

Tendências de energia solar térmica para o setor de alimentos no semiárido

Daniel de Paula Diniz⁽¹⁾; Caio Tácito Miranda Castro Bezerra de Melo⁽²⁾; Ana Katarina Pessoa de Oliveira⁽³⁾; Monica Carvalho^{(4)*}

(1) Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba.
danieldiniz@cear.ufpb.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, UFPB.
caiotcastro@gmail.com

(3) Departamento de Contabilidad y Finanzas, Universidad de Zaragoza.
anakatoli@gmail.com

(4) Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba.
monica@cear.ufpb.br

Incontestavelmente é necessária a disseminação do desenvolvimento sustentável para efetivação do desenvolvimento regional, em particular, no semiárido nordestino. Melhoria em eficiência energética é uma base importante para resolver tanto a segurança energética quanto as preocupações ambientais. A utilização de energia solar térmica nos processos industriais vem com esse propósito. Dentro dos principais ramos da indústria que exigem calor de processo se destaca a indústria alimentícia, se sobressaindo as indústrias de laticínios. A cadeia produtiva do leite apresenta grande relevância socioeconômica para a Região Nordeste, sendo uma das atividades mais presentes no semiárido. O objetivo desse trabalho é demonstrar a viabilidade ambiental da inserção da energia solar térmica em processos industriais no semiárido nordestino, utilizando conceitos de desenvolvimento sustentável em um estudo de caso referente a uma fábrica de laticínios instalada na região. Dados obtidos do diagnóstico energético de uma fábrica de laticínios foram usados para realizar análises ambientais, verificando o potencial de mitigação de mudanças climáticas associado a diferentes recursos energéticos. A hipótese é de que a substituição, mesmo que parcial, da fonte de energia térmica tradicional, que é óleo diesel ou eletricidade, por uma fonte renovável, traz consigo inúmeras vantagens ambientais. Considerando a demanda energética para processos térmicos e a alta irradiação solar incidente no semiárido nordestino, sugere-se a instalação de coletores solares para produção de calor de processo. A metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) foi aplicada para quantificar as emissões de gases de efeito estufa associadas ao consumo de eletricidade e óleo diesel, formas de energia comumente utilizadas pelas indústrias no semiárido, comparando com energia solar térmica. A orientação em relação a dimensão de desenvolvimento sustentável ainda está numa fase inicial, e a incorporação do conceito de sustentabilidade exige mudanças na atual gestão das empresas. Essa mudança se dará basicamente por meio da inovação nos processos produtivos. Os resultados obtidos a partir desse estudo de caso poderão ser expandidos para outras áreas do setor industrial que também utilizam calor de processo. As empresas do setor de alimentos do semiárido brasileiro podem explorar várias estratégias para agregar valor sustentável aos negócios. A utilização de conceitos de ACV pode informar o benefício ambiental associado à substituição da fonte energética, demonstrando que a introdução de energia solar térmica é uma alternativa viável ambientalmente. Os resultados obtidos neste trabalho, somados a futuras pesquisas em outros setores, poderão diminuir os efeitos negativos das atividades industriais. A aplicação de pesquisas semelhantes em instituições diversas poderá mitigar a intensificação do efeito estufa uma vez que o somatório das emissões evitadas poderá ser elevado. Por meio destas mudanças em diferentes setores, será possível, em um futuro próximo, estabelecer uma economia de baixo carbono.

Palavras-chave: Energia solar térmica; Aquecimento solar; Setor alimentício; Alimentos; Semiárido.

* Orientador: Raphael Abrahão. Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba. *raphael@cear.ufpb.br*

1. Introdução

Incontestavelmente é necessária a disseminação do desenvolvimento sustentável para efetivação do desenvolvimento regional, em particular, no semiárido nordestino. Melhoria em eficiência energética é uma base importante para resolver tanto a segurança energética, quanto as preocupações ambientais (DOMANSKI, 2011). A reunião do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC em inglês) em outubro de 2018, na Coreia do Sul, concluiu que é necessária uma transição rápida e abrangente em termos de energia, sistemas urbanos e indústrias (IPCC, 2018). A aplicação de energias renováveis vem para ajudar a alcançar esse propósito, e este trabalho foca na energia solar térmica.

Martins, Abreu e Pereira (2012) estudaram cenários para aplicações de energia solar térmica no Brasil, e concluíram que a região semiárida é a melhor para o aproveitamento de energia solar, pois a região atinge $2,2 \text{ MW h/m}^2$ por ano com médias diárias de irradiação solar mais altas que 5 kW h/m^2 . Em 1977 um estudo realizado na Austrália já demonstrava que era tecnicamente viável inserir sistemas solares de aquecimento em sistemas industriais já existentes (*retrofit*), e que usando técnicas conhecidas era possível que 30% da demanda anual de calor de indústrias alimentícias fosse satisfeita por coletores solares (PROCTOR; MORSE, 1977). Na Áustria, o estudo de Schnitzer, Brunner e Gwehenberger (2007) demonstrou uma minimização na emissão de gases de efeito estufa (GEE) quando sistemas de energia solar térmica foram utilizados em uma indústria de laticínios. O estudo de Moses *et al.* (2014) também demonstrou ótimas vantagens quando do acoplamento de coletores solares para secagem de alimentos em geral, fato demonstrado por Janjai (2014) na Tailândia. Na Alemanha, desenvolveu-se uma metodologia específica para avaliar o potencial de utilização de energia solar térmica na indústria alimentícia, mais especificamente para indústrias de laticínios e cervejarias (MÜLLER; BRANDMAYR; ZÖRNER, 2014). No México, sistemas de energia solar térmica para refrigeração foram acoplados a indústrias alimentícias com sucesso (BEST *et al.*, 2013).

A utilização de energia solar térmica nos processos industriais vem sendo progressivamente mais adotada, com destaque para a indústria alimentícia (ATKINS; WALMSLEY; MORRISON, 2010; MEKHILEF; SAIDUR; SAFARI, 2011; KALOGIROU, 2016), se sobressaindo as indústrias de laticínios. A cadeia produtiva do leite apresenta grande relevância socioeconômica para a Região Nordeste, sendo uma das atividades mais presentes no semiárido (REIS FILHO *et al.*, 2013) e objeto de vários estudos: o tema concreto da conservação de energia na indústria de laticínios no Brasil foi abordado por Silva (2014), que também apresentou um estudo de caso na Danone; Hudson *et al.* (2017) desenvolveu uma avaliação de ciclo de vida (ACV) para a produção de queijo numa pequena indústria de laticínios no Nordeste, dando destaque para a demanda de calor como fluxo energético importante; Dantas (2013) realizou uma avaliação técnico-econômica para o pré-aquecimento solar da água de reposição em caldeiras em uma indústria de laticínios de médio porte; e Solrico *et al.* (2017) apresentou vários casos de sucesso da instalação de sistemas termossolares em indústrias alimentícias. Estudos internacionais abordando energia solar térmica na indústria de laticínios incluem Beardmore e Veitch (2008), Karagiorgas e Botzios-Valaskakis (2008), Quijera, Alriols e Labidi (2011), Cocco, Tola e Petrollese (2016), Chang, Lin e Chung (2017) e Praveen *et al.* (2017).

2. Objetivos

Demonstrar a viabilidade ambiental, por meio da aplicação da metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), da inserção da energia solar térmica em processos industriais no semiárido nordestino, quantificando a pegada de carbono na geração de 1 kWh de calor de

processo utilizando duas fontes energéticas tradicionais, diesel e eletricidade, e uma fonte renovável, o aquecimento solar de água, utilizando como base um estudo de caso referente a uma fábrica de laticínios instalada na região do semiárido nordestino.

3. Metodologia

Com base em Gil (2010) e Zanella (2012), esta pesquisa pode ser classificada como pesquisa empírica pois, como o objetivo é a avaliação de impactos ambientais sob o conceito de desenvolvimento sustentável, o estudo é voltado para problemas concretos e de interesses locais. Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, pode ser classificada como pesquisa quantitativa e qualitativa. Quantitativa porque tem como finalidade apresentar medidas objetivas como resultado da investigação e qualitativa porque enfoca características específicas das questões energéticas à exemplo do respectivo potencial de impacto ambiental.

Para atingir os objetivos propostos, as seguintes questões foram utilizadas como norte da pesquisa: i) Como a transição energética pode contribuir para a mitigação da intensificação do efeito estufa? ii) Qual a intensidade da contribuição da transição energética como única ferramenta compensatória de carbono?

A partir do Diagnóstico Energético de uma Fábrica de Laticínios (ROSSINI *et al.*, 2014) como fonte de dados secundária, uma ACV simplificada foi desenvolvida para verificar o potencial de mitigação de mudanças climáticas.

De acordo com Rossini *et al.* (2014), a demanda energética para processos térmicos em uma indústria de laticínios é aproximadamente 128,2 MWh diários. Com a alta irradiação solar incidente no semiárido nordestino (Pereira *et al.*, 2006) sugere-se a utilização de coletores solares de alta eficiência. A hipótese é de que a substituição, mesmo que parcial, da fonte de energia térmica tradicional, que é movida por óleo diesel ou elétrica, por uma fonte renovável, trará consigo inúmeras vantagens ambientais.

3.1 Avaliação de Ciclo de Vida

No âmbito da sustentabilidade, a ACV é uma das metodologias mais modernas de gestão ambiental estratégica, pois contribui com informações importantes para a tomada de decisão. O estudo da ACV proporciona uma visão holística sobre a cadeia de um produto ou serviço, indicando os seus impactos ambientais desde a extração da matéria-prima até o pós-consumo (descarte) (GUINEE, 2001; GUINEE, 2002).

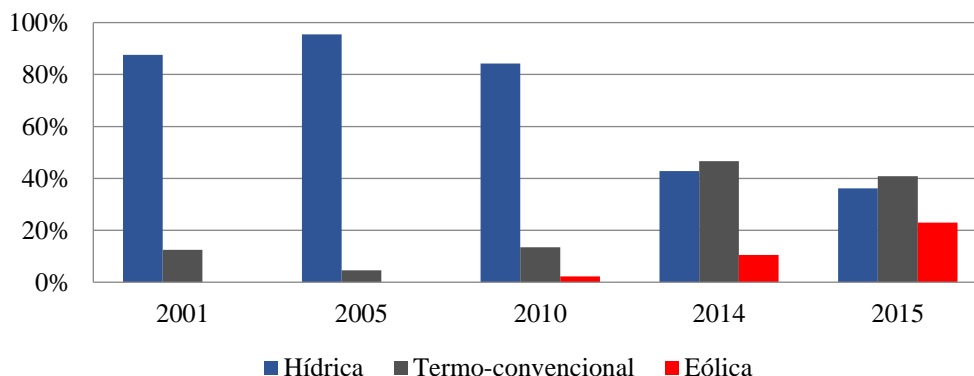
A ACV possui quatro etapas, interrelacionadas (ABNT, 2014a; ABNT 2014b): i) definição do objeto e escopo, onde se definem as fronteiras da análise; ii) construção do inventário, que é um levantamento quantificado de dados de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões); iii) identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados no inventário, e finalmente iv) interpretação dos resultados.

Utilizou-se o software Simapro 8.5.2.0 (2018) com a base de dados Ecoinvent (2018) para o desenvolvimento da ACV. O método de avaliação de impacto ambiental aplicado foi o IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2014), que agrupa os gases de efeito estufa emitidos num horizonte de 100 anos.

A unidade funcional aqui considerada foi o consumo de 1 kWh de calor de processo, considerando somente emissões operacionais, baseando-se no fato de que em sistemas energeticamente intensivos, a consideração da etapa de fabricação de equipamentos contribui em menos de 1% aos impactos ambientais finais (CARVALHO, 2011).

Para o consumo de eletricidade, utilizou-se como base o trabalho de Delgado e Carvalho (2018) que estimou as emissões de GEE associadas ao consumo de 1 kWh de eletricidade no nordeste Brasileiro em 2015 (que são os dados mais recentes disponíveis: hidrelétrica 36,21%, termo-convencional 40,85%, e eólica 22,94%). A Figura 1 mostra o mix de geração para cada ano, na região Nordeste. Considerou-se uma caldeira elétrica com eficiência de 90%.

Figura 1. Mix de Geração para cada ano na região Nordeste



Fonte: Delgado e Carvalho (2018)

Para diesel, utilizou-se o processo *Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW}| heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW | APOS, S* para o fornecimento de 1 kWh de calor, considerando uma eficiência de 95% nesta caldeira.

Para a utilização de coletores solares, utilizou-se o processo *Heat, central or small-scale, other than natural gas {RoW}| operation, solar collector system, Cu flat plate collector, for hot water | APOS, S.*

4. Resultados e Discussão

Após introdução dos processos especificados no Simapro (PRECONSULTANTS, 2018), utilizando-se a base de dados Ecoinvent (2017), selecionou-se o método IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2013). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Pegada de carbono associada ao fornecimento de 1 kWh de calor.

Fonte de Energia	Pegada de Carbono
Coletores Solares	0,0162 kg CO ₂ -eq
Diesel	0,3500 kg CO ₂ -eq
Eletricidade	0,4203 kg CO ₂ -eq

A pegada de carbono do sistema de aquecimento solar de água se mostrou 21 vezes menor do que o Diesel e 26 vezes menor que a eletricidade no fornecimento de 1 kWh de calor de processo.

A energia solar térmica para utilização em processos indústrias se mostrou uma alternativa altamente viável ambientalmente, pois de acordo com Rossini *et al.* (2014) uma indústria de

(83) 3322.3222

contato@conadis.com.br

www.conadis.com.br

laticínios de médio porte utiliza diariamente cerca de 128,2 MWh de energia térmica nos processos de industrialização do leite. A Tabela 2 apresenta os resultados das pegadas de carbono associadas às substituições parciais e total da energia térmica, utilizando como base a indústria de laticínios de médio porte.

Tabela 2. Pegada de Carbono do fornecimento de 128,8 MWh de energia térmica, com substituições totais e parciais utilizando energia solar para uma indústria de laticínios.

Fonte de Energia	Substituição parcial por energia solar (kg CO ₂ -eq)					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Diesel + Solar	44.870	36.331	27.792	19.253	10.714	2.176
Eletricidade + Solar	53.882	43.540	33.199	22.858	12.517	2.176

Com a substituição total da fonte energética, utilizando coletores solares para aquecimento de água, uma indústria de laticínios emite para a atmosfera cerca de 2 t CO₂-eq/dia, valor bem menor que se utilizado apenas diesel para alimentar a caldeira geradora de calor, o que eleva o valor da pegada de carbono para mais de 44 t CO₂-eq/dia, e se no caso for utilizada eletricidade, o valor é maior ainda, cerca de 54 t CO₂-eq/dia.

Em um caso mais realista, a substituição parcial já se mostra bem eficaz, representando cerca de -8,5 t CO₂-eq/dia a cada 20% de substituição no caso do diesel e de -10,4 t CO₂-eq/dia no caso da eletricidade. Ao longo de um ano, considerando-se 250 dias de operação, estes valores são bastante expressivos: 2.125 t CO₂-eq/ano e 2.600 t CO₂-eq/ano, respectivamente, para substituições de 20% nos consumos de diesel e eletricidade. Estes valores são extrapoláveis: considerando que a região Nordeste possui em torno de 84 indústrias de laticínios, apresenta-se aqui a confirmação de que a substituição (mesmo que parcial) da fonte de energia tradicional por energia solar térmica possui potencial para mitigação de mudanças climáticas.

O semiárido tem um enorme potencial de energia solar, capaz de atender a uma grande parcela de suas necessidades no que diz respeito à energia térmica para utilização em processos industriais (BARBOSA; CARVALHO, 2018).

5. Considerações Finais

A orientação em relação a dimensão de desenvolvimento sustentável ainda está em uma fase inicial. A incorporação do conceito de sustentabilidade exige mudanças na atual gestão das empresas. Essa mudança se dará basicamente através da inovação nos processos produtivos. As empresas do setor de alimentos do semiárido brasileiro podem explorar várias estratégias para agregar valor sustentável aos negócios.

A pegada de carbono que a substituição da fonte energética proporciona, demonstra que a introdução de energia solar térmica é uma alternativa viável ambientalmente.

Os resultados obtidos neste trabalho, somados a futuras pesquisas em outros setores, poderão diminuir os efeitos negativos das atividades industriais. A aplicação de pesquisas semelhantes em instituições diversas poderá mitigar a intensificação do efeito estufa uma vez que o somatório das emissões evitadas poderá ser elevado. Por meio destas mudanças em diferentes setores, será possível, em um futuro próximo, estabelecer uma economia de baixo carbono.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Projetos nº 303199/2015-6, 305419/2015-3, 401687/2016-3).

7. Referências

ABNT –Associação Brasileira de Normas Técnicas.(2014a) NBR ISO 14040/2014 - Gestão ambiental –avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT –Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014b) NBR ISO 14044/2014 - Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT.

ATKINS, Martin J.; WALMSLEY, Michael RW; MORRISON, Andrew S. Integration of solar thermal for improved energy efficiency in low-temperature-pinch industrial processes. *Energy*, v. 35, n. 5, p. 1867-1873, 2010.

BANSAL, Pratima. Evolving sustainably: a longitudinal study of corporate sustainable development. *Strategic Management Journal*, v.26, 197-218, 2005.

BARBOSA, Rafaela Ramos; CARVALHO, Monica. Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar de água para aplicações industriais. **Engevista**, v. 20, n. 2, p. 214-238, 2018.

BEARDMORE, J.; VEITCH, T. Solar Water Heating and Dairy Farming – Potential in the Peak District National Park. 2008. Available at: <<http://www.t4sustainability.co.uk/downloads/DairySolar0062LoRes.pdf> > Access 06 out 2018.

BEST, Roberto et al. Solar cooling in the food industry in Mexico: A case study. *Applied Thermal Engineering*, v. 50, n. 2, p. 1447-1452, 2013.

CARVALHO, M. Thermo-economic and environmental analyses for the synthesis of polygeneration systems in the residential-commercial sector, Doutorado em Climatization technologies and energy efficiency. Universidad de Zaragoza, UNIZAR, Espanha. 2011.

CHANG, Keh-Chin; LIN, Weimin; CHUNG, Kung-Ming. Solar Thermal Application for the Dairy Industry in Taiwan. *Journal of Power and Energy Engineering*, v. 5, n. 12, p. 10, 2017.

COCCO, Daniele; TOLA, Vittorio; PETROLLESE, Mario. Application of concentrating solar technologies in the dairy sector for the combined production of heat and power. *Energy Procedia*, v. 101, p. 1159-1166, 2016.

DANTAS, Fabrício dos Santos. Emprego da energia solar para pré-aquecimento de água de reposição de caldeira. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UERJ, 2013.

DELGADO, D. B. M.; CARVALHO, M. Pegada de carbono do mix elétrico do nordeste brasileiro. In: VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2018, Brasília. Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2018.

DOMANSKI, Emerson Luiz Vilanova; LOURENÇO, Sérgio Ricardo. Eficiência energética nos processos produtivos na indústria. IV CBEE, Juiz de Fora - MG, 2011. 7 pg. 14 Disponível em: <<http://professor.ufabc.edu.br/~jesus.mena/scl-ufabc/relatoriosscriptLattes-abril2013/ufabc-professores-CECS/PB4-0.html>>. Acesso em: Dezembro de 2013.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. IPCC sessions & IPCC WGS sessions. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/meeting_documentation/meeting_documentation_ipcc_sessions_and_ipcc_wgs_sessions.shtml> Acesso 07 out 2018.

(83) 3322.3222

contato@conadis.com.br

www.conadis.com.br

GUINÉE, J.B. (ed) Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.

GUINÉE, J.B. Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

JANJAI, Serm. A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: development and dissemination. International journal of energy and environment, v. 3, n. 3, p. 383-398, 2012.

KALOGIROU, Soteris A. Engenharia de Energia Solar – Processos e Sistemas, Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 2. ed.

KARAGIORGAS, M.; BOTZIOS-VALASKAKIS, A. Solar systems applications in the dairy industry. CRES'leaflet, 2008. Disponível em: <http://www.cres.gr/kape/pdf/download/dairy_leaflet.pdf> Acesso 06 out 2018.

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

MEKHILEF, Saidur; SAIDUR, Rahman; SAFARI, Azadeh. A review on solar energy use in industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 4, p. 1777-1790, 2011.

MOSES, J. A. et al. Novel drying techniques for the food industry. Food Engineering Reviews, v. 6, n. 3, p. 43-55, 2014.

MÜLLER, Holger; BRANDMAYR, Sebastian; ZÖRNER, Wilfried. Development of an evaluation methodology for the potential of solar-thermal energy use in the food industry. Energy Procedia, v. 48, p. 1194-1201, 2014.

Pedrozo, E. A. (2004). Desenvolvimento Sustentável nas Inovações da Indústria Alimentícia Brasileira: Em que estágio estamos?

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: INPE, 2006.

PRAVEEN, A. R. et al. Application of solar thermal energy in dairy industry. Proceedings of 66th The IRES International Conference, Pattaya, Thailand, 10th -11th April 2017, ISBN: 978-93-86291-88-2.

PROCTOR, D.; MORSE, R. N. Solar energy for the Australian food processing industry. Solar energy, v. 19, n. 1, p. 63-72, 1977.

QUIJERA, José Antonio; ALRIOLS, María González; LABIDI, Jalel. Integration of a solar thermal system in a dairy process. Renewable Energy, v. 36, n. 6, p. 1843-1853, 2011.

FILHO, R. J. C., *et al.* Cenários para o leite e derivados na Região Nordeste em 2020. Recife: Sebrae, 2013. 154 p.

REIS FILHO, R.J.C.; SILVA, R.G.D.A. Cenários para o leite e derivados na Região Nordeste em 2020. Recife: Sebrae, 2013.

SANTOS, Hudson Carlos Maia et al. Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. Environmental Science and Pollution Research, v. 24, n. 4, p. 3470-3482, 2017.

ROSSINI, E.; GONÇALVES, R. G.; SOUZA, J.; PEIXOTO, J. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS in 9º CBPE Congresso Brasileiro de Planejamento Estratégico, Florianópolis-SC (2014)

SCHNITZER, Hans; BRUNNER, Christoph; GWEHENBERGER, Gernot. Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. Journal of Cleaner Production, v. 15, n. 13-14, p. 1271-1286, 2007.

SILVA, Paulo César et al. Gestão da energia na indústria de laticínios. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Unicamp. Campinas: Unicamp, 2014.

SOLRICO et al. Energia Termossolar para a Indústria. 2017. Disponível em:
<https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/national_process_heat_mex_spb.pdf>
Acesso 06 out 2018.

WCED. Our Common Future. Oxford University Press: Oxford, 1987

ZANELLA, L. C. H. Metodologia de estudo e de pesquisa em administração. 2. ed. reimpr.
Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC, 2012.