UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

RODRIGO APARECIDO PEREIRA

**Avaliação de pontos críticos em Sistemas de Energia Solar
Concentrada (CSP): Um estudo de caso com Técnica de
Gerenciamento de Processos de Negócios**

Pirassununga

2019

RODRIGO APARECIDO PEREIRA

**Avaliação de pontos críticos em Sistemas de Energia Solar
Concentrada (CSP): Um estudo de caso com Técnica de
Gerenciamento de Processos de Negócios
(VERSÃO CORRIGIDA)**

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Área de concentração: Gestão e Inovação na Indústria Animal

Orientador: Prof. Dr. Celso da Costa Carrer

Pirassununga

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P436a Pereira, Rodrigo Aparecido
 Avaliação de pontos críticos em Sistemas de
Energia Solar Concentrada (CSP): Um estudo de caso
com Técnica de Gerenciamento de Processos de
Negócios / Rodrigo Aparecido Pereira ; orientador
Celso da Costa Carrer. -- Pirassununga, 2019.
 90 f.

 Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Mestrado Profissional Gestão e Inovação na
Indústria Animal) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

 1. Energia Solar Concentrada. 2. Gerenciamento
de Processos de Negócios. 3. CSP. I. Carrer, Celso
da Costa, orient. II. Título.

RODRIGO APARECIDO PEREIRA

**Avaliação de pontos críticos em Sistemas de Energia Solar
Concentrada (CSP): Um estudo de caso com Técnica de
Gerenciamento de Processos de Negócios**

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Data de aprovação: 05/12/2019

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Celso da Costa Carrer – Presidente da Banca Examinadora

FZEA/USP – Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Ferreira Bispo

AFA (membro externo ao Programa e à USP)

Prof. Dr. João Augusto Cardoso

UNIP (membro interno ao Programa)

Dra. Raquel Couto Evangelista Baesso

FAZ. DA AERONÁUTICA – FAYS (membro externo ao Programa e à USP)

DEDICATÓRIA

*À minha amada esposa, Rita Pereira, pelo companheirismo.
Aos meus pais, Antônio e Lazara, pela educação recebida.
Aos meus irmãos, Joseane e Fábio, pelo incondicional apoio.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, pelas oportunidades, pelas pessoas maravilhosas que tenho em minha vida e por me iluminar em todos os meus caminhos.

À CAPES, pelo apoio no credenciamento do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Inovação na Indústria Animal da FZEA/USP.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos e ao Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Inovação na Indústria Animal, pela excelência em minha formação e pela dádiva do estudo, ao possibilitar que estudantes profissionais possam objetivar realizações que somente o aprendizado contínuo oferece.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Celso da Costa Carrer, pelo apoio, dedicação e confiança depositada em mim.

Aos meus pais, Antônio e Lazara, por me ensinarem os valores da vida.

RESUMO

PEREIRA, R. A. **Avaliação de pontos críticos em Sistemas de Energia Solar Concentrada (CSP): Um estudo de caso com Técnica de Gerenciamento de Processos de Negócios**. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.

O principal objetivo deste trabalho de pesquisa é analisar os pontos críticos no âmbito da questão tecnológica para a implantação de sistemas de cogeração distribuída, com conceito de Energia Solar Concentrada (*Concentrated Solar Power* - CSP) no Brasil, com possibilidade de utilização no agronegócio. O trabalho parte da observação prática de um estudo de caso com a implantação de um sistema na modalidade de CSP de torre de pequeno porte, estimando as diferentes etapas de implantação e seus gargalos. A abordagem metodológica utilizada nesta pesquisa foi de natureza qualitativa e caracteriza-se como exploratória, quanto ao seu foco, e descritiva, quanto aos seus resultados e conclusões. A metodologia utilizada foi baseada no estudo de caso do projeto SMILE, que propõe a montagem de uma plataforma solar térmica, a ser construída no *campus* da FZEA/USP, através do acompanhamento da estruturação tecnológica e dificuldades para a execução deste projeto. Desta maneira, buscou-se contribuir na análise dos pontos críticos, buscando respostas para melhoria da gestão estratégica com base na Técnica de Gerenciamento de Processos de Negócios. Ao final foi formulada uma proposta de melhoria (redesenho) ao Fluxograma atual, buscando-se contribuir na mitigação de riscos para esta importante iniciativa de geração de energia limpa e renovável. Pretendeu-se, ainda, prospectar opções de uso da tecnologia no âmbito do mercado, que demanda por atividades de geração distribuída, sobretudo no âmbito do agronegócio brasileiro.

Palavras-chave: Energia Solar Concentrada, Gerenciamento de Processos de Negócios, CSP.

ABSTRACT

PEREIRA, R. A. **Critical Point Assessment in Concentrated Solar Power (CSP) Systems: A case study with Business Process Management Technique**. 2019. 90 p. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.

The main objective of this research work is to analyze the critical points within the technological question for the implementation of distributed cogeneration systems, with concept of Concentrated Solar Power (CSP) in Brazil, with possibility of use in agribusiness. The work starts from the practical observation of a case study with the implementation of a small tower CSP system, estimating the different stages of implementation and their bottlenecks. The methodological approach used in this research was of a qualitative nature and is characterized as exploratory as to its focus and descriptive as to its results and conclusions. The methodology used was based on the case study of the SMILE project, which proposes the assembly of a solar thermal platform, to be built on the campus of FZEA/USP, through the monitoring of the technological structure and difficulties for the execution of this project. Thus, we sought to contribute to the analysis of critical points, seeking answers to improve strategic management based on the Business Process Management Technique. At the end, a proposal was made to improve (redesign) the current Flowchart, seeking to contribute to the mitigation of risks for this important initiative of clean and renewable energy generation. It was also intended to prospect options to use technology in the market, which demands distributed generation activities, especially in the Brazilian agribusiness.

Keywords: Concentrated Solar Energy, Business Process Management, CSP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação genérica de uma planta CSP	21
Figura 2 – Configurações de sistemas CSP	22
Figura 3 – Concentração da radiação na calha parabólica	24
Figura 4 – Tecnologia cilindro parabólico	25
Figura 5 – Tecnologia linear Fresnel	28
Figura 6 – Refletores linear Fresnel de Kimberlina (EUA) e Puerto Errado-1 (Espanha)	29
Figura 7 – Tecnologia disco parabólico	31
Figura 8 – Discos parabólicos de Maricopa Solar (EUA)	33
Figura 9 – Tecnologia torre central	35
Figura 10 – Complexo de Ivanpah, Estados Unidos	38
Figura 11 – Oferta interna de energia no Brasil, considerando todas as fontes disponíveis, independente da utilização (em milhões de Tonelada Equivalente de Petróleo)	40
Figura 12 – Matriz energética brasileira quando considerados valores de produção de eletricidade (em % do total)	42
Figura 13 – Média anual de incidência da radiação solar direta no Brasil	43
Figura 14 – Mapa mundial de radiação solar global	44
Figura 15 – Utilização da energia na agroindústria	47
Figura 16 – Símbolos utilizados em fluxogramas de processos	53
Figura 17 – Análise e desenho de processos	55
Figura 18 – Sequência das atividades da pesquisa	58
Figura 19 – Matriz de Priorização de Riscos em Processos	60
Figura 20 – Campo de heliostatos e torre com receptor solar	62
Figura 21 - Receptor solar	63
Figura 22 – Modelagem do Fluxograma de Implantação da tecnologia CSP de torre no Brasil	68

Figura 23 – Matriz de Priorização de Riscos em Atividades do Fluxograma de Implantação de Sistemas de Energia Solar Concentrada de Torre no Brasil74

Figura 24 – Redesenho do Fluxograma de Implantação da tecnologia CSP de torre no Brasil76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das tecnologias CSP	23
Tabela 2 – Plantas CSP cilindro parabólico SEGS	26
Tabela 3 – Plantas CSP linear Fresnel	29
Tabela 4 – CSP de torre em operação no mundo	37
Tabela 5 – Segmentos agroindustriais que utilizam energia em forma de calor	48
Tabela 6 – Investimento necessário para uma planta CSP de Torre de 75 kW no Brasil	64
Tabela 7 – Investimento necessário para plantas de CSP de Torre no Brasil	65
Tabela 8 – Identificação das Atividades do Fluxograma para a Implantação da Tecnologia CSP de torre no Brasil	72

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABPMP – Association of Business Process Management Professionals

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANSI – American National Standards Institute

BIG – Banco de Informações da Geração

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

BPM – Business Process Management (Gerenciamento por Processos de Negócios, do inglês)

CSP – Concentrated Solar Power

DLR – Deutsches Zentrum fuer Luft-und Raumfahrt (Centro Aeroespacial Alemão)

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EUA – Estados Unidos da América

FZEA – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

GWh – Gigawatt hora

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

kW – Kilowatt

kWh – Kilowatt hora

LCoE – Levelized Cost of Energy

MW – Megawatt

MWe – Megawatt elétrico

MWh – Megawatt hora

NREL – *National Renewable Energy*

ONU – Organização das Nações Unidas

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

O&M – Operação e Manutenção

PIB – Produto Interno Bruto

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PRI – Prazo de Retorno do Investimento

SAM – System Advisor Model

SEGS – Solar Energy Generating Systems

SES – Stirling Energy System

SMILE – Solar-hybrid microturbine systems for cogeneration in agroindustrial electricity and heat production (Sistemas de Microturbina Solar-Híbrida para Cogeração de Eletricidade e Calor para o Setor Agroindustrial)

TIR – Taxa Interna de Retorno

TWh – Terawatt hora

VPL – Valor Presente Líquido

USP – Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS, HIPÓTESE E JUSTIFICATIVA.....	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
2.3 Hipótese.....	17
2.4 Justificativa	17
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
3.1 Energia solar concentrada - CSP	19
3.1.1 Configurações de sistemas CSP	21
3.1.2 Cilindro parabólico	23
3.1.3 Linear Fresnel.....	27
3.1.4 Disco parabólico	31
3.1.5 Torre central	34
3.2 Energia solar concentrada e o Brasil.....	39
3.3 Energia e a agroindústria brasileira	46
3.4 Bases para avaliação econômica de projetos de CSP	49
3.4.1 Análise de investimentos	49
3.5 Viabilidade econômica	49
3.6 Gerenciamento por Processos de Negócios.....	50
3.6.1 Modelagem de Processos	51
3.6.2 Análise de Processos	53

3.6.3 Desenho e Redesenho de Processos	54
4 METODOLOGIA	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	61
5.1 Objeto de estudo.....	61
5.2 Projeções de investimento necessário	63
5.3 Modelagem do processo para a implantação da tecnologia.....	66
5.3.1 Primeira e segunda Raias do Fluxograma (Inicial)	69
5.3.2 Terceira Raia do Fluxograma (Inicial)	70
5.3.3 Encerramento do Fluxograma (Inicial)	70
5.4 Análise dos processos e riscos	71
5.4.1 Priorização das atividades modeladas no Fluxograma.....	72
5.5 Proposta de melhorias ou redesenho de processos para a implantação da tecnologia	75
5.5.1 Primeira e segunda Raias do Fluxograma de Redesenho.....	77
5.5.2 Terceira Raia do Fluxograma de Redesenho	78
5.5.3 Encerramento do Fluxograma de Redesenho	79
5.6 Possíveis aplicações do CSP de torre no Brasil.....	81
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade de rever os destinos do planeta, de modo a tornar o mundo mais sustentável, a geração de energia exerce papel fundamental na consecução desse desafio. É preciso que não se perca de vista que quanto mais renovável for a matriz energética de um país, maior a expectativa de que ela seja considerada sustentável. O Brasil, quando comparado aos demais países, possui uma matriz energética considerada de natureza renovável e relativamente limpa (ANEEL, 2019).

No século XXI, um dos maiores desafios da humanidade continua sendo a geração de energia elétrica. Com a crise do petróleo, na década de 1970, deu-se início a um forte movimento para buscar fontes renováveis de energia com o objetivo de se ter menor dependência dos recursos não renováveis da natureza. Esse movimento obtém papel fundamental para suprir as necessidades humanas sem comprometer as gerações futuras. No Brasil, existem estudos que preveem que o consumo de energia elétrica deva ser triplicado até 2050 (EPE, 2014).

Representada por mais de 60% da potência instalada no país, a energia hidroelétrica garante grande fatia da matriz energética brasileira, segundo os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019). Com a falta de chuvas, nos últimos anos, as termoeletricas, apesar de todos os pontos negativos com vistas a sustentabilidade, foram e são fundamentais para garantir a ininterrupção do fornecimento de energia elétrica, até que se tenha opções de geração por fontes alternativas, limpas e renováveis.

O ideal seria buscar uma estratégia que proporcione o equilíbrio entre consumo, produção energética e a sustentabilidade. Nesse contexto, o Sol merece destaque. O Sol é a fonte com maior potencial para suprir a crescente demanda de energia em todo o mundo, além de ser uma fonte renovável, sustentável e limpa, que não produz qualquer tipo de poluente.

Diferentemente do princípio de se produzir energia solar com o sistema fotovoltaico, baseado em reações químicas para se gerar eletricidade e cujo conceito é bastante conhecido e aplicado no mercado mundial, as tecnologias fundamentadas

em energia solar concentrada (*Concentrated Solar Power* - CSP), são chamadas também de solar-térmica ou heliotérmica, pois empregam sistemas de concentração da radiação solar, com o objetivo de produzir fluidos de trabalho com altas temperaturas para a aplicação em processos térmicos (LAMPKOWSKI, 2017).

“A geração de energia elétrica heliotérmica ocorre de forma indireta: antes mesmo de virar energia elétrica, o calor do sol é absorvido e armazenado para, depois, ser convertido em energia mecânica e, por fim, em eletricidade. O calor armazenado aquece um fluido de trabalho que passa pelo receptor, que armazena o calor e serve para aquecer a água e gerar vapor, dentro da usina. Com isso, a usina heliotérmica segue os mesmos procedimentos de uma usina termoeletrica: o vapor que foi gerado movimenta uma turbina que aciona um gerador, produzindo, assim, energia elétrica” (ENERGIA HELIOTÉRMICA, 2018).

Para a real verificação das aplicações de CSP de torre, tem-se, ainda, a necessidade de serem realizados estudos de viabilidade técnica e econômica, para levantar e reunir dados que comprovem a eficácia da tecnologia.

O investimento necessário para a implantação da energia solar concentrada depende, essencialmente, dos seguintes fatores: radiação solar disponível, desempenho e custos relacionados à operação do sistema. No Brasil, o recurso solar é abundante e, em alguns municípios, já ocorre a chamada paridade tarifária, ou seja, o valor da energia produzida é igual ou menor do que a energia fornecida pela concessionária.

Não obstante os gargalos tecnológicos e de escala de produção, observa-se que as condições para a implantação de sistemas de CSP de torre, no Brasil, estão cada vez mais favoráveis, pois a tecnologia está sendo nacionalizada e o Brasil possui áreas com grande índice de radiação solar. O principal aspecto que ainda é necessário explorar recai sobre o investimento para que a tecnologia seja disseminada, se tornando, no futuro, opção significativa na matriz energética nacional.

Considerando o problema formulado, o objetivo do estudo é, a partir da implantação de um sistema CSP de torre, de pequeno porte, realizar uma análise dos pontos críticos para sua implantação.

O projeto escolhido para o estudo de caso é o SMILE (*Solar-hybrid microturbine systems for cogeneration in agroindustrial electricity and heat production*), que propõe inaugurar uma unidade de CSP de torre de pequeno porte, localizada na Universidade de São Paulo (USP) no *campus* Fernando Costa em Pirassununga, onde se encontra a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA).

2 OBJETIVOS, HIPÓTESE E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho de pesquisa é analisar os pontos críticos sob a ótica da técnica de gerenciamento de processos de negócios, para a implantação de sistemas de cogeração distribuída com conceito de CSP junto ao agronegócio brasileiro.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os principais gargalos tecnológicos e de suprimentos com base na análise de gerenciamento de processos de negócios para a tecnologia de CSP de torre;
- Prospectar sobre as possíveis aplicações da tecnologia CSP no âmbito do Brasil, em diferentes escalas de utilização.

2.3 Hipótese

A problemática da pesquisa, por tratar-se de tecnologia emergente, traz elementos de incerteza na consecução do projeto. A hipótese a ser validada nesta pesquisa é: “Os pontos críticos para viabilizar a consecução do investimento necessário na utilização da tecnologia CSP de torre, com base em calor de processo, são influenciados principalmente por aspectos de escala, tecnológicos e de natureza comercial”.

2.4 Justificativa

Segundo a ANEEL (2019), a matriz energética brasileira é predominante de fonte hidráulica. Porém, quase em sua maioria, estas grandes instalações encontram-

se afastadas dos centros de carga. O grande potencial hidráulico está localizado na região norte do país, região essa cercada por várias restrições ambientais e geográficas, que ocasionam a falta de água em empreendimentos que a demandam com abundância ou como principal insumo produtivo (agropecuária, atividade florestal, entre outras). Além disso, em nosso país de dimensões continentais, os custos de transporte e as perdas da energia elétrica são significantes o suficiente para refletir na elevação do custo de operação e de ampliação do sistema elétrico.

No Brasil, as condições naturais para a produção de energia por fonte solar são potencialmente viáveis, tendo em vista os altos índices de radiação solar direta. Com isso, a tecnologia CSP de torre pode se tornar competitiva, desde que a ANEEL, em conjunto com o governo federal, realize adequações nas legislações vigentes, com o objetivo de auxiliar na implantação de plantas solares em curto e médio prazo.

O agronegócio brasileiro representa uma grande fatia da riqueza produzida no país e, através da exportação, entrega seus produtos com valores competitivos no mercado internacional (GONSALES NETO, 2016). Com isso, destaca-se a importância da cogeração de energia, tanto elétrica quanto térmica, para a utilização distribuída em processos produtivos, altamente dependentes de calor e frio.

Neste contexto, a motivação principal deste estudo, passa pela proposta de analisar os gargalos e aspectos de valores de investimento, baseada em dados reais, na implantação de uma usina CSP de torre, de pequeno porte, que será interligada com um matadouro-escola localizado na FZEA/USP, *campus* de Pirassununga/SP, para testes de utilização da cogeração de energia elétrica + térmica em processos produtivos com aplicação na agroindústria.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Com o objetivo de fundamentar teoricamente o trabalho, foi efetuado um levantamento bibliográfico sobre alguns tópicos que estão relacionados diretamente com o tema da pesquisa. Tendo em vista que o estudo objetiva apresentar uma avaliação de pontos críticos de sistemas de energia solar concentrada (CSP) para aplicações em pequeno porte no Brasil, a revisão de literatura iniciou-se através da apresentação dos aspectos e da visão geral sobre a energia solar concentrada, além de mostrar os tipos de tecnologia que se encontram disponíveis atualmente no mercado.

Em seguida, optou-se pela observação do cenário nacional, frente à tecnologia de CSP e a observação do potencial cenário para este tipo de aplicação. Na sequência, serão apresentados os dados econômicos de sistemas similares, que foram disponibilizados pela Agência Internacional de Energia Renovável (*International Renewable Energy Agency*). E, por fim, o assunto abordado será a apresentação da ferramenta gerencial conhecida como Gerenciamento por Processos de Negócios para a visualização de pontos críticos na futura implantação do sistema.

3.1 Energia solar concentrada - CSP

Segundo Eustáquio (2011), o “concentrador solar é uma espécie de permutador de calor especial, que converte a energia da radiação solar em energia térmica”. A primeira utilização conhecida com concentração da radiação do sol ocorreu por volta de 200 a.C., quando Arquimedes utilizou espelhos côncavos para incendiar navios romanos, na Segunda Guerra Púnica.

Após muitos relatos históricos de uso da tecnologia, o italiano Giovanni Francia propôs a pioneira central de energia solar concentrada de Sant'Ilario, próximo a Gênova, Itália no final da década de 1970. A planta arquitetônica possuía uma configuração semelhante às atuais, com um receptor central e o campo de coletores solares. Esta central produzia 1 MW (*Megawatt*) com vapor a 500° Celsius (SILVI, 2005).

Ainda, segundo Eustáquio (2011), o interesse comercial na fonte constituída pela energia solar para produção de eletricidade e ou calor, aumentou a partir da década de 1980. De um lado, contribuíram para isso: a) o embargo dos países da OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo, em 1973, e, b) a Revolução Iraniana, em 1979, que alteraram a dinâmica do mercado de combustíveis fósseis. Por outro lado, esse movimento acabou incentivando os países importadores de petróleo a buscar alternativas e tecnologias de fontes de energia renováveis.

“As primeiras centrais heliotérmicas comerciais foram instaladas na década de 1980 em países como Itália, Espanha, França e Estados Unidos. Nesse contexto, destacam-se as seguintes usinas: Aulerios, em Adrano, Itália, em 1981, do tipo receptor central; e SSPS/CRS e SSPS/DCS, ambas em Almería, Espanha, no mesmo ano. Em 1982, surgiu a usina de Thémis, em Targasonne, França, com capacidade para geração de 2,5 MW de energia. No mesmo ano, começou a funcionar o projeto *Solar One*, um sistema de receptor central de 10 MW financiado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e por um consórcio industrial que pretendia provar a viabilidade destes sistemas para a produção de eletricidade. Em 1986, começou a operar a central SEGS (*Solar Energy Generating Systems*), localizada no Deserto Mojave, nos Estados Unidos. Durante as décadas de 1980 e 1990, as usinas CSP comerciais construídas nos Estados Unidos somavam uma capacidade de geração total de 354 MW de energia” (EUSTÁQUIO, 2011; BUCK et al., 2014).

Milani (2016) diz que a tecnologia CSP (Figura 1) é uma maneira de se utilizar a energia solar para a geração de energia elétrica e possui superfícies refletoras que concentram a radiação solar em um receptor, que normalmente é fabricado com materiais de grande capacidade para absorver a radiação solar e a converter em energia térmica.

No receptor circula um fluido de trabalho, normalmente óleo sintético ou sal fundido, com o intuito de extrair o calor do receptor. Com o calor absorvido, o fluido de trabalho aquecido pode ser utilizado de duas formas: a primeira é a passagem do fluido térmico em trocadores de calor para iniciar um ciclo térmico, similar a uma planta termoelétrica convencional; a segunda maneira inclui, antes da primeira, o armazenamento térmico, onde o fluido de trabalho permanece com o calor absorvido

do receptor, e pode ser feito por meio sólido ou líquido (GIL et al., 2010). Com o armazenamento, quando houver falta do recurso solar, o ciclo térmico utiliza o calor armazenado para seguir com sua operação (SCHNEIDER; MAIER, 2014).

Figura 1 – Representação genérica de uma planta CSP

Fonte: MILANI, R. F. A. T. **Hibridização de energia heliotérmica com gaseificação de bagaço para geração de energia elétrica**. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2016. p. 33.

3.1.1 Configurações de sistemas CSP

Na atualidade existem quatro configurações de sistemas CSP, geralmente nomeadas conforme a geometria dos coletores, sendo: cilindro parabólico, linear Fresnel, disco parabólico e torre central (SILVA, 2013). A Agência Internacional de Energia (IEA) costuma classificar cada tecnologia de acordo com seu ponto focal, linear ou pontual, e receptor, fixo ou móvel (MILANI, 2016).

Conforme mostra a Figura 2, na sequência, os receptores fixos são equipamentos estacionários que não acompanham o movimento do coletor, à medida que os receptores móveis se deslocam em conjunto com este. O foco linear é aquele em que os raios do sol são direcionados para uma superfície, já o pontual os raios são concentrados em um único ponto.

Figura 2 – Configurações de sistemas CSP

Fonte: Adaptado de BUCK, R. et al. **Tower CSP technology**: state of the art and market overview. Brasília: Projeto Energia Heliotérmica, 2014. p. 12.

As quatro tecnologias apresentam diversas diferenças técnicas, além do tipo de foco e receptor, como a temperatura de operação, potência, custo nivelado e fator de concentração. A Tabela 1 apresenta as características de cada configuração.

Tabela 1 – Características das tecnologias CSP

		Tecnologia CSP			
	Unidade	Linear Fresnel	Cilindro Parabólico	Receptor Central	Disco Parabólico
Parâmetros técnicos	Potência típica por usina	MWe	1-200	10-200	0,01-0,40
	Temperatura de operação	°C	50-300	50-400	300-2.000
	Eficiência pico	%	-	20	23
	Eficiência líquida (média anual)	%	8-10	11-16	15-30
	Fator de concentração	vezes	25-200	80-200	300-1.000
	Potência instalada até março de 2014	MWe	53,26	3.406,70	496
Parâmetros comerciais	Estágio comercial		Protótipos	Disponível	Protótipos
	Maturidade tecnológica		Madura	Madura	Recente
	Risco tecnológico		Médio	Baixo	Médio
	Armazenamento de eletricidade		Limitado	Limitado	Sim
	Desenhos híbridos		Sim	Sim	Sim
	Demanda de área		Médio	Grande	Médio
	Custo relativo		Baixo	Baixo	Alto
Parâmetros comerciais	Custo por potência instalada (CAC=com armazenamento de calor; SAC=sem armazenamento de calor; GDV=geração direta de vapor)	USD/W	3,0 (SAC)	3,82-8,40(SAC); 6,65-10,50(CAC 6h); 2,30(GDV)	4,0(SAC); mais de 4,0(CAC)
	Custo de O&M	cent.USD/kWhe	-	1,2-2	3,4

Fonte: MILANI, R. F. A. T. **Hibridização de energia heliotérmica com gaseificação de bagaço para geração de energia elétrica**. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.p. 35.

3.1.2 Cilindro parabólico

Os coletores do tipo cilindro parabólicos, conhecidos como “calhas parabólicas” (*parabolic troughs*), são compostos por um material refletor no formato

de parábola. A estrutura concentra a radiação para um tubo metálico, chamado de receptor. A radiação fica concentrada no receptor por efeito do direcionamento da calha, sempre buscando estar direcionada para o sol, que, por sua vez, aquece o fluido de trabalho que circula no interior do tubo (KALOGIROU, 2009).

Na sequência, a Figura 3 ilustra a concentração da radiação do sol com a utilização de um coletor parabólico.

Figura 3 – Concentração da radiação na calha parabólica

Fonte: LODI, C. **Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2011. p. 26.

No interior dos tubos de absorção, o fluido de trabalho, quando aquecido, pode chegar até 400°C. Com a elevação da temperatura, o fluido térmico é evaporizado, seguindo pelos tubos no sentido das turbinas que transformarão o calor em eletricidade (FERNANDES; LIMEIRA; BARBOSA, 2016).

Segundo Eustáquio (2011), o funcionamento de uma usina heliotérmica com configuração de concentrador parabólico constitui em um grande campo de coletores solares, onde o fluido de trabalho aciona uma turbina de ciclo *Rankine*¹.

Abaixo, como mostra a Figura 4, o foco é linear e os coletores são distribuídos, no campo, de forma paralela e rastreiam o sol em apenas um eixo, podendo ser Leste-Oeste ou Norte-Sul (MILANI, 2016).

Figura 4 – Tecnologia cilindro parabólico

Fonte: EUSTÁQUIO, J. V. C. S. **Simulação e análise do comportamento do campo de heliostatos de uma central de concentração solar termoelectrica de receptor central**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011. p. 12.

Comercialmente, as plantas baseadas na tecnologia cilindro parabólico iniciaram suas operações em meados de 1980, em um complexo localizado na

¹O Ciclo Rankine é um ciclo termodinâmico que pode ser reversível e funciona convertendo calor em trabalho. O calor é fornecido à caldeira por uma fonte de calor externa, geralmente utilizando a água como fluido operante. Este ciclo gera cerca de 90% de toda a energia elétrica produzida no mundo, incluindo virtualmente toda a energia solar, biomassa, carvão e nuclear obtida em usinas. Foi descoberto e nomeado por William John Macquorn Rankine, um escocês polímata e professor da Universidade de Glasgow. O ciclo termodinâmico Rankine é fundamental subjacente dos motores a vapor". Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Rankine

Califórnia, EUA, onde foram construídas nove plantas denominadas SEGS (*Solar Electric Generating Systems*) (DUFFIE; BECKMAN, 2006; KALOGIROU, 2009).

A Tabela 2, na sequência, apresenta os dados das plantas SEGS, localizadas na Califórnia, EUA.

Tabela 2 – Plantas CSP cilindro parabólico SEGS

Planta	Início da operação	Potência (MWe)	Temperatura do fluido (°C)	Área utilizada (mil m²)	Produção anual (MWh)
I	1985	13,8	307	83	30.100
II	1986	30	316	190	80.500
III	1987	30	349	230	92.780
IV	1987	30	349	230	92.780
V	1988	30	349	250	91.820
VI	1989	30	390	188	90.850
VII	1989	30	390	194	92.646
VIII	1990	80	390	464	252.750
IX	1991	80	390	484	252.125

Fonte: Adaptado de NATIONAL RENEWABLE ENERGY. **Concentrating Solar Power projects**: parabolic trough projects. NREL 2016. Disponível em <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/parabolic_trough.cfm>. Acesso em 17 de jul. 2019.

Observa-se um aumento da potência, da temperatura do fluido e da produção anual, nos últimos anos, objetivando-se coletores mais eficientes e com a redução de peso. Isso significa em uma diminuição dos esforços de torção e flexão da estrutura durante a operação e que resulta numa melhor performance ótica ou maior eficiência do sistema do ponto de vista agregado (KALOGIROU, 2009).

A tecnologia CSP de cilindros parabólicos é a mais difundida comercialmente no mundo, com 95% do total acumulado de geração de energia pela heliotermia. Em 2013, podia-se observar em operação, mais de 80 usinas com o conceito cilindro parabólico, 21 usinas de torre central, 2 de disco parabólico e 12 utilizando o conceito Linear Fresnel (BUCK et al., 2014).

Segundo Silva (2013, p.14),

“os sistemas de energia solar concentrada com refletores cilindro parabólico possuem as seguintes vantagens: são disponíveis comercialmente, com uma potência instalada, no ano de 2010, de 1.220 MW e são capazes de produzir mais de 10.000 GWh de energia elétrica; possibilitam temperaturas de operação acima de 500°C, onde até 400°C já foram provados comercialmente; possuem rendimento comprovado de 14% na conversão da radiação solar em energia elétrica; investimento e custos de operação e manutenção comercialmente provados; modularidade e melhor aproveitamento do terreno em relação as outras configurações; conceito de hibridização comprovado; e capacidade de integração com sistemas de armazenamento térmico”.

Sendo assim, o mesmo autor elencou algumas desvantagens deste sistema, sendo a principal delas a utilização de um meio de transferência de calor com base no petróleo, o que restringe a temperatura de operação a 400°C, impactando na quantidade de vapor produzido, diminuindo assim a eficiência da turbina. Adicionalmente, outra desvantagem está relacionada com a vasta área utilizada para a sua construção e a grande necessidade de água a ser utilizada no sistema.

3.1.3 Linear Fresnel

Outra tecnologia utilizada em sistemas CSP é a Fresnel, muito similar à tecnologia de calha parabólica, onde os refletores solares são lineares e instalados próximo ao solo e o receptor está localizado acima do campo solar, onde a radiação solar é concentrada. “Os refletores possuem formato plano ou levemente côncavos, posicionados em filas horizontais, com a finalidade de refletir os raios solares na direção do tubo de absorção, localizado na posição central onde as filas de espelhos são inclinadas na sua direção” (FERNANDES; LIMEIRA; BARBOSA, 2016, p.34).

Nesta configuração, cada refletor é controlado independentemente, onde ele acompanha a movimentação do Sol em um único eixo e reflete a radiação solar para um único receptor linear acima dos refletores. No receptor, a radiação solar é absorvida independente da cavidade horizontal, vertical ou triangular. Similar ao que

ocorre no sistema cilindro parabólico, utiliza-se um fluido de trabalho para a produção de vapor (EUSTÁQUIO, 2011; ZHU et al., 2014; PROCÓPIO et al., 2016).

Segundo Procópio et al. (2016), a utilização deste tipo de concentrado solar pode ser uma boa alternativa para a produção de energia térmica (média e alta temperatura), a fim de atender processos que demandem calor, pois é uma configuração de fácil construção, instalação e manutenção, podendo utilizar água pressurizada como fluido de trabalho, na forma líquida ou gasosa.

Na sequência, a Figura 5 mostra uma representação simplificada de uma usina CSP utilizando a tecnologia Linear Fresnel.

Figura 5 – Tecnologia linear Fresnel

Fonte: EUSTÁQUIO, J. V. C. S. **Simulação e análise do comportamento do campo de heliostatos de uma central de concentração solar termoelétrica de receptor central**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011. p. 15.

Historicamente, o princípio das lentes de Fresnel foi desenvolvido por Augustin Jean Fresnel, no início do século XIX, onde seu principal objetivo era utilizá-las em faróis de sinalização marítima, pois sua grande abertura com curta distância focal e menor peso, permitiam a passagem de mais luz tornando-os mais visíveis a distâncias maiores que as existentes (EUSTÁQUIO, 2011; FELDHOFF, 2012).

Mundialmente, existem poucas usinas CSP que utilizam da tecnologia linear Fresnel em operação e alguns projetos estão em fase de desenvolvimento. A Tabela 3 apresenta as plantas que estão em operação retratadas por Feldhoff (2012).

Tabela 3 – Plantas CSP linear Fresnel

Planta	País	Início da operação	Área utilizada (mil m ²)
Solarmundo	Bélgica	2001	2,4
Fresdemo	Espanha	2007	1,4
Liddell	Austrália	2012	18,49
Puerto Errado-1	Espanha	2009	21,57
Puerto Errado-2	Espanha	2012	302
Augustin Fresnel 1	França	2012	0,4
Kimberlina	Estados Unidos	2008	26

Fonte: Adaptado de FELDHOFF, J. F. **Linear Fresnel collectors**: a technology overview. In: SFERA Summer School 2012, Almeria, Spain, 2012. Disponível em <http://sfera.sollab.eu/downloads/Schools/Fabian_Feldhoff_Linear_Fresnel.pdf>. Acesso em 11 jun. 2018.

Na Figura 6 é possível visualizar os concentradores Fresnel das usinas de Kimberlina, nos Estados Unidos da América (à esquerda) e Puerto Errado-1, na Espanha (à direita).

Figura 6 – Refletores linear Fresnel de Kimberlina (EUA) e Puerto Errado-1 (Espanha)

Fonte: Adaptado de FELDHOFF, J. F. **Linear Fresnel collectors**: a technology overview. In: SFERA Summer School 2012, Almeria, Spain, 2012. Disponível em <http://sfera.sollab.eu/downloads/Schools/Fabian_Feldhoff_Linear_Fresnel.pdf>. Acesso em 11 jun. 2018.

As vantagens dos sistemas de energia solar concentrada que utilizam a tecnologia linear Fresnel, comparando com a tecnologia de cilindros parabólicos, são: os refletores são instalados próximo ao solo, o que influencia diretamente e positivamente na resistência a cargas de ventos, dando uma maior estabilidade e precisão; estruturas de sustentação e fundações mais leves e simples, o que resulta em um impacto direto na facilidade de construção, produção e processamento, contribuindo assim na redução dos investimentos necessários para sua construção, tornando a montagem mais simples e rápida; áreas menores para sua construção, podendo ser instalados até sobre telhados; e, umas das principais vantagens do ponto de vista técnico é ter seu receptor fixo, diferentemente do sistema cilindro parabólico, onde o mesmo se movimenta em conjunto com o refletor. Sendo assim, este tipo de tecnologia demanda uma menor quantidade de juntas móveis, possibilitando a utilização de pressões mais elevadas no fluido de trabalho, o que favorece para a geração direta de vapor, resultando no aumento da eficiência global do sistema gerador (BERMEJO; PINO; ROSA, 2010; ZHU et al., 2014; POPOV, 2011).

Eustáquio (2011) acrescenta que os refletores planos desta tecnologia são mais baratos do que os refletores cilindro parabólico, em que o mesmo não necessita suportar o peso do receptor, sendo mais simples em termos estruturais, o que auxilia na limpeza.

Após as inúmeras vantagens citadas, referente as estruturas mais simples, montagem e manutenção de forma rápida e o possível custo reduzido do investimento, esta configuração possui algumas desvantagens, como: sombreamentos nos períodos matutinos e vespertinos, resultando em uma produção pequena e intermitente, comparada às tecnologias similares; os refletores possuem um rendimento ótico inferior aos refletores parabólicos, devido aos maiores ângulos de incidência transversais, resultando em grandes perdas de energia no processo; e, talvez a principal desvantagem, em relação às demais configurações, seria a temperatura obtida no processo, fazendo com menor eficiência a conversão de energia solar em energia elétrica (EUSTÁQUIO, 2011; ZHU et al., 2014).

3.1.4 Disco parabólico

Os sistemas de energia solar concentrada que utilizam a tecnologia de pratos parabólicos (*parabolic dishes*), também chamados de discos parabólicos (*dish stirling*), são constituídos de refletores em forma de disco parabólico e possui um sistema de movimentação com rastreamento solar, fazendo com que a radiação seja focada na cavidade do disco. Os motores que convertem a energia térmica em energia mecânica, deste sistema, possuem eficiência acima de 40%, o que mostra uma certa vantagem. Nesta configuração, o receptor é capaz de concentrar altas temperaturas de operação (MANCINI, 1997; EUSTÁQUIO, 2011).

Conforme mostrado na Figura 7, na sequência, os discos parabólicos concentram raios solares, refletindo-os na direção do receptor, localizado em seu foco de concentração (FERNANDES; LIMEIRA; BARBOSA, 2016).

Figura 7 – Tecnologia disco parabólico

Fonte: ENERGIA HELIOTÉRMICA. **Como funciona?** 2018. Disponível em <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>>. Acesso em 10 jul. 2018.

Esta tecnologia é conceituada de foco pontual e possui rastreamento do sol em dois eixos. Esta tecnologia possui alta taxa de concentração, tendo como resultado altas temperaturas em seu receptor, que podem atingir temperaturas superiores a 1.000°C (EUSTÁQUIO, 2011; KALOGIROU, 2009).

Segundo Lampkowski (2017), a tecnologia de discos parabólicos possui um refletor em forma de disco parabólico e concentra a radiação solar no ponto focal da parábola. O receptor recebe a concentração onde é aquecido um fluido térmico, podendo ser hidrogênio ou hélio, que são utilizados no sistema térmico do motor *Stirling*², comumente utilizado nesta configuração.

Kalogirou (2009) diz que esta configuração de CSP pode atuar de forma independente ou em conjunto, em uma planta constituída por uma bateria de concentradores interligados. Com isso, após a concentração e a transferência de calor para o fluido de trabalho, o mesmo pode ser utilizado de duas maneiras diferentes, podendo transportar o calor para uma central, por meio das tubulações, ou pode ser transformado diretamente em energia elétrica por meio de um gerador acoplado diretamente junto ao receptor. O que se vê comumente utilizado é com o gerador operando em conjunto com o ciclo *Stirling*.

Comercialmente, os sistemas que utilizam disco parabólico tiveram em 2011, no Arizona, EUA, sua primeira utilização comercial. Conhecida como Maricopa Solar, a unidade pioneira comercialmente possui 60 discos com aproximadamente 25 kW de potência cada, totalizando 1,5 MW de geração elétrica (EUSTÁQUIO, 2011; BUCK et al., 2014).

A Figura 8 mostra a distribuição da planta da Maricopa Solar, no Arizona/EUA.

²“Motor Stirling é uma máquina térmica de ciclo fechado. É referido também como motor a ar quente^[1] ou motor de gás quente,^[2] por utilizar os gases atmosféricos como fluido de trabalho. Obtém energia a partir de uma fonte externa de calor, que pode ser qualquer combustível (combustíveis fósseis, biocombustíveis, energia geotérmica, etc.), a luz solar ou até mesmo uma xícara de chá ou o calor emitido pela palma das mãos”. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_Stirling

Figura 8 – Discos parabólicos de Maricopa Solar (EUA)

Fonte: EUSTÁQUIO, J. V. C. S. **Simulação e análise do comportamento do campo de heliostatos de uma central de concentração solar termoelectrica de receptor central.** 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011. p. 18.

A tecnologia de discos parabólicos possui, como as anteriores, vantagens, tais como: a facilidade de limpeza dos espelhos e o fato de terem vida útil elevada sob ambiente externo; sua alta eficiência, podendo chegar a taxas acima de 30% na conversão solar-elétrica; e a modularidade que a tecnologia possui, permitindo sua utilização de maneira individual, para aplicações remotas, ou de forma agrupada para abastecer pequenos povoados (SILVA, 2013).

Como desvantagens, Silva (2013) coloca que, apesar deste sistema já ter demonstrado sua eficiência e seu sucesso na produção de energia elétrica, durante longos períodos, uma das barreiras mais impactantes para sua implementação em larga escala é o investimento financeiro. Seu custo por unidade na produção é alto quando comparado à outras tecnologias CSP. Outro motivo é que os motores *Stirling* possuem um alto custo para que seja confiável e necessitam de constantes manutenções. Outro fato é a capacidade do não armazenamento térmico, podendo ser substituído pelo armazenamento elétrico, por meio de baterias. Eustáquio (2011)

destaca que os motores *Stirling* sofrem por falta de fabricantes, com isso os custos para produção são elevados.

3.1.5 Torre central

As usinas de energia solar concentrada de torre central, segundo Empresa de Pesquisa Energética - EPE consistem em um campo de dispositivos que seguem o movimento do Sol, chamados de heliostatos, onde são compostos por espelhos que podem ser orientados durante todo o dia, por meio de rastreadores, a fim de concentrarem a luz solar no topo de uma torre. Cada heliostato se move de forma autônoma, rastreando o Sol em dois eixos. Os raios refletidos são concentrados em um receptor, sendo fabricados por meio de feixes de tubos circulares onde, em seu interior, circula um fluido térmico (EPE, 2012).

Os heliostatos (espelhos que são direcionados para a radiação solar direta) são os coletores solares, cuja sua função é concentrar a radiação solar no topo de torre. São distribuídos ao redor da torre, 180° ou 360°, de acordo com sua localização geográfica. Com o rastreamento solar eles buscam direcionar e concentrar os raios solares no topo de uma torre fixa, onde se encontra o receptor. A torre abriga o receptor solar como ponto focal da radiação. Feito isso, a energia térmica segue para um conjunto de equipamentos que realizam a conversão de energia térmica para elétrica, através de ciclos térmicos (SILVA, 2013).

O receptor aquece o fluido de trabalho a altíssima temperatura, fazendo com que ele aqueça e vaporize até atingir temperaturas de aproximadamente 1000°C, cujo processo consiste na passagem deste vapor nas turbinas, que são interligadas à geradores, para a conversão em eletricidade (CORGOZINHO; MARTINS NETO; CORGOZINHO, 2014; FERNANDES; LIMEIRA; BARBOSA, 2016).

Na sequência, a Figura 9 ilustra o esquema de funcionamento de um sistema baseado na tecnologia CSP de torre central.

Figura 9 – Tecnologia torre central

Fonte: PORTAL ENERGIA SOLAR. **Alta temperatura energia solar térmica**. 2015.

Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/solar-termica/temperatura-alta>>. Acesso em: 25 de ago. 2018.

Buck et al. (2014) dizem que um planta de energia solar concentrada de torre central possui os seguintes itens:

1. Campo de heliostatos que possuem movimentação em dois eixos com o objetivo de captar e refletir os raios solares no receptor central. O item heliostato é construído com estruturas metálicas onde são condicionados os espelhos;
2. Receptor, onde os raios solares são concentrados e absorve-se o calor. Este é transferido à um fluido de trabalho, que pode ser: água, vapor, sal fundido ou ar. Os receptores mais utilizados são fabricados de tubos metálicos, onde o fluido de trabalho circula no interior da tubulação. Existem receptores fabricados de materiais cerâmicos, onde são normalmente utilizados para temperaturas elevadas, acima de 500°C;
3. Torre, onde o receptor fica alocado. As torres podem ser fabricadas de estruturas metálicas, estaiada, tubular ou alvenaria. O que determina qual o material e o modelo da torre é o peso do receptor;

4. Armazenamento térmico, que podem ser sistemas sensíveis ou latentes de calor. Este sistema funciona como um banco de baterias, onde armazena-se calor para ser utilizado quando a energia solar captada é insuficiente ou inexistente. O armazenamento térmico é um item que serve como um adicional no sistema;
5. Bloco de potência que converte a energia térmica em elétrica, a exemplo do que ocorre com as usinas termoelétricas comumente utilizadas e abastecidas à gás natural. Estes ciclos são adaptados para a utilização as condições específicas, podendo ser um sistema hibridizado.

Economicamente, o campo de heliostatos é o componente mais importante desta configuração. Podendo chegar aos 150 m², os heliostatos são comandados por sistemas de seguimento solar bidimensional. A distribuição dos heliostatos no campo, normalmente possui um *layout* circular, onde a torre seria o centro do círculo. A concentração desta tecnologia pode resultar em temperaturas de trabalho que variam de 250 a 1.000°C (EUSTÁQUIO, 2011; BUCK et al., 2014).

Os sistemas de energia solar concentrada de torre existentes no mundo são apresentados na Tabela 4, na sequência (NREL, 2018). Com isso, os empreendimentos que merecem destaque são: PS10 e PS20, localizados em Sevilla, na Espanha, onde a primeira versão, PS10, uma usina de energia solar concentrada de torre com a finalidade comercial e instalada em 2007 (LAMPKOWSKI, 2017).

Dos empreendimentos listados, o maior deles, segundo o *National Renewable Energy* – NREL, atualmente, é o projeto *Ivanpah Solar Electric Generating System*, localizado no deserto de Ivanpah, Califórnia, nos Estados Unidos. Este projeto contempla um complexo de usinas, que foi inaugurado em 2014 e é composto por mais de 173 mil heliostatos e suas torres possuem, aproximadamente, 140 metros de altura (NREL, 2018).

Tabela 4 – CSP de torre em operação no mundo

Planta	País	Número de Heliostatos	Área utilizada (mil m ²)	Potência Instalada (MW)	Armazenamento térmico
ACME Solar Tower	Índia	14.280	16,2	2,5	-
Crescent Dunes Solar Energy Project	EUA	10.347	1.197,10	110	10 horas
Dahan Power Plant	China	100	10	1	1 hora
Gemasolar Thermosolar Plant	Espanha	2.650	304,7	19,9	15 horas
Greenway CSP Mersin Tower Plant	Turquia	510	Informação Indisponível	1,4	-
Ivanpah Solar Electric Generating System	EUA	173.500	2.600,00	392	-
Jemalong Solar Thermal Station	Austrália	3.500	15	1,1	3 horas
Julich Solar Tower	Alemanha	2.153	17,65	1,5	1,5 horas
Khi Solar One	África do Sul	4.120	576,8	50	2 horas
Lake Cargelligo	Austrália	620	6,08	3	-
Planta Solar 10 (PS10)	Espanha	624	75	11	1 hora
Planta Solar 20 (PS20)	Espanha	1.255	150	20	1 hora
Sierra SunTower	EUA	24.360	27,67	5	-

Fonte: Adaptado de NATIONAL RENEWABLE ENERGY. **Concentrating Solar Power Projects**. Concentrating Solar Power at NREL. NREL, 2018. Disponível em <<https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/>>. Acesso em 25 de ago. 2018.

A Figura 10, na sequência, apresenta o complexo de centrais de energia solar concentrada de torre central localizadas em Ivanpah/EUA.

Nesta tecnologia, Wendel et al. (2010) citam que um dos maiores benefícios que se faz referência é na substituição da energia elétrica produzida por meio de combustíveis fósseis e nos possíveis impactos por conta da emissão de dióxido de carbono com efeito nas mudanças climáticas. Com isso, oferece-se uma alternativa energética com maior segurança, uma vez que sua produção não influencia diretamente a produção de gases de efeito estufa.

Figura 10 – Complexo de Ivanpah, Estados Unidos

Fonte: NATIONAL RENEWABLE ENERGY. **Concentrating Solar Power Projects.** Concentrating Solar Power at NREL. NREL, 2018. Disponível em <<https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/>>. Acesso em 25 de ago. 2018.

As vantagens relacionadas com a utilização de sistemas de energia solar concentrada de torre central, além do benefício visto anteriormente, Buck et al. (2014) citam: nesta configuração, as temperaturas que podem ser atingidas no receptor são maiores, comparadas às outras configurações, tendo, conseqüentemente, um melhor armazenamento de calor; os ciclos térmicos utilizados possuem maior eficiência, uma vez que os parâmetros podem ser elevados; por conta de um melhor armazenamento térmico, a produção anual de energia elétrica pode ser mais homogênea, sem muitas oscilações por falta de radiação solar ou calor; para iniciar a construção do campo de heliostatos, o terreno não necessita de extensos trabalhos, onde podem ser construídos mesmo em terrenos com leves inclinações.

Como desvantagens, as usinas CSP de torre central possuem: alto brilho no receptor localizado no topo da torre, podendo interferir no tráfego aéreo, pois o ponto focal pode ser visto de muito longe; grande necessidade de água para a limpeza dos heliostatos e utilização de área significativa para que o campo de heliostatos seja construído (BUCK et al., 2014).

3.2 Energia solar concentrada e o Brasil

Com a rapidez do desenvolvimento econômico, do avanço das inovações tecnológicas no dia a dia de cada indivíduo e com as mudanças nos hábitos da população, pode-se dizer que isso, de forma agregada, afeta diretamente o consumo de energia na sociedade moderna. Paralelamente, as reservas de energia com origem no petróleo e derivados tendem à escassez e ainda agregam preocupação global em sua utilização, por afetar diretamente o clima do planeta. Na atualidade, o cenário encontra-se um pouco distinto, uma vez que há grande necessidade de se priorizar um desenvolvimento sustentável (LAMPKOWSKI, 2017), baseado no uso de fontes renováveis.

Segundo Casagrande (2004), com início a partir de 1980, passaram a existir termos como “eco-desenvolvimento” e “desenvolvimento sustentável”. Os termos sugeriram com o objetivo de se apontar a necessidade do equilíbrio entre os fatores ambientais, sociais e econômicos. Sendo assim, entende-se por desenvolvimento sustentável uma mudança em que a utilização dos recursos naturais, a realização dos investimentos, as metas das políticas tecnológica e de inovação e a governança dos países precisam caminhar em harmonia com as necessidades desta e das próximas gerações de humanos.

Segundo a ONU – Organização das Nações Unidas, em um documento publicado em 1987,

“a sustentabilidade exige um novo padrão de crescimento econômico a ser garantido. O desenvolvimento sustentável é uma correção, uma retomada do crescimento, alterando a qualidade do desenvolvimento, tornando-o menos intensivo, menos exigente em matérias-primas e mais equitativo para todos” (ONU, 1987, p.43).

Sendo assim, existe a necessidade contínua de se desenvolver pesquisas relacionadas a fontes renováveis de energia que impactem menos no meio ambiente. Como opções, podem-se citar as energias hidroelétrica, eólica, solar, geotérmica e a resultante do uso de biomassas.

A energia solar se constituiu como recurso limpo e inesgotável sobre a qual ainda carecem marcos regulatórios para o domínio de sua utilização. Isso tem

incentivado a busca de pesquisas que viabilizem sua utilização, uma vez que é passível de exploração baseada em interesse de meios públicos e privados, uma vez que consumidores optam ou não por estes sistemas, principalmente influenciados pelo custo de oportunidade que existe entre as diferentes fontes de energia (GOERCK, 2008).

A Figura 11 mostra a oferta interna de energia no Brasil (em TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo).

Figura 11 – Oferta interna de energia no Brasil, considerando todas as fontes disponíveis, independente da utilização (em milhões de Tonelada Equivalente de Petróleo)

Fonte: Adaptado de TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Revista Estudos Avançados (EAV)**. Universidade de São Paulo (USP). v. 26, n. 74, p. 249-260, 2012.

“Observa-se que 38,5% da energia brasileira está vinculada ao petróleo e seus derivados; 17,7% aos derivados da cana-de-açúcar e 14,2% é referente à energia hidráulica. Para a energia solar, a mesma está inserida nos 3,4% relacionados a outras fontes renováveis” (TOLMASQUIM, 2012, p.33).

Em relação a matriz energética brasileira, segundo o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, tem-se 7.453 empreendimentos em operação, com um

total de 165,82 GW de potência instalada, em que grande parte é fundamentada pelas centrais hidroelétricas (60,26% da matriz total). Espera-se para a próxima década, um aumento de 21,62 GW na capacidade de geração de energia do país, decorrente dos 210 empreendimentos que já se encontram em construção, além dos 382 com construção a ser realizada no futuro (ANEEL, 2019).

O Brasil possui grande capacidade no armazenamento de água, em função de fatores geográficos, o que contribui para a implantação de usinas hidroelétricas e que hoje é o insumo energético mais importante para o atendimento da demanda de energia elétrica no país. Sua contribuição no montante agregado de energia demandado no país, para o ano de 2018, chega a 60,85% (Figura 12).

Tendo origem majoritariamente hídrica, a matriz nacional é considerada como uma das mais limpas e renováveis do planeta, com baixos índices de emissão de gases de efeito estufa na resultante de produção. Entretanto, a natureza da fonte hídrica não é perfeita do ponto de vista operacional, pois é dependente da sazonalidade pluviométrica, em que são gerados hiatos entre a oferta e a demanda de energia elétrica durante períodos críticos de estiagem. Essa situação é recorrente na série temporal mais recente, gerando-se situação de incerteza na entrega de energia em firme para o parque industrial e das residências no país, como o que ficou evidenciado na crise hídrica que se acumulou no ano de 2014. O desenvolvimento do país passou a ficar refém do planejamento (ou falta dele) energético, com sérios riscos de racionamento de energia elétrica no país em função do não investimento adequado (oferta e transmissão). Obviamente, a falta de planejamento, não só do setor, mas estrategicamente, pode acarretar gargalos produtivos no curto, médio e longo prazos e que virá a comprometer o crescimento econômico para o futuro próximo (SANTOS; CARDOSO JR., 2016).

Figura 12 – Matriz energética brasileira quando considerados valores de produção de eletricidade (em % do total)

Fonte: Adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Capacidade de geração do Brasil. **Banco de Informações de Geração**. ANEEL, 2019. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 16 jul. 2019.

Comparando o desempenho das energias renováveis no país, resumido na Figura 12, pode-se inferir que a geração de eletricidade ainda não é impactada diretamente pela fonte de origem solar. Segundo a ANEEL (2019), a capacidade de geração instalada desta fonte (diga-se, majoritariamente fotovoltaica) no Brasil é de aproximadamente 2,1 GW. Isso representa apenas cerca de 1,2% da matriz energética brasileira. Este dado poderia ser melhorado quando se observa a disponibilidade da radiação solar no país (Figura 13).

Fica claro que o Brasil pode se apoiar no futuro para obter energia em relação ao grande potencial de radiação e no desenvolvimento de fontes de energia solar baseadas em tecnologias de CSP, vocacionadamente com natureza distribuída, e que beneficiaria principalmente as regiões Nordeste, Centro-Oeste e parte da região Sudeste.

Figura 13 – Média anual de incidência da radiação solar direta no Brasil

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. p. 38.

O Brasil possui índices de radiação solar direta superiores aos encontrados na maioria dos países europeus, como mostra a Figura 14. Neste sentido, os valores de radiação encontrados em qualquer região do território nacional superam aos de países como Alemanha, França e Espanha. No entanto, nos países citados, existe política tecnológica e de investimento em infraestrutura inovadora para a matriz

energética que permite a instalação de empreendimentos de longo prazo, incluindo subsídios governamentais (SANTOS; CARDOSO JR., 2016).

Figura 14 – Mapa mundial de radiação solar global

Fonte: SOLARGIS. **World solar resource maps: Direct Normal Irradiation (DNI)**, 2017. Disponível em <<http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/worldDNI>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

Embora exista potencial de uso para tecnologias de CSP no Brasil, o interesse por estas fontes, sobretudo atendendo demanda distribuída de energia térmica para uso em processos (agro)industriais e, complementarmente, para a geração de energia elétrica, ainda é muito recente. Existem poucos projetos pilotos que se encontram ainda em fase de projeto ou em fase inicial de implantação. Falta conhecimento e cadeia de fornecedores para a montagem dos sistemas (MALAGUETA, 2013).

Sendo assim, alguns autores estão trabalhando com informações obtidas através de simulações para que se possa ter uma sensibilidade sobre o real potencial em nosso país.

No que diz respeito a análise do potencial e da viabilidade de instalação, algumas pesquisas foram realizadas nesse sentido. Lodi (2011) realizou simulações utilizando o *software* SAM (*System Advisor Model*) para análises específicas para o Brasil, incluindo o potencial e a viabilidade técnica e econômica em um sistema em

Bom Jesus da Lapa – BA, porém, os algoritmos do modelo SAM não estão adaptados para as características do Brasil, sendo necessário o desenvolvimento de um modelo específico.

Soria (2011) elaborou estudos, com o *software* SAM, de avaliação em plantas CSP em diferentes configurações para o Brasil. Os dados utilizados foram de Campo Grande – MS, onde foi possível verificar que soluções que objetivem o armazenamento térmico (otimização do tempo de operação) e a proporção de energia solar que uma plataforma captura em relação ao bloco de potência instalado (Múltiplo Solar) influenciam a área a ser utilizada, impactando diretamente no Custo Nivelado de Energia (*Levelized Cost of Energy* – LCoE).

Burgui (2013), utilizando o *software* SAM, uniu dados georreferenciados para obter os locais com maior potencial para a tecnologia CSP, no Brasil. Os resultados apresentaram um potencial estimado de 166 GW para a tecnologia cilindro parabólico, com 6 horas de armazenamento térmico, e 85 GW para a tecnologia CSP de torre com 7,5 horas de armazenamento. Em termos de geração de energia elétrica, isso resultaria em um montante de 538 TWh e 303 TWh, respectivamente, por ano. Azevedo e Tiba (2013) classificaram um potencial de 27 a 38 GW de capacidade apenas no estado do Piauí, e mais de 1.000 GW em todo o semiárido nordestino, consumindo apenas 3% do território da região.

Além dos estudos mostrados acima, o Brasil possui algumas frentes em projeto que estão em fase inicial de implantação. A tecnologia de cilindros parabólicos, segundo Brancalião (2015), destacam-se:

1. Projeto Cemig e Luz International/ Flachgas Final (1980), onde realizou-se um estudo de viabilidade de um sistema de cilindros parabólicos em Janapuba e Januária, ambas as cidades mineiras da região norte do Estado;
2. Projeto Cemig em parceria com o Cetej-MG, ocorrido nos anos de 2004 a 2009, onde foi construído um sistema otimizado integrado de cilindros parabólicos em conjunto com rastreadores solar. Este projeto teve 10 kW de potência instalada;

3. Projeto HELIOTERM, com início em 2012-2015, onde buscou-se a instalação de uma plataforma utilizando a tecnologia de cilindros parabólicos, com potência total de 1 MW, na cidade de Petrolina, no Estado do Pernambuco.

Vale ainda citar, além dos projetos acima, que o Brasil possui outras plantas comerciais que utilizam a tecnologia de cilindros parabólicos, sendo: Coremas/PB, com potência de 50 MW; Serra Talhada/PE, com potência total de 60 MW; e Araçuaí/MG, com potência de 20 MW (BRANCALÃO, 2015).

Por sua vez, o projeto denominado SMILE (*Solar-hybrid microturbine systems for cogeneration in agroindustrial electricity and heat production*) com coordenação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, no campus de Pirassununga/SP entre parceiros nacionais e internacionais, está em fase de implantação e se constitui como o foco deste estudo de caso, descrito na seção de Resultados e Discussão.

3.3 Energia e a agroindústria brasileira

Segundo o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018), o agronegócio brasileiro, foi responsável por 21,1% do total do PIB (Produto Interno Bruto), conforme registrado pela economia brasileira. Tendo em vista o PIB brasileiro de 2018, que resultou em 6,82 trilhões de reais, o agronegócio totalizou 1,44 trilhões de reais, resultado das riquezas produzidas no ramo agrícola (R\$ 1,06 trilhão) e do ramo pecuário (R\$ 375,51 bilhões). Estes números evidenciam um indicador de potencial de consumo de energia, tendo em vista que grande parte destes consumidores estão situados em lugares remotos e distantes dos atuais centros urbanos, o que mostra possíveis utilização de novas tecnologias para a geração de energia.

Diante dos dados referentes ao PIB, os consumidores de energia agroindustriais precisam de uma fonte segura e confiável. Sendo assim, as aplicações de tecnologias CSP, com geração e cogeração (eletricidade e térmica) podem representar solução interessante. Nestes segmentos, os processos mais importantes

necessitam de calor a níveis relativamente médios, que são utilizados para diversas naturezas de aplicação de insumos agroalimentares, tais como as atividades de: esterilização; pasteurização; secagem; hidrólise; destilação; vaporização; lavagem e limpeza e polimerização (KALOGIROU, 2003).

Na agroindústria, a energia é consumida em forma de eletricidade ou em forma de calor, como mostra a Figura 15. Nos processos industriais, a utilização consiste na combinação de vários componentes, como calor direto, fluidos quentes ou frios, gases, sistemas de recuperação e possíveis sistemas de resfriamento (SCHNITZER; CHRISTOPH; GWEHENBERGER, 2007).

Figura 15 – Utilização da energia na agroindústria

Fonte: SCHNITZER H., CHRISTOPH B., GWEHENBERGER G. Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. Approaching zero emissions. **Journal of Cleaner Production**;15 (September (13–14)):1271–86. 2007.

Bezerra (2017), baseado em autores da área de economia, diz que a agroindústria pode ser considerada como o conjunto de atividades relacionadas com a produção, transformação e distribuição de matérias primas provenientes do sistema de alimentos e biomassas. Comparando-a com outros segmentos da economia, a agroindústria apresenta três particularidades elementares relacionado às matérias primas: “sazonalidade; perecibilidade e heterogeneidade”. Sendo assim, para que as

atividades processadoras de matérias primas possam realizar suas transformações, a agroindústria possui uma dependência direta do fornecimento seguro de energia.

Hassine et al. (2015) dizem que grande parte dos processos de produção agroindustrial necessitam de energia em forma de calor (térmica) onde, na maior parte dos casos, são fornecidas através de caldeiras. Sendo assim, a Tabela 5, na sequência, apresenta os segmentos agroindustriais que utilizam a energia em forma de calor.

Tabela 5 – Segmentos agroindustriais que utilizam energia em forma de calor

Segmento	Processo	Fluido de Trabalho e Variação da Temperatura (°C)
Laticínios	Pasteurização	Água (60-70) seguido de resfriamento (6)
	Leite em Pó	Ar (120-200)
	Limpeza	Água (40-50)
	Esterilização	Água ou vapor (60-120)
	Refrigeração	Ar (2-21)
Processamento de Alimentos	Secagem de Grãos	Ar (45-60)
	Esterilização do Ambiente	Água ou vapor (60-120)
	Esterilização de Embalagens	Água ou vapor (60-120)
	Cozimento	Ar ou Água (60-90)
	Desidratação de Frutas	Ar (60-100)
	Resfriamento	Ar (0-4)
Processamento de Carne	Esterilização do Ambiente	Água ou vapor (60-120)
	Cozimento	Água (90-100)
Usina Sucroalcooleira	Fermentação	Vapor (90-105)
	Cogeração de Calor	Vapor (140-180)
	Pasteurização do Caldo	Vapor (120-140)
	Processamento	Vapor (300-450)
	Destilação	Vapor (70-95)

Fonte: BEZERRA, P. H. S. **Energia Solar Concentrada**: simulação do desempenho de heliostatos de pequeno porte. 2017. 208 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017. p. 71.

3.4 Bases para avaliação econômica de projetos de CSP

3.4.1 Análise de investimentos

Quando se pretende avaliar algum investimento, faz-se necessário a verificação se tal ação resultará em algum retorno positivo e qual o período se realizará. A análise econômica é importante para realizar a avaliação de todas as alternativas de investimento e para determinar qual se apresenta mais competitiva de acordo com os objetivos pretendidos (SOARES, 2009).

Segundo Mankiw (2009), empresas e pessoas tomam decisões financeiras diariamente. Geralmente, para a tomada de decisões, as pessoas não aplicam as ferramentas de análise, como nas empresas, pois seus recursos financeiros são limitados e levam em conta as vantagens e desvantagens para tomar decisões.

Com a dúvida se um projeto é ou não interessante para um investimento, torna-se essencial a aplicação de indicadores que demonstrem uma definição. Segundo Soares (2009), para a realização da análise de viabilidade econômica, de modo a permitir que o interessado tenha completa convicção na tomada de decisão, são destacados os seguintes modelos de análise: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Prazo de Retorno do Investimento (PRI) ou *Payback* e o Custo Nivelado de Energia (*Levelized Cost of Energy* – LCoE).

3.5 Viabilidade econômica

A viabilidade econômica da tecnologia CSP dependente de vários fatores, tais como: a) *know how* e curva de experiência; b) região do projeto e oferta de radiação solar direta; c) aspectos relativos à topografia e à natureza de constituição do solo, e, d) do acesso ao sistema de transmissão.

Para as tecnologias de calhas parabólicas e de torre solar, com armazenamento térmico, os custos variam entre US\$ 6.800/kW a US\$ 12.800/kW (IRENA, 2012). O custo da energia produzida sofre impacto direto em relação à

radiação solar direta disponível no local da instalação. Pode-se dizer que, com uma base de 2.100 kWh/m²/ano, para cada aumento de 100 kWh/m²/ano o custo nivelado da energia produzida é reduzido em 4,50% (IRENA, 2012).

Estima-se que os custos para a instalação de projetos de CSP tendem a ser reduzidos em função do aumento da escala e da consolidação da cadeia de negócios específica, podendo cair até em 40% na próxima década (IRENA, 2012).

3.6 Gerenciamento por Processos de Negócios

Esta técnica gerencial é a nova forma de visualização das operações de negócio, conhecida como Gerenciamento por Processos de Negócios, do inglês *Business Process Management* (BPM). Além das análises realizadas pelas estruturas clássicas, esta ferramenta abrange, de forma holística, uma visão de todo o trabalho a ser executado para a entrega de um produto ou serviço, independentemente das áreas funcionais envolvidas (ABPMP, 2013).

“O Gerenciamento por Processos de Negócios possui, como um de seus principais fundamentos, a realização dos objetivos de uma organização através de melhorias da gestão e do controle de seus processos e negócios essenciais” (JESTON; NELIS, 2006, p.84).

Ao implantar o BPM em uma organização, segundo Baldam et al. (2009), seja ela pública ou privada, pode trazer vários benefícios, entre eles:

- Estimular metas de melhoria;
- Eliminar retrabalhos;
- Reduzir burocracias e custos desnecessários;
- Alinhar as atividades da organização à estratégia utilizada;
- Padronizar atividades a fim de melhorar as informações para o sistema de gerenciamento;
- Servir como base de conhecimento para treinamentos e discussões sobre as atividades executadas;

- Permitir a troca de experiências entre os setores, facilitando a implantação de iniciativas de gerenciamento.

Segundo a *Association of Business Process Management Professionals* – ABPMP (2013), o BPM pressupõe um compromisso durável da instituição gestora ou mandatária dos seus processos, mesmo sendo uma organização pública ou privada. Neste modelo de gerenciamento, as atividades de: modelagem, análise, desenho, medição de desempenho e transformação de processos, podem ser constantes geradoras de *feedbacks*, para que o alinhamento uniforme entre estratégia organizacional e mercado sejam eficazes (SILVA, 2019).

De acordo com Contador et al. (2005), o BPM é considerado como uma técnica de apoio à decisão gerencial orientada a processos, onde desde o gestor até o time de executores, atuam como planejadores que mensuram seus resultados e realinham seus sistemas de trabalho continuamente, com o objetivo de alcançar melhores resultados empresariais.

Smith e Fingar (2003) estabeleceram que a gestão de processos evoluiu e necessita de uma nova abordagem em que os processos podem ser vistos por usuários humanos, como informação e por máquinas, como códigos executáveis, em tempo real.

3.6.1 Modelagem de Processos

Segundo Momotko e Nowicki (2003), a modelagem de processos de negócio para as organizações é o primeiro passo para o progresso do BPM. Entretanto, para que existam resultados, faz-se necessário que o cuidado com a execução do processo seja mais importante do que a própria modelagem.

A fase de modelagem dos processos é a mais perceptível do BPM, pois os envolvidos terão acesso a gráficos, que podem ser analisados e otimizados por toda a equipe participante, direta ou indiretamente, da gestão. Nesta etapa, tem-se acesso às informações sobre o processo atual (*As Is*) e como seria um modelo futuro (*To Be*). Para que este detalhamento e projeção possam ser analisados de forma correta, faz-

se necessário que certas informações como tempo, recursos e custos sejam realmente compreendidas (BALDAM et al., 2009).

Com a devida modelagem de negócios, as organizações têm a capacidade de compreender seus processos internos de negócio, de forma gráfica e dar aos envolvidos a habilidade de transmitir estes processos de modo padronizado. A notação gráfica auxilia no entendimento das colaborações e nas transações de negócio entre as organizações, possibilitando o entendimento entre empresas e seus participantes (BPMN, 2007).

Segundo Tessari (2008), a modelagem de processos de negócio deve ser capaz de mostrar os diferentes aspectos da descrição operacional da empresa, a partir da perspectiva de todos os colaboradores. Um bom modelo é obtido quando é capaz de representar o funcionamento da empresa com fácil entendimento, ao ser visualizado.

Para que a representação seja feita de forma clara, a utilização de fluxogramas compõe a ferramenta principal para o entendimento dos processos gerenciais. Estes fluxogramas mostram as atividades dos processos existentes e dos propostos, permitindo a fácil visualização gráfica e sua análise, em relação aos departamentos, atividades, fluxos, informações, riscos e os impactos das mudanças propostas em cada fase do gerenciamento (MÜLLER, 2003).

Segundo a ABPMP (2013), a utilização dos fluxogramas é baseada num grupo simples de símbolos para: operações; decisões; e outros aspectos usuais do processo. Para que seja uma utilização padrão a ANSI (*American National Standards Institute*), na década de 1970, decidiu padronizar a representação dos fluxos de sistemas, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 – Símbolos utilizados em fluxogramas de processos

Fonte: ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS - ABPMP. **Guia para o gerenciamento para processos de negócio**. São Paulo: ABPMP, 2013. p. 84.

3.6.2 Análise de Processos

Nesta etapa, o objetivo da análise de processos é o entendimento metódico das características de cada processo, para que, na sequência, sejam propostas melhorias e padronização, caso necessário. Quanto maior o conhecimento dos processos empresariais, maior é a capacidade de melhorias e aperfeiçoamento dos mesmos (HARRINGTON, 1993).

Segundo a ABPMP (2013), as mudanças, sejam estratégicas, econômicas ou de regulamentação, podem inviabilizar processos que antes eram satisfatórios, passando a não atender as demandas para os quais foram desenhados. Com isso, uma análise de processos permite aos envolvidos compreender determinadas mudanças, a fim de visualizar e administrar o possível risco no âmbito das atividades organizacionais.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2011) diz que a análise de risco pode ser realizada em diferentes níveis de detalhamento, a fim de gerenciar os riscos em processos, dependendo de variáveis como incidentes anteriores envolvendo os processos ou as instituições participantes. Esta análise pode ser qualitativa, quantitativa ou uma combinação de ambas. Para que seja realizada uma análise mais proveitosa, no sentido do levantamento dos riscos, o ideal seria uma análise qualitativa, para depois passar para a análise quantitativa, realizada nos riscos mais expressivos, apontados na primeira verificação.

Conforme os riscos são identificados nos processos, pode ser realizado uma avaliação de possíveis impactos e de probabilidade de ocorrência, com base em parâmetros consistentes que permitem a construção de uma matriz de priorização de riscos. Essas matrizes são observadas a fim de que se consiga entender a relação entre a probabilidade e o impacto para os riscos identificados, fornecendo subsídios para o tratamento adequado a esses riscos (IFAC, 1999).

De forma geral, a análise de processos de negócios pode apresentar os processos mais críticos ou com maior demanda de ajustes a serem priorizados, além de ser fundamental para um gerenciamento eficaz. Esta análise é fundamental, pois deve-se incluir a previsão de mudanças, de necessidades e expectativas futuras entre os envolvidos, sejam dentro ou fora da organização (ABPMP, 2013).

3.6.3 Desenho e Redesenho de Processos

O desenho ou redesenho de processos de negócios vai muito além de resolver problemas de curto prazo e atender as demandas de uma área específica. Esta etapa visa uma mudança processual que irá impactar, de forma positiva, no alcance das metas e das estratégias organizacionais e trazer a satisfação do cliente de fora da organização para dentro da mesma. O resultado do redesenho é, objetivamente, a elaboração de especificações, para novos processos ou para possíveis modificações, com aplicações práticas, objetivando o desempenho, o controle e as integrações diferenciadas (ABPMP, 2013).

Segundo Harrington (1993), o redesenho de processos pode ser definido também como a somatória de ações de uma equipe de gestão para o aperfeiçoamento de um processo atual. Este redesenho tem impacto direto na redução de custos, além de reduzir o tempo de ciclo e a taxa de erros, onde podem ser aplicados na grande parte dos processos em utilização.

Conforme mostrado na Figura 17, a análise de processos e o desenho são compostos de atividades que podem ou não serem cumpridas na totalidade, mas levam a um melhor entendimento processual e, por conseguinte, uma adaptação da organização que possui essa cultura incutida na sua gestão (ABPMP, 2013).

Figura 17 – Análise e desenho de processos

Fonte: ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS - ABPMP. **Guia para o gerenciamento para processos de negócio**. São Paulo: ABPMP, 2013. p. 156.

Em suma, segundo a ABPMP (2013), as organizações atuam mediante aos processos de negócios, seguindo as direções mostradas pelas regras e regulamentações. Entretanto, as organizações consideradas maduras são aquelas que possuem a capacidade de se adaptarem às mudanças e as novas demandas de mercado.

4 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados para o presente estudo, basicamente consistem em:

- a) em um primeiro momento, realizar a pesquisa bibliográfica mais abrangente sobre a área temática do trabalho e;
- b) em seguida, o estudo de caso aplicado, verificando-se os gargalos na montagem da planta solar e os valores de investimento inicial em relação ao projeto SMILE (*Solar-hybrid microturbine systems for cogeneration in agroindustrial electricity and heat production*), instalado no Campus Fernando Costa da USP, em Pirassununga/SP.

A realização do estudo de caso dar-se-á mediante a observação direta do projeto em estudo, SMILE, visando coletar informações que serão de grande importância no momento de se realizar a avaliação econômica, com base real, para assim atingir os objetivos propostos.

Segundo Gil (2010), o estudo de caso é o estudo profundo e detalhado de um objeto, proporcionando um vasto conhecimento da problemática. Suas vantagens são: estímulo a novas descobertas; ênfase na totalidade; e simplicidade na coleta e análise dos dados. Porém, pode se ter resultados generalizados, exigindo que o pesquisador tenha um bom nível de capacitação para interpretar suas unidades experimentais.

Os objetivos do método de “Estudo de Caso”, segundo McClintock et al. (1983, p.150), são:

“(1) capturar o esquema de referência e a definição da situação de um dado participante; (2) permitir um exame detalhado do processo organizacional e, (3) esclarecer aqueles fatores particulares ao caso que podem levar a um maior entendimento da causalidade”.

O projeto SMILE se propõe a utilização da tecnologia de centrais de torre, que consiste num conjunto de equipamentos controlados com a finalidade de focar a radiação solar num coletor (receptor) que se encontra posicionado sobre uma torre. Este sistema utiliza centenas de espelhos que estão encarregados de refletir a luz solar sobre o receptor. Os principais objetivos do projeto SMILE são:

- Implantar duas unidades de CSP de torre, sendo uma híbrida com biomassa e outra híbrida com biodiesel e com sistema de armazenamento térmico;
- Estudar os processos e mecanismos inerentes, bem como dimensionamento, operação e manutenção em sistemas geradores;
- Capacitar e formar uma rede de fornecedores nacionais para a construção de centrais;
- Promover o desenvolvimento regional baseado na utilização de energia renovável.

Como dito anteriormente, o intuito de identificar os pontos críticos na questão tecnológica e do montante de capital necessário para a implantação de sistemas CSP de torre, a aplicação deste estudo foi desenvolvida na usina solar que está em fase de montagem localizada na Universidade de São Paulo (USP) no *Campus* Fernando Costa, em Pirassununga, onde se encontra a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA). Como a instalação ainda não se encontra em operação, os valores de produção de energia elétrica e térmica serão uma projeção, baseado em sistemas similares.

A caracterização da estrutura do presente projeto de estudo foi baseada no trabalho realizado por Kirsch e Lemes (2019), onde a abordagem metodológica utilizada nesta pesquisa foi de natureza qualitativa, caracterizando-se como exploratória e bibliográfica, frente ao seu foco, e descritiva em relação aos seus resultados e conclusões.

A pesquisa teve uma abordagem qualitativa, tendo em vista que este processo metodológico abriga diversas técnicas, a fim de descrever e traduzir a questão principal, promovendo o delineamento do problema. “O método qualitativo é mais direcionado à compreensão dos fatos do que à mensuração de fenômenos” (YIN, 2001).

Para a elaboração do presente estudo foram utilizados artigos científicos, trabalhos acadêmicos e publicações internacionais sobre o objeto de estudo, a tecnologia CSP, e o conhecimento do pesquisador, que desenvolveu *expertise* na

tecnologia estudada ao participar diretamente do desenvolvimento e da implantação da tecnologia inovadora no Brasil.

Os procedimentos metodológicos para a realização da presente pesquisa podem ser sintetizados na Figura 18.

Figura 18 – Sequência das atividades da pesquisa

Fonte: Própria autoria.

A pesquisa iniciou com a revisão da literatura sobre os temas abordados, realizados com base em artigos, livros, publicações e trabalhos, a fim de apresentar uma visão geral sobre as tecnologias disponíveis da energia solar concentrada e, em seguida, sua relação com o Brasil, pontuando aplicações em utilização e em fase de implantação e as características do território brasileiro para sua utilização.

Posteriormente foram pontuadas as atividades agroindustriais que possuem uma forte demanda de energia, para que se possa integrar a tecnologia com o setor.

Na sequência, foram elencados itens da gestão por processos de negócios que podem ter aderência no auxílio da identificação dos gargalos da tecnologia, em sua implantação e utilização no agronegócio brasileiro. Neste item foram realizadas ampliações do projeto objeto de estudo para que se possa determinar seus possíveis desafios em relação à uma implantação de larga escala.

Com a base na literatura estabelecida e nos dados oriundos do estudo de caso, foi realizada a modelagem dos processos estabelecidos, principalmente no que diz respeito aos pontos críticos tecnológicos para a implantação deste tipo de tecnologia no Brasil.

Nesse tópico foi modelado o processo de negócios utilizando-se da ferramenta de fluxograma. A intenção é que as atividades e os seus responsáveis sejam representadas graficamente e, na sequência, sejam descritas as relações existentes para melhor compreensão e entendimento do processo.

Posteriormente, após a modelagem do processo de negócios, foi realizada a análise dos processos para a implantação da tecnologia CSP de torre com o objetivo de elencar as atividades críticas para a implantação do sistema. Para que seja possível a visualização da criticidade das atividades do processo de implantação da tecnologia no Brasil, foi elaborada uma matriz de priorização de riscos, conforme o modelo mostrado na sequência, Figura 19, onde a mesma resulta da avaliação do pesquisador e sua *expertise* na temática do trabalho apresentado.

As atividades analisadas foram divididas em função da probabilidade de ocorrência do risco gerado no processo de negócio, somada à influência deste mesmo risco. Estas atividades, que estão contidas na cor vermelha, correspondendo às áreas mais críticas da matriz, a partir disso foram analisadas.

Figura 19 – Matriz de Priorização de Riscos em Processos

Fonte: Adaptado de INTERNATIONAL FEDERATION OF ACCOUNTANTS - IFAC. **Enhancing shareholder wealth by better managing business risk**. New York: FMAC, 1999.

Por fim, foram propostas algumas soluções (redesenho), no âmbito tecnológico, para a atualização da tecnologia em aplicações diversas no setor agro, com base nas atividades priorizadas, analisadas e com os riscos tratados. Como se trata de um estudo de caso aplicado, com uma possível adaptação de sua utilização em outras aplicações, as soluções propostas não têm o objetivo de sanar todas as dificuldades levantadas e sim apresentar as possíveis melhorias que devem ser feitas para que a disseminação da tecnologia ocorra da forma correta em todo o território nacional.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Objeto de estudo

Com a utilização da tecnologia de torre central, no Brasil destaca-se o projeto SMILE (*Solar-hybrid microturbine systems for cogeneration in agroindustrial electricity and heat production*), que visa a implantação de duas plantas CSP de torre central, sendo uma localizada na Universidade de São Paulo (USP) no *campus* Fernando Costa em Pirassununga, onde se encontra a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), na cidade de Pirassununga/SP (latitude: -21,9°; longitude: -47,42°; altitude: 627 m) e outra em Caiçara do Rio dos Ventos, Rio Grande do Norte (latitude: -5,76°; longitude: -36°; altitude: 175 m), de propriedade privada da empresa Solinova Inovação Tecnológica e Empresarial Ltda (GREEN, 2018; SOLINOVA, 2018).

A planta piloto localizada na USP, em Pirassununga, prevê a geração de 75 kW de energia elétrica para suprir as necessidades do matadouro-escola, atualmente utilizado pela suinocultura, onde o calor produzido pelo sistema poderá ser utilizado para a esterilização dos equipamentos. Já a planta localizada em Caiçara do Rio do Vento/RN objetiva a geração de 75 kW elétricos e potência térmica suficiente para processar a produção de 500 vacas leiteiras em um laticínio. Nesta usina, a altura projetada da torre será de aproximadamente 23 metros, e o campo de heliostatos será composto por cerca de 50 heliostatos com superfícies refletoras de 9 m² (GREEN, 2018; SOLINOVA, 2018).

O projeto SMILE conta com a parceria entre a FZEA/USP, as instituições Solinova Inovação Tecnológica e Empresarial Ltda, Elektro Eletricidade e Serviços, o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Centro Aeroespacial Alemão (*Deutsches Zentrum fuer Luft-und Raumfahrt* - DLR) para a implantação das duas primeiras plataformas solares em forma de torre na América Latina (GREEN, 2018; SOLINOVA, 2018).

Segundo Wohnrath (2017), o projeto SMILE busca a eficiência energética na geração e distribuição de energia, com a cogeração de energia elétrica e térmica. O

projeto possibilita ao usuário da tecnologia a utilização do calor produzido pelos gases de escape da turbina geradora de energia elétrica em seus processos produtivos, com o objetivo de, na maioria das vezes, deixar de utilizar a energia elétrica para aquecimento e, conseqüentemente, utilizando de maneira eficiente e otimizada a energia produzida. Este projeto é inovador na América Latina (Figuras 20 e 21) onde se encontra em fase de implantação, gerando vários trabalhos científicos para a comunidade, como: Análise de geração distribuída de eletricidade com tecnologia heliotérmica em usina sucroalcooleira com vetor de economia de bagaço de cana-de-açúcar – dissertação e; Energia solar concentrada: simulação do desempenho de heliostatos de pequeno porte – tese.

Figura 20 - Campo de heliostatos e torre com receptor solar

Fonte: SOLINOVA. Solinova Inovação Tecnológica e Empresarial. **Sistemas de microturbina solar-híbrida para cogeração de eletricidade e calor para o setor agroindustrial**. Descritivo técnico. Pirassununga, 2018.

Figura 21 - Receptor solar

Fonte: SOLINOVA. Solinova Inovação Tecnológica e Empresarial. **Sistemas de microturbina solar-híbrida para cogeração de eletricidade e calor para o setor agroindustrial**. Descritivo técnico. Pirassununga, 2018.

5.2 Projeções de investimento necessário

Com base nos dados obtidos no estudo de caso, o projeto SMILE, foram reunidas as informações no que diz respeito ao investimento necessário para a implantação da tecnologia na aplicação específica de uso no agronegócio.

Como mencionado anteriormente, a planta objeto deste estudo prevê a produção de 75 kW de energia elétrica, classificação importante pois as plantas já em operação no mundo são elencadas de acordo com sua capacidade de produção elétrica, tendo com fim exclusivo sua produção de energia em forma de eletricidade.

Um ponto importante é que o objeto deste estudo não possui, apenas, a geração de energia em forma de eletricidade como sua única fonte de geração e sim

a produção de energia em forma de calor para processos agroindustriais e industriais, de modo geral. Sendo assim, como a planta está em fase de construção, não se tem a possibilidade da apresentação de dados referente ao calor produzido e disponível para outras finalidades.

Após os esclarecimentos acima, a Tabela 6, na sequência, mostra os valores aproximados, em reais, dos componentes que compõem a tecnologia CSP de torre, para a aplicação à uma potência de 75 kW elétrico.

Vale ressaltar que para aplicações em larga escala, ou seja, em uma potência maior, onde serão apresentados os valores no decorrer do capítulo, tem-se uma adaptação dos valores referentes a produção em série de determinados equipamentos e soluções, itens que foram desenvolvidos, ajustados e fabricados durante a fase de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D do projeto. Nesta fase os custos para produção em pequena escala são, obviamente, mais elevados.

Tabela 6 – Investimento necessário para uma planta CSP de Torre de 75 kW no Brasil

Item	Valor aproximado (em reais)
Engenharia	150.000,00
Heliostato - Estrutura	498.000,00
Heliostato - Montagem	74.000,00
Heliostato - Controle	157.000,00
Heliostato - Fundação	45.000,00
Heliostato - Acionamento	90.000,00
Heliostatos - Espelhos	236.000,00
Torre - Estrutura	360.000,00
Torre - Montagem	40.000,00
Torre - Receptor	900.000,00
Torre - Fundação	300.000,00
Bloco de Potência	2.100.000,00
Total	4.950.000,00

Fonte: Própria autoria.

Para as projeções realizadas, em comparação com as capacidades de produção da tecnologia CSP de torre que estão em operação no mundo, apresentadas na revisão bibliográfica, o valor total aproximado do investimento objeto deste estudo

teve que ser ajustado, pois grande parcela do investimento foi em função do processo de P&D, onde foram realizados vários projetos, testes, ensaios e protótipos e despendeu-se de várias horas de engenharia.

A projeção se dará em função dos sistemas comerciais já em operação mundialmente, para que se possa ter uma referência de valores da aplicação, da mesma magnitude do que é feito no exterior. Sendo assim, foi considerado que após o desenvolvimento dos equipamentos, os mesmos não teriam os custos da engenharia de desenvolvimento, sendo assim colocado em produção em série, e não de forma “artesanal”, como ocorreu no objeto de estudo, pois os fornecedores e fabricantes pouco conheciam sobre a tecnologia, mas nunca tiveram um contato tão próximo.

Para que fosse possível essa projeção do projeto SMILE, foi adotado uma redução de 30% do valor apresentado do projeto de P&D, pois os argumentos de fornecedores e fabricantes foram semelhantes, sobre a questão da produção em série, uma vez que a engenharia do produto já estivesse definida e que o mesmo pudesse ser produzido e aplicado em larga escala.

A Tabela 7, na sequência, apresenta a estimativa de investimento para plantas de energia solar concentrada de torre para 0,5, 1, 1,5, 2,5 e 5 MW de geração elétrica.

Tabela 7 – Investimento necessário para plantas de CSP de Torre no Brasil

	Potência (MW)					
	0,075	0,5	1	1,5	2,5	5
Investimento necessário aproximado (em milhões de reais)	3,5	22,2	42,1	60	90	136,8
Investimento necessário por MW (em milhões de reais)	46,7	44,4	42,1	40,1	36,1	27,4

Fonte: Própria autoria.

Os valores apresentados mediante ao aumento da escala, tendo como base o estudo de caso, obtiveram valores interessantes quando comparados com sistemas internacionais. Segundo IRENA (2012), o valor kW produzido por um sistema de

energia solar concentrada do tipo torre, com armazenamento térmico, variam de 6.800 a 12.800 dólares.

O sistema utilizado neste trabalho não possui armazenamento térmico, nos valores apresentados. O valor de investimento estimado para a produção de um kW ficou aproximadamente em R\$ 46.700,00, tendo como base o sistema original, de 75 kW.

Com as projeções, seguindo uma proporção de redução de investimentos na cada de 10% por MW instalado, levando em consideração a produção em série dos componentes, os valores do kW ficaram entre R\$ 44.400,00 a R\$ 27.360,00 (respectivamente em US\$ 11,128.00 a US\$ 6,857.00, com base na cotação do dólar comercial em 05/11/2019).

Os valores projetados se mostram interessantes, uma vez que a radiação solar tem impacto direto na produção de energia, podendo assim reduzir ainda mais o valor encontrado.

Como já mencionado anteriormente, o projeto utilizado para realizar as simulações está configurado para que seja possível utilizar a energia em forma de calor para processos de trabalho. Este tipo de tecnologia possui aplicação apenas para a geração de energia elétrica, ao redor do mundo, como apresentado na revisão bibliográfica. Assim, uma vez que até o presente momento não é possível incluir a utilização da energia em forma de calor em nenhum cálculo para a real monetização da receita esperada do sistema, observa-se que o potencial de retorno é positivo, tendo em vista que as projeções já se mostraram interessantes somente com o cálculo da produção de energia elétrica.

5.3 Modelagem do processo para a implantação da tecnologia

Para a implantação de sistemas de energia solar concentrada, faz-se necessário o levantamento de várias variáveis que são imprescindíveis para a aplicação da tecnologia. De acordo com a observação direta e a participação do pesquisador com o objeto de estudo, foi estruturado um Fluxograma (Figura 22), em

que estão descritas as atividades e os setores e/ou profissionais responsáveis por cada execução.

Como a abordagem da gestão por processos de negócios objetiva uma melhor discussão sobre o negócio, que foi exposto no Fluxograma, também foram apresentadas todas as operações resultantes. Foram apresentados também os responsáveis por cada atividade que, segundo a ABPMP (2013), são as instituições e/ou profissionais separados por “raias”, à margem esquerda do Fluxograma.

Com o objetivo de uma melhor compreensão da pesquisa, as raias apresentadas nos Fluxogramas foram divididas e explicadas em tópicos, facilitando a análise e um posterior ajuste, caso necessário.

Ao final de cada tópico discutido, foi possível apontar os pontos críticos sobre a implantação da tecnologia em alguns setores brasileiros, em especial na agroindústria.

Tendo em vista à tecnologia CSP de torre como um produto, ou seja, destinado à comercialização por empresas do segmento de energias renováveis por exemplo, o estudo com base nos Fluxogramas apresentará os processos desde a captação de possíveis clientes que a tecnologia atenderá até os processos finais de comissionamento e o *start* da operação.

Esta ação deu-se por conta de que esta pesquisa possa ser útil no mercado de energias renováveis, com o objetivo de apresentar às instituições o Gerenciamento por Processos de Negócios de uma tecnologia inovadora no Brasil.

Figura 22 – Modelagem do Fluxograma de Implantação da tecnologia CSP de torre no Brasil

Fonte: Própria autoria.

De maneira resumida, as atividades presentes no processo de implantação da tecnologia CSP de torre no Brasil, apresentadas no Fluxograma Inicial da Figura 22, partem da apresentação da tecnologia para potenciais clientes, com o objetivo de apresentar estimativas de investimento, que atendam suas necessidades. Feito isso, caso o cliente recuse o avanço da implantação, o primeiro processo se encerra no

departamento comercial. Para o avanço da implantação, são necessários outros processos que visam a coleta de informações específicas sobre a utilização da tecnologia, em especial da energia térmica utilizada em processos, para que a partir daí venha a ser definido um projeto base para o fechamento do contrato e para a liberação das compras dos equipamentos, com o fim de serem implantados e finalizados. Com o intuito de detalhar o Fluxograma Inicial para uma melhor discussão, os departamentos foram separados e descritos a seguir.

5.3.1 Primeira e segunda Raias do Fluxograma (Inicial)

No início do processo, conforme demonstrado na Figura 22, para que seja possível iniciar o processo de implantação da tecnologia de energia solar concentrada de torre no Brasil, faz-se necessária a divulgação e a apresentação do produto para setores em potenciais no Brasil, no caso o setor agroindustrial.

Sequencialmente, ainda sob a responsabilidade do departamento comercial, com o surgimento de interesse vindo das apresentações, é realizada a coleta de informações básicas, referentes: ao tipo de utilização da tecnologia, se é para geração de energia elétrica, térmica ou ambas, e se possui acesso a rede elétrica; local para a implantação, se possui área suficiente para acomodar os equipamentos; consumo de energia elétrica e térmica no local, para que seja possível dimensionar uma planta sob medida.

Feito isso, o departamento comercial elabora uma estimativa inicial de aplicação com base nos dados observados na etapa anterior, sempre consultando informações em seu diretório. Com a apresentação desta estimativa inicial, o cliente aprova ou não a evolução do processo de implantação. Caso seja reprovado, este processo se encerra. Um ponto importante neste processo é apresentação, juntamente com a estimativa comercial, de possibilidades que geração de receita que o projeto pode agregar ao negócio já existente, como a possibilidade da venda de energia elétrica ou até mesmo do calor de processo, caso possua empreendimentos ao redor da instalação.

Com a aprovação inicial, o setor de engenharia de produto realiza a busca de dados específicos sobre a implantação, com a finalidade de realizar o dimensionamento do projeto, relacionando todos os custos envolvidos e verificando a viabilidade técnica da instalação, onde o mesmo poderá ser inviabilizado nesta etapa. Com a viabilização técnica, o projeto segue para o setor jurídico, que será explicado na sequência.

Nestes dois pontos, Raia 1 e 2, foi identificado um gargalo sobre a ótica das informações recebidas no momento da prospecção, e como elas são tratadas. Para que seja possível um melhor aproveitamento do tempo e das informações, faz-se necessário uma alteração no trajeto das informações e como elas são tratadas dentro de cada departamento. Com isso, pode-se ter uma eficiência maior na primeira etapa da implantação da tecnologia CSP de torre, mantendo o interessado na solução com maior contato com o projeto.

5.3.2 Terceira Raia do Fluxograma (Inicial)

Nesta etapa, após a aprovação da viabilidade técnica do projeto, o departamento jurídico fica responsável pela emissão do contrato de aplicação do projeto, em conjunto com os meios financeiros. Feito isso, o contrato é apresentado para mais uma aprovação, que a partir daí é liberado ao setor de engenharia de aplicação, caso contrário, encerra-se esta etapa.

Observou-se que nesta etapa, um reajuste no Fluxograma Inicial seria interessante para que se tenha um melhor aproveitamento dos dados já entregues ao cliente, tendo certa flexibilidade junto aos agentes financeiros que estão disponíveis para que seja possível a aplicação do projeto.

5.3.3 Encerramento do Fluxograma (Inicial)

Nesta etapa do processo, na Raia 4 encontra-se a engenharia de aplicação, responsável pela implantação do projeto em campo e compra de equipamentos. Este processo inicia-se com o recebimento dos dados aprovados até o momento, pelo setor

jurídico, para que seja possível realizar uma verificação nos dados técnicos, dimensionado anteriormente.

Após a verificação e a aprovação das informações, o passo seguinte é a liberação para fabricação e compra dos equipamentos que compõem o sistema CSP de torre. Após a liberação, os fornecedores em conjunto com a equipe de aplicação realizam uma conferência dos itens a serem produzidos a fim de mitigar qualquer divergência entre o projeto e a fabricação dos componentes.

Após a conferência, a engenharia de aplicação aciona a execução do para o preparo do terreno, onde será implantado o projeto. Em paralelo, caso tenha alguma divergência entre os dados do projeto com os dados da fabricação, este ajusta é feito para seja corrigido qualquer divergência.

Na sequência, a próxima etapa é a instalação dos equipamentos, uma fase já avançada, com vários trabalhos que necessitam ser realizados em campo, demandando de mão de obra qualificada e específica, pois a tecnologia trabalha com certo nível de precisão. Feito isso, é realizado a entrega de um plano de manutenção preventiva e corretiva, caso necessário, a fim de amparar o cliente em momentos de manutenção. Esse plano pode estar incluso no contrato de compra e de prestação de serviços, entregue pelo setor jurídico.

Nesta etapa identificou-se a necessidade de ajustar a ordens das atividades para se tenha um projeto mais alinhado com todos os envolvidos, desde a própria engenharia até empresas parceiras que farão as montagens.

5.4 Análise dos processos e riscos

Ao decorrer da elaboração gráfica do Fluxograma e na posterior descrição das etapas da implantação da tecnologia, foram observados alguns pontos críticos para a consecução do objetivo principal da implantação da tecnologia CSP de torre no Brasil. Todas essas atividades foram trabalhadas dentro uma matriz de priorização e, confirmados níveis altos de impacto e de probabilidade, passaram por uma análise de risco.

5.4.1 Priorização das atividades modeladas no Fluxograma

Após a modelagem inicial, todas as atividades foram listadas e identificadas com uma codificação (Tabela 8), conforme a avaliação do pesquisador, para que seja possível trabalhá-las em uma matriz de priorização. Como já mencionado, esta proposta de priorização está fundamentada no conhecimento adquirido do autor ao longo de anos de experiência no complexo de sistemas de energia solar, o que não exime a presente pesquisa de equívocos e de futuros questionamentos e ajustes nos seus resultados. A técnica de priorização está fundamentada basicamente no preconizado nos estudos constantes da ABPMP (2013) e da IFAC (1999).

Tabela 8 – Identificação das Atividades do Fluxograma para a Implantação da Tecnologia CSP de torre no Brasil

Atividade	Identificação
Apresentar a tecnologia em seminários e feiras	A1
Coletar informações básicas sobre a aplicação	A2
Apresentar estimativa comercial ao cliente	A3
Coletar informações específicas sobre a aplicação	A4
Dimensionar a planta solar	A5
Levantar os custos para a implantação	A6
Enviar custos da plantação para formalização de contrato	A7
Emitir contrato e realizar acertos financeiros	A8
Liberar dados do projeto para início da aplicação	A9
Verificar o dimensionamento e a aplicação da tecnologia	A10
Liberar a produção dos equipamentos	A11
Conferir os itens fabricados com as descrições	A12
Ajustar dados do projeto em conjunto com o fabricante	A13
Liberar o preparo do terreno e obras civis	A14
Instalar os equipamentos	A15
Realizar testes e <i>start</i> para operação	A16
Entregar plano de manutenção preventiva e corretiva	A17

Fonte: Própria autoria.

Para a inserção na matriz de priorização, foram considerados os graus de impacto e de probabilidade. Segundo a IFAC (1999), pode-se atribuir os graus de impacto e probabilidade, respectivamente, da seguinte forma:

- Alto impacto – significativo impacto nos objetivos estratégicos de uma organização ou na sensibilidade de uma comunidade;
- Médio impacto – moderado impacto nos objetivos estratégicos de uma organização ou na sensibilidade de uma comunidade;
- Baixo impacto – mínimo impacto nos objetivos estratégicos de uma organização ou na sensibilidade de uma comunidade;
- Alta probabilidade (provável) – pode ocorrer num período de um ano ou tem mais de 25% de chance de ocorrer;
- Média probabilidade (possível) – pode ocorrer num período de dez anos ou tem menos de 25% de chance de ocorrer (porém mais de 2%);
- Baixa probabilidade (remoto) – não deve ocorrer num período de dez anos ou tem menos de 2% de chance de ocorrer.

Em função da percepção de risco projetada pelo autor, baseada na expertise e anos de trabalho envolvido na projeção de engenharia do projeto, e na identificação das atividades identificadas, foi proposta a seguinte matriz de risco para as diferentes variáveis que são mostradas na Figura 23, na sequência.

Figura 23 – Matriz de Priorização de Riscos em Atividades do Fluxograma de Implantação de Sistemas de Energia Solar Concentrada de Torre no Brasil

Fonte: Adaptado de INTERNATIONAL FEDERATION OF ACCOUNTANTS - IFAC. **Enhancing sharehold wealth by better managing business risk**. New York: FMAC, 1999.

De acordo com a avaliação do pesquisador, os processos que merecem destaque para que seja possível uma análise e um posterior redesenho são:

- A4 – Coletar informações específicas sobre a aplicação;
- A5 – Dimensionar a planta solar;
- A8 – Emitir contrato e realizar acertos financeiros;
- A11 – Liberar a produção dos equipamentos;
- A12 – Conferir os itens fabricados com as descrições.

5.5 Proposta de melhorias ou redesenho de processos para a implantação da tecnologia

Com o objetivo de eliminar os gargalos encontrados no Fluxograma 1, após a elaboração e análise da matriz de priorização de riscos, onde foram apresentados processos que necessitam de atenção e de um possível redesenho, para que se tenha um Fluxograma mais adequado possível. A Figura 24 mostra o redesenho do Fluxograma, com alterações que visam a ter uma eficiência no processo de difundir a tecnologia.

Os ajustes realizados foram no sentido de possuir um melhor entrosamento entre as partes mostradas, eliminando assim trabalhos duplicados, setores sobrecarregados, congestionamento de atividades num determinado tempo, entre outros.

Acredita-se que o redesenho possa orientar e auxiliar diversos setores que possuem produtos inovadores e necessitam de certa organização e gerenciamento adequado para que seja possível realizar e entregar um trabalho de qualidade.

Figura 24 – Redesenho do Fluxograma de Implantação da tecnologia CSP de torre no Brasil

Fonte: Própria autoria.

Após a realização do redesenho do Fluxograma, a seguir serão apresentados os passos, para uma melhor implantação da tecnologia CSP de torre no Brasil. Os passos foram alterados de acordo com o novo modelo, sendo adicionado ou retirado alguns passos.

Foram levantados, no redesenho, alguns gargalos que não estão sobre o controle do responsável pelo desenvolvimento e pela implantação da tecnologia. Estes gargalos podem ser mitigados com parcerias entre o responsável pelo projeto e as indústrias parcerias, atividade que deve ser executada no processo de P&D de determinada tecnologia.

5.5.1 Primeira e segunda Raias do Fluxograma de Redesenho

No início do processo, conforme demonstrado na Figura 24, para que seja possível iniciar o processo de implantação da tecnologia de energia solar concentrada de torre no Brasil, faz-se necessária a divulgação e a apresentação do produto para setores em potenciais no Brasil, no caso o setor agroindustrial.

Sequencialmente, ainda sob a responsabilidade do departamento comercial, com o surgimento de interesse vindo das apresentações, nesta etapa é realizada a coleta de informações referentes: ao tipo de utilização da tecnologia, se é para geração de energia elétrica, térmica ou ambas, e se possui acesso a rede elétrica; local para a implantação, se possui área suficiente para acomodar os equipamentos; consumo de energia elétrica e térmica no local, para que seja possível dimensionar uma planta sob medida.

Em conjunto com a engenharia de produto, o departamento comercial repassa as informações para que seja possível a realização de um pré-projeto, ou projeto base, para a realização de uma proposta comercial. Nesta etapa, caso o pré-projeto não seja aprovado pela engenharia de produto, é realizada uma análise mais aprofundada nos dados coletados para que se possa desenvolver uma possível solução para a aplicação da tecnologia.

Após a análise prévia dos dados, e do pré-projeto devidamente dimensionado, são levantados os valores necessários para o investimento na tecnologia, onde estes valores são apresentados em forma de proposta comercial, a fim de avançar com o processo ou interrompê-lo, por parte do cliente. Caso a proposta comercial não seja aceita pelo cliente, independente do motivo, o primeiro processo se encerra, onde o cliente ficará à disposição para possíveis contatos secundários. Nesta proposta o

cliente recebera possíveis maneiras de rentabilizar o seu negócio, com a venda de energia, seja ela em forma de eletricidade ou calor, sendo uma vertente importante para viabilizar a implantação do projeto.

5.5.2 Terceira Raia do Fluxograma de Redesenho

Nesta etapa, após a aprovação da proposta comercial inicial, todas as informações relacionadas ao projeto são enviadas ao departamento jurídico, onde serão elaborados os contratos finais e realizados os acertos financeiros, juntamente com instituições parceiras que disponibilizam linhas para este tipo de projeto.

Para que o projeto prossiga, faz-se necessário a aprovação do cliente e da instituição financeira, no caso de financiamento para a implantação, para a partir daí o projeto seguir para sua fase final de implantação.

Um ponto crítico observado nesta fase foi a complexidade para que seja possível o levantamento de recursos financeiros para que seja possível a instalação deste tipo de tecnologia, onde se identificou um certo desconhecimento do sistema de energia solar concentrada e, como não é difundida ainda no Brasil, muito se confunde com outra tecnologia solar, a fotovoltaica, onde sua produção de energia é somente em forma de eletricidade.

Com isso, para que se possa ter uma adaptação no processo mostrado, seria interessante uma aproximação maior entre as instituições financeiras que possuem linhas para empresas e para a agroindústria com o objetivo de tornar os processos existentes mais ágeis, no que diz respeito a liberação de capital, e para alguns a criação de linhas renováveis para esta finalidade, tendo em vista a alta complexibilidade do empreendimento em disseminação no Brasil, tendo em vista o alto fator de aplicabilidade e potencial para esta tecnologia.

5.5.3 Encerramento do Fluxograma de Redesenho

Na quarta raia da divisão dos processos se encontra a engenharia de aplicação, responsável por toda validação e finalização do pré-projeto, elaborado num primeiro momento com finalidades comerciais.

Após os acertos jurídicos e financeiros, o projeto segue para a área que fará a finalização do mesmo. Com o pré-projeto em mãos, os especialistas verificam se os dados informados estão de acordo com as estimativas projetadas para a planta solar, tanto na produção de energia elétrica quanto térmica.

Neste primeiro momento um ponto crítico e importante a ser observado é a falta de mão obra especializada neste assunto para as instalações no Brasil, onde necessita da utilização de *softwares* para que seja modelada e dimensionada a planta solar, de acordo com os dados de localização geográfica, para que se possa ter referências sobre a radiação solar no local e como será a posição dos equipamentos. Segundo Green (2018), um dos objetivos do projeto SMILE, objeto deste estudo, é a capacitação de profissionais para a atuação neste segmento em inicialização no Brasil.

Feito isso, a próxima etapa é na observação minuciosa dos dados que foram coletados para sua verificação em relação ao projeto final. Caso haja divergências, tem-se a necessidade de ajustes técnicos do projeto junto ao cliente, para que o escopo do projeto seja respeitado ao máximo.

Após a verificação e a validação dos valores dimensionados relacionados à produção de energia e sua aplicação, a etapa seguinte é o levantamento dos equipamentos para que seja liberado o pedido de fabricação, junto aos fornecedores parceiros e habilitados para o fornecimento dos itens.

Como já se possui o desenvolvimento de cada componente finalizado, etapa esta realizada durante o processo de P&D do produto final, a planta solar, neste item é autorizado a fabricação dos componentes para que seja possível sua montagem em campo. Neste ponto, encontra-se outro ponto crítico, em relação à localização dos fornecedores para a montagem do sistema solar.

Tendo em vista a aplicação do projeto piloto localizado no *campus* da FZEA/USP, objeto deste estudo, verificou-se que para as aplicações na região Sudeste do país os processos logísticos são realizados de forma natural, pois, principalmente no Estado de São Paulo, estão localizados grande parte de indústrias com *expertise* para a fabricação dos componentes do sistema.

Para a planta que está em fase inicial de construção localizada em Caiçara do Rio dos Ventos, no Estado do Rio Grande do Norte, foi possível verificar uma certa dificuldade logística para que todos os equipamentos sejam entregues na obra, uma vez que temos componentes saindo de Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul. Para que seja possível mitigar este ponto logístico, faz-se necessário a habilitação de fornecedores destes equipamentos em todo território nacional, com a necessidade de um acompanhamento da fabricação, tendo em vista a plenitude dos itens fornecidos.

Após a liberação dos pedidos, o próximo passo é a preparação básica do terreno onde será construída a planta solar. De acordo com Buck et al. (2014) o terreno não necessita de extensos trabalhos, pois o campo de heliostato não tem a necessidade de estar nivelado, podendo ser construídos mesmo em terrenos com leves inclinações. Já para a montagem da torre central e do bloco de potência, responsável por realizar a conversão da energia em forma de calor para eletricidade, esta área sim necessita de um trabalho mais especializado, para que não ocorram acidentes em função da estabilidade dos equipamentos.

Já em fase final de implantação, o próximo passo é a instalação dos equipamentos no local da obra, sendo necessário mão de obra especializada na montagem de equipamentos eletromecânicos. Feito isso, os técnicos realizam o comissionamento de todos os itens, ou seja, uma espécie de conferência item a item, para verificar o pleno funcionamento de todos os equipamentos instalados, para que não ocorram falhas. Feito isso, faz-se necessária a entrega de um plano de manutenção preventiva e corretiva, caso ocorra algum imprevisto. Com isso, o cliente fica amparado por determinado tempo, constando em contrato, para que seu projeto não fique parado, sem funcionamento, por falta de manutenção.

Nesta última etapa, observou-se outro ponto crítico, relacionado, novamente, à mão de obra especializada, para que o sistema funcione em plenas condições e sem riscos de acidentes. Como dito anteriormente, o projeto SMILE visa a capacitação destes profissionais para que seja possível a verificação e autorização do funcionamento. Para o projeto SMILE, por conta de ser o primeiro no Brasil e pelas parcerias internacionais, para esta etapa será necessário a visita de técnicos alemães para liberarem o *start* das duas plantas solares.

5.6 Possíveis aplicações do CSP de torre no Brasil

Com base no aprofundamento teórico sobre cada item apresentado no tópico Energia e a agroindústria brasileira, foi possível identificar algumas possíveis aplicações no setor que utilizam, além de energia elétrica, energia em forma de calor, o que faz sinergia com a tecnologia estudada.

Em abatedouros e frigoríficos a energia pode ser consumida em forma de calor e de energia elétrica. Segundo Pacheco e Yamanaka (2006), os abatedouros agroindustriais são definidos pelo processo de abate de animais para a produção de carne, já os frigoríficos podem ser definidos em dois tipos: com a opção de abater os animais e separarem sua carne, vísceras para industrializarem; ou com a opção de apenas receber as carcaças ou cortes, dos abatedouros, para a realização do processamento.

Para este tipo de processo, a energia utilizada em forma de calor é responsável por manter os equipamentos limpos e higienizados, ação que ocorre várias vezes durante o dia e após o encerramento das atividades diárias, deixando tudo organizado para o dia seguinte. Para a realização destas tarefas, o calor é utilizado em forma de vapor, entre 60-120°C, e em forma de água quente, entre 90-100°C. Já o uso da energia em forma de eletricidade é para a operação de equipamentos e máquinas, e no processo de refrigeração, onde o consumo possui um peso significativo de 50 a 60% do consumo total de eletricidade da instalação (BEZERRA, 2017).

Nos laticínios, Maganha (2006) diz que o consumo de energia está inteiramente ligado à quantidade e à qualidade dos produtos processados, principalmente aqueles que são submetidos aos tratamentos térmicos e necessitam de refrigeração em seu armazenamento. Grande parte da energia consumida, cerca de 80%, é em forma de calor utilizado para a geração de vapor e água quente para a limpeza, para a pasteurização e para a esterilização. A utilização da energia em forma de eletricidade, aproximadamente 20%, está diretamente relacionada com a refrigeração, iluminação, ventilação e a operação dos equipamentos. Entretanto, o consumo da energia elétrica depende diretamente do grau de modernização do laticínio, e, também, do tipo de produto preparado, onde, em média, são necessários 0,14 a 0,33 kWh para o preparo de um litro de leite processado.

O setor sucroalcooleiro, segundo Única (2019), representa grande parte da economia brasileira, sendo que na safra de 2017-2018 foram processados cerca de 641 milhões de toneladas de cana-de-açúcar em todo o Brasil.

O consumo energético do setor sucroalcooleiro ocorre, basicamente, em duas formas: a primeira elétrica, para o acionamento de motores, iluminação e cargas elétricas em geral; e a segunda térmica, para o aquecimento, cozimento e evaporação nos processos industriais. Com isso, toda essa demanda é suprida por sua própria geração, seja elétrica ou térmica, oriunda da queima do bagaço, cavacos e da palha residual, chamados de biomassa. Essa biomassa é queimada em caldeiras para a produção de vapor a pressão e temperatura elevada, aproximadamente 500°C a 65 bar. Para a utilização do vapor nos processos, as temperaturas e pressões necessária são menores do que a utilizada para a produção de energia elétrica, acarretando numa redução de pressão e temperatura, onde as perdas são significativas (BEZERRA, 2017).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande motivação deste estudo esteve direcionada no sentido de contribuir na disseminação da tecnologia de energia solar concentrada de torre, no Brasil, para que sua aplicação no setor agroindustrial seja cada vez maior, a fim de fornecer energia de qualidade aos usuários resultando assim em produtos com melhor qualidade.

O presente trabalho buscou seguir as etapas da Técnica de Gerenciamento por Processos de Negócios, para as condições específicas da implantação de um sistema de energia CSP na agroindústria brasileira, com base na literatura disponível e na experiência acumulada pelo pesquisador como membro de um dos grupos de pesquisa analisado.

O modelo de gerenciamento por processos de negócios, por sua vez já desperta uma otimização processual com o surgimento de algumas oportunidades de melhorias decorrentes da simples modelagem do processo a ser analisado. A base de conhecimento sobre o gerenciamento por processos de negócios ampara uma trilha de fases, objetivos e metas de melhorias com foco na gestão estratégica de cada organização ou instituição pública.

Considera-se importante ressaltar que se trata de fato inédito esta metodologia de análise ter sido utilizada para diagnosticar pontos críticos e apresentar melhorias para a implantação de sistemas de energia solar concentrada no Brasil, com base na tecnologia de torre central. Com a visão interna de um projeto inovador, pode-se apresentar uma estrutura organizacional mínima para que seja possível atender o setor com a implantação deste tipo de sistema.

Devido a complexibilidade, desde o projeto inicial até o início das operações, um sistema de energia solar concentrada de torre deve ser elaborado com foco principal na gestão do projeto e no tempo de desenvolvimento, investido em processos como planejamento estratégico, mudanças inesperadas e análises de risco, com o foco de mitigar quaisquer imprevistos relacionados com o projeto.

A energia solar concentrada de torre está em forte crescimento em todo o mundo, como já visto anteriormente, com grande foco na produção de energia elétrica.

Com a validação da aplicação específica para a produção não apenas de energia elétrica, mas sim da energia em forma de calor, para ser utilizada em qualquer tipo de processo industrial, será visto como uma aplicação interessante, do ponto de vista do agronegócio.

O foco de uso maior, no caso do Brasil, é o setor agroindustrial pois, como apresentado, o sistema demanda de uma grande área para que seja possível sua construção sendo assim este setor o mais apropriado, conhecendo ainda o sistema elétrico nacional, o que estimula ainda mais a busca por alternativas.

Destarte, dentro das limitações do estudo, que vai desde a falta de dados concretos em relação às taxas de retorno do sistema e do desempenho produtivo em função da escala e do teste real em relação à resposta com base na radiação solar do local estudado, pode-se aceitar a hipótese inicial que sugere retorno potencial, sobretudo quando considerado o uso de calor de processo. Para tanto, será necessário vencer os pontos críticos de natureza tecnológica e escalar a produção de energia (térmica e elétrica) de sistemas de CSP.

Por fim, espera-se que o atual estudo tenha contribuído com a apresentação dos processos e dos pontos críticos para a implantação de uma planta CSP de torre, mostrando ainda possíveis segmentos para sua aplicação, com base na necessidade de cada setor, propondo uma alternativa inovadora para uma produção alternativa de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Capacidade de geração do Brasil. **Banco de Informações de Geração**. Brasília: ANEEL, 2019. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO/IEC 27005: Tecnologia da Informação – Técnicas de Segurança – Gestão de riscos de segurança da informação**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2011.

ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS - ABPMP. **Guia para o gerenciamento para processos de negócio**. São Paulo: ABPMP, 2013.

AZEVEDO, V. W. B.; TIBA, C. *Location of Large-Scale Concentrating Solar Power Plants in Northeast Brazil*. In: **Journal of Geographic Information System**, v. 5, p. 452-470, 2013.

BALDAM, R. et al. **Gerenciamento de processos de negócios: BPM – Business Process Management**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

BERMEJO, P.; PINO, F. J.; ROSA, F. *Solar absorption cooling plant in Seville*. **Solar Energy**, v. 84, p. 1503-1512, 2010.

BEZERRA, P. H. S. **Energia Solar Concentrada: simulação do desempenho de heliostatos de pequeno porte**. 2017. 208 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017.

BUCK, R. et al. **Tower CSP technology: state of the art and market overview**. Brasília: Projeto Energia Heliotérmica, 2014.

BURGUI, A. S. **Avaliação do potencial técnico de geração elétrica termossolar no Brasil a partir de modelagem em SIG e simulação de plantas virtuais**. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 2013.

BPMN. *Business Process Modeling Notation (BPMN) Information*. **OMG**, 2007. Disponível em: <<http://www.bpmn.org>>. Acesso em: 10 Ago. 2019.

BRANCALIÃO, N. F. S. **Sistemas heliotérmicos: recurso solar, tecnologia e infraestrutura**. 2015. 58 f. Monografia. (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade de Brasília, 2015.

CASAGRANDE, E. F. Inovação tecnológica e sustentabilidade: possíveis ferramentas para uma necessária interface. **Revista Educação & Tecnologia**, Periódico Técnico-Científico dos Programas de Pós-Graduação em Tecnologia dos CEFETs-PR/MG/RJ, v.8, p. 97-109. Curitiba: CEFET-PR, 2004.

CONTADOR, J. C. et al. **Gestão do Conhecimento Aplicada à Gestão por Processos**: Identificação de funcionalidades requeridas às soluções de Business Process Management System (BPMS). *Revista de Administração e Inovação - RAI*, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 518, 2005.

CORGOZINHO, I. M.; MARTINS NETO, J. H.; CORGOZINHO, A. A. Modelo de simulação de uma planta solar-elétrica utilizando o *software* Trnsys. **Anais do V CBENS - Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Recife, 2014.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Nota técnica. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/213250230/NT-EnergiaSolar-2012>>. Acesso em: 29 mai. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2014**: ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

ENERGIA HELIOTÉRMICA. **Como funciona?** 2018. Disponível em <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/como-funciona>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

EUSTÁQUIO, J. V. C. S. **Simulação e análise do comportamento do campo de heliostatos de uma central de concentração solar termoeletrica de receptor central**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

FELDHOFF, J. F. **Linear Fresnel collectors: a technology overview**. In: SFERA Summer School 2012, Almeria, Spain, 2012. Disponível em <http://sfera.sollab.eu/downloads/Schools/Fabian_Feldhoff_Linear_Fresnel.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2018.

FERNANDES, F. de M.; LIMEIRA, S. S.; BARBOSA, G. de S. Energia solar: uma investigação sobre políticas públicas do setor no estado da Paraíba. **Revista Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 116 - 128, out./15 a jun./2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIL, A. et al. *State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1—Concepts, materials and modellization*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 31–55, jan. 2010.

GOERCK, M. **Determinação do potencial energético de um coletor solar fototérmico na região do Vale do Taquari - RS, Brasil.** Dissertação. (Mestrado). Centro Universitário Univates. Lajeado-RS, 2008.

GONSALES NETO, R. **Panorama do setor energético e seu relacionamento com o agronegócio brasileiro: um estudo com uso de técnicas multivariadas.** 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - FZEA, Universidade de São Paulo - USP, Pirassununga, 2016.

GRUPO DE PESQUISA EM RECICLAGEM, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SIMULAÇÃO NUMÉRICA. **Projeto Smile.** GREEN, 2018. Disponível em: <<http://www.usp.br/green/smile.html>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

HARRINGTON, H. J. **Aperfeiçoando processos empresariais.** São Paulo: Makron Books, 1993.

HASSINE, I. B. et al. **Integration Guideline.** IEA SHC Task 49. SolarPACES Annex IV. February 2015.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>>. Acesso em: 22 Set. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas brasileiro de energia solar.** 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ACCOUNTANTS - IFAC. **Enhancing shareholder wealth by better managing business risk.** New York: FMAC, 1999.

IRENA, June. *Renewable energy technologies: cost analysis series. Concentrating Solar Power.* **Comprehensive Renewable Energy**, v. 3, n. 2, 2012.

JESTON, J.; NELIS, J. **Business Process Management: practical guidelines to successful implementations.** Oxford: Elsevier, 2006.

KALOGIROU, S. A. *The potential of solar industrial process heat applications.* **Applied Energy**, Cyprus, n. 76, p.337-361, mar. 2003.

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems.** Academic Press-Elsevier, 2009.

KIRSCH, D. B.; LEMES, L. R. **Metodologia do trabalho científico.** Comunicação pessoal. 2019.

LAMPKOWSKI, M. **Dispositivo automatizado para a limpeza da superfície refletora de heliostato em sistemas de energia solar concentrada – CSP.** 2017. 211 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2017.

LODI, C. **Perspectivas para a Geração de Energia Elétrica no Brasil utilizando a Tecnologia Solar Térmica Concentrada**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

MAGANHA, M. F. B. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos**. São Paulo: CETESB, 2006; p. 95. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

MALAGUETA, D. C. **Avaliação de alternativas para introdução da geração elétrica termossolar na matriz energética brasileira**. 2013. 187 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MANCINI, T. R. **Solar-electric dish stirling system development**. Sandia National Laboratories, EUA, 1997.

MANKIW, N. G. **Introdução à economia**, 5ª ed. Cengage Learning. São Paulo: 2009.

McCLINTOCK E. et al. **Close relationship**. New York: W.H. Freeman and Company, 1983.

MILANI, R. F. A. T. **Hibridização de energia heliotérmica com gaseificação de bagaço para geração de energia elétrica**. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

MOMOTKO, M.; NOWICKI, B. **Visualisation of Distributed Process: Execution based on Extended BPMN**. Computer Society, New York, 2003. Disponível em: <<http://www.rodan.pl/badania/publikacje/publications/%5BMomotko2003a%5D.pdf>>. Acesso em: 15 Jul. 2019.

MÜLLER, C. J. **Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistemas de avaliação de desempenho e gerenciamento processos** (MEIO – Modelo de Estratégia, Indicadores e Operações). 2003. 292 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS, Porto Alegre, 2003.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY. **Concentrating Solar Power projects: parabolic trough projects**. NREL 2016. Disponível em <http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/parabolic_trough.cfm>. Acesso em: 17 de jul. 2019.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY. **Concentrating Solar Power Projects. Concentrating Solar Power at NREL**. NREL, 2018. Disponível em <<https://www.nrel.gov/csp/solarpaces/>>. Acesso em: 25 de ago. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e

Desenvolvimento (CMMAD). **Relatório Brundtland: Nosso futuro comum**. Relatório transmitido à Assembleia Geral, anexo ao documento A/42/427 - Desenvolvimento e Cooperação Internacional: Ambiente. Oslo, 1987. ONU, 1987 Disponível em: <<http://ambiente.files.wordpress.com/2011/03/brundtland-report-our-common-future.pdf>>. Acesso em: 12 de jul. 2018.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia Técnico Ambiental de Abates (Bovino e Suíno)**. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

POPOV, D. *An option for solar thermal repowering of fossil fuel fired power plants*. **Solar Energy**, v. 85, p. 344-349, 2011.

PORTAL ENERGIA SOLAR. **Alta temperatura energia solar térmica**. 2015. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/solar-termica/temperatura-alta>>. Acesso em: 25 de ago. 2018.

PROCÓPIO, O. L. et. al. Concentradores solares Fresnel aplicados à produção de calor para secagem de resíduos sólidos urbanos. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS**. Belo Horizonte, 2016.

SANTOS, A. W.; CARDOSO JR., R. A. F. O planejamento do setor elétrico brasileiro à luz do licenciamento ambiental: as perspectivas e potencialidades da energia renovável (eólica e solar) na matriz energética nacional. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS**. Belo Horizonte, 2016.

SILVA, M. A. P. da. **Central de produção de energia eléctrica a partir de energia solar térmica**. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Departamento de Engenharia Mecânica, Lisboa, 2013.

SILVA, R. L. B. **Gerenciamento por processos de negócios na gestão e no controle epidemiológico do Mormo no Brasil**. 2019. 77 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.

SILVI, C. *The work of Italian solar energy pioneer Giovanni Francia (1911-1980)*. **2005 ISES Solar World Congress Conference Proceedings**. Orlando, FL, USA, 2005.

SOARES, T. L. A. **Sistemas de produção de eletricidade descentralizada baseados em energia renovável**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

SOLARGIS. **World solar resource maps: Direct Normal Irradiation (DNI)**, 2017. Disponível em <<http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/worldDNI>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

SOLINOVA. Solinova Inovação Tecnológica e Empresarial. **Sistemas de microturbina solar-híbrida para cogeração de eletricidade e calor para o setor agroindustrial**. Descritivo técnico. Pirassununga, 2018.

SORIA, R. A. P. **Cenários de geração de eletricidade a partir de geradores heliotérmicos no brasil**: a influência do armazenamento de calor e da hibridização. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

SCHNEIDER, G.; MAIER, H. *Status of the Development of a New High Temperature Thermal Energy Storage System (HTTESS) for CSP-power Plants*. **Energy Procedia**, Proceedings of the SolarPACES 2013 International Conference. v. 49, p. 965–972, 2014.

SCHNITZER, H.; CHRISTOPH, B.; GWEHENBERGER G. *Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. Approaching zero emissions*. **Journal of Cleaner Production**;15 (September (13–14)):1271–86. 2007.

SMITH, H.; FINGAR, P. **It Doesn't Matter – Business Process Do**. Tampa, Florida, USA: Meghan-Kiffer Press, 2003. 126p.

TESSARI, R. **Gestão de processos de negócio: um estudo de caso da BPMN em uma empresa do setor moveleiro**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2008.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Revista Estudos Avançados (EAV)**. Universidade de São Paulo (USP). v. 26, n. 74, p. 249-260, 2012.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇUCAR. **Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol** – safra 2017/2018. ÚNICA, 2019. Disponível em: <<http://unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>>. Acesso em: 25 Jun. 2019.

ZHU, G. et. al. *History, current state, and future of linear Fresnel Concentrating solar collectors*. **Solar Energy**, v. 103, p. 693-652, 2014.

WENDEL, M. et al. Metodologia para simulação transiente de uma pequena central heliotérmica. **Anais do III Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Belém, 2010.

WOHNRATH, W. **Análise da trajetória de inovação para spin-offs do agronegócio: o estudo de caso da SOLINOVA**. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.