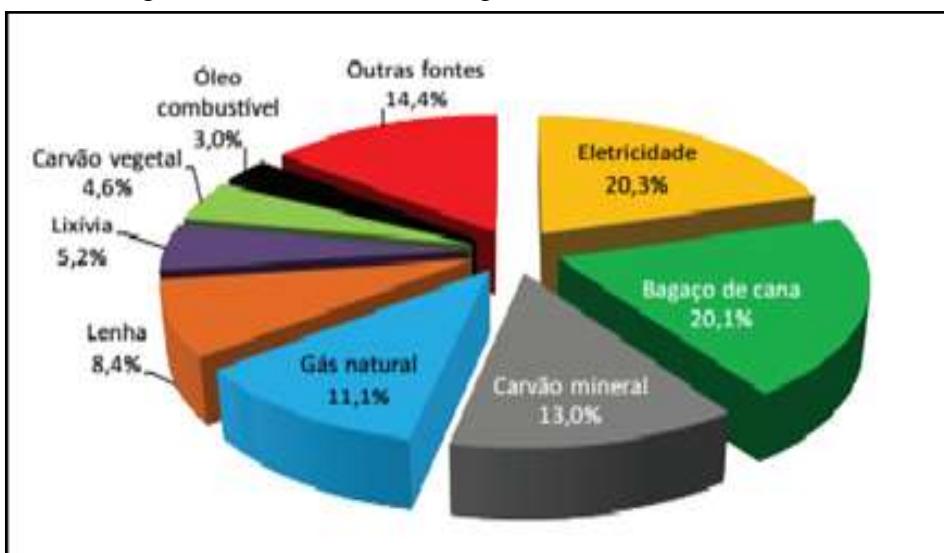
Tabela 1 – Composição setorial do consumo de eletricidade (%) - Brasil

Setores	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Setor Energético	3,5	3,7	3,6	3,7	4,2	4,3	4,3	5,8	5,0	5,3
Residencial	22,3	21,8	22,2	22,0	22,1	22,3	23,6	23,1	23,3	23,6
Comercial	14,1	13,9	14,3	14,2	14,2	14,6	15,5	15,0	15,4	16,0
Público	8,7	8,4	8,7	8,5	8,2	8,1	8,3	8	7,8	8,0
Agropecuário	4,2	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,2	4,1	4,5	4,7
Transportes	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Industrial	47,0	47,8	46,7	47,0	46,7	46,1	43,8	43,8	43,5	42,1
TOTAL	100,0									

Fonte: MME-BEN (2013)

A indústria busca seu suprimento de energia em diferentes fontes como bagaço de cana, carvão mineral, gás natural, lenha, lixívia, carvão vegetal, óleo combustível e outras, além de eletricidade, cujo consumo desta representa em torno de 20%, conforme mostra a Figura 3, dos quais (16%) foi para aquecimento industrial direto e (2%) para gerar calor de processo (MME-BEN, 2013).

Figura 3 – Consumo de energia nas indústrias brasileiras



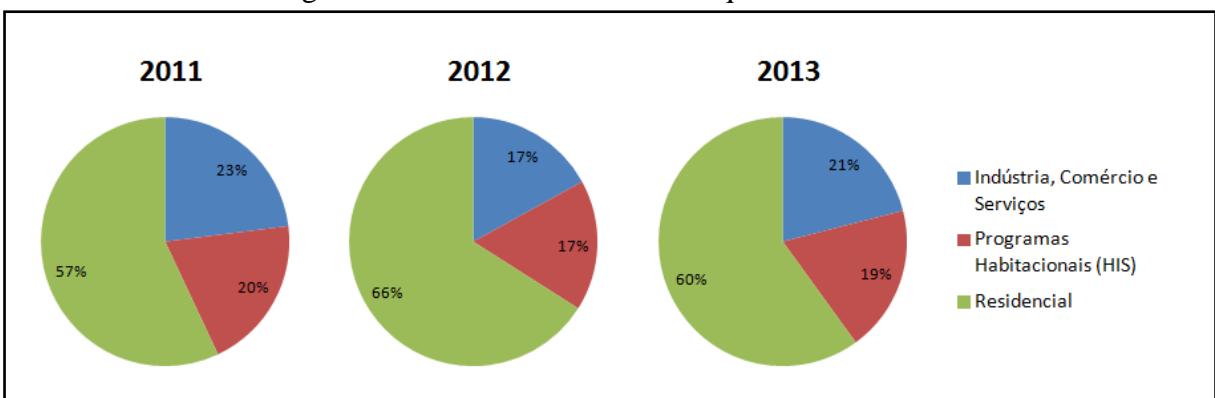
Fonte: MME-BEN (2013)

A indústria pode contribuir para a redução de energia convencional. Estudos de Taibi *et al.* (2012) mostram que energia renovável representa 9% do consumo industrial, sendo 8% proveniente de biomassa, com baixa participação de outras fontes alternativas, incluindo a solar. Segundo Timilsina *et al.* (2012) e de Mekhilef *et al.* (2011) esta pode ser uma das formas mais promissoras de energia alternativa a ser adotada em diferentes setores industriais, principalmente para aquecimento de água, o que já vem sendo estudado, estimulado e aplicado em muitos países. Para Kalogirou (2003), cerca de 13% das aplicações industriais térmicas exigem temperaturas de até 100°C, 27% exigem temperaturas de até 200°C e que os sistemas de aquecimento solar podem ser utilizados no fornecimento de água diretamente para os processos industriais ou para pré-aquecimento de outros sistemas.

1.2 Justificativa

No Brasil, especialmente pelo tipo de clima, altos índices de insolação, tamanho e diversidade do parque industrial, há considerável potencial de utilização de sistemas de aquecimento solar de água nos processos industriais, principalmente os que utilizam água aquecida em baixas temperaturas, até aproximadamente 200°C (aproximadamente 40% das aplicações de água aquecida na indústria), diretamente ou para pré-aquecimento nos processos de temperaturas mais elevadas.

Figura 4 – Mercado brasileiro de aquecimento solar



Fonte: Adaptado de Departamento Nacional de Aquecimento Solar (DASOL, 2013)

Curiosamente, apesar de a indústria ser o maior consumidor brasileiro de energia elétrica, das condições climáticas brasileiras serem favoráveis e de haver estudos que mostram muitas oportunidades de aplicação de aquecimento solar de água no setor industrial, dados do Departamento Nacional de Aquecimento Solar - Dasol, vinculado à Associação Brasileira Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA, demonstram que, embora o Brasil esteja entre os cinco países com maior área de coletores solares instalados no mundo, a distribuição da área instalada por setor de atividade é de cerca de 60% para fins residenciais, 20% em residências de programas habitacionais sociais e 20% em comércio e serviços (Figura 4). As aplicações industriais divulgadas pelo Dasol (2013), estão incluídas em comércio e serviços, representam cerca de 2%, sendo que em 2013 houve crescimento, pois 3% do total das vendas foram para aplicações industriais (DASOL, 2013).

Tendo em vista este contexto, fica estabelecido o cenário para a investigação das possibilidades de aplicação de sistemas de aquecimento solar de água em indústrias, especialmente no Estado de São Paulo, o mais industrializado do Brasil, levando-se em consideração, além do potencial mercadológico, também os fatores que devem ser analisados para a sua viabilidade quanto aos aspectos ambiental, econômico e legal.

1.3 Pergunta de pesquisa

Busca-se compreender se existe potencial no mercado industrial brasileiro para gerar níveis de demanda que sejam atraentes para os fabricantes do setor de sistemas de aquecimento solar de água, bem como se, tanto os fornecedores atuais quanto os potenciais clientes industriais, dispõem das condições necessárias para tornar realidade essa inovação no

âmbito industrial. A integração desses sistemas nos processos de aquecimento e a expansão da utilização de fontes de energias renováveis alternativas pode contribuir também para a redução do consumo de energia convencional da rede de distribuição, para a redução de emissão de poluentes na atmosfera e para redução dos custos dos processos produtivos. Dessa forma, a pergunta que norteia a pesquisa é: por que as indústrias brasileiras ainda não despertaram para o uso da energia solar como fonte de aquecimento de água para os processos de produção?

1.4 Hipóteses

Há setores e processos industriais para os quais a aplicação dos sistemas de aquecimento solar de água encontra maiores oportunidades e facilidades de uso.

A atividade industrial no Brasil é suficiente para gerar uma demanda atrativa aos fornecedores de sistemas de aquecimento solar de água.

Existem descontinuidades de competências na cadeia produtiva brasileira de sistemas de aquecimento solar de água, especialmente na cadeia de distribuição.

No Brasil, a disseminação de informação e de conhecimento técnico sobre sistemas de aquecimento solar de água é insuficiente, o que dificulta o surgimento de interesse, a capacidade de avaliação e a decisão pela utilização dos mesmos nos processos industriais.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é identificar possíveis barreiras que dificultem a utilização dos sistemas de aquecimento solar de água em processos industriais no Brasil.

1.5.2 Objetivos específicos

Identificar quais setores industriais ou etapas de alguns processos produtivos que sejam mais favoráveis ao emprego dos sistemas de aquecimento solar de água.

Estimar as possibilidades de utilizar aquecimento solar de água em processos industriais no mercado industrial brasileiro.

Caracterizar estágio atual do setor de aquecimento solar de água no Brasil.

1.6 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, sendo que o primeiro apresenta às considerações iniciais do trabalho que contempla a introdução, a justificativa, a caracterização do problema de pesquisa, as hipóteses e os objetivos. O capítulo introdutório contextualiza a questão do crescimento do consumo mundial e brasileiro de energia proveniente de diferentes fontes, destacando também a busca por fontes alternativas. Diversos fatores justificam a pesquisa sobre a aplicação de sistemas de aquecimento solar de água por indústrias no Brasil: a condição climática favorecida por altos índices de insolação, a área já instalada de coletores solares para aquecimento, a quase exclusiva aplicação desses sistemas para fins residenciais, bem como a quase inexistência de aplicações industriais, a despeito da representatividade do setor industrial no PIB nacional e da diversidade industrial no País.

O segundo capítulo é dedicado à revisão da bibliografia para a fundamentação teórica desta dissertação, identificando inicialmente o estágio dos estudos e das aplicações reais de sistemas de aquecimento solar de água no mundo, seguido de um panorama geral, no Brasil, do setor industrial e do mercado de aquecimento solar de água, ao que se segue a apresentação dos aspectos relativos à viabilidade dos sistemas de aquecimento solar de água, enfatizando possíveis barreiras à sua utilização e aspectos da formação técnica para energias renováveis em instituições de ensino superior.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia aplicada ao desenvolvimento da pesquisa.

O quarto capítulo é dedicado à apresentação dos resultados da pesquisa, abordando a discussão dos itens pesquisados no capítulo dois.

O quinto capítulo apresenta as conclusões obtidas no trabalho, a partir da discussão dos resultados da pesquisa. Após o quinto capítulo são apresentadas as referências bibliográficas consultadas para a fundamentação da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aquecimento solar de água em processos industriais no mundo

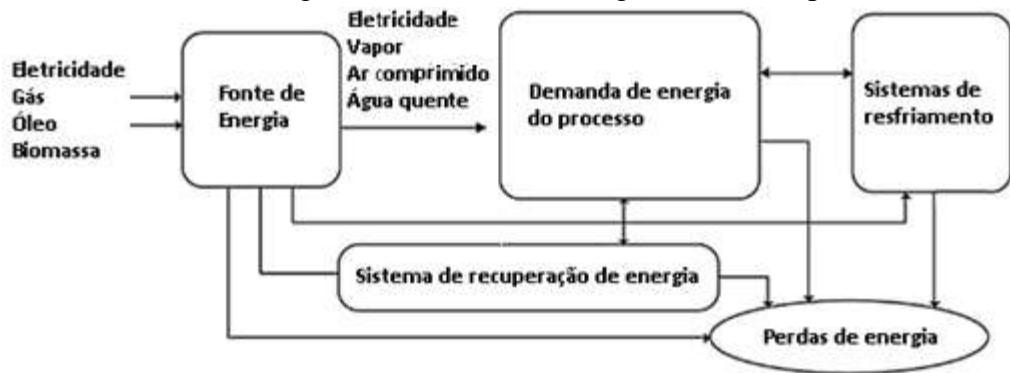
2.1.1 O estado da arte em aquecimento solar de água em processos industriais no mundo

Conforme Taibi *et al.* (2012), apesar de existir abundante literatura sobre o uso adequado de fontes renováveis para geração de energia, a utilização dessa energia renovável para a indústria não tem o mesmo nível de abundância, apesar de a indústria participar com aproximadamente um terço do consumo de energia global. Atualmente as energias renováveis representam 13% do consumo global total e 9% do consumo de energia para fins industriais, sendo 8% proveniente de biomassa, com baixa participação de outras fontes, inclusive a solar. Os autores informam que, ao contrário dos combustíveis fósseis, nem todos os níveis de temperatura necessários aos processos industriais podem ser fornecidos pelas fontes de energia renovável, sendo que os custos aumentam conforme aumenta o nível de temperatura necessária, e que para aplicações de baixa temperatura (abaixo de 100°C), o aquecimento solar é uma opção adequada. Os custos variam também com a intensidade de radiação solar disponível por região e da configuração do sistema de aquecimento. Maior eficácia é obtida com sistemas simples em áreas de radiação abundante. Em muitos casos os sistemas solares térmicos são mais baratos quando fabricados localmente. Estimam que até 2050 o uso de energia de origem renovável pela indústria seja de 21% do consumo total, o que inclui a geração de calor de processo a partir de energia solar térmica.

Estudos realizados por Mekhilef *et al.* (2011) afirmam não ser abundante a literatura sobre as aplicações da energia solar na indústria e destacam certos tipos de aplicações industriais mais compatíveis com a integração de sistemas de energia solar. Mostram que atualmente as fontes de energia convencionais constituem quase 80% do consumo global de energia e geralmente produzem energia em larga escala, mas que aplicações de cozimento e aquecimento de pequena escala são um boa opção para o uso de energia renovável. Destacam que a importância da energia para o setor industrial é muito grande, sobretudo em quatro grandes setores: construção, agricultura, mineração e manufatura, principalmente para alimentar motores elétricos, gerar ar comprimido e aquecer caldeiras. Continuando, justificam que a escassez global deste recurso, os custos elevados e os impactos ambientais negativos, têm levado a indústria a buscar métodos eficazes e econômicos para capturar, armazenar e

converter a energia solar em energia útil para aplicações industriais, sendo esta abundante, gratuita e limpa, não gera ruído ou poluição ao meio ambiente. Segundo os mesmos autores, as aplicações de energia solar na indústria estão divididas em fotovoltaica e térmica, esta considerada a mais econômica dentre as energias renováveis, utilizada para obtenção água quente, vapor, secagem e processos de desidratação, pré-aquecimento, pasteurização, esterilização, lavagem, limpeza, reações químicas, aquecimento do ambiente industrial, preparação de alimentos, transformação de plástico, construção, indústria têxtil e estabelecimentos de serviço, e que sistemas solares podem ser integrados a um típico sistema, geralmente composto por fonte de alimentação, planta de produção, recuperação de energia e sistema de refrigeração, como se pode ver na Figura 5.

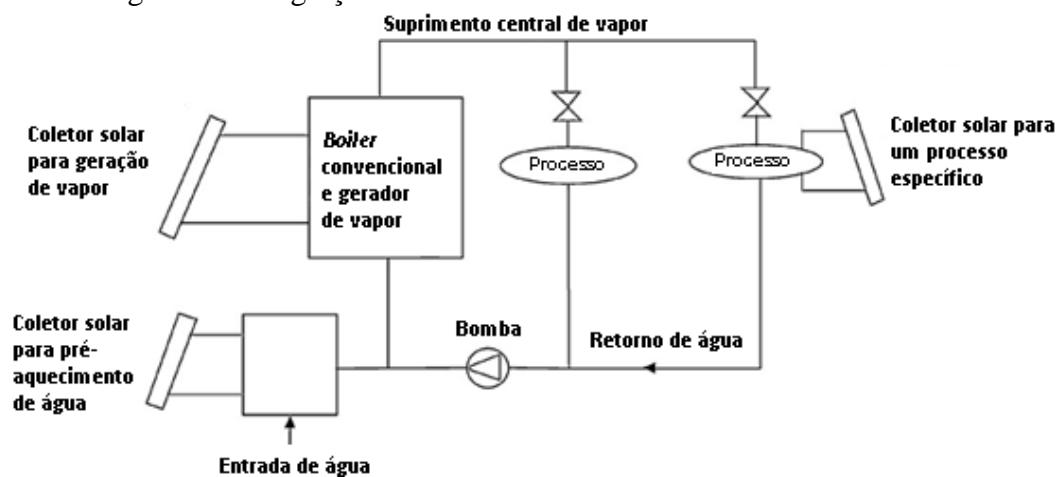
Figura 5 – Sistema de energia industrial típico



Fonte: Adaptado de Mekhilef *et al.* (2011).

Sistemas de aquecimento solar podem ser utilizados tanto como fonte de alimentação para sistemas de aquecimento, quanto diretamente em etapas do processo produtivo, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Integração de coletor solar em sistema térmico industrial



Fonte: Adaptado de Mekhilef *et al.* (2011).

Diferentes tipos de coletores são utilizados para capturar energia solar para o aquecimento de água: os estacionários custam menos do que os móveis e do que concentradores e os sistemas de aquecimento de água podem ser de circulação natural (efeito sifão) ou de circulação forçada (com recirculação). Também podem ser pressurizados ou não pressurizados, sendo os custos tanto maiores quanto maior for a pressão (sistemas para temperaturas acima de 100°C são pressurizados). Deve-se considerar que a energia solar não está disponível 24 horas por dia, portanto a água aquecida deve ser acumulada para ser consumida de forma controlada, devendo ainda receber aquecimento complementar originado de outra fonte de energia, quando necessário (MEKHILEF *et al.* 2011).

Para Cottret e Menichetti (2010), o principal componente de um sistema de energia solar é o coletor solar, o trocador de calor que transforma a energia da radiação solar em calor e transfere o calor para o fluido de trabalho que circula pelo sistema. Os coletores solares térmicos podem ser classificados conforme cinco características: o movimento do sistema, o tipo de coletor, o tipo de absorção, a característica de concentração ou não concentração do sistema e a gama da temperatura entregue. Sistemas estacionários não têm mecanismos para acompanhar o sol, instalado orientado para o norte com um ângulo de inclinação horizontal aproximadamente igual à latitude do local, sistemas de rastreamento de um só eixo permitem ao sistema seguir o sol; sistemas de dois eixos perpendiculares entre si seguem o sol nos sentidos Leste-Oeste e Norte-Sul, obtendo temperaturas mais elevadas.

Os coletores mais comuns são os de placa plana, mais baratos e convenientes para temperaturas até 80°C, são fáceis de utilizar e necessitam pouca manutenção. Coletores de tubos evacuados também são bastante comuns e podem atingir temperaturas superiores, até 130°C, são feitos de tubos de vidro a vácuo (a ausência de ar reduz perdas térmicas de convecção e condução), têm um componente absorvente para manter o vácuo no interior do tubo e um indicador visual do estado de vácuo, mais complexo e mais caro que os de placa plana. Os coletores de concentrador parabólico composto foram concebidos para reduzir as perdas de calor e reduzir a área de absorção (a perda de calor é proporcional à área de absorção), utilizam refletores que direcionam a radiação incidente para um absorvedor tubular no centro da curvatura do concentrador, evacuado ou não, podendo fornecer temperaturas até 200°C. Os coletores Fresnel são concentradores parabólicos com um concentrador secundário formado por lentes sobre o tubo de absorção. Os coletores concentradores de calha parabólica direciona a radiação solar direta através de espelho de superfície curva em forma parabólica para um tubo de absorção ao longo do comprimento da calha (as calhas são normalmente

concebidas para seguir o sol ao longo de um eixo orientado no Norte-Sul ou direção Leste-Oeste), o receptor é constituído de um tubo de absorção de uma área geralmente de 25 a 35 vezes menor do que a abertura do coletor, de cerca de seis metros (COTTRET e MENICHETTI, 2010).

Nos estudos de Kalogirou (2003) diversos tipos de coletores de energia solar disponíveis no mercado são mostrados, como se pode ver na Tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de coletores de energia solar

Movimento	Tipo de coletor	Faixa de Temperatura (°C)
Estacionário	Coletor de placa plana	30 - 80
	Coletor de tubo evacuado	50 - 200
	Coletor parabólico composto	60 - 240
Um eixo de acompanhamento	Coletor de lente Fresnel	60 - 250
	Coletor de calha parabólica	60 - 300
	Coletor de calha cilíndrica	60 - 300
Dois eixos de acompanhamento	Refletor parabólico	100 - 500
	Coletor de campo Heliostático	150 - 2000

Fonte: Kalogirou (2003)

A pesquisa do autor mostra que quase todos os processos industriais exigem calor, que 15% do total de energia consumida na indústria é para aquecimento e que 40% das aplicações industriais térmicas exigem baixas temperaturas (de 20°C a 200°C), sendo 13% até 100°C e 27% até 200°C. Sistemas de aquecimento solar de água nessas faixas de temperaturas são empregados na indústria geralmente em aplicação direta ou em pré-aquecimento, integrados a outros sistemas convencionais de aquecimento de água, para usos em limpeza, lavagem, tingimento, esterilização, pasteurização, destilação, produção de vapor e outras (KALOGIROU, 2003).

Kalogirou (2003) estudou ainda várias possibilidades viáveis de aplicação de sistemas de aquecimento solar de água em processos industriais para diferentes níveis de temperatura: baixas, médias e médias-altas, com restrições para utilizações em horas muito cedo do dia ou muito tarde da noite, ou para operações de mais de um turno. Para ele, os sistemas mais eficazes e de menor custo/benefício são aqueles para pré-aquecimento, utilizando sistemas de baixa tecnologia (coletores planos, por exemplo) e cuja taxa de fornecimento não necessite ser maior do que a velocidade demandada de água quente. A Tabela 3 mostra aplicações de água quente em processos de diferentes setores industriais:

Tabela 3 – Faixas de temperaturas para diferentes processos industriais

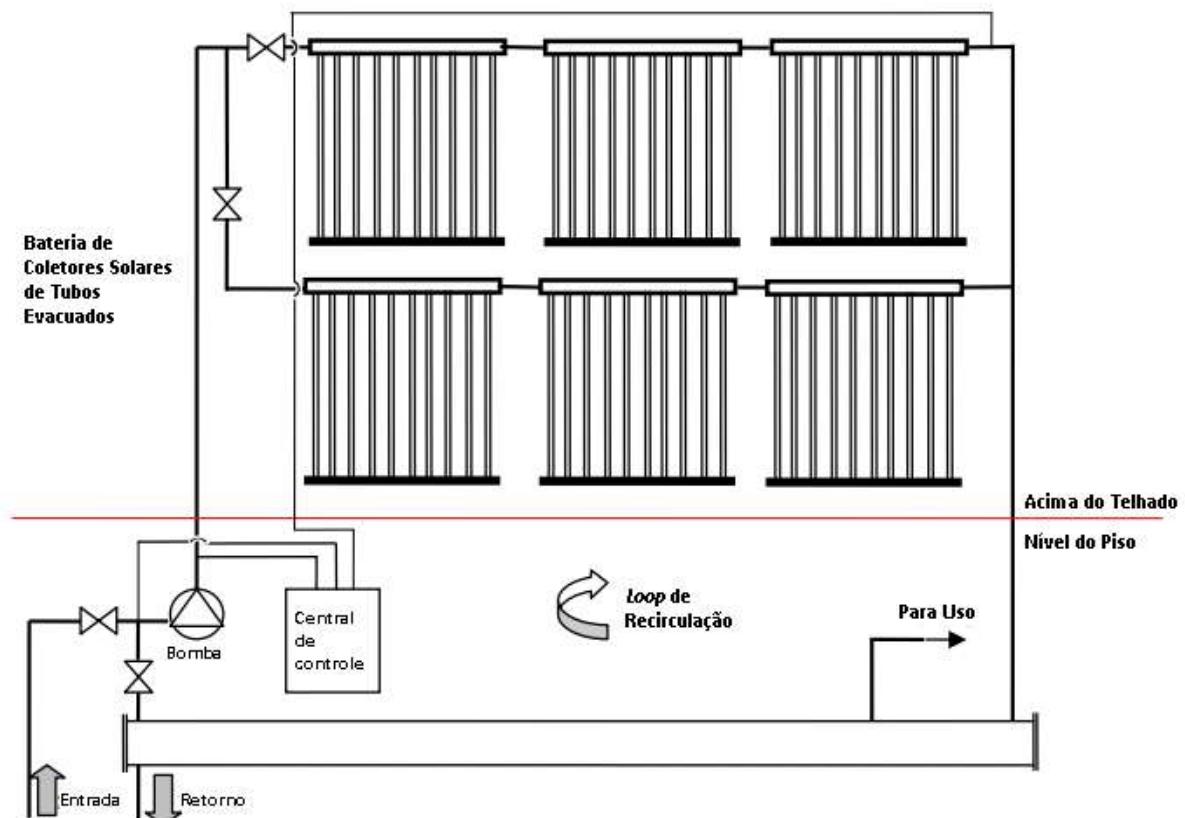
Indústria	Processo	Temperatura (°C)
Laticínio	Pasteurização	60 - 80
	Esterilização	100 - 120
	Secagem	120-180
	Concentrados	60 - 80
	Água de alimentação de caldeiras	60 - 90
Alimentos em conserva	Esterilização	110 - 120
	Pasteurização	60 - 80
	Cozimento	60 - 90
	Branqueamento	60 - 90
Têxtil	Branqueamento, tingimento	60 - 90
	Secagem, desengorduramento	100 - 130
	Tingimento	70 - 90
	Fixação	160 - 180
	Impressão	80 - 100
Papel	Cozimento, secagem	60 - 80
	Água de alimentação de caldeiras	60 - 90
	Branqueamento	130 - 150
Química	Sabonetes	200 - 260
	Borracha sintética	150 - 200
	Aquecimento de processos	120 - 180
	Pré-aquecimento de água	60 - 90
Carne	Lavagem	60 - 90
	Cozimento	90 - 100
Bebidas	Lavagem, esterilização	60 - 80
	Pasteurização	60 - 70
Farinhas e subprodutos	Esterilização	60 - 80
Madeira e subprodutos	Termodifusão de vigas	80 - 100
	Secagem	80 - 100
	Pré-aquecimento de água	60 - 90
	Preparação de polpa	120 - 170
Tijolos e blocos	Cura	60 - 140
Plásticos	Preparação	120 - 140
	Destilação	140 - 150
	Separação	200 - 220
	Extensão	140 - 160
	Secagem	180 - 200
	Mistura	120 - 140

Fonte: Kalogirou (2003)

Para aplicações em processos industriais que utilizam água quente, é mais apropriada a utilização dos sistemas que utilizam coletores do tipo estacionário. A escolha do sistema de aquecimento vai depender da temperatura necessária ao processo (KALOGIROU, 2003).

Islam *et al.* (2013) apresentam uma descrição detalhada de diferentes tipos de coletores solares e das diferentes formas de integração de sistemas de aquecimento solar. Descrevem os sistemas termossifão, os sistemas de circulação diretos, nos quais a água circula do tanque de armazenamento para o coletor para obter aquecida, fluindo de volta para o sistema de armazenamento e daí para o usuário final. Sistemas indiretos utilizam dois circuitos de circulação para efetuar o aquecimento: (a) coletor fechado (*loop*) e (b) o circuito aberto de armazenamento (tanque). O fluido de transferência de calor circula dentro do *loop* para obter o calor, que é então transferido por um trocador de calor para a água de processo que flui num circuito aberto para o tanque de armazenamento, como mostra a Figura 7. Existem diferentes tipos de fluidos de trabalho utilizados no circuito fechado, tais como a água, refrigerantes e misturas anticongelantes. O trocador de calor pode ser instalado quer como um sistema interno ao tanque de armazenagem, quer como um sistema externo.

Figura 7 – Esquema de um circuito de aquecimento indireto



Fonte: Adaptado de Islam *et al.* (2013).

Segundo Cottret e Menichetti (2010), a indústria representa um setor-chave para o crescimento da participação das energias renováveis no composto de consumo energético total no mundo. Mencionam que o aquecimento solar para processos industriais ainda está em estágio inicial de desenvolvimento. Destacam também que há grandes possibilidades de aplicações de sistemas de aquecimento solar com coletores planos e tubos evacuados para aplicações de temperaturas de até 250°C nas indústrias alimentícias, têxteis e de bebidas.

Estudos apresentados por Vannoni *et al.* (2008) enfatizam o potencial de utilização de aquecimento solar para processos industriais, destacando que os processos que requerem temperaturas de até 100°C representam 30% das aplicações e que os principais setores que favorecem sistemas de aquecimento solar são de alimentos, incluindo produção de vinho e cerveja, têxteis, tratamento de metais e plásticos, química e outros, em processos de limpeza, secagem, evaporação e destilação, pasteurização e esterilização, cozimento, pintura, tratamento superficial e outros. A Tabela 4 apresenta uma visão geral de aplicações de sistemas de aquecimento solar para setores industriais em diferentes países.

Tabela 4 – Visão geral dos setores industriais com aquecimento solar instalado

Setores industriais	Áustria	Península Ibérica	Itália	Holanda	Grécia	Alemanha	Wallonia (Bélgica)	Vitória (Austrália)
Produtos alimentícios	x	x	x	x	x		x	x
Vinhos e bebidas	x	x	x	x			x	x
Cerveja e malte		x	x	x		x	x	x
Produtos de tabaco		x	x		x		x	
Têxtil e confecções	x	x	x	x	x		x	x
Curtume e produtos de couro		x	x		x			
Papel e celulose		x	x	x	x	x	x	x
Indústria química		x	x		x		x	x
Máquinas e equipamentos								x
Transporte e atividades auxiliares de transporte	x	x	x		x	x		
Outros setores	x				x		x	x

Fonte: Vannoni *et al.* (2008)

Na Alemanha, Lauterbach *et al.* (2012) estudaram quais são os setores industriais de maior viabilidade e com maior potencial de utilização de aquecimento solar nos seus processos produtivos, sendo que naquele país as indústrias consomem 27% do total de energia e que 74% desse consumo é para geração de calor. Foram estudados onze setores, que

demandam 88% do total de energia consumida pela atividade industrial e temperaturas abaixo de 300°C: processos químicos, alimentos e bebidas, motores de veículos, papel, processamento de metais, máquinas e equipamentos, borracha e plástico, equipamentos elétricos, têxtil, gráficas e madeira. Concluíram que os processos que utilizam temperaturas de até 100°C são os mais promissores, seguidos dos que utilizam temperaturas entre 100°C (27% das aplicações) e 200°C (8% das aplicações) e que os setores químico e de alimentos e bebidas são os que apresentam maior potencial de utilização de aquecimento solar de água.

2.1.2 Exemplos de aplicações industriais de aquecimento solar de água no mundo

Diferentes autores apresentam em seus estudos exemplos de utilização de sistemas de aquecimento solar de água já implementados em diferentes países, conforme serão apresentados a seguir.

Mekhilef *et al.* (2011) mencionam aplicações na indústria alimentícia na Alemanha, no processamento de leite, alimentos cozidos e cervejarias, para lavagem, limpeza, esterilização, pasteurização, cozimento e outros. Em cervejarias, 80% do consumo total de energia é demandado por aquecimento nas diversas etapas da produção de cerveja. Na indústria de alimentos em conserva, processos de preparação de vegetais, carnes e pescados utilizam aquecimento solar para escaldamento, esterilização, limpeza, pré-cozimento, dentre outros. Indústrias de laticínios utilizam aquecimento solar de água para os processos de pasteurização e esterilização de leite.

Estudos de Beath (2012) mostram um histórico de aplicações de energia solar para aquecimento em processos industriais na Austrália. Em 2006, o governo australiano propôs o programa *Energy Efficiency Opportunities*, estimulando 250 indústrias grandes consumidoras de energia a participarem da ação para redução de consumo de energia. Parte dessas aplicações está nos setores de mineração, produção de materiais de construção e de processamento químico de minérios e a maioria delas é para altas temperaturas, sendo que o aquecimento solar é utilizado para pré-aquecimento dos processos ou para geração de eletricidade. As aplicações de água quente estão relacionadas à indústria de madeira para construção, de papel, têxtil, de processamento de lã, em Warrnambool. Menciona ainda a aplicação de sistemas solares de aquecimento em indústrias de alimentos, especialmente para cozimento e limpeza, na produção de ingredientes e produtos para humanos e para animais, de processamento de carne, frango e açúcar, em centros industriais localizados ao longo a bacia

do rio Murray-Darling desde Brisbane até Adelaide incluindo Perth, além de fábrica de extração de óleo vegetal em Narrabri e produção de farinha em Tamworth. O estudo apresenta ainda aplicações de governos municipais em tratamento de água para consumo residencial, além de pequenas operações de processamento de alimento, como padarias, alimentos enlatados, laticínios ao longo da costa leste e em Queensland e New South Wales.

Fuller (2011) apresenta estudos sobre a situação passada e presente da utilização de sistemas de aquecimento solar para fins industriais na Austrália.

Tabela 5 – Sistemas de aquecimento solar de grande porte - Austrália 1976-1984

Aplicação	Área de coletores	Tipo de coletor
Aquecimento de enlatados	94	Placa plana
Pasteurização de cerveja	178	Placa plana
Lavagem de garrafas	143	Placa plana
Pré-aquecimento para gerar vapor em indústria de laticínio	180	Placa plana
Pasteurização de leite	190	Placa plana
Aquecimento de cuba de chocolate	110	Placa plana
Hospital	196	Evacuado
Hospital	286	Placa plana
Secagem de ervas	600	Placa plana
Condicionamento de ar	508	Placa plana
Aquecimento em hotel	3855	Placa plana

Fonte: Adaptado de Fuller (2011)

Seu estudo indicou algumas plantas industriais, aplicação, área e tipos de coletores, conforme mostradas na Tabela 5, cuja a maioria de coletores planos, envolvendo projetos com área coletora entre 90m² e 200m² instalados de 1976 a 1984. Realizou uma pesquisa mais recente por telefone com alguns dos principais fabricantes e instaladores de painéis solares do país, identificando uma demanda razoável para sistemas solares médios, para usos não domésticos, na faixa de 50m² (cerca de 50 sistemas), além de outros sistemas maiores, de 150m² a 200m².

Quijera *et al.* (2011) apresentam um estudo de caso no qual uma indústria de laticínio localizado nos Países Bascos, Espanha, utilizam aquecimento solar de água para redução do consumo de energia, na pasteurização de leite e na limpeza dos tanques de leite após seu

esvaziamento. A água quente da pasteurização é reutilizada para limpeza e para fazer o leite coalhar.

Calderoni *et al.* (2012) apresentam um estudo de viabilidade para três aplicações de aquecimento solar de água na indústria têxtil, de fabricação de roupas. Uma delas utiliza aquecimento de água para tingimento de tecidos e utiliza um sistema de aquecimento solar composto por coletores planos e a água suja descartada é utilizada para pré-aquecer água limpa. Outra utiliza aquecimento para passar roupa a vapor e para lavagem de roupas, por meio de um sistema de coletores parabólicos utilizado para gerar vapor pela energia solar. A terceira empresa utiliza aquecimento solar para lavagem e secagem de roupas, utilizando também sistema de coletores parabólicos para gerar vapor. Nos três casos, o sistema é economicamente viável se o tempo de retorno for menor do que a vida útil dos sistemas, dependendo do grau de subsídio do governo para aquisição dos sistemas e do grau de subsídio do governo para a energia consumida pela indústria.

Karagiorgas *et al.* (2001) estudaram aplicações de aquecimento solar na Grécia, tendo definido cinco setores com bom potencial para uso desses sistemas: alimentos, agroindústria, têxtil (incluindo curtumes de couro), química (higiene, limpeza e farmacêutico) e bebidas, e apresentaram dez sistemas de aquecimento solar de água em funcionamento por dez anos, desde 1990.

- Indústria de laticínios Mandrekas, utiliza água aquecida para banheiros da fábrica e também alimenta o processo de maturação de iogurte (45°C constante), para o qual fornece água pré-aquecida para geração de vapor - consumo do processo 15m³/dia;
- Vinícola Achaia Clauss, utiliza água aquecida (60-75°C) para lavar e esterilizar garrafas, fornecida pelo sistema solar de aquecimento em circuito fechado, aquecendo reservatórios pela troca de calor, substituiu caldeira aquecida por diesel - consumo do processo 100m³/dia;
- Indústria de confecção infantil Allegro, utiliza água aquecida (40-90°C) para abastecer máquinas de lavar roupas e pré-aquecimento de caldeira elétrica que gera vapor para passar a roupa, substitui caldeira aquecida por diesel - consumo do processo 1,4m³/dia;

- Indústria de laticínios Alpino, utiliza água pré-aquecida na geração de vapor em processos de pasteurização, esterilização, evaporação e secagem, além de limpar e desinfetar máquinas e utensílios da produção - consumo do processo 40m³/dia;
- Indústria têxtil Kastrinogiannis, utiliza água pré-aquecida na geração de vapor para processos de tingimento e acabamento de tecidos - consumo do processo 10m³/dia;
- A produtora de plantas ornamentais Kozani Greenhouses, utiliza água aquecida (45°C) para aquecer o solo e o ambiente de produção das plantas, que deve ter sua temperatura controlada - 80m² de coletores de placa plana;
- Indústria de laticínios Mevgal, utiliza água pré-aquecida na geração de vapor em processos de pasteurização, esterilização, evaporação e secagem, além de limpar e desinfetar máquinas e utensílios da produção - consumo do processo 150m³/dia;
- Indústria têxtil Plektemboriki, produz óleo de oliva e fibras, utiliza água pré-aquecida nos tanques de tratamento das fibras em cujo aquecimento final (90°C) é realizado por resistências elétricas - 50m² de coletores de placa plana;
- Indústria química Sarantis, produz cosméticos e utiliza sistema solar para resfriamento do ambiente para uma temperatura de 27°. A água quente proveniente do sistema de aquecimento solar aciona um sistema de *chillers* de adsorção;
- Indústria Tripou-Katsouri é um curtume de couro, e utiliza água aquecida (40-90°) em diferentes fases do processo de curtume, pré-aquecendo água de tanques que suprem gerador de vapor - consumo do processo 15m³/dia.

Todas as aplicações, exceto a primeira, utilizam sistema de aquecimento solar em circuito fechado no qual circula água-glicol, aquecendo a água fria dos reservatórios de água de processo por meio de trocadores de calor submerso nesses. Todos os sistemas contam com algum aquecimento complementar, quer seja a gás, diesel, óleo combustível ou elétrico.

Cottret e Menichetti (2010) apresentam um projeto conduzido na região do Mediterrâneo, envolvendo Marrocos, Tunísia, Egito, Jordânia e Turquia para desenvolvimento de aquecimento solar para processos industriais, para os qual exemplifica com aplicações implantadas e em funcionamento:

- Empresa de transporte Contank (Barcelona - Espanha), utiliza água aquecida (70-80°) e vapor em processos de lavagem de contêineres de transporte de líquidos. O sistema solar de aquecimento é complementado por um sistema a gás - consumo do processo 70-80m³/dia, 500m² de coletores de placa plana;
- Indústria de laticínios Tyras (Trikala - Grécia), o sistema solar provê 7% das necessidades de aquecimento da fábrica e o restante é obtido por caldeira a gás - 1000m² de coletores de placa plana;
- Indústria química Keminova (Brescia - Itália), produz cosméticos e utiliza o sistema de aquecimento solar para pré-aquecer fluidos de processo, aquecimento de emulsões e aquecimento do ambiente da fábrica. O sistema solar de aquecimento é complementado por um sistema a gás - 90m² de coletores de placa plana;
- Indústria de processamento de carne de frango, United Chicken Company (Egito), o sistema solar provê água aquecida (50-60°) como pré-aquecimento para abastecimento da caldeira, sendo que o sistema de vapor alimenta dois escaldadores - consumo do processo 26m³/dia, 350m² de coletores de placa plana;
- Indústria têxtil Misr Helwan Textile Company (Egito), o sistema solar provê água aquecida (50-60°) que em adição a um sistema de recuperação de calor abastecia o processo de branqueamento de tecidos - consumo do processo 26m³/dia, 350m² de coletores de placa plana;
- Indústria de laticínios (Russeifa - Jordânia), o sistema solar provê água aquecida (60°C) para dissolver leite em pó e para lavar contêineres - 128m² de coletores de placa plana.

2.2 Panorama do setor industrial brasileiro

A indústria representa uma importante participação na economia brasileira. Pesquisa recente da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo - FIESP relata a dimensão da atividade industrial brasileira, considerando três indicadores: a participação da indústria no Produto Interno Bruto - PIB, o número de empregos formais do setor e o número de estabelecimentos industriais. As Figuras 8, 9 e 10 mostram, respectivamente, a participação da indústria nos três indicadores.

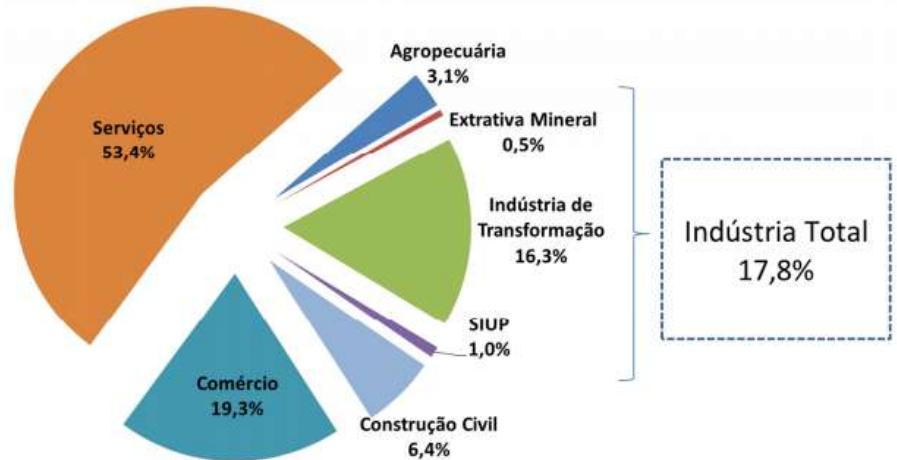
Figura 8 – PIB por setores na economia brasileira - 2013



Fonte: FIESP (2014)

A indústria total é constituída pela indústria de transformação, pela indústria extractiva mineral e pelos serviços industriais de utilidade pública (SIUP - fornecimentos de água, eletricidade etc.).

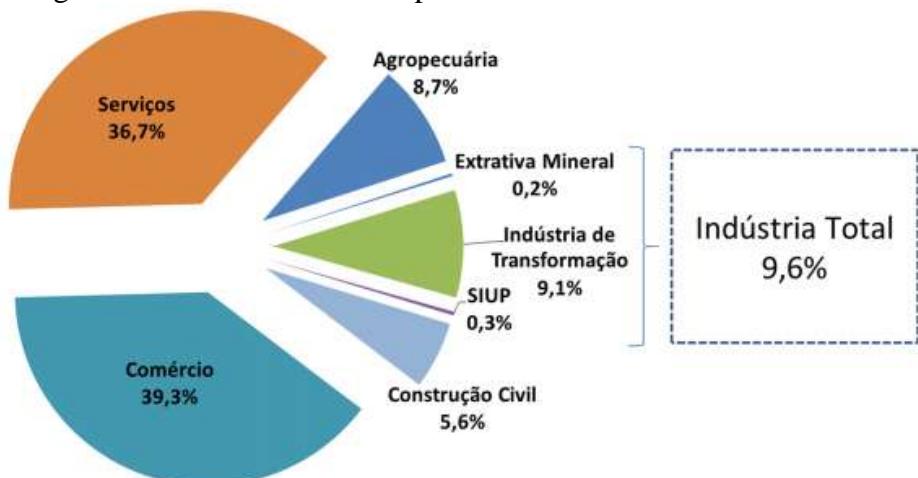
Figura 9 – Empregos formais por setores da economia brasileira - 2012



Fonte: FIESP (2014)

A Figura 9 mostra as participações dos setores apenas no emprego formal, entretanto cada setor possui uma taxa de formalidade. Em 2012, a indústria total apresentou uma taxa de formalidade de emprego de 75%, maior do que a taxa de formalidade média de todos os setores, de 66%.

Figura 10 – Estabelecimentos por setor da economia brasileira - 2012



Fonte: FIESP (2014)

Em 2012, o número total de estabelecimentos industriais era superior a 355mil, sendo que a indústria de transformação representou cerca de 95% desses estabelecimentos, conforme apresenta a Figura 10 (FIESP, 2014).

2.2.1 A indústria de transformação no Brasil

Entretanto, o relatório da FIESP (2014) mostra que apesar desses números significativos na atualidade, historicamente a evolução da atividade industrial brasileira apresenta basicamente dois períodos distintos. O primeiro, de 1950 a 1985, foi marcado por intenso crescimento, diversificação e consolidação da estrutura industrial brasileira. O segundo, desde 1986 até o presente, marcado por um processo de desindustrialização. Desde a década de 1980 ocorreu mundialmente o processo de desindustrialização, resultado dos ganhos de produtividade na indústria de transformação, o que transferiu trabalhadores para os outros setores da economia. No Brasil, o processo de desindustrialização recente está associado à perda de competitividade das exportações industriais e ao aumento das importações não somente de bens de capital, de consumo e de insumos industriais. Atualmente, a participação da indústria no PIB brasileiro é equivalente à segunda metade da década de 1950.

Tendo em vista que anteriormente foi identificada maior potencialidade de aplicação dos sistemas de aquecimento solar de água nos setores industriais de alimentos, bebidas, têxtil e químico, será apresentado a seguir a participação desses setores na indústria brasileira, como forma de buscar levantar o potencial de aplicação dos sistemas de aquecimento no setor, a partir dos dados da pesquisa da FIESP (2014).

A Tabela 6 mostra a distribuição do valor adicionado entre os setores industriais e sua participação no PIB. O valor adicionado (VA) é resultado do valor bruto da produção menos o custo intermediário e representa a produção da indústria em valores monetários.

Tabela 6 – Valor adicionado da indústria de transformação por setores no Brasil - 2011

Setores	VA - Valor Adicionado (R\$ milhões)	% do VA na Indústria de transformação	% do VA no PIB
Setores favoráveis ao aquecimento solar:			
• Produtos alimentícios	76.819	14,9%	2,2%
• Bebidas	19.095	3,7%	0,5%
• Produtos têxteis	9.900	1,9%	0,3%
• Produtos químicos	41.020	8,0%	1,2%
• Subtotal	146.834	28,5%	4,2%
Coque, derivados de petróleo e biocombustíveis	64.115	12,4%	1,8%
Veículos automotores, carrocerias e autopeças	60.565	11,8%	1,7%
Metalurgia	31.115	6,0%	0,9%
Máquinas e equipamentos	29.285	5,7%	0,8%
Produtos de minerais não metálicos	27.742	4,2%	0,6%
Prods. de metal, exc. máqs. e equiptos.	20.609	4,0%	0,6%
Prods. de borracha e de material plástico	19.697	3,8%	0,6%
Celulose, papel e produtos de papel	17.392	3,4%	0,5%
Máqs., aparelhos e materiais elétricos	16.388	3,2%	0,5%
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	13.484	2,6%	0,4%
Produtos farmoquímicos e farmacêuticos	13.396	2,6%	0,4%
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	11.303	2,2%	0,3%
Outros equipamentos de transporte, exc. veículos automotores	9.545	1,9%	0,3%
Artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	8.461	1,6%	0,2%
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	6.358	1,2%	0,2%
Móveis	6.018	1,2%	0,2%
Produtos diversos	5.759	1,1%	0,2%
Produtos de madeira	5.171	1,0%	0,1%
Impressão e reprodução de gravações	4.386	0,9%	0,1%
Produtos de fumo	3.776	0,7%	0,1%
Total da indústria de transformação	515.441	100,0%	14,6%

Fonte: Adaptado de FIESP (2014).

Conforme dados da Tabela 6, pode-se identificar que a participação do valor adicionado dos setores de alimentos, bebidas, químico e têxtil representa, respectivamente 28,5% da indústria de transformação brasileira e 4,2% do PIB brasileiro. Ao se considerar as

indústrias farmacêutica, de couro e de confecção as participações desses setores aumentam para 34,9% da produção da indústria de transformação e 5,1% do PIB.

A Tabela 7 mostra a distribuição do número de empregados formais entre os setores industriais. Segundo a FIESP (2014), o setor de alimentos se destaca por aparecer entre os três principais setores em quantidade de empregados formais em todos os Estados, exceto no Amazonas, além de ser bastante desconcentrado regionalmente. Juntos, os setores de alimentação, bebidas, químico e têxtil empregam 27,9% dos trabalhadores formalmente contratados pela indústria de transformação brasileira.

Ao se considerar as indústrias farmacêutica, de couro e de confecção as participações desses setores aumentam para 43,3% dos empregos da indústria de transformação.

Tabela 7 – Empregados formais por setores da indústria de transformação brasileira - 2012

Setores	Empregados formais	Participação
Setores favoráveis ao aquecimento solar:		
• Produtos alimentícios	1.438.869	18,6%
• Bebidas	144.689	1,9%
• Produtos têxteis	298.619	3,9%
• Produtos químicos	274.919	3,5%
• Subtotal	2.157.096	27,9%
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	695.172	9,0%
Produtos de metal, exc. máquinas e equipamentos	539.641	7,0%
Veículos automotores, carrocerias e autopeças	514.483	6,6%
Produtos de borracha e de material plástico	452.373	5,8%
Produtos de minerais não metálicos	451.568	5,8%
Máquinas e equipamentos	410.587	5,3%
Artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	401.849	5,2%
Móveis	279.558	3,6%
Metalurgia	251.651	3,2%
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	228.222	2,9%
Produtos de madeira	196.792	2,5%
Celulose, papel e produtos de papel	177.230	2,3%
Equiptos. de informática, prods. eletrônicos e ópticos	175.462	2,3%
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	169.338	2,2%
Coque, derivados de petróleo e biocombustíveis	160.979	2,1%
Produtos diversos	149.441	1,9%
Impressão e reprodução de gravações	126.152	1,6%
Outros equiptos. de transporte, exc. veículos automotores	105.422	1,4%
Produtos farmoquímicos e farmacêuticos	96.618	1,2%
Produtos de fumo	14.911	0,2%
Total da indústria de transformação	7.754.545	100,0%

Fonte: Adaptado de FIESP (2014).

A Tabela 8 mostra a distribuição do número de estabelecimentos entre os setores industriais. Os setores de alimentação, bebidas, químico e têxtil, juntos representam 19,3% dos estabelecimentos industriais de transformação brasileira. Ao se considerar as indústrias farmacêutica, de couro e confecção, as participações desses setores aumentam para 41,2% da produção da indústria de transformação.

Tabela 8 – Estabelecimentos da indústria de transformação por setores no Brasil - 2012

Setores	Número de estabelecimentos	Participação
Setores favoráveis ao aquecimento solar:		
• Produtos alimentícios	42.567	12,6%
• Bebidas	2.383	0,7%
• Produtos têxteis	11.065	3,3%
• Produtos químicos	9.143	2,7%
• Subtotal	65.158	19,3%
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	58.456	17,4%
Produtos de metal, exc. máquinas e equipamentos	38.456	11,4%
Produtos de minerais não metálicos	27.102	8,0%
Móveis	20.145	6,0
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	16.200	4,8%
Produtos de madeira	16.010	4,8%
Produtos de borracha e de material plástico	14.482	4,3%
Máquinas e equipamentos	14.292	4,2%
Impressão e reprodução de gravações	14.267	4,2%
Artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	14.038	4,2%
Produtos diversos	11.825	3,5%
Veículos automotores, carrocerias e autopeças	6.184	1,8%
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	4.562	1,4%
Metalurgia	4.469	1,3%
Celulose, papel e produtos de papel	4.458	1,3%
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	3.672	1,1%
Outros equipamentos de transporte, exc. veículos automotores	1.197	0,4%
Produtos farmoquímicos e farmacêuticos	929	0,3%
Coque, derivados de petróleo e biocombustíveis	644	0,2%
Produtos de fumo	233	0,1%
Total da indústria de transformação	336.779	100,0%

Fonte: Adaptado de FIESP (2014)

Analisando os estabelecimentos por porte, observa-se que os setores de alimentação, bebidas, químico e têxtil reúnem 61.753 (94,7%) de pequeno porte, 2.662 (4,1%) de médio porte e 763 (1,2%) de grande porte, conforme mostra a Tabela 9. Destaca-se, dentre os quatro segmentos, o setor alimentício, que reúne cerca de 65% dos estabelecimentos, e o setor de bebidas que é ligeiramente mais desconcentrado, com maior percentual de estabelecimentos de médio e grande porte.

Destaca-se ainda que em todos os três indicadores a análise da dimensão da indústria brasileira, a participação da indústria no Produto Interno Bruto - PIB, o número de empregos formais do setor e o número de estabelecimentos industriais, a ordem de participação por Estados é de São Paulo em primeiro, Minas Gerais em segundo e Rio Grande do Sul em terceiro, nesta ordem, inclusive quanto ao número de estabelecimentos de grande porte, seguidos de Santa Catarina e Paraná, que se revezam na quarta e quinta posições.

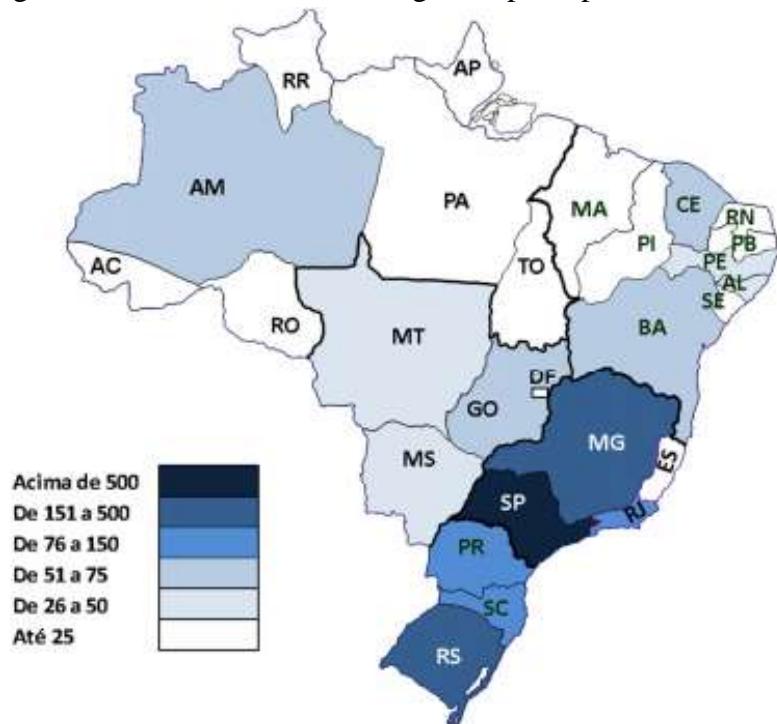
Tabela 9 – Estabelecimentos por porte para setores da indústria de transformação no Brasil - 2012

Setores	Pequeno porte	Médio porte	Grande porte
Setores favoráveis ao aquecimento solar:			
• Produtos alimentícios	40.541 (95,2%)	1.489 (3,5%)	537 (1,3%)
• Bebidas	2.133 (88,7%)	193 (8,1%)	77 (3,2%)
• Produtos têxteis	10.521 (95,1%)	452 (4,1%)	92 (0,8%)
• Produtos químicos	8.558 (93,6%)	528 (5,8%)	57 (0,6%)
• Subtotal	61.753 (94,7%)	2.662 (4,1%)	763 (1,2%)
Coque, derivados de petróleo e biocombustíveis	435 (67,5%)	116 (18,0%)	93 (14,4%)
Produtos farmoquímicos e farmacêuticos	740 (79,7%)	144 (15,5%)	45 (4,8%)
Outros equipamentos de transporte, exc. veículos automotores	1.066 (89,1%)	96 (8,0%)	35 (2,9%)
Veículos automotores e autopeças	5.445 (88,0%)	525 (8,5%)	214 (3,5%)
Produtos de fumo	201 (86,3%)	23 (9,9%)	9 (3,9%)
Metalurgia	4.116 (92,1%)	269 (6,0%)	84 (1,9%)
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	4.181 (91,6%)	313 (6,9%)	68 (1,5%)
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	3.373 (91,9%)	238 (6,5%)	61 (1,7%)
Celulose, papel e produtos de papel	4.091 (91,8%)	305 (6,8%)	62 (1,4%)
Produtos de borracha e de material plástico	13.591 (93,8%)	796 (5,5%)	95 (0,7%)
Máquinas e equipamentos	13.528 (94,7%)	667 (4,7%)	97 (0,7%)
Artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	13.424 (95,6%)	508 (3,6%)	106 (0,8%)
Produtos de minerais não metálicos	26.529 (97,9%)	520 (1,9%)	53 (0,2%)
Produtos de metal, exc. máquinas e equipamentos	37.659 (97,9%)	739 (1,9%)	58 (0,2%)
Móveis	19.705 (97,8%)	409 (2,0%)	31 (0,2%)
Produtos diversos	11.608 (98,2%)	196 (1,7%)	21 (0,2%)
Produtos de madeira	15.790 (98,6%)	205 (1,3%)	15 (0,1%)
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	57.689 (98,7%)	712 (1,2%)	55 (0,1%)
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	16.000 (98,8%)	172 (1,1%)	28 (0,2%)
Impressão e reprodução de gravações	14.133 (99,1%)	118 (0,8%)	16 (0,1%)
Total da indústria de transformação	325.037 (96,5%)	9.733 (2,9%)	2.009 (0,6%)

Fonte: Adaptado de FIESP (2014).

A Figura 11 mostra o mapa da distribuição dos estabelecimentos industriais com mais de 500 empregados formais no Brasil por Estado, destacando que a maior concentração de estabelecimentos de grande porte está nos Estados das regiões Sudeste e Sul.

Figura 11 – Estabelecimentos de grande porte por estado - 2012



Fonte: FIESP (2014)

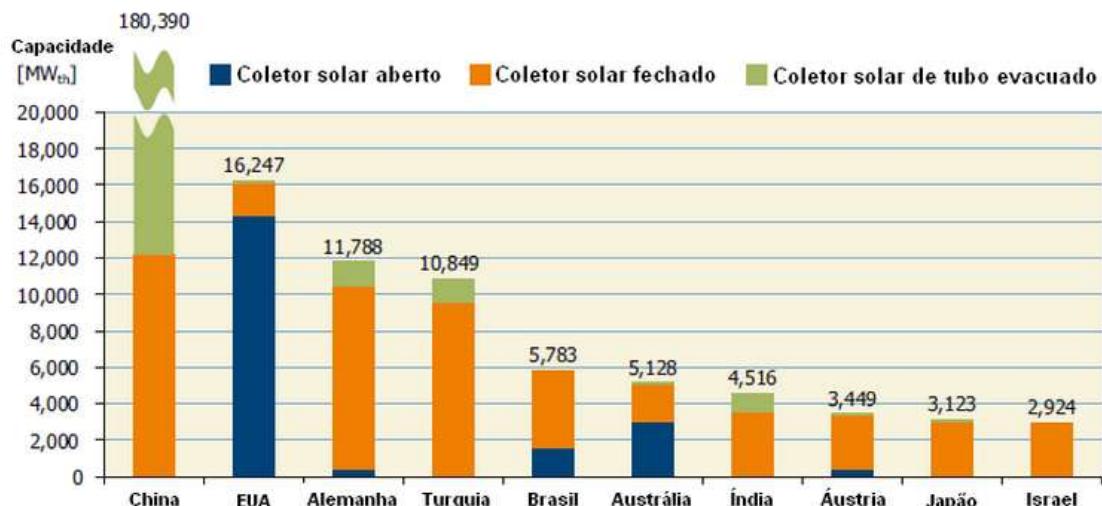
2.3 O setor de aquecimento solar de água no Brasil

No Brasil, o setor de aquecimento solar é representado oficialmente pelo Dasol – Departamento Nacional de Aquecimento Solar da Abrava (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento). Dados do Dasol (2013) informam que existem aproximadamente 200 empresas que atuam no setor, mais de 18% delas são associadas ao Dasol/Abrava, e representam mais de 80% do mercado nacional. Há fabricantes nacionais associados que produzem coletores planos fechados, que podem aquecer água a temperaturas de 30 a 80 graus Celsius. Alguns fabricantes comercializam coletores de tubos de vácuo, importados.

Apesar do grande número de indústrias que produzem equipamentos para sistemas de aquecimento solar de água, no Brasil são produzidos apenas coletores de energia solar do tipo aberto, para aquecimento de piscinas e coletores solares planos fechados com cobertura de vidro, não havendo, segundo Martins *et al.* (2012), produtores de coletores de tubos

evacuados em nosso país. Não foram identificados também, dentre as empresas associadas ao Dasol, fabricantes de outros tipos de coletores solares.

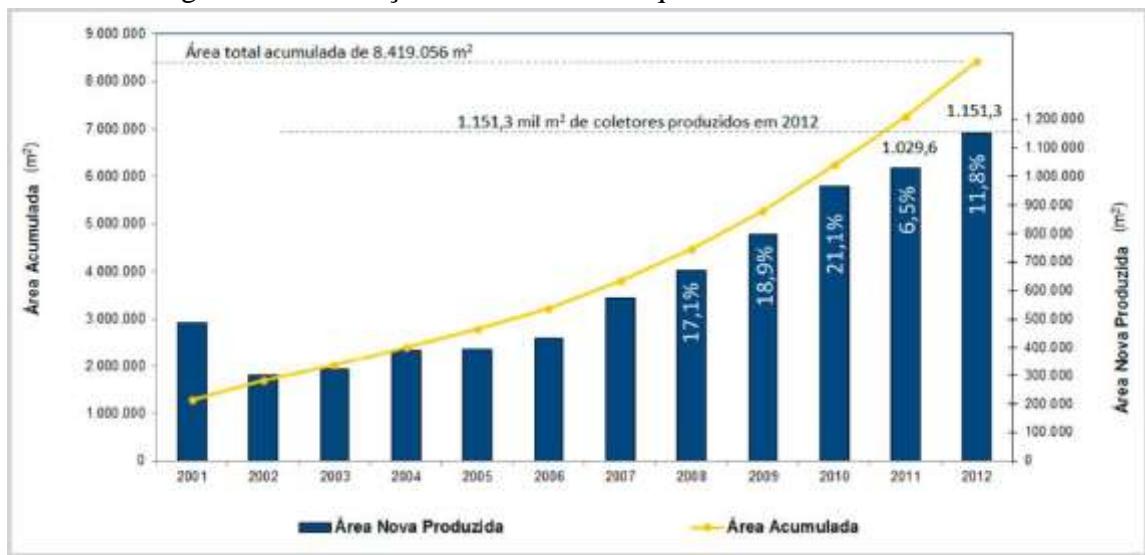
Figura 12 – Dez principais países com instalações acumuladas de aquecimento solar de água (MWth)



Fonte: Adaptado de Mauthner e Weiss (2014)

Segundo o histórico de pesquisas do Dasol (Figura 12), a área acumulada de coletores instalados no país é da ordem de 8,42 milhões de metros quadrados, colocando o Brasil entre os cinco maiores mercados do mundo nesse setor, segundo Mauthner e Weiss (2014), ficando atrás de China, Estados Unidos, Alemanha e Turquia. A produção de reservatórios de água quente é de aproximadamente 107 litros para cada metro quadrado de coletor.

Figura 13 – Evolução do mercado de aquecimento solar brasileiro



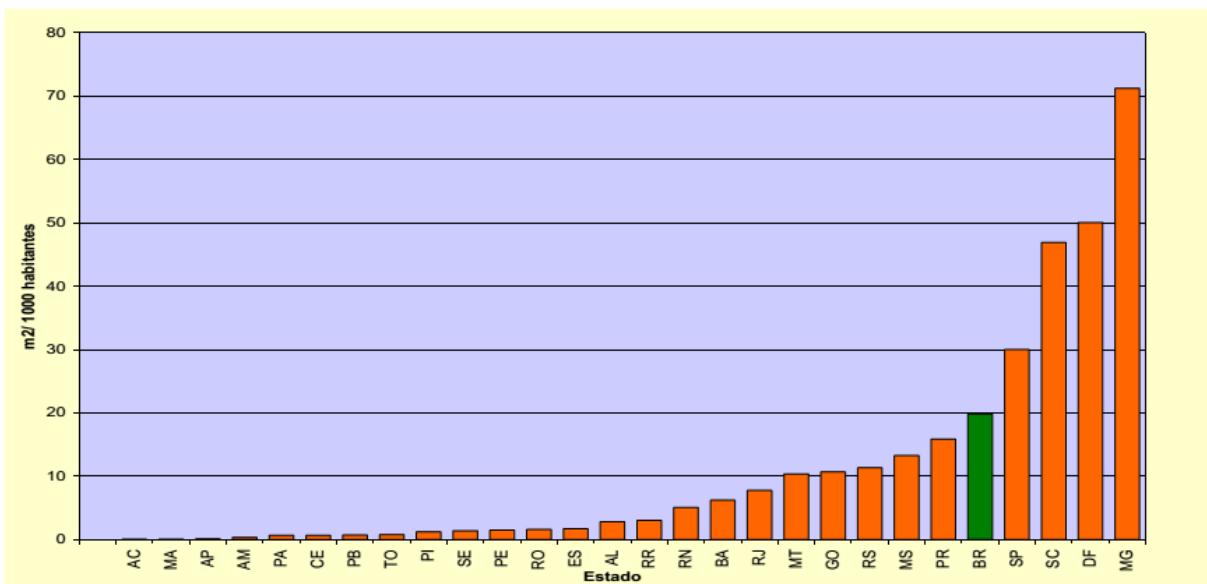
Fonte: Dasol (2013)

Por região, as vendas de coletores para sistemas de aquecimento solares estão distribuídas da seguinte forma, aproximadamente: 75% no Sudeste, 10% no Sul, 10% no Centro-Oeste, 4% no Nordeste e 1% no Norte. Dados do Dasol indicam crescimento das vendas nas regiões Sul e Centro-Oeste em 2013 e queda na região Sudeste.

Por setor de atividade, na aplicação de sistemas de aquecimento solar de água para fins residenciais participa com cerca de 60%, instalações em residências de programas habitacionais sociais com cerca de 20% e comércio e serviços com cerca de 18% (Figura 4). As aplicações industriais estão incluídas em comércio e serviços e são da ordem de 2%. Dados do Dasol indicam vendas de coletores para indústria perfazendo 3% do total em 2013. Em muitos casos, as aplicações na indústria visam a substituição do uso de chuveiros elétricos em vestiários. A maioria dos exemplos de aplicação institucionais encontrados nas *webpages* das empresas associadas ao Dasol são direcionadas a estabelecimento do setor de serviços, como por exemplo hotéis e pousadas, hospitais, clubes e outros.

Por estado, dados do MME - PNEf (2010) (Figura 14) mostram que Minas Gerais tem sido o principal mercado de sistemas de aquecimento solar de água, seguido por Distrito Federal, Santa Catarina e São Paulo, todos acima da média nacional de instalação de coletores, em $m^2/1000$ habitantes.

Figura 14 – Área de coletores instalados no Brasil



Fonte: MME - PNEf (2010)

Entretanto, enquanto no Brasil a capacidade média dos coletores instalados é de 20,9 $kWth/1000$ habitantes, ocupando a 32.^a colocação, enquanto no líder Chipre essa marca é de

546,4 kWth/1000 habitantes, na Alemanha 139,9 kWth/1000 habitantes, na Turquia 136,0 kWth/1000 habitantes, na China 134,3 kWth/1000 habitantes, na Austrália 94,6 kWth/1000 habitantes (MAUTHNER e WEISS, 2014).

O Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), visa aumentar a eficiência em utilização de energia elétrica no Brasil até o ano de 2030 por meio do fomento de medidas de economia de energia. As estimativas de ganhos de eficiência energética do PNEf para o setor industrial utilizam os indicadores energéticos. Intensidade energética, aplicada para os setores mais heterogêneos (alimentos e bebidas, têxtil, cerâmica, mineração, química e outras indústrias) e consumo específico para os setores de cimento, ferro gusa e aço, ferro-ligas, não ferrosos e papel e celulose. Considera também a autoprodução, ou seja, geração de energia produzida próxima ao centro de consumo e que não utiliza a rede pública de transmissão e distribuição, buscando identificar as potencialidades de cogeração (MME-PNEf, 2010).

Dados utilizados no PNEf, mostram que a eletricidade consumida pela indústria representava 20,2% em relação a todas as fontes de suprimento e a indústria consumia 40,7% de energia elétrica em relação a todos os demais setores, sendo que por tipo de uso final, 16% da energia elétrica consumida pela indústria foi para aquecimento direto e 2% para gerar calor de processo (MME-PNEf, 2010).

2.4 Possibilidades de uso dos sistemas de aquecimento solar de água na indústria

2.4.1 Aspectos da viabilidade dos sistemas de aquecimento solar de água

Do ponto de vista da viabilidade técnica e econômica da utilização de sistemas de aquecimento solar de água em indústrias, esta seção mostra estudos que identificam a influência de diferentes variáveis que afetam a eficiência desses sistemas.

Para Atkins *et al.* (2010), a aplicação industrial da tecnologia solar térmica é erroneamente considerada como uma simples ampliação de instalações de água quente residenciais, embora diferenças significativas entre as necessidades e restrições de usuários industriais e residenciais devem ser consideradas. Aplicações industriais requerem maiores temperaturas e volumes maiores do que aplicações residenciais e comerciais. Para uma instalação solar utilizada em planta integrada aos processos devem ser consideradas: onde e em que temperatura o calor será utilizado, a natureza variável tanto da oferta de energia solar

quanto da demanda do calor de processo. A análise da integração da energia solar térmica para aquecimento de processos é problemática e difícil de tratar porque tanto a demanda quanto a oferta são instáveis e não contínuas.

Angelis-Dimakis *et al.* (2011) apontam como um dos principais fatores de influência na viabilidade econômica de sistemas solares, a disponibilidade de energia sobre a superfície do território que pode ser convertida em calor. Eles propõem uma abordagem *top-down* que indica um potencial solar disponível que é economicamente explorável e descreve essa disponibilidade em três classes diferentes de valores: (1) energia potencial teórica, que é a radiação solar bruta incidente sobre a superfície do local; (2) energia potencial técnica, que a fração que pode ser coleada pela superfície coletora do sistema; (3) energia explorável ou energia potencial econômica, a fração que pode ser utilizada considerando critérios de sustentabilidade e que há diferentes abordagens para estimar a radiação solar sobre uma superfície, a primeira baseada nos dados locais da instalação, a segunda considera dados de radiação solar gerados por satélite e a terceira combina as duas anteriores. Os mesmos autores mostram que a taxa de eficiência de conversão da radiação solar em energia térmica utilizável é influenciada por fatores como a geometria do planeta, revolução e rotação, a topografia, a inclinação e orientação da superfície coletora, temperatura ambiente, incidência de sombras, bem como atenuações atmosféricas como absorção de gases, partículas sólidas e líquidas e nuvens. O potencial estimado é então reduzido por consideráveis limitações técnicas, gerando perdas associadas à conversão da radiação solar em calor, o que leva a ter que considerar tais fatores de eficiência de conversão. Kulkarni *et al.* (2008) também evidenciam a importância da radiação solar e da fração solar disponíveis para determinar a viabilidade do sistema solar.

Hawlader *et al.* (1987) propõem um modelo segundo o qual para um dado conjunto de condições, tais como os requisitos da água quente, a situação econômica e geográfica do local da fábrica, é possível determinar o melhor projeto para dar a máxima economia ao sistema de aquecimento solar, apesar de existirem muitas variáveis que têm considerável influência sobre o seu desempenho, sendo a variável mais importante na concepção de um sistema solar a área do coletor. Seus estudos mostram que com o aumento da área do coletor, um aumento de economia pode ser alcançado, até um máximo em que alguma área de coletor ideal seja alcançada e que novos aumentos na área do coletor geram mais economias, mas também aumentam os custos do sistema excessivamente, levando a economia de energia gerada pelo sistema solar a diminuir. A área de coletor ideal que rende a economia pode ser determinada pelo modelo.

Atkins *et al.* (2010) mostram ainda que, devido à natureza não contínua da energia solar, além da área do coletor as estratégias de armazenamento e controle devem ser consideradas no projeto do sistema solar. A demanda de calor de processo também não é contínua em muitos processos industriais, resultando em mudanças na temperatura ao longo do tempo enquanto a demanda varia, havendo então dois cenários principais para os quais o sistema de coletor solar pode ser projetado: (1) o sistema fornece todo o calor necessário, a uma temperatura alvo, ou (2) o sistema pode proporcionar uma parte da demanda de calor do processo a uma temperatura-alvo ou a uma temperatura variável que maximiza a eficiência do coletor solar. No primeiro cenário, o perfil da demanda diária variável para o processo, bem como a radiação solar local e temperatura ambiente precisam ser conhecidos e quantificados de forma estatística para calcular a área de coletor exigida e os requisitos de armazenagem térmica com certo grau de confiança, resultando em dispendiosos sistemas de controle que serão subutilizados em grande proporção do tempo. No segundo cenário, o sistema fornece uma porção do calor da demanda, a energia solar é captada sempre que ele estiver disponível e o equilíbrio entre a demanda do processo e a oferta de calor deve ser fornecido por outra fonte complementar de calor. O perfil de abastecimento é o fator crítico para a determinação da economia gerada pelo sistema solar em relação ao consumo da energia convencional. Do ponto de vista operacional, o coletor pode funcionar de duas maneiras: (1) fornecer calor a uma temperatura alvo pela manipulação da taxa de fluxo de massa através dos coletores, ou (2) pode ser fornecida uma taxa de fluxo de massa fixa com uma temperatura de saída variável e a eficiência global coletor será maior. O efeito das variáveis do processo, tais como taxa de fluxo de massa e temperatura do fluido sobre a eficiência do coletor é importante para maximizar a quantidade de energia solar coletada.

A eficiência do sistema cai com as perdas térmicas que ocorrem devido ao diferencial de temperatura entre o coletor solar e a temperatura ambiente. A radiação solar e a temperatura ambiente são variáveis do sistema de controle e a estratégia de controle depende do objetivo do sistema, ou seja, flutuação da taxa de fluxo a uma temperatura de saída constante ou a temperatura de saída flutuante uma taxa de fluxo constante. A eficiência do sistema também varia dependendo da configuração de montagem dos coletores solares e do bombeamento e outros custos operacionais associados à numerosa possibilidade de arranjos. Os coletores podem ser dispostos em série, em paralelo e em combinação de ambas, de muitas maneiras diferentes (exemplo pode ser visto na Figura 7). No arranjo em série, a saída de cada coletor conduz o fluxo para a entrada do próximo coletor; a cada painel do coletor, a

temperatura do fluido se eleva, exigindo elevação do fluxo de massa para diminuir as perdas de calor para o ambiente, elevando os custos de bombeamento; a eficiência do coletor para os painéis iniciais é mais alta, mas vai diminuir nos coletores seguintes devido às maiores diferenças de temperatura entre o coletor e o ambiente. No arranjo em paralelo, o fluido passa por apenas um painel e o fluido de entrada tem a temperatura de entrada aumentada para a temperatura de saída desejada, o que pode conduzir a taxas de fluxo extremamente baixas para de alcançar as temperaturas de saída necessárias, abaixo do mínimo fluxo de funcionamento do coletor individual. A configuração ideal é obtida por um arranjo paralelo de grupos de coletores em série, considerando-se custos de bombeamento, custos de tubulação e outras restrições. Existem várias vantagens em ter um sistema com um fluxo constante pelos coletores: a temperatura do coletor é menor do que para o caso de temperatura constante e a eficiência do coletor será maior e mais energia vai ser transferida para o processo; o sistema de controle é mais simples, porque para proporcionar uma temperatura de saída constante a taxa de fluxo através do coletor terá de ser alterada, conforme variações da radiação global e da temperatura ambiente (ATKINS *et al.*, 2010).

Estudos de Kim *et al.* (2012) mostram que há escassez de literatura com respeito a análises térmicas e econômicas de longo prazo de um sistema solar de aquecimento solar de grande porte, que definam o projeto ótimo com especificação pormenorizada de cada componente, e por isso propõem um modelo para modular a temperatura da oferta de água durante as diferentes horas do dia, considerando os seguintes parâmetros: área total coletor do sistema, o volume de armazenamento e as exigências térmicas diárias. Kulkarni *et al.* (2008) também mencionam a importância de determinar o volume de armazenamento necessário ao sistema. Para certos processos de aplicações de calor a água deve ser pressurizada e o custo de armazenamento aumenta acentuadamente com o aumento da pressão do sistema. Assim, uma questão importante no projeto do sistema solar térmico para aplicações industriais é o dimensionamento otimizado do sistema, ou seja, o dimensionamento adequado dos coletores e do volume de armazenamento. Ainda sobre a importância no dimensionamento do volume de armazenamento, Kulkarni *et al.* (2009) mostram que o aumento do número de tanques em série aumenta a temperatura de armazenamento, bem como diminui a flutuação da temperatura de armazenamento, mas que a instalação de armazenamento múltiplo com tanques em série aumenta muito o custo de instalação e tais sistemas não são instalados na prática. Continuando, mostram que num típico sistema de aquecimento solar de água, água fria é alimentada para dentro do tanque de armazenamento, logo que a água quente é servida

ao processo. É possível determinar o perfil de reabastecimento de água fria, de forma a garantir um adequado equilíbrio entre a mistura da água fria de reposição com água quente no interior do tanque de armazenamento, para melhorar a eficiência do sistema.

Tecnicamente, a integração do sistema de aquecimento solar ao processo produtivo tem certo grau de complexidade e ainda será necessário que a indústria disponha de uma área adequada para a instalação dos painéis solares e, mesmo que esses possam ser instalados sobre o teto da planta industrial, este deverá poder suportar o peso adicional que corresponde ao sistema. segundo Mekhilef *et al.* (2011), bem como Quijera *et al.* (2011) e Kulkarni *et al.* (2008) mencionam também a importância do espaço disponível e efetivamente ocupado pelo sistema de coletores e armazenamento na área da fábrica para analisar a viabilidade do sistema.

Kalogirou (2003) concluiu em seus estudos que a viabilidade dos sistemas de aquecimento solar depende de seu custo inicial e o preço do combustível utilizado para produzir calor que o sistema solar substitui. Nenhum destes custos é estável, eles vão mudando continuamente em função da evolução do mercado internacional. Os custos tendem a ser mais favoráveis quando os coletores solares se tornam mais baratos e os subsídios do combustível é removido. Kulkarni *et al.* (2008) e Kim *et al.* (2012) também consideram o preço do combustível na análise de viabilidade e analogamente, Calderoni *et al.* (2012) consideram o preço da energia elétrica.

Em relação ao custo de instalação do sistema de aquecimento solar, Calderoni (2012), Kim *et al.* (2012) e Kulkarni *et al.* (2008) mencionam os seguintes fatores:

- Área dos coletores solares;
- Tipo de coletor utilizado;
- Configuração da montagem do conjunto de coletores solares;
- Forma de operação do sistema, se temperatura fixa ou fluxo de massa fixo;
- Estrutura de suporte para montagem dos coletores;
- Disponibilidade de espaço para instalação dos coletores;
- Volume de armazenamento de água quente;
- Tamanho e configuração de montagem dos tanques de armazenamento;
- Tamanho do trocador de calor, para sistemas de coletores fechados em *loop*;

- Taxa de fluxo de massa por meio dos coletores
- Sistema de bombeamento, tubulação e isolamento;
- Sistema de instrumentação e controle;
- Ciclo de vida dos componentes do sistema;
- Eficiência dos componentes ao longo do ciclo de vida;
- Custos de manutenção do sistema.

Outros fatores econômicos considerados por Calderoni (2012), Kim *et al.* (2012) e Kulkarni *et al.* (2008) para analisar a viabilidade dos sistemas de aquecimento solar são:

- Custo do capital;
- Parte do capital ofertado pelo governo com incentivos;
- Parte do capital obtida por empréstimo bancário;
- Taxa de juros;
- Prazos de financiamento;
- Taxa de inflação;
- Incentivos governamentais ao custo do capital;
- Incentivos governamentais aos sistemas solares;
- Incentivos fiscais aos preços de energia elétrica e combustível;
- Aumentos nos preços de energia elétrica e combustível.

As medidas mais utilizadas para a viabilidade econômica são a taxa interna de retorno (TIR) e o tempo de retorno (*pay-back*). O tempo de retorno do investimento pode variar conforme o tipo de aplicação, mas pode ser aceitável se for menor do que a vida útil do sistema, que em geral é de 15 a 20 anos.

Entretanto, para Timilsina (2012), como os combustíveis fósseis produzem externalidades negativas ao nível local e mundial nível (poluição local e emissões de gases de efeito estufa), enquanto tecnologias de energia solar não, seria injusto comparar tecnologias de energia solar com tecnologias de combustíveis fósseis sem considerar essas externalidades. As tecnologias de energia solar também proporcionam benefícios adicionais, que são

normalmente excluídas da análise econômica tradicional de projetos, como por exemplo, reduzir os custos de transmissão e de distribuição de energia elétrica. Quijera (2011) também defende que qualquer decisão sobre o dimensionamento adequado de um sistema solar deveria ser baseada em aspectos econômicos e ambientais, incluindo a possibilidade real de redução do consumo atual de combustíveis fósseis e das emissões associadas de gás carbônico.

Calderoni (2012) defende que as economias produzidas com o uso de energia solar térmica têm um impacto importante sobre o orçamento público, pois permitiria a redução do subsídio do combustível fóssil vendido aos usuários finais do setor industrial, gerando economias substanciais para cada kWh que é produzido por energia solar térmica, permitindo utilizar essas economias em outros setores necessários.

Outro aspecto socioeconômico positivo do desenvolvimento de aplicações de sistemas de aquecimento solar de água para fins industriais é a geração de novos empregos em vários elos da cadeia produtiva (fabricação de painéis e componentes, montagem, vendas e distribuição, instalação, manutenção e serviços), bem como na educação e formação profissional (IRENA, 2013).

Para Angelis-Dimakis *et al.* (2011), ao ter que decidir corretamente sobre o uso de energia renovável deve-se estudar profundamente os diferentes fatores que influenciam a eficiência da conversão de energia, sendo necessário também considerar uma combinação de diferentes tipos de energia renovável, pois elas são fontes disponíveis de forma intermitente, gerando flutuações de oferta para suprir demanda também flutuante, sendo recomendável instalar uma rede de suprimento de energia a partir de diferentes fontes combinadas.

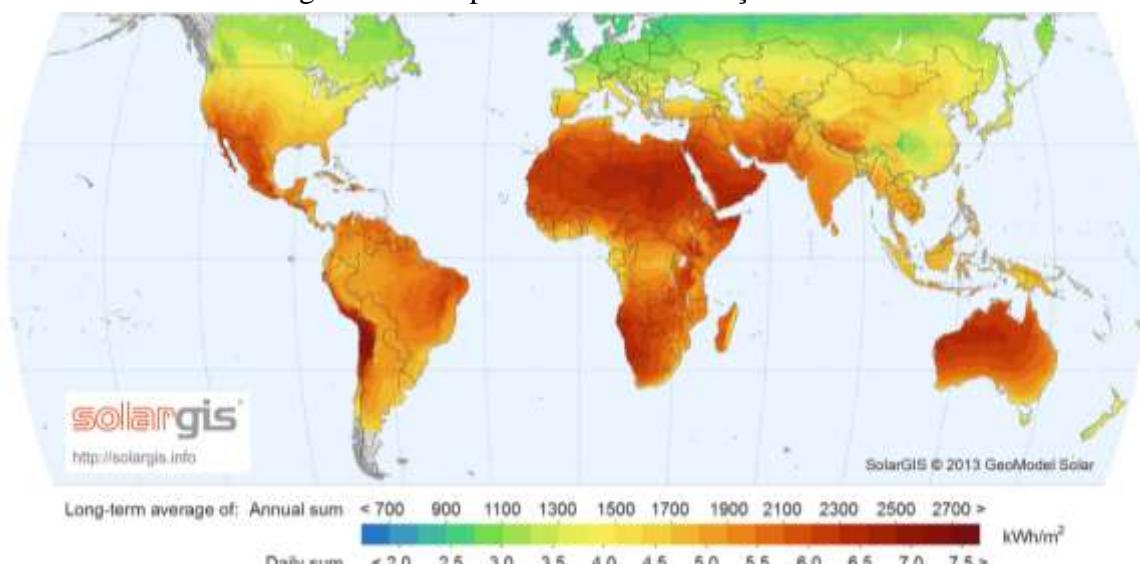
No âmbito político brasileiro, o Plano Nacional de Eficiência Energética (MME - PNEf, 2010), visa aumentar a eficiência em utilização de energia elétrica até o ano de 2030, ao fomentar medidas de economia. No PNEf estão previstos programas de eficiência energética em aquecimento solar de água, diferentes ações vem sendo empreendidas, no sentido de estimular e regulamentar a expansão da utilização desses sistemas:

- Normasol: tem o objetivo de revisar e elaborar todo o conjunto de normas relacionadas ao aquecimento solar no Brasil, relacionadas a ensaios de componentes e características construtivas e tecnológicas de produtos e processos, especificações de projeto e dimensionamento de sistemas de aquecimento solar e instalação de sistemas de aquecimento solar.

- Qualisol Brasil: tem como objetivo a qualificação de fornecedores de sistemas de aquecimento solar, o que engloba fabricantes, revendas, projetistas, instaladoras e serviços de manutenção.
- Procel - Programa Brasileiro de Etiquetagem para coletores solares e reservatórios, estabelece critérios para comparação entre os diferentes modelos de coletores e reservatórios disponíveis no mercado nacional, orientando os consumidores quanto à eficiência e qualidade dos equipamentos.
- Cidades Solares: conceito mundial que busca aumentar a energia gerada por fontes renováveis, sustentáveis e descentralizadas, reduzir as emissões de carbono e as emissões de poluentes locais geradas por edificações, reduzir a dependência das cidades de fontes de energia externa. No Brasil, visa promover primordialmente o uso de aquecedores solares de água.

Sob o aspecto climático, o Brasil é um território privilegiado, tanto pela intensidade de insolação média anual, quanto pelo número médio de horas diárias de insolação. A Figura 15 mostra o mapa mundial da distribuição da irradiação solar pelos diferentes continentes, permitindo verificar que o Brasil recebe elevada insolação anualmente, bem como esta é distribuída de forma mais homogênea sobre todo o seu território do que na América do Norte, Europa e Ásia (GEOMODEL SOLAR, 2014).

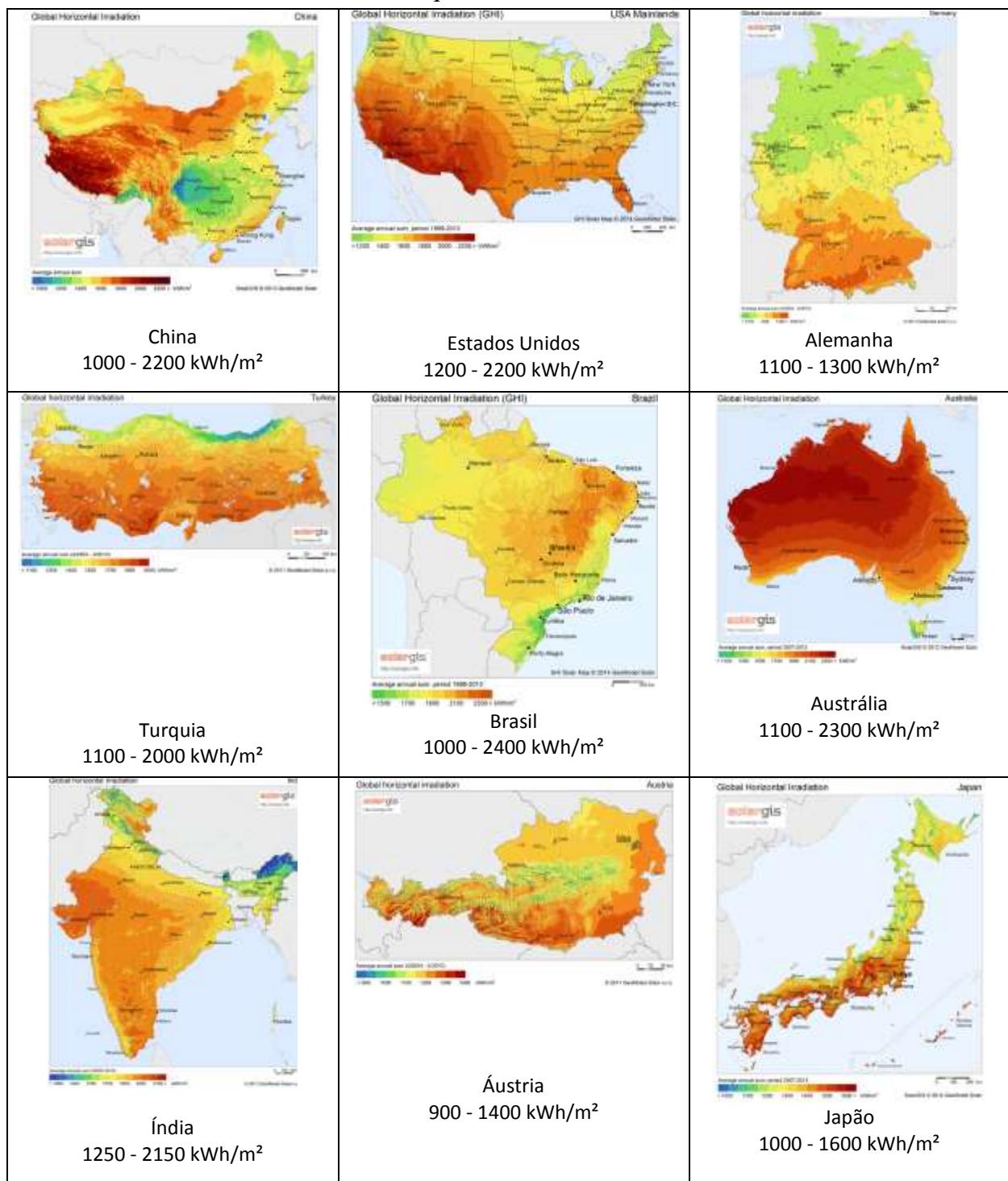
Figura 15 – Mapa mundial de insolação média anual



Fonte: Geomodel Solar (2014)

A Figura 16 mostra um comparativo específico entre a distribuição da radiação solar sobre o território brasileiro e sobre os demais principais países do mundo em instalações acumuladas de aquecimento solar de água, que também pode ser comparada de maneira mais geral com outras regiões do mundo, mostradas na Figura 15.

Figura 16 – Insolação global sobre os principais países em instalações acumuladas de aquecimento solar



Fonte: adaptado de Geomodel Solar (2014)

No aspecto legal, já há alguma legislação federal, estadual e municipal, sobre obrigatoriedade ou incentivo do uso de sistemas solares para aquecimento de água em vários municípios brasileiros. Segundo o Dasol (2013), há no Brasil 37 leis aprovadas sobre a obrigatoriedade ou o incentivo ao uso de sistemas de aquecimento solar de água, sendo 25 municipais e 12 estaduais e outras 30 em tramitação: uma municipal, 13 estaduais e seis federais. Essas leis são direcionadas a construções residenciais unifamiliares e multifamiliares, estabelecimentos comerciais e prédios públicos.

Do ponto de vista ambiental, segundo o Dasol (2013), cada m² de coletor solar instalado para o aquecimento de água, utilizado durante um ano, equivale a 215 quilos de lenha, 66 litros de diesel e 55 quilos de gás, e apenas em 2012 os sete milhões de metros quadrados de coletores instalados no Brasil evitaram a emissão de 1,5 milhão de toneladas de CO₂.

2.4.2 Possíveis barreiras à utilização de sistemas de aquecimento solar de água

Cottret e Menichetti (2010) analisaram ao contexto energético na Europa e na região sul do Mediterrâneo e identificaram algumas barreiras que geralmente impedem as tecnologias relacionadas à energia solar térmica de satisfazer uma porção importante da demanda final de energia:

- Custos relativamente altos dos sistemas de aquecimento solar, assim como para outras formas de tecnologia em energia renovável, evidenciando uma visão apenas financeira, considerando o tempo de retorno sobre o investimento, não considerando que, no longo prazo, o uso dessas tecnologias leva a uma significante economia de energia convencional;
- Os investidores e gestores têm aversão aos riscos financeiros ligados às novas tecnologias de aquecimento solar, pois o risco de interrupção dos processos é mais percebido do que a escassez e a possibilidade dos aumentos de preços a que está sujeita a energia convencional no futuro;
- Grande parte dos decisores políticos não tem conhecimento sobre usos de energia solar, o que não permite a eles propor incentivos ao uso dessa fonte de energia para a indústria;

- Ausência de disponibilidade de aplicação para a tecnologia solar térmica para atender aos processos industriais para médias e altas temperaturas;
- Escassez de guias técnicos e ferramentas para projetar sistemas solares térmicos típicos para indústrias, havendo ainda poucos profissionais com conhecimento e experiência nessa área;
- Escassez de educação e formação em energia solar térmica em todos os níveis profissionais: projetistas, instaladores, operadores e mantenedores etc.;
- Escassa documentação e literatura técnica específica para aplicação de energia solar térmica para fins industriais.

Na visão do PNEf, de forma geral, na indústria há certa aversão a riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias que consumam menos energia, o investimento na melhoria da eficiência energética concorre com investimento na produção e investimentos que melhorem o desempenho energético são preteridos, demonstrando visão de curto prazo e ausência de cultura de gestão energética (MME-PNEf, 2010).

No PNEf são previstos programas de eficiência energética em aquecimento solar de água com o objetivo de acelerar o uso de aquecimento solar no Brasil, fortemente amparados pelas ações do Dasol, e praticamente voltados para aplicações residenciais e comerciais (MME-PNEf, 2010). O programa considera como barreiras ao crescimento do aquecimento solar no País:

- Deficiências no desenvolvimento e difusão tecnológica do aquecimento solar;
- Competitividade desfavorável na cadeia produtiva;
- Baixa qualificação e confiabilidade dos instaladores;
- Falta de profissionalização e formação de instaladores e técnicos em manutenção;
- Deficiência de políticas públicas, incluindo marco regulatório, que não estimulam o fortalecimento deste mercado;
- Falta de iniciativas e incentivos para desenvolvimento de instalações inovadoras;

- Baixo grau de automação da indústria de coletores e baixo volume de fabricação;
- Insuficiente disponibilidade e disseminação de informação técnica e literatura especializada no setor de energia solar;
- Baixa difusão do conhecimento a usuários potenciais;
- Necessidade de difusão e formação de tomadores de decisões e profissionais que especificam os sistemas (projetistas, arquitetos etc.).

O PNEf menciona a necessidade de se criarem linhas de ação de fomento ao aquecimento solar como: aperfeiçoar os marcos regulatórios voltados ao desenvolvimento do mercado de sistemas termossolares, qualificação e integração da cadeia produtiva e desenvolvimento e difusão de novas tecnologias para produção de sistemas termossolares, em cooperação com o setor produtivo (MME-PNEf, 2010).

2.4.3 Disseminação da informação e do conhecimento sobre aquecimento solar

Os processos industriais estão se tornando cada vez mais complexos, o que solicita dos profissionais que atuam na indústria estar em constante desenvolvimento de suas habilidades e competências para propor soluções inovadoras aos desafios que se apresentam. Assim, se faz necessário lançar mão de cada vez mais conhecimento, ao mesmo tempo em que se requer alto grau de especialização, o que leva a confirmar a importância do trabalho em equipe e da multidisciplinaridade dos projetos e soluções (MME-PNEf, 2010).

Tendo em vista a escassez mundial, e também no Brasil, de especialistas em aplicação de energia solar térmica nas indústrias mencionadas anteriormente, esta seção foi dedicada a colher dados sobre a educação e formação técnica para essa finalidade.

2.4.3.1 Educação em energias renováveis no mundo

Brunsgaard *et al.* (2014) estudaram na Europa o desafio da otimização do desempenho energético em edifícios, o que requer uma abordagem de projeto integrado e trabalho em equipe interdisciplinar para otimizar o consumo de energia do edifício e a qualidade do ambiente interno, satisfazendo as necessidades dos ocupantes. Isto requer que os arquitetos, engenheiros civis e de climatização, especialistas e instaladores de energia mecânica trabalhem juntos em equipes interdisciplinares desde a fase de concepção do projeto, o que

requer um esforço extra das partes envolvidas, o que não é comum na maioria dos países europeus. O processo de projeto é normalmente fragmentado e os participantes são envolvidos numa fase em que algumas decisões mais influentes já foram feitas, o que leva em muitos casos a soluções ineficazes. Os mesmos autores mostram algumas iniciativas existentes em vários países (Noruega, Dinamarca, República Checa, Áustria, Hungria, Grécia e Portugal) na tentativa de solucionar o problema da falta de integração multidisciplinar dos atores dos projetos, por meio de mudanças na forma de educação profissional e nas indústrias: melhorar a transferência de conhecimento da academia para a indústria; revisão de currículos e programas educacionais existentes e desenvolvimento de novas áreas para engenharia de eficiência energética; introdução de programas de educação continuada para arquitetos, engenheiros e outros na indústria da construção para atualização e reciclagem de conhecimentos; introdução de programas de educação continuada de professores das faculdades e universidades; introdução de programas de formação em eficiência energética e ambiental interior; aumentar a cooperação entre as instituições de ensino de várias disciplinas; ganhar experiência no trabalho em equipe interdisciplinar; incrementar iniciativas de formação especialmente programas de pós-graduação para integrar diferentes saberes de engenheiros de várias áreas. Além disso, Brunsgaard *et al.* (2014) propõem uma rede de colaboração entre atores acadêmicos, instituições públicas e indústria da construção para proporcionar atualização contínua para arquitetura e prática da engenharia.

Kandpal e Broman (2014) produziram um estudo com base na necessidade de educação para a energia renovável e formação em todos os níveis educacionais. Realizaram uma revisão da literatura publicada sobre iniciativas de educação em energia renovável em todo o mundo nas últimas três décadas. Comentam que o desenvolvimento e a disseminação em larga escala de tecnologias de energia renovável têm sido priorizados por um grande número de países em todo o mundo para fornecer opções de fornecimento sustentável de energia para atender à demanda. No entanto, a contribuição global de energia renovável não hidráulica ainda é muito limitada em comparação com o seu potencial e há uma necessidade urgente de criar, desenvolver e disseminar estas tecnologias com dependência mínima de fontes externas. Os mesmos autores chamam atenção para uma variedade de barreiras atribuídas à má divulgação de tecnologias energéticas renováveis, como algumas das tecnologias de energia renovável não satisfazerem as necessidades dos usuários finais, de ainda não serem rentáveis, exigindo esforços tecnológicos e um número adequado de funcionários bem treinados e competentes em todos os países do mundo. Alguns esforços para

introduzir formação em energias renováveis em programas de pós-graduação e como disciplinas eletivas ou optativas dos cursos tradicionais estão sendo empenhados para superar essas barreiras.

Os objetivos principais da educação em energia renovável são de fornecimento de conhecimento funcional e compreensão de fatos, conceitos, princípios e tecnologias para aproveitamento de fontes renováveis de energia. Certas características são desejáveis aos programas de educação em energias renováveis: abordar todas as fontes de energia renováveis enfatizando as necessidades locais e as características de disponibilidade de recursos; abranger avaliação de recursos, o projeto, fabricação, instalação, monitoramento de desempenho e manutenção, aspectos financeiros, econômicos e energéticos, aceitabilidade e avaliação dos impactos; equilibrar teoria e prática, incluindo laboratórios, experimentos, *hands-on*, resolução de problemas, projeto e fabricação insumos além de palestras, tutoriais, seminários etc.; facilitar a troca de experiências eficaz e mutuamente benéfica e interação com outras instituições do mundo, além de buscar garantir empregabilidade do profissional. Há necessidade da disponibilidade de cursos de graduação específicos nessa área, com emissão de diploma, bem como a intensificação de cursos e *workshops* ministrados por empresas do setor (KANDPAL E BROMAN, 2014).

Gelegenis e Harris (2014) desenvolveram um estudo comparando cursos de graduação em energia renovável na Grécia com o Reino Unido. Defendem que no ensino de disciplinas emergentes é muito importante incorporar o conhecimento e as boas práticas que já foram aplicados com sucesso em outros países e que como o emprego está se tornando cada vez mais globalizado, profissionais podem vir a trabalhar em mais de um país durante sua vida profissional e os empregadores precisam saber que normas são comparáveis de um país para outro para confiança no conhecimento e nas habilidades dos empregados potenciais globais. Enquanto na Grécia os cursos de formação em energias renováveis ganharam status de curso de graduação independente com forte embasamento nas Engenharias Mecânica e Elétrica, no Reino Unido há desde essa modalidade até uma variedade de disciplinas de energia inseridas nas grades dos cursos de Engenharia Mecânica, Elétrica e Química, como eletivas. Os cursos ou as disciplinas são denominados Gestão de Energia, Fontes Renováveis de Energia ou Processos Sustentáveis de Energia.

Acikgoz (2011) mostra estudo de educação em energias renováveis na Turquia e trata de como motivar os alunos para temas relacionados à energia de fontes renováveis. Menciona

que as questões relativas à energia podem ser divididas em duas partes, uma relativa à otimização dos recursos energéticos em busca de maior eficiência energética, outra relativa à disseminação do uso de fontes alternativas de energia renovável. Informa ainda que apesar de ambiciosos programas de vários países na busca de alternativas energéticas, a disseminação destas tecnologias não atendeu às expectativas dos planejadores e organizações de execução, havendo apenas alguns casos de sucesso da adoção de tecnologias de energia renovável.

O fracasso na disseminação de tecnologias de energia renovável pode ser atribuído a vários fatores, um deles é a falta de um quadro estruturado para proporcionar educação de energia na educação geral, o que muitas vezes resultou na promoção de projetos caros e inadequados, assim como, em outros locais, devido à indisponibilidade de mão de obra técnica local de reparação adequada e manutenção dos sistemas instalados. Algumas das tecnologias de energia renovável não eram aceitas pelos usuários finais, pois eles não tinham conhecimento de seu potencial de benefícios e requisitos associados. Estas e várias outras manifestações de problemas refletem falta de educação adequada para a energia renovável, havendo a necessidade de educação nessa área nos cursos de engenharia, mas também a necessidade de cursos rápidos para atender mais imediatamente a indústria. A motivação ao estudo das energias renováveis vem das possibilidades de melhores empregos para suprir uma necessidade de mão de obra ainda escassa nessa área e da perícia e carisma dos professores dessas disciplinas, que devem estar muito bem preparados (ACIKGOZ, 2011).

Ainda na Turquia, Karabulut *et al.* (2011), mostrou que o ensino de energias renováveis tem sido muito teórico devido aos equipamentos serem muito caros para instalar laboratórios. Por essa razão, não atingiu os resultados esperados e a falta de disseminação do conhecimento nessas formas de energia resulta que seu ensino seja tratado apenas como parte das demais ciências naturais e não como uma possível solução ao problema de escassez energética mundial.

Zyadin *et al.* (2014) desenvolveram um estudo na Jordânia, com professores do ensino médio com o objetivo de investigar seus conhecimentos, percepções e atitudes em relação ao desenvolvimento de energias renováveis. O estudo revelou conhecimento teórico insuficiente e atitude pouco entusiasta por parte de boa parcela da amostra pesquisada, dando indícios que falta também ao professor a educação em energias renováveis, mas ele é um dos meios mais importantes de propagação desse conhecimento, portanto deveria ser pensado e estruturado

um método de atualização e desenvolvimento dos professores para poder ensinar melhor sobre as novas fontes de energia.

Zyadin *et al.* (2012) mostraram que a educação em energias renováveis tem que iniciar desde o ensino fundamental, pois perceberam em sua pesquisa que muitos alunos nem sequer conseguiam distinguir energias renováveis das não renováveis e que acreditavam que as renováveis serão uma alternativa "no futuro". Sendo a falta de mão de obra especializada uma barreira para o desenvolvimento de aplicações de energias renováveis, seus estudos mostram que uma pessoa terá maior probabilidade de se interessar por energias renováveis, inclusive profissionalmente, quanto mais cedo estudar esse tema, o que facilitará enormemente a disseminação dos usos dessas energias.

2.4.3.2 Educação em energias renováveis no Brasil

Estudos de Kandpal e Broman (2014), Gelegenis e Harris (2014), Acikgoz (2011), Karabulut *et al.* (2011), Zyadin *et al.* (2012 e 2014), bem como IRENA (2013) mostraram a importância e a carência da formação profissional e de profissionais especializados em energia renovável em diversos lugares do mundo. Esta sessão buscou delinear o estágio atual dessa questão no Brasil.

O artigo 43.^º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) refere-se aos objetivos de formação dos cursos superiores, dentre eles alguns que se relacionam à formação de engenheiros e podem estar ligados à geração e ao uso de energia: estimular o desenvolvimento do espírito científico; formar diplomados nas diferentes áreas de conhecimento, aptos para a inserção em setores profissionais, e colaborar na sua formação contínua; incentivar o trabalho de pesquisa e investigação científica, visando o desenvolvimento da ciência e da tecnologia; promover a divulgação de conhecimentos científicos e técnicos e comunicar o saber pelo ensino, de publicações ou de outras formas de comunicação; estimular o conhecimento dos problemas do mundo presente e prestar serviços especializados à comunidade. O artigo 53.^º da mesma lei garante autonomia das universidades para criar, organizar e extinguir cursos e programas de educação superior; fixar os currículos dos seus cursos e programas; estabelecer planos, programas e projetos de pesquisa científica e atividades de extensão; firmar contratos, acordos e convênios com entidades públicas e privadas (MEC - LDB, 1996).

O PNEf encaminha sugestões para tratar de um lado da utilização de tecnologias mais eficientes, de outro a utilização energética mais racional e inteligente, desafio que exige a capacitação de profissionais da educação para promover o debate ambiental e a elaboração, implantação e desenvolvimento de projetos de educação para a sustentabilidade. Em face da complexidade de ações e recursos que envolvem um programa educacional, as diversas instituições devem buscar articulações e parcerias para a implementação dos seus projetos e iniciativas, como mostrado na Figura 17, a exemplo do que sugerem Brunsgaard *et al.* (2014). Universidades públicas e privadas devem capacitar e especializar professores e potencializar o engajamento do pessoal das escolas a fim de garantir o sucesso dos projetos (MME-PNEf, 2010).

Figura 17 – Rede de relacionamentos dos programas de eficiência energética na área educacional



Fonte: MME-PNEf (2010)

Os Referenciais Curriculares Nacionais dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura sintonizam a educação superior às demandas sociais e econômicas, sistematizando denominações e descritivos, identificando as efetivas formações de nível superior no Brasil. A cada perfil de formação, associa-se uma única denominação e vice-versa, firmando uma identidade para cada curso. Os principais efeitos dos referenciais são a facilidade de identificação de cursos e melhor identificação de profissionais e suas formações para o mundo do trabalho (MEC, 2010).

Assim, pode-se identificar a nomenclatura, os temas abordados na formação e os ambientes de atuação dos profissionais de engenharia relacionados ao ambiente industrial e às energias renováveis:

- Engenharia Civil: projetos de edificações, instalações elétricas e hidráulicas, bioclimatismo, ética e meio ambiente e relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), atuando, entre outros, em órgãos públicos e empresas privadas de construção de obras ambientais e hidráulicas, empresas e escritórios de edificações residenciais, em empresas e laboratórios de pesquisa científica e tecnológica ou de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.
- Engenharia de Alimentos: química e bioquímica de alimentos, modelagem e análise e simulação de sistemas, fenômenos de transporte e termodinâmica, tecnologia e processamento de carnes, laticínios, cereais, vegetais, processos de conservação de alimentos, projeto da indústria de alimento, ética e meio ambiente e relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), atuando em indústrias de alimentos e bebidas, no projeto e assistência técnica de equipamentos e de coadjuvantes de tecnologia para a indústria alimentícia; em empresas e laboratórios de pesquisa científica e tecnológica ou de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.
- Engenharia de Controle e Automação (Mecatrônica): instrumentação eletroeletrônica, sistemas de aquisição de dados, controle e automação de processos, redes de computadores, redes industriais e sistemas supervisórios, modelagem e simulação de sistemas, qualidade de energia, energias renováveis, ética e meio ambiente e relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), atuando em empresas e indústrias que utilizam sistemas automatizados e automação industrial, comercial e predial, em empresas e laboratórios de pesquisa científica e tecnológica ou de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.
- Engenharia de Produção: gerência de produção; gestão ambiental; gestão de tecnologia, modelagem e simulação de sistemas, processos de fabricação, instalações industriais, planejamento do processo, ética e meio ambiente e relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), atuando na produção industrial nos seus mais diversos setores, em empresas e laboratórios de pesquisa científica

e tecnológica ou de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.

- Engenharia Elétrica: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, modelagem e simulação de sistemas elétricos; matriz e eficiência energética, qualidade de energia, instalações elétricas e conversão de energia, instrumentação eletroeletrônica, controle e automação de processos, ética e meio ambiente e relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), atuando em indústrias de transformação em geral, em empresas que atuam no projeto, instalação e manutenção de sistemas elétricos industriais, em empresas que atuam nas áreas de planejamento e consultoria em eficiência energética, conservação de energia e fontes de energia renovável, em empresas e laboratórios de pesquisa científica e tecnológica ou de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.
- Engenharia Mecânica: sistemas térmicos e termodinâmica, transferência de calor, processos de fabricação, gestão da produção, ética e meio ambiente e relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), atuando em indústrias de base (mecânica, metalúrgica, siderúrgica, mineração, petróleo, plásticos entre outras); em indústrias de produtos ao consumidor (alimentos, eletrodomésticos, brinquedos etc.); na produção de veículos; no setor de instalações (geração de energia, refrigeração e climatização), em empresas prestadoras de serviços, em empresas e laboratórios de pesquisa científica e tecnológica ou de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.
- Engenharia Química: instrumentação, processos de transferência de calor, massa e quantidade de movimento, termodinâmica, modelagem, controle, simulação e otimização de processos, processos químicos e bioquímicos, tecnologia ambiental; tecnologia de alimentos e bebidas, processos industriais, projeto de indústrias químicas (técnico e econômico), ética e meio ambiente e relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), atuando no setor industrial, nas áreas de petróleo e derivados, tintas, adesivos, alimentos e aditivos, cosméticos, biotecnologia, fertilizantes, fármacos, cimento, papel e celulose, automobilístico, de polímeros e de meio ambiente, em empresas e laboratórios de pesquisa científica e tecnológica ou de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.

- Engenharia Têxtil: mecânica dos fluidos, fenômenos de transporte, termodinâmica aplicada, instrumentação, processos e sistemas formadores de fios, processos e sistemas formadores de tecidos, processos e sistemas de enobrecimento têxtil, gestão da cadeia têxtil de suprimentos, instalações industriais têxteis, ética e meio ambiente e relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), atuando em indústrias de transformação, de equipamentos e de máquinas têxteis, em indústrias de produtos químicos e insumos têxteis, em empresas e indústrias que envolvam projetos de materiais têxteis para os setores automobilístico, médico-hospitalar, construção civil e aeroespacial, em empresas e laboratórios de pesquisa científica e tecnológica ou de forma autônoma, em empresa própria ou prestando consultoria.

Segundo o Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA, 1973), a Resolução n.º 218 da entidade define as atribuições dos engenheiros, para o exercício legal de sua profissão:

- Atividade 01 - Supervisão, coordenação e orientação técnica;
- Atividade 02 - Estudo, planejamento, projeto e especificação;
- Atividade 03 - Estudo de viabilidade técnico-econômica;
- Atividade 04 - Assistência, assessoria e consultoria;
- Atividade 05 - Direção de obra e serviço técnico;
- Atividade 06 - Vistoria, perícia, avaliação, arbitramento, laudo e parecer técnico;
- Atividade 07 - Desempenho de cargo e função técnica;
- Atividade 08 - Ensino, pesquisa, análise, experimentação, ensaio e divulgação técnica; extensão;
- Atividade 09 - Elaboração de orçamento;
- Atividade 10 - Padronização, mensuração e controle de qualidade;
- Atividade 11 - Execução de obra e serviço técnico;
- Atividade 12 - Fiscalização de obra e serviço técnico;

- Atividade 13 - Produção técnica e especializada;
- Atividade 14 - Condução de trabalho técnico;
- Atividade 15 - Condução de equipe de instalação, montagem, operação, reparo ou manutenção;
- Atividade 16 - Execução de instalação, montagem e reparo;
- Atividade 17 - Operação e manutenção de equipamento e instalação;
- Atividade 18 - Execução de desenho técnico.

A resolução explicita geração e utilização da energia elétrica apenas ao Engenheiro Eletricista, enquanto que instalações industriais e sistemas de produção de transmissão e de utilização do calor e de refrigeração e de ar condicionado apenas ao Engenheiro Mecânico.

Segundo o Confea (1986), a Resolução n.º 313 em seu Artigo 3.º define as atribuições dos tecnólogos, para o exercício legal de sua profissão: elaboração de orçamento; padronização, mensuração e controle de qualidade; condução de trabalho técnico; condução de equipe de instalação, montagem, operação, reparo ou manutenção; execução de instalação, montagem e reparo; operação e manutenção de equipamento e instalação; execução de desenho técnico; além de outras funções, como: vistoria, perícia, avaliação, arbitramento, laudo e parecer técnico; desempenho de cargo e função técnica; ensino, pesquisa, análise, experimentação, ensaio e divulgação técnica, extensão; responsabilizar-se, tecnicamente, por pessoa jurídica, desde que o objetivo social desta seja compatível com suas atribuições.

Aos tecnólogos em suas diversas modalidades, sob a supervisão e direção de engenheiros, arquitetos ou engenheiros agrônomos, compete também: execução de obra e serviço técnico, fiscalização de obra e serviço técnico, produção técnica especializada.

Assim, temos definidos os papéis das instituições de ensino, os conteúdos dos cursos de Engenharia em cada modalidade e as atribuições profissionais dos engenheiros e tecnólogos, sendo que no exercício da profissão, a atividade de projeto não é atribuída aos tecnólogos.

3 METODOLOGIA

A abordagem desta dissertação é qualitativa e exploratória, caracterizando-se em um estudo de caso da indústria brasileira. Para Yin (2004), um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos e podem ser classificados segundo seu conteúdo e objetivo final em exploratórios, explanatórios, ou descritivos, ou segundo quantidade de casos em caso único ou casos múltiplos, categorizados como holísticos ou incorporados. A principal tendência em todos os tipos de estudo de caso, é que estes tentam esclarecer o motivo pelo qual uma decisão ou um conjunto de decisões foram tomadas, como foram implementadas e quais resultados foram alcançados. Segundo Miguel (2007), a gestão de operações é uma disciplina de natureza aplicada que pode utilizar diversas alternativas de abordagens metodológicas não excludentes, inclusive o estudo de caso, que traz a possibilidade de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos. Na gestão de operações e na Engenharia de Produção, é possível classificar uma pesquisa como de natureza exploratória, sem relação causal entre as variáveis e, portanto, descritiva, utilizando uma abordagem de estudo de caso, com base em dados e/ou métodos de natureza qualitativa, com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre um problema não suficientemente definido, visando estimular a sua compreensão.

Para realizar os objetivos deste trabalho, foi utilizada uma pesquisa bibliográfica, a partir da coleta de dados secundários disponíveis em artigos internacionais de publicações científicas relevantes, na base de dados *Sciencedirect*, por meio das palavras-chave: energia renovável, energia alternativa, energia solar, aquecimento solar, aquecimento de água, aquecimento solar de água, processos industriais e aquecimento industrial para a construção do referencial teórico. Buscou-se identificar tanto aspectos conceituais para caracterizar o uso de aquecimento solar de água no setor industrial, quanto aplicações industriais mais utilizadas no mundo, além do estado da arte e as melhores práticas mundiais de ensino sobre energias renováveis nos cursos de nível superior.

A pesquisa exploratória norteou a coleta de dados secundários do mercado brasileiro de sistemas de aquecimento solar de água realizada na *webpage* do Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol), vinculado à Associação Brasileira Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (Abrava), buscando identificar os dados relativos às

características do setor no Brasil, o seu estágio atual de desenvolvimento, a distribuição regional da área instalada de coletores, tecnologias disponíveis para a utilização de aquecimento solar de água no Brasil, assim como dados quanto à fabricação, comercialização e instalação desses sistemas (DASOL, 2013).

Buscou-se identificar possibilidades de utilização de energia solar térmica em indústrias brasileiras, por meio da coleta de dados secundários sobre o setor industrial no Brasil, pelo Panorama da Indústria de Transformação Brasileira, elaborado pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2014), bem como no Plano Nacional de Eficiência Energética 2010-2013 (PNEf) produzido pelo Ministério de Minas e Energia (MME-PNEf, 2010).

A Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional (MEC-LDB, 1996), os Referenciais Curriculares Nacionais dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura (MEC, 2010) e a Resolução 218 do Confea (CONFEA, 1973), foram utilizadas para apoiar a busca das possíveis iniciativas de compor novas ou rever as atuais matrizes curriculares dos cursos superiores de Engenharia para formação específica em energias renováveis. Os cursos que foram pesquisados em cada instituição foram as modalidades de Engenharias Mecânica, Elétrica, Civil, de Produção e Mecatrônica (Controle e Automação), de Alimentos e Têxtil, primeiramente porque estão relacionadas aos principais setores industriais apontados como maiores potenciais para utilização de energias alternativas pelos autores internacionais e também porque estão relacionadas à atividade de projeto, instalação, operação e manutenção dos sistemas de energias nos processos industriais.

Para a definição da amostra de instituições de ensino superior, optou-se por estudar as escolas de Engenharia e Tecnologia do Estado de São Paulo, o estado mais industrializado do Brasil. Primeiramente foram levantadas as classificações dos cursos por publicações que pesquisam e divulgam "as melhores escolas" ou os "melhores cursos", segundo seus critérios. A primeira seleção de instituições foi pelo *Ranking Universitário Folha*, elaborado pelo Datafolha, que utilizou metodologia com critérios ponderados de produção científica, qualidade do ensino na opinião de especialistas, avaliação de mercado a partir de entrevistas com diretores, gerentes ou profissionais responsáveis pelos recursos humanos de empresas e instituições brasileiras e inovação, mensurada pelo número de patentes registradas pelas instituições. A partir dessa lista, foram selecionadas, as instituições que ofereciam o curso de Engenharia no Estado de São Paulo (FOLHA DE SÃO PAULO, 2014).

Esta parte inicial da amostra foi mesclada com as classificações divulgadas pela Revista Exame.com (2014), "Os melhores cursos de Engenharia do Brasil", que relacionou as instituições com nível de excelência nos Conceitos Preliminares de Curso (CPC), considerado pelo MEC para calcular o Índice Geral de Cursos (IGC).

Finalmente, do Guia do Estudante Abril (2014) foram elencadas outras instituições pesquisadas pelos critérios de amostra da Editora Abril, e classificadas segundo opiniões de pareceristas especialistas.

A Tabela 10, a seguir, indica os *links* de acesso às fontes consultadas para determinação da amostra de instituições de ensino superior.

Tabela 10 – Fontes de consulta aos melhores cursos de Engenharia em São Paulo

Fonte de consulta	<i>Link de acesso (em 16/07/2014)</i>
Ranking Universitário Folha	http://ruf.folha.uol.com.br/2012/rankings/rankingporcursos/
Revista Exame	http://exame.abril.com.br/carreira/noticias/os-melhores-cursos-de-engenharia-do-brasil?
Guia do Estudante Abril	http://guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/engenharia/

Fonte: o autor

Do rol de instituições identificadas pelos três critérios, foram realizadas as consultas em suas *webpages*, buscando em suas matrizes curriculares as disciplinas que claramente exibiam em seus títulos a palavra energia renovável.

A Tabela 11, a seguir, indica os *links* de acesso às matrizes curriculares dos cursos de Engenharia e tecnologia das instituições de ensino superior que formam a amostra pesquisada.

Tabela 11 – *Links* de acesso às matrizes curriculares - amostra das instituições de ensino superior - SP

Instituição	Link de acesso (em 16/07/2014)
Anhembi-Morumbi	http://portal.anhembi.br/estude-aqui/graduacao/cursos/
EEP/FUMEP	http://portal.eep.br/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=104
ESEG	http://www.eseg.edu.br/cursos/engenharia
FAAP	http://www.faap.br/faculdades/engenharia/index.asp
FACAMP	http://www.facamp.com.br/wp3/index.php/cursos/
FEI	http://portal.fei.edu.br/pt-br/Paginas/home.aspx
FIEL	http://www.einsteinlimeira.com.br/p/cursos/79
LOGATTI	http://www.logatti.edu.br/
MAUA	http://www.maua.br/cursos-graduacao/
PUC-Campinas	https://www.puc-campinas.edu.br/graduacao/
UFABC	http://prograd.ufabc.edu.br/images/pdf/projeto_pedagogico_engenharias_2013_consepe.pdf
UFSCAR	http://www2.ufscar.br/interface_frames/index.php?link=http://www.prograd.ufscar.br/cursos.php
UMC	http://www.umc.br/graduacao
UNASP	http://www.unasp-ec.com/unasp/Ensino/curso.php?id=6
UNESP	http://www.unesp.br/portal#/prograd/cursos-de-graduacao-ciencias-exatas/
UNIARARAS	http://www.facamp.com.br/wp3/index.php/cursos/
UNICAMP	http://www.dac.unicamp.br/sistemas/catalogos/grad/catalogo2012/cursos.html
UNIFEB	http://www.feb.br/
UNIFRAN	http://www.unifran.edu.br/site/canais/graduacao/
UNILAGO	http://www.unilago.edu.br/cursos/graduacao/
UNILINS	http://www.unilins.edu.br/cursos/graduacao/index.php
UNIMAR	http://www.unimar.br/cursos/graduacao/
UNIP	http://www3.unip.br/ensino/graduacao/tradicionais/index.aspx
UNISANTA	http://www.unisanta.br/Graduacao
UNISANTOS	http://www.unisantos.br/portal/graduacao/
UNISEB	http://uniseb.com.br/presencial/graduacao
UNITAU	http://www.unitau.br/#
UNIVEM	http://www.univem.edu.br/
UNOESTE	http://www.unoeste.br/site/cursos/Graduacao.aspx
USF	http://www.usf.edu.br/cursos/cursos.vm?segmento=GRA#conteudoInternas
USJT	http://www.usjt.br/cursos/graduacao/curriculos_cursos/
USP-SCarlos	http://www5.usp.br/ensino/graduacao/cursos-oferecidos/
USP-Lorena	http://www5.usp.br/ensino/graduacao/cursos-oferecidos/
USP-SP	http://www5.usp.br/ensino/graduacao/cursos-oferecidos/

Fonte: o autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise dos dados levantados sobre a evolução do consumo mundial, foi possível identificar um aumento expressivo da utilização de energia. Para fins industriais, o consumo final de energia no mundo representa aproximadamente um terço do total consumido, o que também acontece no Brasil. Os números mundiais indicam que, nas indústrias, o aumento percentual da utilização de energias alternativas renováveis foi maior do que o aumento percentual de energia total. Na indústria brasileira, ao contrário, o emprego de fontes alternativas de energia cresceu percentualmente menos do que o consumo total de energia.

Autores pesquisados, como Taibi *et al.* (2012), Mekhilef *et al.* (2011), Kalogirou (2003), Islam *et al.* (2013), Cottret e Menichetti (2010), Vanoni *et al.* (2008) e Lauterbach *et al.* (2012) convergem para a opinião de que das energias alternativas renováveis, a solar é uma das mais promissoras para abastecer a indústria, embora ainda tenha uma participação muito baixa. Concluem que alguns setores industriais são potencialmente mais viáveis para a utilização de sistemas de aquecimento solar de água, pela própria natureza e em função das temperaturas da água dos processos. Os setores indicados como de maior viabilidade e potencial para utilização de aquecimento solar são: alimentício (alimentos em conserva e laticínios), bebidas (produção de vinho, cerveja e refrigerantes), têxtil (inclusive confecção) e químico (principalmente cosméticos e produtos de higiene e limpeza). As aplicações mais favoráveis são aquelas cujas temperaturas de processo são consideradas baixas, de até 100°C e que representam cerca de 30% das aplicações de aquecimento nesses setores. Para essas aplicações, os tipos de coletores de aquecimento solar mais apropriados são os de placa plana e de tubo evacuado, produzidos em maior escala e de menor custo de aquisição, instalação e operação.

Os exemplos de aplicação reais implantados por indústrias, apresentados pelos autores Mekhilef *et al.* (2011), Beath (2012), Fuller (2011), Quijera *et al.* (2011), Calderoni *et al.* (2012), Karagiorgas *et al.* (2001) e Cottret e Menichetti (2010) referem-se a processos da indústria alimentícia (principalmente laticínios), da indústria de bebidas (pasteurização, limpeza e esterilização de garrafas, utensílios e equipamentos do processo de produção), da indústria têxtil (processos de tingimento e lavagem de tecidos, bem como para lavar e passar roupas prontas).

Foi constatado também que a água de processo pode ser diretamente aquecida e utilizada, ou indiretamente aquecida, por meio de trocador de calor submerso, sendo que uma mistura água-glicol é aquecida pelos coletores solares em circuito fechado.

A eficiência do uso dos sistemas de aquecimento solar de água depende principalmente da localização da planta industrial, cujo fator ambiental predominante é a intensidade de radiação solar, além da topografia, da inclinação e orientação da superfície coletora, temperatura ambiente, incidência de sombras, atenuações atmosféricas como absorção de gases, partículas sólidas, líquidas e nuvens. Depende ainda das características do processo, como tamanho e variações da demanda de água quente, bem como da temperatura necessária à água do processo e da disponibilidade de espaço para instalação dos coletores. A configuração do sistema, ou seja, tamanho da área dos coletores, forma de montagem dos mesmos combinados em série e em paralelo, para obtenção de temperatura de saída constante ou para fluxo de massa constante no interior dos coletores, e ainda o tamanho e a forma de montagem dos reservatórios de armazenamento e sistema de bombeamento (bombas, tubos, isolamento e estrutura) de água quente são determinantes para o dimensionamento e os custos do sistema. Estudos de viabilidade devem considerar fatores como custos de instalação, operação e manutenção dos sistemas térmicos solares, custo do capital, necessidades, acesso e subsídios de financiamento, taxa de juros, prazos de financiamento, taxa de inflação, incentivos governamentais aos sistemas solares e aos preços de energia elétrica e combustível, aumentos nos preços de energia elétrica e combustível.

A viabilidade econômica é obtida basicamente se o tempo de retorno (*pay-back*) resultar menor do que o tempo de vida útil do equipamento, e será mais viável quanto maior for a economia obtida pelo sistema em comparação aos gastos gerados pelo consumo de energia convencional, como eletricidade e combustível fóssil. A viabilidade dos sistemas deve ainda considerar suas externalidades positivas, tanto ambientais quanto sociais, como por exemplo, redução de poluição e de gases de efeito estufa resultante da redução de consumo de combustível fóssil; redução da necessidade de transmissão e distribuição de energia elétrica; redução dos incentivos governamentais aos combustíveis e à energia elétrica, além da geração de novos empregos e novas ocupações na área de energia renovável.

Como barreiras ao maior uso de sistemas térmicos solares foram identificados os custos ainda considerados relativamente altos dos sistemas de aquecimento solar; a aversão dos investidores e gestores aos riscos financeiros ligados às novas tecnologias de aquecimento

solar; a ainda baixa difusão tecnológica do aquecimento solar aos políticos, empresários, decisores e usuários potenciais; a escassez de guias técnicos e ferramentas para projetar sistemas solares térmicos típicos para indústrias, havendo ainda poucos profissionais com conhecimento e experiência nessa área; e ainda a escassez de educação e formação em energia solar térmica em Engenharia e em todos os níveis profissionais: projetistas, instaladores, operadores e mantenedores, entre outros.

Constatou-se que a indústria brasileira tem elevado potencial para utilização de sistemas de aquecimento solar de água, visto que seu parque industrial é grande e diversificado, tendo indústrias em todos os setores considerados como promissores para a utilização desses sistemas. Um aspecto favorável identificado é que os sistemas de aquecimento solar de água são mais eficientes em áreas de radiação abundante, condição em que o Brasil é privilegiado em relação a outras regiões do mundo, como os países europeus, por exemplo.

Outro aspecto positivo é que todas as esferas de governo brasileiro já iniciaram algumas ações de estímulo ao desenvolvimento do uso de energias renováveis MME - PNEf (2010).

Uma limitação da cadeia produtiva dos sistemas de aquecimento solar no Brasil é que são produzidos apenas coletores solares do tipo placa plana, sendo que coletores de tubos evacuados são importados e comercializados em baixa escala enquanto que na China, líder mundial em área instalada de coletores solares, eles são produzidos e aplicados em larga escala.

Por outro lado, apesar da área de coletores solares instalados no País estar entre as cinco maiores do mundo, as aplicações residenciais representam cerca de 80% e as aplicações institucionais são predominantemente voltadas para construções do setor de serviço e poucos prédios públicos, sendo que as vendas para indústrias representam algo em torno de 2%, muitas apenas para uso em vestiários, em substituição aos chuveiros elétricos para banho de funcionários. Além disso, a capacidade instalada de coletores solares por mil habitantes no Brasil é muito baixa em termos mundiais, comparada aos países mais intensamente usuários da energia solar.

Nesse sentido, o estágio atual de desenvolvimento do setor de aquecimento solar brasileiro pode ser considerado muito embrionário, tanto no que diz respeito à capacidade

instalada *per capita*, quanto à produção de modelos de coletores solares e quanto à falta de difusão de conhecimento e cultura de utilização desses sistemas no meio industrial, que poderia gerar economia de consumo de energia elétrica, redução de custos e de poluentes e geração de empregos.

Pela baixa demanda de consumo desses sistemas na indústria, há também uma carência de formação de profissionais nessa área, tanto para projeto dos sistemas, quanto para instalação, manutenção e operação dos mesmos. Mundialmente foi apontada a escassez de mão de obra especializada para desenvolver aplicações de energias renováveis, ao passo que essa demanda está crescendo. A experiência internacional mostra que é preciso que as instituições de ensino façam uma adequação de seus currículos e conteúdos para atender a essa nova demanda, reformulando os cursos de graduação, oferecendo cursos de extensão e pós-graduação, sem deixar de estabelecer parcerias com outras instituições de ensino e com as indústrias. A realidade é que ainda é uma minoria de instituições que estão oferecendo formação em energias renováveis em seus cursos de graduação.

Embora as indústrias no Brasil já façam uso de fontes alternativas de energia, há muito potencial para crescer, porém, assim como no mundo todo, os dados apontam para falta de profissionais formados e qualificados em todas as etapas da cadeia produtiva de sistemas de energia renovável, o que se converte também em oportunidades de adequação dos cursos superiores para abastecer o mercado com esses profissionais. De acordo com os temas de formação e ambientes de atuação explícitos nos Refereciais Curriculares Nacionais dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura, bem como na atribuição profissional concedida e fiscalizada pelo Confea, para atender as necessidades de profissionais que as indústrias tem para desenvolver e aplicar soluções em energias renováveis, dentre elas a de aquecimento solar, os cursos que têm competências e afinidade com esses requisitos são os de Engenharia de Alimentos, Civil, Elétrica, Mecânica, Mecatrônica (Controle e Automação), de Produção, Química e Têxtil. Esses fatos convergem para os resultados da experiência e dos estudos internacionais, que mostram que energias renováveis são temas multidisciplinares e que ultrapassam as fronteiras internas das instituições de ensino.

Para exemplificar o baixo grau de difusão de conhecimento funcional e tecnológico em energias renováveis, foram pesquisadas instituições de ensino superior para formação de engenheiros e tecnólogos no Estado de São Paulo, com a finalidade de identificar as

disciplinas relativas a energias renováveis existentes nas grades curriculares dos respectivos cursos, conforme se observa na Tabela 12.

Tabela 12 – Cursos de Engenharia que têm disciplina de energia renovável na grade curricular

Instituição	Modalidade de Engenharia							
	Alimentos	Civil	Elétrica	Mecânica	Mecatrônica	Produção	Química	Têxtil
Anhembi-Morumbi		NÃO	NÃO	NÃO		NÃO		
EEP/FUMEP		NÃO		NÃO	NÃO	NÃO		
ESEG						NÃO		
FAAP		NÃO	NÃO	NÃO			NÃO	
FACAMP			NÃO	NÃO		NÃO		
FEI		NÃO	NÃO	NÃO		NÃO	NÃO	NÃO
FIEL		NÃO	NÃO	NÃO		NÃO		
LOGATTI		NÃO						
MAUA	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM		
PUC-Campinas		NÃO	NÃO			NÃO	NÃO	
UFABC			SIM	NÃO		NÃO		
UFSCAR		NÃO				NÃO	NÃO	
UMC		NÃO	NÃO	NÃO		NÃO	NÃO	
UNASP		NÃO						
UNESP	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO			
UNIARARAS		NÃO		NÃO		NÃO	NÃO	
UNICAMP	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	
UNIFEB	NÃO	NÃO	SIM	NÃO		NÃO	NÃO	
UNIFRAN		NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	
UNILAGO		NÃO	NÃO			NÃO		
UNILINS		NÃO	NÃO			NÃO		
UNIMAR		NÃO	NÃO	NÃO				
UNIP		NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO		
UNISANTA		NÃO	NÃO	NÃO		NÃO	NÃO	
UNISANTOS		NÃO				NÃO		
UNISEB		NÃO				NÃO		
UNITAU	NÃO	SIM	NÃO					
UNIVEM						NÃO		
UNOESTE		NÃO				NÃO		
USF		NÃO	NÃO	NÃO		NÃO	NÃO	
USJT		NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO		
USP-SCarlos		NÃO		SIM	NÃO			
USP-Lorena							NÃO	
USP-SP	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO			NÃO

Fonte: o autor (2014)

Foram identificadas 34 instituições, pelos critérios estabelecidos para a amostra desta pesquisa, as quais oferecem juntas, 126 cursos. Desses, apenas 12 cursos de 7 instituições apresentam disciplina com o nome Energias Renováveis em suas matrizes curriculares. Outras denominações de disciplinas foram encontradas, como Gestão Ambiental, Ciências do Ambiente, Engenharia ambiental e assemelhados, mas ao buscar na ementa da disciplina o conteúdo programático, este versava principalmente sobre redução de poluentes, resíduos e efluentes, mas parcialmente ou quase que superficialmente sobre energias renováveis.

Dentre os cursos de tecnologia, foram pesquisados aqueles oferecidos no Estado de São Paulo pelo Centro Paula Souza, por meio das mais de 60 unidades da Faculdade de Tecnologia do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (FATEC) instaladas no estado, que oferecem cerca de 70 cursos. Apenas dois cursos em quatro unidades apresentaram a disciplina de Energias Renováveis como parte do conteúdo de suas matrizes curriculares: Processos Químicos, na unidade Praia Grande e Manutenção Industrial, nas unidades Osasco, Pindamonhangaba e Tatuí (FATEC, 2014).

CONCLUSÃO

Com base nas discussões apresentadas na seção anterior, fundamentadas pelos resultados obtidos da prospecção das fontes citadas, conclui-se que os objetivos propostos para a presente pesquisa foram alcançados, pois indicam que o uso de sistemas de aquecimento solar de água em processos industriais, principalmente os que utilizam água aquecida em baixas temperaturas (até aproximadamente 100°C), para uso direto ou para pré-aquecimento nos processos de temperaturas mais elevadas, é uma alternativa inovadora e viável que pode levar os setores de alimentos, bebidas, têxtil e químico a contribuir para a redução do consumo de energia nos processos que demandam calor em baixas temperaturas, que passaria a ser gerado de forma renovável e limpa por meio dos coletores solares.

Conclui-se também que os setores de alimentos, bebidas, têxtil e químico são os mais favoráveis à aplicação de sistemas solares para aquecimento de água, e que o uso desses sistemas poderá contribuir para levar o consumo de energia elétrica dessas indústrias a ser reduzido, e parte do consumo passaria a ser gerado de forma renovável e limpa por meio dos coletores solares.

Foi possível delinear o tamanho do mercado industrial brasileiro e dos segmentos potenciais ao uso dos sistemas de aquecimento solar de água, mencionados acima por meio do Panorama da Indústria de Transformação Brasileira (FIESP, 2014).

O estudo do mercado de aquecimento solar de água no Brasil mostrou que este é um setor com baixo desenvolvimento, havendo ainda muito potencial de expansão, comparando-se a outros países que já fazem uso mais intenso desses sistemas.

Os dados pesquisados levam ainda a concluir algumas das barreiras à utilização de sistemas de aquecimento solar de água estão ligados à falta de disseminação do conhecimento técnico e de literatura específica de aplicações industriais desses sistemas, além da escassez e da baixa qualificação da mão de obra para atuar nesse mercado. O exemplo do estudo de uma amostra das instituições de ensino superior paulistas mostrou que a oferta de formação de profissionais nos cursos de Engenharia e de Tecnologia, os quais geram mão de obra capacitada para as indústrias para projetos, instalações, integração, instrumentação, manutenção e controle de sistemas de energia renovável é insuficiente.

Acredita-se que foram valiosas as contribuições desta dissertação para empresas industriais e instituições de ensino, como indicador de oportunidades de desenvolvimento de capacitação profissional para aplicações de energias renováveis.

Sugestões para trabalhos futuros são: mapear as cadeias produtivas dos setores industriais de alimentos, bebidas, têxtil e químico, bem como suas necessidades, expectativas e intenções de inovação nessa área, para buscar dimensionar o potencial de aplicação do aquecimento solar na indústria brasileira.

Como recomendações para continuidade deste estudo e para próximos trabalhos de pesquisa, pode-se considerar a possibilidade de mapear outros segmentos industriais para estimar seus potenciais de utilização dos sistemas de aquecimento solar de água.

Além disso, cabe também buscar entender porque as indústrias fabricantes de coletores solares ainda não voltaram seu interesse para os clientes industriais.

Outro ponto seria buscar a compreensão sobre quais são as descontinuidades existentes na cadeia produtiva de sistemas de aquecimento solar de água, especialmente na cadeia de distribuição (fabricantes, distribuidores, revendedores e instaladores).

Finalmente, caberia estudar o ementário dos cursos das instituições de ensino superior no Brasil, principalmente, para adequação dos cursos de formação superior para as novas necessidades em aplicações de energia renovável.

REFERÊNCIAS

ACIKGOZ, C.. Renewable energy education in Turkey. **Renewable Energy**, Brighton-UK, v. 36, n. 2, p.608-611, fev. 2011.

ANGELIS-DIMAKIS, A. et al. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Brighton-UK, v. 15, n. 2, p.1182-1200, fev. 2011.

ATKINS, M. J.; WALMSLEY, M. R.W.; MORRISON, A. S.. Integration of solar thermal for improved energy efficiency in low-temperature-pinch industrial processes. **Energy**, Brighton-uk, v. 35, n. 5, p.1867-1873, maio 2010.

BEATH, A. C.. Industrial energy usage in Australia and the potential for implementation of solar thermal heat and power. **Energy**, Brighton-UK, v. 41, n. 1, p.261-272, jul. 2012.

BRUNSGAARD, C.; DVORÁKOVÁ, P.; WYCKMANS; A., STUTTERECKER, W.; LASKARIE, M.; ALMEIDA, M.; KABELE, K.; BA RTKIEWICZ, P. e VELD, P.O. Integrated energy design: Education and training in cross-disciplinary teams implementing energy performance of buildings directive (EPBD). **Building And Environment**, Brighton-UK, v. 72, n. 1, p.1-14, fev. 2014.

CALDERONI, M.; APRILE, M. MORETTA, S.; AIDONIS, A. e MOTTA. M. Solar thermal plants for industrial process heat in Tunisia: Economic feasibility analysis and ideas for a new policy. **Energy Procedia**, Brighton-UK, v. 30, 1st International Conference on Solar Heating and Coolingfor Buildings and Industry (SHC 2012), p.1390-1400, 2012.

CONFEA (1973). Resolução Nº 218/73. **Atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia**. Disponível em <<http://www.confea.org.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1561&sid=193>>, acessado em 08/05/2014.

CONFEA (1986). Resolução Nº 313/86. **Exercício profissional dos Tecnólogos**. Disponível em: <<http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=361&idTipoEmenta=5&Numero=>>>, acessado em: 08/05/2014.

COTTRET, N.; MENICHETTI, E.. Technical Study Report on Solar Heat For Industrial Processes (SHIP): State of the art in the Mediterranean region. **Observatoire Méditerranéen de l'Energie**, Nanterre, 2010. Disponível em: <<http://www.b2match.eu/system/stworkshop2013/files/SHIP.pdf?1357835481>>, acesso em: 05/05/2014.

DASOL (2013). Departamento Nacional de Aquecimento Solar da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA). Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br>>, acesso em: dezembro/2013 e outubro/2014.

EXAME.com. **Os melhores cursos de Engenharia do Brasil.** São Paulo: Grupo Abril, 2014. Disponível em <<http://exame.abril.com.br/carreira/noticias/os-melhores-cursos-de-engenharia-do-brasil?>>, acesso em 16/07/2014.

FATEC (2014). **Cursos Superiores de Tecnologia.** Disponível em: <<http://www.centropaulasouza.sp.gov.br/cursos/fatec/>>, acesso em: 16/07/2014.

FIESP: **Panorama da Indústria de Transformação Brasileira.** 3a. Edição, Março de 2014. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/panorama-da-industria-de-transformacao-brasileira/>>, acesso em: 15/10/2014.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Ranking Universitário Folha 2012.** São Paulo, 2014. Disponível em <<http://ruf.folha.uol.com.br/2012/rankings/rankingporcursos/>>, acesso em 16/07/2014.

FULLER, R.J.. Solar industrial process heating in Australia:Past and current status. **Renewable Energy**, Brighton-UK, v. 36, n. 1, p.216-221, jan. 2011.

GELEGENIS, J.J.; HARRIS, D.J.. Undergraduate studies in energy education - A comparative study of Greek and British courses. **Renewable Energy**, Brighton-UK, v. 62, n. 1, p.349-352, fev. 2014.

GEOMODEL SOLAR. **Maps of Direct Normal Irradiation (DNI), 2014.** Disponível em: <<http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-DNI>>, acesso em: 15/10/2014.

GUIA DO ESTUDANTE ABRIL. São Paulo: Grupo Abril, 2014. Disponível em <<http://guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/engenharia-producao/engenharia-mecanica-685896.shtml>>, acesso em 16/07/2014.

HAWLADER, M. N. A., NG K. C., CHANDRATILLEKE, T. T., SHARMA, D. e KELVIN K. H. L. Economic evaluation of a solar water heating system. **Energy Conversion and Management**, Brighton-UK, v. 27, n. 2, p.197-204, 1987.

IEA, International Energy Agency, 2013. **Key World Energy Statistics**, Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>>, acesso em: 31/03/2014.

IRENA, 2013. **Renewable Energy and Jobs.** International Renewable Energy Agency. Disponível em: <<http://www.irena.org/rejobs.pdf>>, acesso em: 13/05/2014.

ISLAM, M.R.; SUMATHY, K.; KHAN, S. U.. Solar water heating systems and their market trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Brighton-UK, v. 17, n. 1, p.1-25, jan. 2013.

KALOGIROU, S.. The potential of solar industrial process heat applications. **Applied Energy**, Brighton-UK, v. 76, n. 4, p.337-361, dez. 2003.

KANDPAL, T. C.; BROMAN, L.. Renewable energy education: A global status review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Brighton-UK, v. 34, n. 1, p.300-324, jun. 2014.

KARABULUT, A.; GEDIK, E.; KAÇEBAS, A. e ALKAN, M.A. An investigation on renewable energy education at the university level in Turkey. **Renewable Energy**, Brighton-UK, v. 36, n. 4, p.1293-1297, abr. 2011.

KARAGIORGAS, M.; BOTZIOS, A. e TSOUTSOS, T.. Industrial solar thermal applications in Greece Economic evaluation, quality requirements and case studies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Brighton-UK, v. 5, n. 2, p.157-173, jun. 2001.

KIM, Y-D., THU, K., BHATIA, H. K., BHATIA C. S. e NG, K. C. Thermal analysis and performance optimization of a solar hot water plant with economic evaluation. **Solar Energy**, Brighton-UK, v. 86, n. 5, p.1378-1395, maio 2012.

KULKARNI, G. N., KEDARE, S. B. e BANDYOPADHYAY, S. Design of solar thermal systems utilizing pressurized hot water storage for industrial applications. **Solar Energy**, Brighton-UK, v. 82, n. 8, p.686-699, ago. 2008.

_____. Optimization of solar water heating systems through water replenishment. **Energy Conversion and Management**, Brighton-UK, v. 50, n. 3, p.837-846, mar. 2009.

LAUTERBACH, C.; SCHIMITT, B.; JORDAN, U. e VAJEN, K. The potential of solar heat for industrial processes in Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Brighton-UK, v. 17, n. 7, p.5121-5130, set. 2012.

MARTINS, F.R; ABREU, S.L.; PEREIRA, E.B.. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil **Energy Policy**, Brighton-UK, v. 48, n. 1, p.640-649, set. 2012.

MAUTHNER, F.; WEIS, W.. Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2012. **IEA Solar Heating & Cooling Programme - (AEE - Institute for Sustainable Technologies)**. Gleisdorf - Austria, 2014. Disponível em: < <http://www.iea-shc.org/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2014.pdf>>, acesso em: 16/10/2014.

MEC - LDB (1996) - Lei n.º 9.394/96. **Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Brasília: 1996, Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/ldb.pdf>>, acesso em: 13/08/2014.

MEC (2010) - **Referenciais Curriculares Nacionais dos Cursos de Bacharelado e Licenciatura**. Brasília: 2010, Disponível em: < <http://www.dca.ufrn.br/~adelardo/PAP/ReferenciaisGraduacao.pdf>>, acesso em: 20/05/2014.

MEKHILIEF, S.; SAIDUR, R.; SAFARI, A.. A review on solar energy use in industries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Brighton-UK, v. 15, n. 4, p.1777-1790, maio 2011.

MIGUEL, P. A. C.. Estudo de caso na engenharia de produção:estruturação e recomendações para sua condução. **Revista Produção [online]**. 2007, vol.17, n.1, pp. 216-229. ISSN 0103-6513. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132007000100015&script=sci_arttext>, acesso em: 02/10/2014.

MME - BEN (2013) - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2013, Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf>, acesso em: 13/04/2014.

MME - PNEf (2010). **Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf: 2010-2030**. Ministério de Minas e Energia – Brasília – Brasil – 2010. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME, 2010, Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PNEf_-_Premissas_e_Dir._Basicas.pdf>, acesso em: 12/06/2012.

QUIJERA, J.A.; ALRIOLS, M.G.; LABIDI, J.. Integration of a solar thermal system in a dairy process. **Renewable Energy**, Brighton-UK, v. 36, n. 6, p.1843-1853, jun. 2011.

TAIBI, E.; GIELENB, D.; BAZILIAN, M.. The potential for renewable energy in industrial applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Brighton-UK, v. 16, n. 1, p.735-744, jan. 2012.

TIMILSINA, G.R.; KURDGELASHVILI, L.; NARBELC, P.A.. Solar energy: Markets, economics and policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Brighton-UK, v. 16, n. 1, p.449-465, jan. 2012.

VANNONI, C.; BATTISTI, R.; DRIGO, S.. Potential for Solar Heating Industrial Processes. **IEA SHC Task 33 and solar PACES Task IV: Solar Heat for Industrial Processes**, CIEMAT: Madrid, 2008 Disponível em: <<http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien561.pdf>>, acesso em: 05/05/2014.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Trad. Daniel Grassi- 2.ed.- Porto Alegre: Bookman, 2001. Reimpressão 2004.

ZYADIN, a.; PUHAKKA, A.; AHPONEN, P.; CRONBERG, T. e PLKONEN, P. School students' knowledge, perceptions, and attitudes toward renewable energy in Jordan. **Renewable Energy**, Brighton-UK, v. 45, n. 1, p.78-85, set. 2012.

ZYADIN, A.; PUHAKKA, A.; AHPONEN, P. e PELKONEN, P. Secondary school teachers' knowledge, perceptions, and attitudes toward renewable energy in Jordan. **Renewable Energy**, Brighton-UK, v. 62, n. 1, p.341-348, fev. 2014.