

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Virginia Thomasi

**MENSURAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO DE PROJETOS DE  
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA  
COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA**

Santa Maria, RS  
2021

Virginia Thomasi

**MENSURAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO DE PROJETOS DE GERAÇÃO DE  
ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

Santa Maria, RS  
2021

Thomasi, Virginia  
MENSURAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO DE PROJETOS DE  
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA COMERCIALIZAÇÃO DE  
ENERGIA / Virginia Thomasi.- 2021.  
94 p.; 30 cm

Orientador: Julio Cezar Mairesse Siluk  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, RS, 2021

1. Gestão da energia fotovoltaica 2. Projeto de  
geração de energia 3. Método Fuzzy Delphi 4. Análise  
multicriterial I. Mairesse Siluk, Julio Cezar II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2021

Todos os direitos autorais reservados a Virginia Thomasi. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

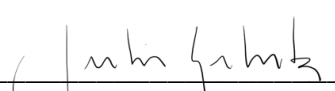
E-mail: [virginiathomasi.vt@gmail.com](mailto:virginiathomasi.vt@gmail.com)

**Virginia Thomasi**

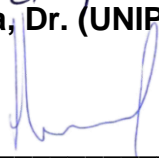
**MENSURAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO DE PROJETOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

**Aprovado em 2 de março de 2021:**

  
\_\_\_\_\_  
**Julio Cezar Mairesse Siluk, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Enoque Dutra Garcia, Dr. (UNIPAMPA) – Videoconferência**

  
\_\_\_\_\_  
**Ricardo Augusto Cassel, Dr. (UFRGS) – Videoconferência**

Santa Maria, RS  
2021

## RESUMO

### MENSURAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO DE PROJETOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

AUTORA: Virginia Thomasi

ORIENTADOR: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

A produção sustentável de energia elétrica pode ser obtida através de incentivos à geração por fonte renovável. O Brasil tem fomentado a geração de energia elétrica por fontes renováveis através de leilões. Os leilões de energia visam o aumento da competitividade entre geradoras e entre distribuidoras. Nesse contexto, a energia fotovoltaica oferece preços cada vez mais competitivos e inferiores às outras fontes renováveis. Diante deste cenário, empreendedores e investidores, ao dar início ao processo de elaboração dos projetos, precisam observar os fatores que influenciam na construção e implementação, visto que o setor elétrico é complexo e não existem soluções simples para maioria dos problemas estruturais. O crescimento do mercado não depende apenas de incentivos externos, mas também de buscas por alternativas que impulsionem o setor. A partir disso, o objetivo deste estudo é construir um modelo para mensurar o nível de desempenho dos projetos de usinas fotovoltaicas para comercialização de energia no Ambiente de Contratação Regulada. O diagnóstico foi desenvolvido por meio de um sistema de mensuração de desempenho que tem como base os Fatores Críticos de Sucesso, obtidos de um processo de revisão sistemática e Método Fuzzy Delphi, com a participação de 10 especialistas da área de energia. Esses fatores foram agrupados em três Pontos de Vistas Fundamentais: Econômico, Local e Tecnológico. A partir disso, foram construídos os indicadores de desempenho a fim de calcular o Índice de Desempenho do Projeto. Um estudo de caso foi aplicado em um projeto de usina de energia fotovoltaica com uma potência de 10 MW e com construção não iniciada. Como resultado, a formulação matemática foi capaz de ponderar os indicadores e mensurar o desempenho do projeto. As principais contribuições do estudo tratam da identificação dos fatores críticos de sucesso e da metodologia de mensuração desenvolvida para o modelo de diagnóstico de desempenho. Isso pode servir para identificar os indicadores que necessitam melhorias ainda no processo de planejamento. Conhecido os fatores fundamentais para a implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica, ações podem ser tomadas para aumentar a participação desses projetos na matriz elétrica brasileira.

**Palavras-chave:** Gestão da energia fotovoltaica. Projeto de geração de energia. Método Fuzzy Delphi. Análise multicriterial.

## ABSTRACT

### MEASUREMENT OF THE PERFORMANCE LEVEL OF PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION PROJECTS FOR ENERGY COMMERCIALIZATION

AUTHOR: Virginia Thomasi

ADVISOR: Prof. Julio Cezar Mairesse Siluk, PhD

Sustainable electricity production can be achieved through incentives for generation from a renewable source. Brazil has been promoting the generation of electricity from renewable sources through auctions. Energy auctions aim to increase competitiveness between generators and between distributors. In such a context, photovoltaics offers increasingly competitive prices and lower than other renewable sources. Given this scenario, entrepreneurs and investors when starting the process of preparing projects need to observe the factors that influence construction and implementation. Since the electricity sector is complex and there are no simple solutions to most structural problems. The growth of the market depends not only on external incentives but also on searches for alternatives that boost the sector. Based on this, the objective of this study is to build a model to measure the performance level of photovoltaic power plant projects for the commercialization of energy in the regulated contracting environment. The diagnosis was designed through a performance measurement system based on Critical Success Factors, obtained from a systematic review process and Fuzzy Delphi Method with the participation of 10 energy specialists. These factors were grouped into three Fundamental Points of View: Economic, Local, and Technological. From this, performance indicators were constructed in order to calculate the Project Performance Index. A case study was applied to a project of a photovoltaic power plant with a power of 10 MW and with construction not started. As a result, the mathematical formulation was able to weigh the indicators and measure the performance of the project. The main contributions of the study deal with the identification of critical success factors and the measurement methodology developed for the performance diagnosis model. It can serve to identify the indicators that still need improvements in the planning process. Known the fundamental factors for the implementation of a photovoltaic power generation project, actions can be taken to increase the participation of these projects in the Brazilian electric matrix.

**Keywords:** Photovoltaic energy management. Power generation project. Fuzzy Delph Method. Multi-criteria analysis.

## DEDICATÓRIA

*Sou grata primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida e a minha família pelo incentivo e apoio incondicional nessa trajetória.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk, pela orientação, responsável por guiar o desenvolvimento científico e profissional. Obrigada por incentivar o pensamento crítico e a evolução dentro da pesquisa. Agradeço pela confiança na realização deste estudo.

À Prof. Dr. Carmen Brum Rosa, por todo o apoio e incentivo. Por compartilhar os conhecimentos sobre o tema e me conduzir na discussão de ideias que estimularam o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos colegas do Núcleo de Inovação e Competitividade (NIC). Agradeço a oportunidade de trabalhar e trocar conhecimentos e discussões sobre as pesquisas. Em especial, muito obrigada a Paula, Graciele e Heloísa pela colaboração em muitas etapas desse percurso.

Aos meus amigos, principalmente a Stéfane, pelos conhecimentos compartilhados e por estar sempre pronta a ajudar, sou imensamente grata.

Aos meus pais, Lirian e Isaias, meus irmãos Vitor e Augusto, por serem minha fonte de força e carinho. Um agradecimento especial a minha mãe, Lirian, e meu irmão, Augusto, por estarem presentes em todos os momentos nessa trajetória. Agradeço a minha vó, Delcia, por acreditar incondicionalmente em mim. Aos meus padrinhos, Loreci e José, muito obrigada por todo o suporte e incentivo. É com o apoio da minha família, vocês, que tenho a oportunidade de buscar o crescimento profissional.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo dos resultados dos leilões .....	17
Figura 2 – Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro .....	22
Figura 3 – Estrutura Hierárquica da AHP .....	33
Figura 4 – Formulário para cálculo da AHP .....	34
Figura 5 – Enquadramento metodológico .....	39
Figura 6 – Situação dos projetos fotovoltaicos.....	41
Figura 7 – Etapas da pesquisa .....	42
Figura 8 – Modelo da estrutura hierárquica associado aos KPI .....	44
Figura 9 – Matriz de amarração da pesquisa.....	45
Figura 10 – Árvore de decisão para o desempenho de projetos GC de energia fotovoltaica.....	52
Figura 11 – Efeito do sombreamento da montagem retrato e paisagem .....	56
Figura 12 – Processo de desenvolvimento de projetos a concorrer em leilões .....	70
Figura 13 – Memorial descritivo .....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Aspectos de priorização usadas na GUT .....	64
Quadro 2 – Matriz GUT do estudo de caso .....	65
Quadro 3 – Sinônimos e palavras mais utilizadas na literatura .....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos de apoio multicritério à decisão .....	29
Tabela 2 – Escalas linguísticas .....	37
Tabela 3 – Fatores para o desenvolvimento de projetos fotovoltaicos .....	47
Tabela 4 – Resultado do FDM.....	50
Tabela 5 – Matriz de pesos .....	57
Tabela 6 – Relação de consistência.....	58
Tabela 7 – Resultado da ponderação .....	58
Tabela 8 – Escala de valores para mensuração dos KPI .....	59
Tabela 9 – Escala de avaliação do desempenho do projeto .....	60
Tabela 10 – Mensuração do KPI do estudo de caso .....	61
Tabela 11 – Análise de sensibilidade .....	67

## LISTA DE ABREVIações

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo de Análise Hierárquica)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Políticas Energéticas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FCS	Fatores Críticos de Sucesso
FDM	Método Fuzzy Delphi
KPI	<i>Key Performance Indicators</i> (Indicador de desempenho)
MCDA	<i>Multi Criteria Decision Aid</i> (Análise Multicritério de Apoio a Decisão)
MME	Ministério de Minas e Energia
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
PVF	Pontos de Vista Fundamentais
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SIN	Sistema Interligado Nacional

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.2	OBJETIVO .....	14
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	15
1.3.1	<b>Cenário da energia fotovoltaica na comercialização de energia</b> .....	15
1.3.2	<b>Trabalhos relacionados</b> .....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	21
2.1	MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	21
2.1.1	<b>Comercialização de energia</b> .....	23
2.1.2	<b>Impactos da pandemia da COVID-19 no setor elétrico</b> .....	25
2.2	PROJETOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	27
2.3	MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO .....	29
2.3.1	<b>Análise Hierárquica de Processos</b> .....	31
2.4	TÉCNICA DE APOIO AO CONSENSO DA DECISÃO .....	35
2.4.1	<b>Fuzzy Delphi</b> .....	35
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	39
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO .....	39
3.2	CENÁRIO DE ESTUDO .....	40
3.3	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	42
3.4	MATRIZ DE AMARRAÇÃO .....	44
<b>4</b>	<b>MODELAGEM</b> .....	46
4.1	FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO .....	46
4.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO FUZZY DELPHI .....	50
4.2.1	<b>Árvore de decisão</b> .....	51
4.3	CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO .....	52
4.4	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA DE PONDERAÇÃO .....	56
4.5	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA DE MENSURAÇÃO .....	59
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DO MODELO PARA DIAGNÓSTICO</b> .....	61
5.1	ESTUDO DE CASO .....	61
5.1.1	<b>Matriz de priorização</b> .....	63
5.2	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	66
<b>6</b>	<b>FRAMEWORK PARA DESENVOLVEDORES DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS</b> .....	69
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	71
7.1	LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS .....	71
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	73
	<b>APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA</b> .....	85
	<b>APÊNDICE B – INFORMAÇÕES DA EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA</b> .....	87
	<b>APÊNDICE C – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS I</b> .....	88
	<b>APÊNDICE D – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS II</b> .....	90
	<b>APÊNDICE E – MOTIVOS DA NÃO HABILITAÇÃO DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS EM LEILÕES</b> .....	93

## 1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico nacional tem vivenciado momentos de questionamentos relacionados à segurança de abastecimento, bem como mudanças regulatórias significativas, que afetam os preços e tarifas ao consumidor final nos ambientes de contratação regulada e livre (CNI, 2018). Na matriz energética brasileira, a energia elétrica é produzida, predominantemente, pelo potencial hidráulico, por meio de hidrelétricas. O potencial hidráulico é uma fonte renovável de energia, porém a sua operação de geração é sensível a secas, que podem reduzir os níveis de armazenamento de água nos reservatórios e, assim, levar ao racionamento. Dessa forma, a produção de energia elétrica sustentável pode ser obtida através de incentivos à geração de energia por fonte renovável (FLOWERS *et al.*, 2016).

Nesse contexto, o Brasil tem fomentado a geração de energia elétrica por fontes renováveis por meio de leilões reversos, pois acredita-se que um projeto de leilão apropriado pode atrair investidores e proporcionar uma crescente competição como, por exemplo, pela energia solar fotovoltaica (VIANA; RAMOS, 2018). Ambientalistas argumentam que a energia solar fotovoltaica é uma solução para atender à crescente demanda por energia elétrica, por ser usada tanto em usinas geradoras de alta escala quanto em residências e comércios de utilização distribuída (VIANA; RAMOS, 2018).

A energia elétrica no Brasil é comercializada por meio de contratos entre agentes vendedores e compradores, através de leilões regulados de energia, voltados ao atendimento do mercado cativo (Ambiente de Contratação Regulada – ACR) ou livre comercialização (Ambiente de Contratação Livre – ACL). Toda a demanda do sistema deve ser contratada de forma a garantir a segurança e a incentivar a sua expansão (PINTO *et al.*, 2014). Os leilões de energia elétrica têm visado o aumento da competitividade entre geradoras e entre distribuidoras, por meio de tarifas fixas, diversos benefícios e estabilidade (SOUZA *et al.*, 2014).

No contexto da energia fotovoltaica, existe uma redução de preços de equipamentos e uma acirrada competição entre empreendedores, isso está relacionado ao fato da energia fotovoltaica oferecer preços cada vez mais competitivos e inferiores às outras fontes renováveis (ABSOLAR, 2019). Observa-se um crescimento da participação dessa fonte no decorrer da contratação dos empreendimentos e existe ainda um grande potencial de crescimento. Diante deste cenário, destaca-se para empreendedores e investidores que ao dar início ao

processo de elaboração dos projetos, mesmo que as condições de mercado tenham se tornado mais favoráveis, aspectos como especificações do projeto e contextos geográficos devem ser observados no momento de implementar ou adquirir novos projetos (GREENER, 2017a; IRENA, 2019; REDISKE *et al.*, 2019).

Tudo isso deve ser observado, visto que o setor elétrico é complexo e não existem soluções simples para a maioria dos seus problemas estruturais, as condições de competição entre as fontes ocorrem devido aos atributos econômicos destas, nos quais fontes não competitivas terão acesso mais restrito às condições de financiamento (CCEE, 2018). Para tanto, a identificação de fatores que influenciam na atratividade de empreendimentos são essenciais para tomadas de decisão, uma vez que o crescimento do mercado não depende somente de incentivos externos, mas também de uma busca por alternativas que impulsionem o setor (GREENER, 2016). Com isso, verifica-se a necessidade de contribuir com a competitividade das usinas fotovoltaicas na comercialização de energia, através da identificação, mensuração e análise de fatores necessários para a fase de desenvolvimento de um projeto fotovoltaico, de modo que gestores possam identificar os indicadores que necessitam melhorias ainda no processo de planejamento.

## 1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A partir da necessidade de contribuir com os gestores na comercialização de energia fotovoltaica, identificou-se o seguinte problema: como auxiliar os desenvolvedores de projetos de geração de energia fotovoltaica a elevarem o seu desempenho na comercialização de energia?

## 1.2 OBJETIVO

Conforme o problema de pesquisa, o objetivo geral é construir um modelo para mensurar o nível de desempenho dos projetos de usinas fotovoltaicas para comercialização de energia no Ambiente de Contratação Regulada. Dessa forma, a proposta estrutura-se nos seguintes objetivos específicos:

- a) Definir os fatores fundamentais na implementação de projetos de geração de energia fotovoltaica;

- b) Modelar matematicamente um sistema de mensuração do nível de desempenho dos projetos de geração centralizada de usinas fotovoltaicas, baseados nos fatores previamente estabelecidos;
- c) Testar o modelo com gestores de projetos de geração de usinas fotovoltaicas e apresentar os níveis de desempenho.

### 1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O Brasil é um país de grande potencial para o uso da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica, principalmente em larga escala, devido as suas características naturais favoráveis. Esses fatores potencializam a atração de investidores na matriz elétrica. Dessa forma, esta seção apresenta a justificativa do estudo através de duas visões: o cenário da energia fotovoltaica na comercialização de energia e os trabalhos relacionados que contribuem para construção do escopo da pesquisa. No primeiro momento, buscou-se documentações sobre o setor de energia para compreender a trajetória e o cenário. No segundo momento, realizou-se a investigação da contribuição desse estudo e, para isso, uma revisão sistemática de literatura foi realizada e os processos estão apresentados no **APÊNDICE A**.

#### 1.3.1 Cenário da energia fotovoltaica na comercialização de energia

O crescimento da energia fotovoltaica depende, em grande parte, dos projetos desenvolvidos no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), no chamado mercado cativo, que é composto por leilões de energia elétrica estruturados pelo Governo Federal (HARATZ; SAUAIA; KOLOSZUK, 2019). A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), tem por finalidade prestar serviços nas áreas de estudos relacionados ao planejamento do setor energético.

O Ministério de Minas e Energia (MME) incluiu em 2013 a fonte solar nos leilões de energia A-3/2013 e A-5/2013, e, assim, iniciou-se a oportunidade dessa energia competir igualmente com outras fontes, como eólica e térmica, na modalidade “por disponibilidade”. Nesses leilões, nenhum projeto fotovoltaico foi vendido, pois apresentava custos superiores às demais fontes. No ano seguinte, o governo federal realizou o 6º Leilão de Energia de Reserva – LER 2014 (Leilão



008/2014) com produto específico para a fonte solar. Nesse processo, 400 projetos foram cadastrados, com uma potência total de 10.790 MW. Desses projetos, foram contratados 31 empreendimentos com capacidade de 889,66 MW de potência e 202,3 MW médios de garantia física. O preço de contratação nesse leilão foi de R\$ 215,12/ MWh, representando um deságio de 17,9% em relação ao preço máximo fixado de R\$ 262,00/MWh (NASCIMENTO, 2017).

Em agosto de 2015 (7º Leilão de Energia de Reserva – Leilão nº 008/2015), foi realizado um novo leilão com produto específico para fonte solar. Ele resultou na contratação de 231,15 MW médios, agregando 833,8 MW de capacidade instalada ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Nesse leilão, o preço médio foi de R\$ 301,79/MWh, representando um deságio de 15,6% em relação ao preço máximo fixado de R\$ 349,00/MWh (NASCIMENTO, 2017).

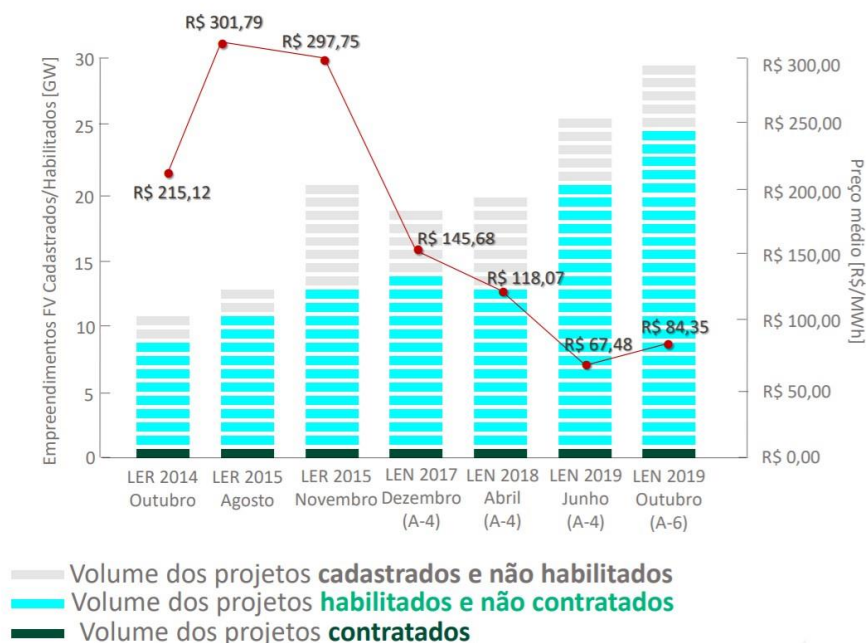
Ainda em 2015, realizou-se em novembro o 8º Leilão de Energia de Reserva (Leilão nº 009/2015), este teve a contratação de 33 empreendimentos de fonte solar, com capacidade de 929,34 MW e 262 MW médio de garantia física. Nesse caso, o preço médio de contratação foi de R\$ 297,74/MWh, um deságio de 21,8% em relação ao preço máximo fixado (R\$ 349,00/MWh). No ano de 2016, havia a previsão de realização do 2º LER para contratação de empreendimentos com base na fonte solar e eólica. Porém, o certame foi cancelado pelo MME, mesmo havendo cadastramento e habilitação técnica, não ocorreu, portanto, o leilão para a fonte fotovoltaica (ANEEL, 2009; MME; EPE, 2018; NASCIMENTO, 2017).

Em relação aos leilões A-4/2017 e A-4/2018, ambos leilões de energia nova (LEN), a maior parte dos projetos cadastrados estavam localizados no subsistema Nordeste, 84% em ambos os leilões. Apenas 16% pertenciam ao subsistema Sudeste/Centro-Oeste, que estão divididos em três unidades federativas: Mato Grosso do Sul, São Paulo e Minas Gerais (MME; EPE, 2018). No leilão A-4/2017, foram habilitados 315 projetos dos 574 cadastrados, nos quais 20 empreendimentos foram contratados (790,6 MW) com um preço médio de R\$ 145,68/MWh (EPE, 2017a), enquanto que para o A-4/2018 de 620 projetos cadastrados houve a habilitação de 422 empreendimentos e, desse total, 29 empreendimentos foram contratados (807 MW) com preço médio de R\$ 118,07/MWh (ANEEL, 2018a).

Os leilões de energia nova de 2019 apresentaram uma consolidação de preços muito competitivos no ambiente de comercialização regulada, com destaque para as fontes eólica e solar fotovoltaica. O leilão A4/2019, atingiu o menor preço

médio de venda desde 2014, ano da primeira contratação dessa tecnologia no ACR. Os preços da fonte solar fotovoltaica tiveram os maiores deságios médios nos dois leilões, 76% no A-4 e 60% no A-6, tendo o menor preço médio entre todas as fontes participantes, considerando os dois certames realizados. No leilão A-4 foram contratados 6 empreendimentos fotovoltaicos (21,1 MW) com preço de venda de 67,68/MWh. Já no leilão A-6, foram contratados 11 empreendimentos solares fotovoltaicos (59,5 MW) com preço de venda de R\$ 84,38/MWh (EPE, 2019a). Na Figura 1, é possível observar o resumo dos resultados dos leilões até o ano de 2019.

Figura 1 – Resumo dos resultados dos leilões



Fonte: GREENER (2020a).

A redução de preços verificada na Figura 1 está relacionada principalmente à redução nos custos de investimento e ao aumento no fator de capacidade das usinas. Verifica-se que houve uma queda no custo total de investimento ligada à queda no preço dos módulos fotovoltaicos. Outros fatores que podem ter contribuído com a redução de preços é uma melhor conjuntura nacional, na qual está presente juros mais baixos principalmente no período após o leilão de 2015. Além disso, há fatores como a acentuada competição, com oferta superior à demanda, bem como novas estratégias econômico-financeiras por parte dos empreendedores, além do

componente de “aposta” em maior redução de custos no horizonte de entrega de energia (MME; EPE, 2018).

Além disso, é possível verificar que existe uma grande discrepância nos valores de projetos cadastrados, habilitados e contratados. Isso mostra que existe um ambiente altamente competitivo nos leilões. O ano de 2019 apresentou preços recordes, em função da alta competitividade. Isso exige de empreendedores e investidores maior atenção no momento de implementar ou adquirir novos projetos, já que, nos leilões de 2019, os principais motivos da não habilitação de empreendimentos tratavam de fatores relacionados a problemas no projeto, inconsistências entre informações apresentadas e não comprovação do direito de usar ou dispor do local destinado à implantação do projeto (EPE, 2019a).

O Ambiente de Contratação Livre (ACL), também chamado mercado livre de energia, trata-se de um ambiente pouco explorado e de grande potencial de expansão para a fonte fotovoltaica (HARATZ; SAUAIA; KOLOSZUK, 2019). Devido a fonte solar fotovoltaica ter vendido energia elétrica com preços inferiores aos praticados por outras fontes renováveis, como centrais geradoras hidrelétricas (CGHs), pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e biomassa, sinaliza-se a presença de competitividade para negociações das comercializadoras no ACL. E, esse cenário é fruto da redução no custo de adquirir equipamentos e da acirrada competição entre empreendedores (ABSOLAR, 2019).

A expansão da matriz energética baseia-se em 70% da demanda nacional via ambiente de contratação regulada e 30% do mercado comercializado diretamente no ambiente de contratação livre (ABSOLAR, 2020a). Identifica-se que algumas medidas são necessárias para consolidar a fonte solar no mercado livre de energia, como a estruturação financeira adequada, implantação de projetos, conexão com a rede básica e regras claras de comercialização. Outra questão, defendida pelo setor, é a criação de instrumentos regulatórios que possam garantir uma certa igualdade nos processos entre os ambientes livre e regulado (PORTAL SOLAR, 2018).

### **1.3.2 Trabalhos relacionados**

De acordo com Al Garni e Awasthi (2017), a seleção de locais para usinas de energia solar deve levar em consideração fatores climáticos, proximidade de instalações e presença de áreas ambientais protegidas. O objetivo desta pesquisa é

avaliar e selecionar o melhor local para projetos de energia solar fotovoltaica na Árabia Saudita. O modelo considera diferentes aspectos, como fatores econômicos e técnicos, com a intenção de garantir o máximo aproveitamento da energia e minimizar o custo do projeto. Um processo de hierarquia analítica (AHP) foi aplicado para avaliar os critérios e calcular o índice de adequação da terra (LSI) para avaliar possíveis locais. Esse trabalho não mede o nível de competitividade de um projeto por se tratar apenas de um fator considerado necessário para elaboração de um projeto, a localização, em que explora os recursos e a infraestrutura existente.

Ainda, no trabalho de Doljak e Stanojević (2017), o objetivo é indicar os locais para o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas na Sérvia, com base em fatores naturais como clima, orografia e vegetação, através dos métodos AHP e SIG (Sistema de Informação Geográfica). Esse estudo representa uma avaliação sistemática de fatores para o território da Sérvia. Nesse caso, é avaliado o fator localização para uma determinada região, sem direcionar contribuição para projetos em outras regiões, de forma a abordar somente um fator considerado na construção de projetos.

Semelhante ao trabalho de Doljak e Stanojević (2017), o estudo desenvolvido por Mensour *et al.* (2019) afirma que a seleção do local é uma questão crítica quando é realizado o planejamento de usinas solares de grande escala. Esse trabalho aborda questões relacionadas as áreas adequadas para a implementação de usinas fotovoltaicas na região Souss-Massa, no Marrocos. Nesse local, foi realizado o desenvolvimento de um mapa de exclusão, justamente com o AHP e o SIG, afim de resolver o problema da seleção de locais mais adequados. Novamente, a literatura apresenta questões relacionadas à escolha da localização para implementação de projetos de usinas fotovoltaicas.

Conforme Adaramola e Vagnes (2015), a avaliação de desempenho dos sistemas fotovoltaicos é essencial para determinar o potencial de produção de energia fotovoltaica em uma área. Esse estudo tem como objetivo fornecer informações sobre a produção de energia a partir de um sistema integrado de rede fotovoltaica de pequena escala na Noruega, em que se examina a viabilidade técnica e estima-se a produção de energia. Os resultados fornecem informações úteis aos formuladores de políticas, indivíduos e organizações interessados sobre o desempenho real do sistema fotovoltaico conectado à rede do país, fornece também fatores considerados para instalação do sistema, como incidência de radiação,

localização e condições climáticas. Porém, o trabalho trata da operação real e produção de energia dos sistemas fotovoltaicos na Noruega, o que demonstra foco na análise de fatores técnicos relacionados somente ao funcionamento desse sistema.

Ratner e Nizhegorodtsev (2017) apresentaram um modelo de análise de projetos de energia renovável, implementado na Rússia. Os autores passaram por uma seleção competitiva e ganharam o direito de receber o subsídio, a fim de apresentar os fatores de sucesso desses projetos. O problema da pesquisa é que apenas 30% dos projetos conseguem ser bem-sucedidos na concorrência para obter investimentos do governo russo, visto que a geração através de energia solar é a mais recorrente. Em relação aos projetos fotovoltaicos, estes tiveram como principal fator de sucesso o lançamento de ampla produção nacional de módulos fotovoltaicos. O estudo faz uso de uma teoria de curvas de aprendizagem, através de indicadores como custo e capacidade de produção de tecnologia, o qual conclui que a redução de custo na produção de produtos de alta tecnologia depende da taxa de crescimento dessa produção e da experiência e fabricação. Embora apresente-se estudos semelhantes ao proposto nessa pesquisa, centraliza-se apenas em indicadores como custo e capacidade de produção de tecnologia.

É possível identificar, no âmbito acadêmico, que se realizou análises referentes aos fatores considerados importantes para a instalação de sistemas fotovoltaicos e que se fez uso de metodologias semelhantes como a utilização do processo de hierarquia analítica como forma de avaliação e julgamento. Apesar disso, os estudos não interferem no problema a ser investigado por este estudo, pois não apresentam métodos que auxiliem os gestores dos projetos fotovoltaicos a identificar fatores relacionados ao nível de desempenho de um projeto. Mesmo assim, observa-se indicadores importantes como critérios aplicáveis no contexto do Brasil.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresenta os principais conceitos relacionados aos assuntos pesquisados e utilizados como suporte para o presente estudo e fim de discuti-los. A primeira seção trata do mercado de energia e a segunda seção aborda os projetos de energia fotovoltaica. Por fim, na terceira seção, apresenta-se os métodos de mensuração de desempenho.

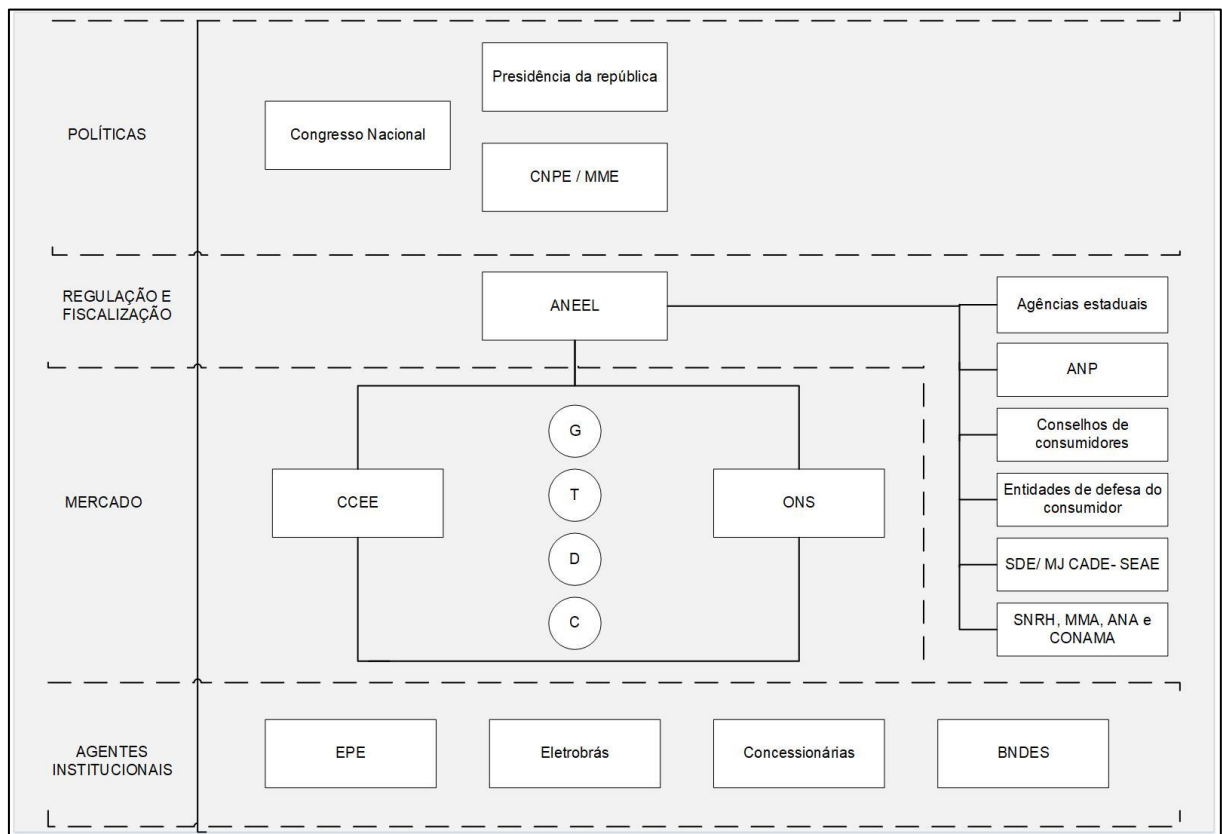
### 2.1 MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA

O mercado de energia elétrica surgiu no Brasil em 1879, quando Dom Pedro II contratou Thomas Alvas Edison para introduzir a tecnologia de lâmpadas incandescentes na iluminação pública. Dessa forma, no ano de 1883, a primeira usina hidrelétrica do país entrou em funcionamento, situada em Ribeirão do Inferno na cidade de Diamantina em Minas Gerais. No decorrer dos séculos XX e XXI, outros tipos de produção de energia foram adotados pelo governo brasileiro, como termoelétricas, usinas nucleares, energia solar e eólica, além de um maior investimento em hidrelétricas, destaque para Itaipu. Dessa forma, a consolidação da energia elétrica trouxe a necessidade da criação do mercado de energia, em que o próprio governo é responsável pelo setor de regulamentação (CCEE, 2020).

Em 2004, com a implantação do Novo Modelo do Setor Elétrico, o Governo Federal, através das leis nº 10.847/2004 e nº 10.848/2004, manteve a formulação de políticas para o setor de energia elétrica atribuído ao Poder Executivo Federal, através do Ministério de Minas e Energia (MME) juntamente com o Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) e o Congresso Nacional. Para tanto, criaram-se então novos agentes, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao MME, em que a função é realizar os estudos necessários sobre o planejamento da expansão do sistema elétrico. Além disso, criou-se a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que trata da negociação da energia no mercado livre. O Novo Modelo preservou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), agência reguladora, e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que coordena e supervisiona a operação centralizada do sistema interligado brasileiro. Com a finalidade de acompanhar e avaliar a continuidade e segurança do suprimento eletroenergético do território nacional, além de sugerir ações, foi

instituído o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), que está ligado ao MME, assim como a EPE. Na Figura 2, é possível compreender a atual estrutura do setor elétrico brasileiro (ANEEL, 2009).

Figura 2 – Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro



Fonte: ANEEL (2009).

Para a geração (G) e transmissão (T) de energia elétrica, o país conta com o Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrange a maior parte do território brasileiro e é constituído pelas conexões realizadas ao longo do tempo, de instalações restritas ao atendimento das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Existem sistemas de menor porte, não conectados ao SIN, chamados de Sistemas Isolados, que se concentram principalmente na região Amazônica, que está no Norte do país. Em relação à Distribuição (D), ela é realizada pelas empresas distribuidoras, empresas essas de grande porte que funcionam entre o setor de energia elétrica e a sociedade, e suas instalações recebem das companhias de transmissão o suprimento para o abastecimento no país (ANEEL, 2009). Nesse contexto, o papel da CCEE é fortalecer o ambiente de comercialização

(C), com regras e mecanismos que possuam relações comerciais sólidas e justas para todos os segmentos, dentre as quais os agentes de transmissão não participam da comercialização de energia (CCEE, 2020).

### **2.1.1 Comercialização de energia**

A comercialização de energia elétrica ocorre de forma livre ou com preços e quantidades definidos pelo Poder Público. No Sistema Interligado Nacional (SIN), essas duas formas previstas para o fornecimento e utilização de energia são operacionalizadas pela CCEE, que segue regulamentos estabelecidos pela ANEEL (ANEEL, 2018b). Há dois ambientes de negociação: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), com agentes de geração e distribuição de energia; e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), com geradores, distribuidores, comercializadores, importadores e exportadores, além dos consumidores livres e especiais (CCEE, 2020). A principal diferença entre eles é que, no primeiro, os consumidores são chamados de “cativos”, pois adquirem a energia da mesma empresa responsável por sua distribuição. Já no segundo, há a liberdade de escolha do fornecedor de energia elétrica (ABRACEEL, 2017).

A compra e venda no ambiente regulado é formalizada por meio contratos entre geradores e distribuidores, os quais participam de leilões de compra e venda de energia. Isso ocorre, uma vez que os contratos têm regulação para aspectos referente ao preço da energia, submercado de registro do contrato e vigência de suprimento, sem alterações bilaterais pelos agentes. No entanto, no ambiente livre, os geradores comercializadores, importadores de energia e consumidores livres e especiais possuem a liberdade para negociar em contratos, os volumes de compra e venda de energia, bem como seus preços (CCEE, 2016).

Em relação ao ambiente de contratação regulada, leilões de compra e venda de energia iniciaram em 2004, quando o governo brasileiro desenvolveu uma nova regulamentação para o setor elétrico nacional, promulgada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), com a edição da Lei n. 10.848 e Decreto n. 5.163, o qual regulamentou a comercialização de energia elétrica e o processo de outorga de concessões e de autorização de geração de energia elétrica (ANEEL, 2019). A venda e concessão de energia em leilões iniciam-se a partir de um preço teto e cabe ao MME à provação do Custo Marginal de



Referência do Leilão, com base em cálculos realizados pela EPE. O preço teto decresce ao longo do processo de submissão de lances, com decremento de 5% a cada período de lances. Com isso, de modo reverso, empresas fazem ofertas cada vez menores até que não exista mais inserções de lances e então encerra-se o leilão (SOUZA *et al.*, 2014).

Segundo o Ministério de Minas e Energia, foram 49 novos empreendimentos solares contratados nos últimos leilões de energia A4, o que gera investimentos de R\$ 8 bilhões até 2021 e garante mais 1,8 gigawatts-pico (GWp) de potência no Brasil. Novas usinas solares foram contratadas em abril de 2018, com um investimento de 4,2 bilhões e previsão de entrada em operação até janeiro de 2022 (MME, 2018). Os leilões dividem-se em duas modalidades: energia existente e energia nova. A primeira é em relação à produção das usinas que já estão em operação e, assim, os volumes contratados são entregues em um prazo menor, de um ano (A-1). A segunda, empreendimentos que estão em fase de planejamento ou construção, nas quais o prazo de entrega é geralmente de três ou cinco anos (A-3 e A-5). Existe também, os leilões de ajuste e os de reserva. Nos de ajuste, as distribuidoras complementam o volume necessário ao atendimento do mercado e, nos de reserva, o objeto de contratação é a produção de usinas que entrarão em operação apenas em caso de escassez das usinas convencionais (ANEEL, 2009).

No mercado de contratação livre, criado em 1995, o consumidor negocia a quantidade de energia adequada ao perfil de consumo, de forma a assegurar a compra de energia no curto, médio e longo prazo (CCEE, 2018). A compra de energia é realizada através de contratos comerciais bilaterais em condições previamente negociadas, com prazos, preços, volume de energia adquirida e demais pontos que forem de interesse das partes a serem negociados no contrato de compra e venda (BRASIL, 2004). Quando o consumidor passa a integrar o mercado livre, a transação de compra e venda precisa ser realizada em forma de contratos bilaterais com seus fornecedores. Toda a operação realizada deve ser registrada junto a CCEE que realiza a liquidação dos contratos (ABRACEEL, 2017). O MME publicou a Portaria nº 465, de 12 de dezembro de 2019 (MME, 2019), que trata das possibilidades de livre contratação de energia elétrica por parte dos consumidores, o principal objetivo é promover maior eficiência e competitividade ao mercado, além de buscar alinhar o setor aos padrões internacionais de liberdade de escolha do consumidor.

Além disso, medidas para modernização do setor elétrico são impostas através da Medida Provisória nº 998/2020 (MP 998), de 1º de setembro de 2020 (BRASIL, 2020), que tem como objetivo reduzir os impactos na tarifa de energia elétrica. Entre as principais medidas esta a alocação de recursos P&D para a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), a possibilidade da contratação de potência por necessidade e a alteração de subsídios para fontes renováveis, onde o desconto na TUST/TUSD não será mais aplicado aos novos projetos outorgados. Contudo, foi aprovada pela Câmara dos Deputados e pelo Senado Federal, a Lei nº 14.120/2021 que trata da conversão da MP 998 (BRASIL, 2021). Essa medida permite que concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica apliquem recursos de pesquisa e desenvolvimento em tecnologias para armazenamento de energia solar, eólica e de biomassa. Dessa forma, a fim de verificar demais alterações no cenário do setor elétrico, também foi analisado os impactos da pandemia da COVID-19.

### **2.1.2 Impactos da pandemia da COVID-19 no setor elétrico**

Em 11 de março de 2020, a Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU) classificou como pandemia a COVID-19, doença causada pelo novo coronavírus Sars-Cov-2. No setor elétrico Brasileiro, esse fato acarretou apreensão de agentes, governo e consumidores diante dos possíveis impactos econômico-financeiros, o que exigiu ações para garantir a solvência do setor (ANEEL, 2020a). Conforme o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), após a adoção dos estados brasileiros por medidas de isolamento social, verificou-se um aumento no consumo residencial e diminuição das demais classes. Isso fez com que a demanda máxima do sistema fosse deslocada do período diurno para o noturno (MME, 2020).

Em função da adoção da quarentena, a atividade econômica teve um recuo significativo. A projeção do Produto Interno Bruto – PIB foi revista para zero, o que influencia diretamente no consumo de energia (EPE, 2020a). Diante dessa realidade, a ANEEL implementou medidas para mitigação dos efeitos da pandemia, como: a suspensão de prazos presente na Portaria nº 6.310; a aprovação de medidas excepcionais para a suspensão de serviço e priorização de serviços essenciais estabelecida na REN nº 878; a instituição do Gabinete de Monitoramento da Situação Elétrica estabelecida pela Portaria nº 6.335; a aprovação de reajustes com

suspensão da aplicação por 90 dias e a liberação de valor remanescente de Encargos de Serviços de Sistema conforme Despacho nº 986 (ANEEL, 2020a).

Diferente da crise de 2014 vivenciada pelo setor elétrico, quando os reservatórios deplecionaram fortemente e houve um período de secas em níveis abaixo da média histórica, em 2020 observou-se uma crise global, com impactos sobre todas as atividades econômicas, incluindo o setor elétrico. Com a redução do mercado, devido às medidas de combate à pandemia, as distribuidoras precisam pagar pelos contratos que possuíam, mas apenas parte da carga prevista foi faturada. Essa diferença entre os montantes a serem pagos nos contratos e o valor arrecado via faturamento de energia resulta em problema de fluxo de caixa nas distribuidoras (ANEEL, 2020b).

A crise de 2020, portanto, precisou de soluções de curto-prazo e complementares à solução proposta pelo Governo Federal através da Medida Provisória nº 950. O art. 3º presente na medida proposta, inseriu o inciso XV, ao art. 13, da Lei nº 10.438 de 2002, para permitir a destinação de recursos pela Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) para a amortização de operações financeiras relacionadas ao enfrentamento dos efeitos da crise COVID-19. Logo, a MP nº 950 de 2020, prevê a amortização das operações financeiras por meio de encargo tarifário, que será repassado pelas concessionárias de distribuição à CDE (ANEEL, 2020b). Sensíveis ao contexto da crise, o MME e a ANEEL anunciaram a postergação da realização de leilões. Não se trata de cancelamento dos leilões no setor elétrico, mas de uma retomada de atividades apenas quando normalizada a situação de saúde pública (ANEEL, 2020c; SOLAR, 2020).

Em relação ao segmento fotovoltaico, um estudo realizado pela Greener indica que mais de 70% das empresas integradoras de energia fotovoltaica afirmaram já ter perdido um negócio pela desistência ou adiamento, o que causa um potencial de impacto para toda a cadeia. Além disso, há o incremento dos custos dos equipamentos, que foi consequência da desvalorização cambial e foi o principal impacto mencionado. Proprietários e investidores de usinas voltadas para os leilões e mercado livre de energia demonstraram ter sentido os efeitos de aumento do custo dos equipamentos. Contudo, a natureza dos contratos de fornecimentos de energia de boa parte dos projetos de grande porte prevê a implantação de médio e longo prazos. Isso possibilita maior flexibilidade, permitindo que desembolsos sejam realizados nas condições mais favoráveis de mercado (GREENER, 2020b).

Ao analisar o cenário em outros países, verifica-se que a demanda por eletricidade caiu para os níveis dominicais, com reduções dramáticas nos serviços e na indústria apenas compensadas por uma pequena parcela referente ao maior uso residencial. Quando o confinamento foi abrandado na Itália e na Alemanha em abril de 2020, a demanda por eletricidade deu os primeiros sinais de recuperação. Na medida em que mais países (Índia, França, Espanha, Grã-Bretanha) abrandaram as medidas de isolamento, essa tendência foi se confirmando. Em setembro de 2020, a demanda de eletricidade estava 3,4% acima da média de setembro de 2019. Esse crescimento foi fomentado por dois fatores: recuperação da demanda de eletricidade no setor industrial e comercial; e, maior demanda por irrigação em relação a 2019, quando fatores climáticos diminuíram a necessidade de eletricidade na agricultura (CARLINI *et al.*, 2020; IEA, 2020).

## 2.2 PROJETOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Diante dos leilões explicitados na seção anterior, existem vários projetos, em curso ou em operação, para aproveitamento da energia solar no Brasil, principalmente por meio de sistemas fotovoltaicos de geração de eletricidade (ANEEL, 2020d; FUTURE SOLAR, 2020). Esse sistema funciona através de placas solares que captam a luz do sol e a convertem em energia elétrica, processo chamado de efeito fotovoltaico, no qual a energia passa pelo inversor de frequência, cujo objetivo é converter a corrente contínua, gerada pelos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada, para o consumo dos eletrodomésticos e equipamentos (HERNÁNDEZ-CALLEJO; GALLARDO-SAAVEDRA; ALONSO-GÓMEZ, 2019).

Uma das restrições para a difusão de projetos de aproveitamento da fonte solar é a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, de maneira a tornar necessário o uso de grandes áreas para a captação de energia em quantidade suficiente para que o empreendimento seja economicamente viável. Contudo, comparada a outras fontes, como a energia hidráulica, observa-se que a limitação de espaço não é um fator de maior restrição para o aproveitamento da energia solar, mas que apresenta um nível de importância (ANEEL, 2020e).

Os projetos de geração fotovoltaica dividem-se em projetos de geração centralizada e a geração distribuída. A geração centralizada, com usinas de maior porte, trata dos projetos contratados por meio de leilões de energia, com contratos

no ACR. Já a geração distribuída é a geração de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição, com sistemas instalados no próprio local de consumo ou próximos a ele, localizados em casas, edifícios comerciais e públicos, condomínios e em áreas rurais (NASCIMENTO, 2017).

Uma característica dos projetos de geração renovável é o valor de potência instalada da ordem de 30 MW a 50 MW, com diversidade de agentes no mercado. Essa granularidade resulta como vantagem no aumento da competitividade dos leilões de energia e isso leva à perda da visão sistêmica de expansão da rede para análise técnico-econômica da conexão dos projetos. Com base nesse contexto, observa-se que nem sempre a melhor alternativa de conexão para um determinado projeto representa à alternativa de menor custo global (EPE, 2020b).

Ao se analisar os leilões de energia em que a Empresa de Pesquisa Energética disponibilizou maiores informações, leilões A-4/2017 e A4/2018, verifica-se que, no caso da energia fotovoltaica, os projetos não ultrapassaram 30 MW. Isso se explica pelo fato de que usinas com capacidade instalada igual ou menor que 30 MW não são despachadas de forma centralizada, conforme procedimentos de rede da ONS (ONS, 2021). Quando a capacidade instalada é superior a 30 MW e inferior a 50 MW pode não ser despachada de forma centralizada, caso os estudos demonstrem que não existe influência significativa de sua operação sobre o processo de otimização energética do SIN. Já os geradores com capacidade instalada acima de 50 MW, são obrigatoriamente despachados centralizadamente (MME; EPE, 2018; ONS, 2021).

Além disso, verifica-se, no estudo realizado pela EPE, sobre características dos empreendimentos fotovoltaicos participantes nos leilões, que a maioria dos projetos fotovoltaicos apresentam o tipo de conexão rede básica ou rede de distribuição (MME; EPE, 2018). A ONS exerce nesse cenário o papel de coordenação, supervisão e controle das operações do SIN sobre a rede básica, rede complementar e usinas integradas (ANEEL, 2008). De acordo com a ANEEL, rede básica são instalações de transmissão de propriedade de concessionárias de serviço público de transmissão e a rede de distribuição trata de um conjunto de estruturas utilizado para a distribuição da energia elétrica, que opera em baixa, média e/ou alta tensão de distribuição, inferior a 230 kV. Portanto, as linhas de transmissão que possuem uma tensão igual ou superior a 230 kV são denominadas de rede básica (ANEEL, 2010a, 2010b).

Dessa forma, percebe-se a complexidade da matriz energética, pois as fontes de energia renovável sofrem diferentes problemas relacionados aos aspectos de especificações do projeto, contextos geográficos e níveis de maturidade. No caso da energia fotovoltaica, existem barreiras em diferentes níveis tais como tecnológico, econômico, político e regulatório e sócio-político. Esses níveis podem impedir a implantação da capacidade de energia solar fotovoltaica (ABSOLAR, 2020b). Assim, faz-se necessário compreender os fatores relacionados ao desenvolvimento de projetos fotovoltaicos.

### 2.3 MENSURAÇÃO DE DESEMPENHO

A mensuração de desempenho é utilizada por organizações a fim de garantir a direção em função das metas e objetivos organizacionais. Ela possibilita avaliar e controlar operações gerais do negócio, além de medir e comparar o desempenho de diferentes organizações (POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2004). Para o desenvolvimento de sistemas de mensuração de desempenho, diferentes técnicas podem ser utilizadas, como as técnicas de Análise Multicritério de Apoio a Decisão (MCDA). As técnicas MCDA são amplamente aplicadas nos campos de energia, como seleção de locais, avaliação de projetos e avaliação de equipamentos (YUNNA; GENG, 2014).

Para modelar matematicamente o sistema de mensuração, podem ser utilizados diferentes métodos para tomada de decisão, conforme exemplos dispostos na Tabela 1. Esses métodos são úteis quando existem vários fatores qualitativos e quantitativos, pois auxiliam na formalização da estrutura da tomada de decisão (GUARNIERI, 2015).

Tabela 1 – Métodos de apoio multicritério à decisão

(continua)

Método	Descrição
<i>Multiple Attribute Utility Function (MAUT)</i>	Baseia-se nos conceitos de modelagem de preferência tradicional, admite <i>trade-offs</i> entre critérios e somente duas situações: Preferência estrita (P) e Indiferença (I). É construída uma função utilidade de agregação $U(g_1, \dots, g_i, \dots, g_n)$ , agregando os critérios $g_j$ ( $j = 1, \dots, n$ ) em um critério único de síntese, explicitando as preferências do decisor. Ordena as alternativas.

Tabela 1 – Métodos de apoio multicritério à decisão

(conclusão)

Método	Descrição
<i>Simple Multicriteria - Attribute Rating Technique</i> (SMART)	É uma simplificação da MAUT, julga a avaliação das alternativas considerando o pior e melhor estímulo, faz uso da estratégia da aproximação heroica para justificar aproximações lineares das funções utilidade multidimensional. A agregação das preferências do decisor com base nas alternativas e critérios é aditiva, ou seja, considera <i>trade-offs</i> entre critérios. É um método de ordenação de alternativas. Derivação: SMARTS (com <i>swing</i> de pesos).
<i>Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution</i> (TOPSIS)	Avalia o desempenho das alternativas através da similaridade desta com a solução ideal. Assim, a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa. A solução ideal positiva é aquela que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo; já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício. É um método de ordenação de alternativas e permite <i>trade-offs</i> entre critérios.
<i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)	Decompõe o problema em diversos fatores, com relações entre si, por meio da construção de uma hierarquia, possibilita ao decisor definir prioridades e realizar o julgamento de preferências entre alternativas, comparando-as em pares para cada critério por meio de matrizes e baseados na escala numérica de Saaty. É um método de ordenação das alternativas e considera <i>trade-offs</i> entre critérios.
Fuzzy	Traduz preferências linguísticas a partir da teoria de conjuntos (difusa ou nebulosa). Aplica conjuntos difusos e graus de associação para permitir uma melhor modelagem da incerteza. Essa abordagem é apropriada em estudos que visam avaliar o comportamento humano.

Fonte: BUDAK *et al.* (2020) e GUARNIERI (2015).

Mardani *et al.* (2015) analisaram um total de 393 artigos com o objetivo de revisar sistematicamente as aplicações e metodologias das técnicas de Análise Multicritério de Apoio a Decisão (MCDA). O resultado desse estudo indicou que o método AHP foi classificado como primeiro método mais utilizado. Pohekar e Ramachandran (2004) afirmam que o AHP tem sido frequentemente utilizado no planejamento de energia por fonte renovável e convencional, bem como no planejamento de projeto e planejamento gerencial e técnico das concessionárias de energia elétrica. Noorollahi *et al.*, (2016) justificam o uso da AHP por ser um método

que converte um problema complexo em uma hierarquia simples, combinando critérios qualitativos e quantitativos na mesma estrutura de decisão.

Rigo *et al.* (2020) analisaram 163 artigos identificando os problemas, as fontes relacionadas e as técnicas utilizadas. O resultado desse estudo foi que, associado a outras técnicas, o método AHP é o mais utilizado para soluções de problemas de energia renovável. Diante desses estudos, é possível utilizar a estrutura hierárquica de Pontos de Vista Fundamentais (PVF), Fatores Críticos de Sucesso (FCS) e KPI (*Key Performance Indicators*), modelando-a por meio do método AHP.

Em métodos específicos de mensuração de desempenho, a exemplo Análise Hierárquica de Processo, os KPI devem partir dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS), aspectos do desempenho organizacional identificados como importantes para que se possa atingir o desejado (PARMENTER, 2015). São esses fatores que determinam o sucesso ou fracasso dos objetivos da organização (HOFFMANN; SCHLOSSER, 2001). Esses fatores influenciam de maneira significativa a capacidade de competitividade de uma organização quando gerenciados adequadamente. Os FCS podem ser agrupados em Pontos de Vista Fundamentais (PVF) (RESENDE *et al.*, 2018). Assim, a relação entre KPI, FCS e PVF é estruturada em uma hierarquia, na qual os PVF representam o primeiro nível.

Tal estrutura hierárquica é composta pelos fatores relevantes para que se atinja o objetivo geral da organização, ou seja, o que deve ser mensurado através do sistema de mensuração. Na tomada de decisão, o KPI é uma medida que representa o estado da organização, auxiliando no planejamento e controle de informações de suporte, de maneira a ilustrar estruturas e processos de uma empresa (BADAWY *et al.*, 2016). Os KPI agem como um conjunto de medidas focadas no desempenho organizacional, fundamentais para o sucesso da organização e raramente são novos, apenas podem não ter sido reconhecidos pela organização (PENG *et al.*, 2007).

### **2.3.1 Análise Hierárquica de Processos**

Há uma lacuna no setor de energia referente à utilização de métodos que permitam definir os projetos com base tanto nos critérios quantitativos (como o Valor Presente Líquido - VPL) como qualitativos (como preservação do meio ambiente).

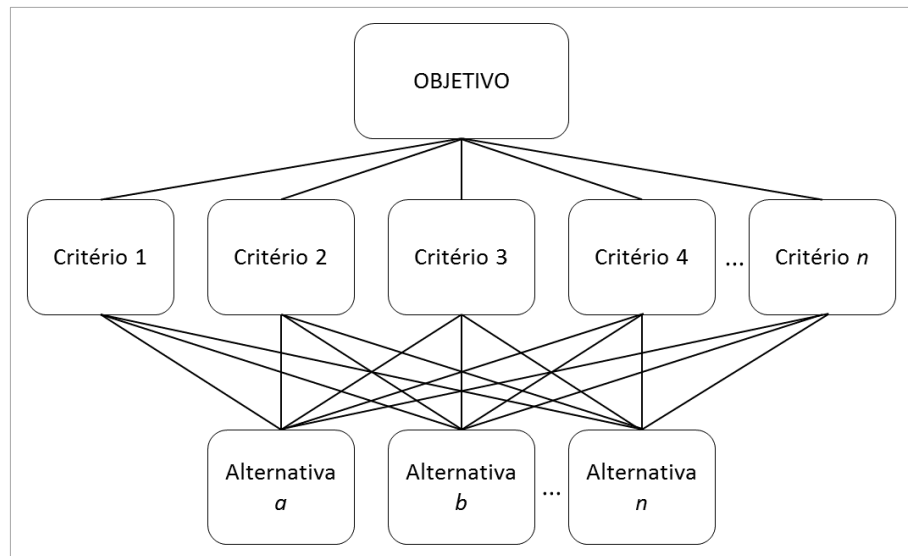


Isso justifica o uso de uma metodologia como a AHP. Contudo, para a aplicação da metodologia é necessário uma correta definição dos critérios (SILVÉRIO; RODRIGUES; XAVIER, 2015). Uma das limitações do método é justamente sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis nos quais a aplicação é vista como uma simplificação excessiva (MENEZES, 2015). Grandzol (2005) afirma que, por reconhecer que os participantes podem estar incertos ou fazer julgamentos ruins em algumas comparações, o método compreende as comparações redundantes para melhorar a validade destas. Dessa forma, o autor adverte que a tolerância de inconsistências não é uma limitação, mas um retrato da realidade, o que aproxima de um modelo realista.

O método AHP pode ser implementado em três etapas, constituídas por: a) estruturação da hierarquia entre critérios e alternativas; b) produção das matrizes de comparação pareada; c) cálculo dos valores dos pesos dos critérios e pontuação do desempenho das alternativas (BHUSHAN; RAI, 2004; NALMPANTIS *et al.*, 2019). Esse método foi desenvolvido por Saaty, em 1980, como uma metodologia para classificar alternativas. Ele permite a combinação de fatores qualitativos e quantitativos, de maneira a oferecer uma abordagem apropriada para lidar com os problemas complexos de MCDA. É possível decompor um grande problema em problemas menores em níveis hierárquicos e assim atribuir pesos aos critérios de tomada de decisão (AL GARNI; AWASTHI, 2017).

Para calcular os pesos para os critérios AHP, inicia-se a criação de uma matriz de comparação aos pares (NALMPANTIS *et al.*, 2019). Na matriz de comparação aos pares, os pesos são coletados com os tomadores de decisão (WANG *et al.*, 2009). A coleta dos pesos é determinada por especialistas e a concordância dos valores dos critérios é verificada pelo tomador de decisão. A partir das pontuações, as comparações em pares dos critérios são organizadas em uma matriz quadrada (BHUSHAN; RAI, 2004). A Figura 3 mostra a estrutura proposta por Saaty, na qual é possível observar que o método AHP percorre pelo objetivo, critérios e alternativas (SAATY, 1987).

Figura 3 – Estrutura Hierárquica da AHP



Fonte: SAATY (1987).

As hierarquias criadas refletem as aspirações dos tomadores de decisão em relação ao problema em discussão. Assim, o primeiro nível apresenta o objetivo, que é o problema a ser resolvido ou uma meta de decisão. O segundo nível é composto pelos critérios que influenciam na decisão e o terceiro grupo contém as alternativas possíveis para solucionar o problema. A fim de auxiliar os tomadores de decisão na realização das comparações aos pares, Saaty criou uma escala de importância de intensidade de nove pontos, escala fundamental de preferências, que varia de igual importância (1) a extrema importância (9) (NALMPANTIS *et al.*, 2019; SAATY, 1987).

Para atribuição de pesos, em um primeiro momento, os pesos subjetivos são determinados por tomadores de decisão que estão envolvidos no problema e podem avaliar a comparação conforme escala fundamental de preferências. A partir das pontuações, as comparações em pares de vários critérios são organizadas em uma matriz quadrada (RIGO, 2019). Essa matriz consta na Figura 4, juntamente com o processo matemático do método AHP.

Figura 4 – Formulário para cálculo da AHP

PROCESSO	DESCRIÇÃO E JULGAMENTO	FÓRMULA	
1	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Construir a matriz de julgamentos A</div>	Os elementos diagonais da matriz são 1. O critério da linha $i$ é melhor do que o critério da coluna $j$ , se o valor do elemento $(i, j)$ for superior a 1. O elemento $(j, i)$ da matriz é recíproco do elemento $(i, j)$ .	$A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$
2	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Multiplicam-se os n elementos de cada linha</div>	Após a definição da matriz de julgamentos A, é necessário multiplicar os n elementos em cada linha.	$a_i = \prod_{i=1}^n a_{in}$
3	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Calcular a raiz n-ésima</div>	Após a multiplicação dos n elementos de cada linha, toma-se a raiz n-ésima do termo resultante de cada linha. Isso resultará em uma matriz de peso W.	$w_i = \sqrt[n]{a_i}$
4	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Normalizar a matriz de pesos</div>	Após ter a coluna de matriz de pesos W é necessário normaliza-la.	$w'_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$
5	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Apresentar a matriz dos pesos das alternativas</div>	Após o cálculo do peso de cada alternativa, os valores de W são representados em uma matriz.	$W' = \begin{bmatrix} w'_1 \\ \vdots \\ w'_n \end{bmatrix}$
6	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz A: Calcular a soma produto de cada linha da matriz A.</div>	A consistência de uma matriz é avaliada através de seu autovalor máximo ( $\lambda_{max}$ ), que deve ser aproximadamente n. Calcula-se a soma produto de cada linha matriz A pelo valor W' correspondente.	$b_i = \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot w'_i$
7	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz A: Dividir os resultados B pelos vetores da matriz W'.</div>	Após o cálculo dos valores de b, os resultados são divididos pelos valores da matriz W'.	$c_i = \frac{b_i}{w'_i}$
8	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz A: Calcular o autovalor máximo.</div>	Então, o calculo do autovalor ( $\lambda_{max}$ ) é então expresso pela média dos resultados de cada linha. O autovetor mostra a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento.	$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}$
9	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz A: Calcular o Índice de Consistência (IC).</div>	Então, é possível calcular o valor do índice de consistência (IC). Onde n é a ordem da matriz de pesos.	$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$
10	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Estudar a consistência da matriz A: Calcular a relação de consistência (RC).</div>	A relação de consistência (RC) é a razão entre o índice de consistência (IC) e um Índice Randômico (IR) médio tabelado. A RC com 0,10 ou menos é considerada aceitável e é desejável que a razão de consistência seja a mais baixa possível.	$RC = \frac{IC}{IR}$

Fonte: RIGO (2019).

Onde:

A = Matriz de julgamentos de  $i$  linhas e  $j$  colunas ( $\forall i, j = \{1, 2, \dots, n\}$ );

$w_i$  = Peso da linha  $i$  não normalizada;

W' = Matriz de pesos normalizada;

$\lambda_{max}$  = Autovalor máximo da matriz de julgamentos;

*IC* = Índice de consistência da matriz de julgamentos;

*IR* = Índice Randômico;

*RC* = Relação de consistência da matriz de julgamentos.

Conforme o procedimento exposto acima, é possível estabelecer o peso de cada um dos critérios para escolha das alternativas do problema de decisão, utilizando o método AHP.

## 2.4 TÉCNICA DE APOIO AO CONSENSO DA DECISÃO

Diferentes técnicas são utilizadas no processo de obtenção do consenso na decisão como: *Brainstorming*, técnica Delphi (*Delphi technique*) e NGT (*Nominal Group Technique*). O *Brainstorming* é uma técnica de estímulo à criatividade e pode ser usada como apoio à decisão com múltiplos critérios. Já na técnica Delphi, as percepções ou opiniões são coletadas e analisadas, assim como na aplicação de NGT também conhecido como método Delbecq, que reúne múltiplos participantes sem a necessidade de comunicação verbal entre eles (CAMPOS, 2011).

Diante das técnicas utilizadas, verifica-se que método Delphi é aplicado para selecionar indicadores de desempenho em muitos campos de estudo. Esse método requer várias investigações para obter a consistência de opiniões de especialistas. No entanto, o método Fuzzy Delphi requer apenas um pequeno número de amostras e os resultados se apresentam objetivos. Dessa forma, é possível economizar tempo e custo necessário para a coleta de opiniões de especialistas. O método Delphi combinado simplifica um problema complexo, abordando a incerteza presente no procedimento de pesquisa (MA *et al.*, 2011).

### 2.4.1 Fuzzy Delphi

A técnica Delphi foi desenvolvida por Dalkey e Helmer (1963) e tem sido aplicada em áreas de gerenciamento, previsão e planejamento de projetos. Isso ocorre porque em várias situações reais, a opinião de especialistas não pode ser interpretada com precisão em valores quantitativos (HSU; LEE; KRENG, 2010). Em outras palavras, os dados obtidos são insuficientes para modelar a realidade devido à imprecisão e natureza subjetiva, o julgamento e as preferências humanas (SHEN

*et al.*, 2013). Então, com a intenção de superar o problema descrito, a teoria dos conjuntos difusos foi proposta por Zadeh (1965) para trabalhar com a questão da imprecisão do pensamento na tomada de decisões.

O conceito de combinar a teoria dos conjuntos difusos e Delphi foi proposto por Murray; Pipino; Van Gigch (1985) e então denominado de Método Fuzzy Delphi (FDM). Ishikawa *et al.*, (1993) introduziram a teoria Fuzzy no método Delphi e propuseram algoritmos de integração máxima e mínima, porém o método se limitou para prever dados de séries temporais. Já Hsu e Yang (2000) aplicaram o número nebuloso triangular para compreender opiniões de especialistas e então estabelecer o Método Delphi Difuso, assim também chamado o Método Fuzzy Delphi (BUI *et al.*, 2020; MA *et al.*, 2011). Dessa forma, o valor máximo e mínimo das opiniões são os dois pontos finais dos números nebulosos triangulares, e a média geométrica indica o grau de associação dos números nebulosos triangulares para derivar o efeito estatístico imparcial e evitar o impacto de valores extremos (MA *et al.*, 2011).

O destaque do método reside na redução da duração do período de estudo, uma vez que reduz o número de rodadas Delphi (ABDULKAREEM *et al.*, 2020). Lidar com um contexto nebuloso que envolve descrições imprecisas e linguística humana, pode gerar uma impressão de se usar um método apropriado. O método Fuzzy Delphi, por sua vez, avalia a importância dos critérios que afetam um fenômeno em uma escala muito flexível e, nesse contexto, não há escassez de informações porque ele considera todas as opiniões de especialistas em uma investigação. Portanto, o FDM trata-se de um método amplamente utilizado para padronização, avaliação e seleção de critérios, que converte as preferências linguísticas dos especialistas em valores quantitativos (ABDULKAREEM *et al.*, 2020; STEFANO, 2016).

Segundo Bouzon *et al.*, (2016), para a aplicação do método, é necessário identificar os critérios e o número de especialistas (tomadores de decisão) para determinar a importância através de um questionário usando variáveis linguísticas descritas na Tabela 2. Os números nebulosos triangulares (Triangular Fuzzy Number –TFN) são utilizados para avaliar os critérios e a média geométrica (MA *et al.*, 2011) é utilizada para determinar a decisão do grupo de especialistas.

Tabela 2 – Escalas linguísticas

Variável linguística	Avaliação	TFN correspondente
Sem importância	1	(0,1; 0,1; 0,3)
Pouco importante	2	(0,1; 0,3; 0,5)
Indiferente	3	(0,3; 0,5; 0,7)
Importante	4	(0,5; 0,7; 0,9)
Extremamente importante	5	(0,7; 0,9; 0,9)

Fonte: Adaptado de Singh e Sarkar (2020).

Os especialistas fornecem suas contribuições linguísticas conforme apresentado na Tabela 2. Nela, a resposta dos especialistas para cada critério é convertida em números difusos (TFN). Um número difuso correspondente ao  $j$ -ésimo critério fornecido pelo  $i$ -ésimo especialista é representado como:

$$\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \text{ para } i = 1,2,3 \dots nj = 1,2,3 \dots m \quad (1)$$

Em que  $n$  é o número de especialistas e  $m$  é o número de critérios. Na sequência, os pesos difusos dos critérios são dados da seguinte maneira:

$$a_j = \min \{a_{ij}\} \quad (2)$$

$$b_j = (\prod_{i=1}^n b_{ij})^{1/n} \quad (3)$$

$$c_j = \max \{c_{ij}\} \quad (4)$$

Após trabalhar com o mínimo ( $a_j$ ), média geométrica ( $b_j$ ) e máximo ( $c_j$ ), é preciso converter os pesos difusos em valores nítidos, de modo a classificar os elementos através de números reais (VAFADARNIKJOO *et al.*, 2018). Então, para o cálculo da defuzzificação é realizada a média do peso difuso conforme a Equação 5 (SINGH; SARKAR, 2020).

$$\tilde{a}_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3}, j = 1, 2, 3 \dots m \quad (5)$$

O limite  $\tilde{a}$  é definido para selecionar ou rejeitar os fatores. O valor para  $\tilde{a}$  é obtido da escala linguística (Tabela 2) por meio da média do valor mínimo da variável linguística “importante” (0,5) e valor máximo da variável linguística “indiferente” (0,7), logo  $\tilde{a}$  é igual a 0,6 (SINGH; SARKAR, 2020). E, o princípio para selecionar ou rejeitar o critério é feito da seguinte forma:

Se  $\tilde{a}_j \geq \tilde{a}$  então o critério  $j$  é selecionado;

Se  $\tilde{a}_j < \tilde{a}$  então o critério  $j$  é rejeitado.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo trata do delineamento metodológico para atingir o objetivo proposto. A metodologia apresentada nesse capítulo é composta por quatro seções. A primeira seção apresenta a classificação metodológica da pesquisa. A segunda seção trata do cenário de aplicação do estudo. A terceira seção expõe as etapas da pesquisa e, por fim, a quarta seção apresenta a matriz de amarração da pesquisa.

#### 3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Quanto à sua natureza, esse estudo se enquadra como aplicado e faz uso do método científico indutivo. Estudo aplicado pois existe a relação entre informações que podem ser obtidas no ambiente real analisado (GIL, 2002). Quanto ao método científico, o raciocínio indutivo deriva de observações de casos da realidade concreta e parte de algo particular para uma questão mais ampla (PROVDANOV; FREITAS, 2013).

Em relação aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva, na qual realizou-se levantamentos bibliográficos e documentais, bem como o levantamento dos dados com a intenção de responder as principais questões sobre o problema (MUZZIO, 2017). Na Figura 5, é possível observar a ilustração do enquadramento metodológico deste estudo.

Figura 5 – Enquadramento metodológico

Enquadramento Metodológico					
Classificação	Natureza	Método Científico	Abordagem	Objetivo	Procedimento
Enquadramento	Aplicada	Indutivo	Qualitativa Quantitativa	Exploratória Descritiva	Bibliográfica Documental Estudo de caso Modelagem

Fonte: Autora.

A pesquisa exploratória proporciona familiaridade com os conceitos da temática, e a pesquisa descritiva objetiva descrever características envolvendo a utilização de técnicas de coleta de dados. Em relação à abordagem, contempla tanto o viés qualitativo como o quantitativo, pois informações coletadas permitirão



evidenciar as características dos projetos fotovoltaicos e realizar procedimentos que permitirão a quantificação dos indicadores de desempenho (PRAÇA, 2015).

Referente aos procedimentos, seguem quatro procedimentos para o cumprimento dos objetivos: pesquisa bibliográfica, em função da busca por publicações científicas que embasaram a temática abordada. Além disso, foi necessário o uso da pesquisa documental, uma vez que esta possibilita o entendimento da realidade do setor e, por fim estudo de caso, pois foram coletadas informações que permitiram um amplo e detalhado conhecimento sobre os fatos, já que serviu para coletar os dados e verificar a aplicabilidade da pesquisa (BARBOSA; BAX, 2017; DRESCH *et al.*, 2013). Além disso, em conjunto a esses procedimentos, é necessário fazer uso da modelagem, que proporciona representações simplificadas da realidade para o entendimento do ambiente a ser estudado (MIGUEL, 2007).

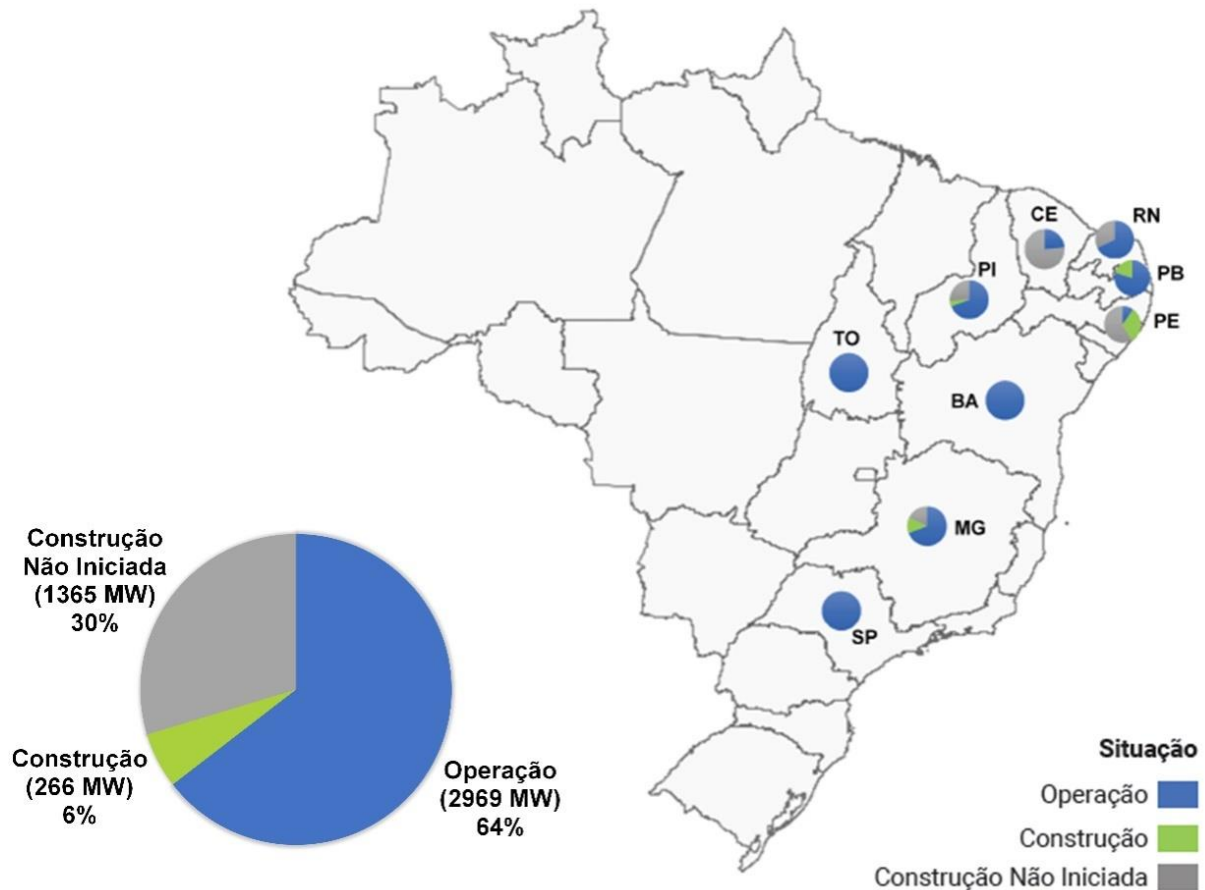
### 3.2 CENÁRIO DE ESTUDO

O cenário de pesquisa abrange o território brasileiro, pois contempla fatores determinantes na fase de elaboração de um projeto de usina fotovoltaica. A geração centralizada trata dos projetos contratados através de leilões de energia no ACR. Esses leilões, a partir dos seus resultados, trazem informações para o mercado geral de energia. Em relação ao planejador, os fatores servem como insumo para o planejamento do projeto. Já, do ponto de vista do empreendedor, isso demonstra que o mercado se encontra inovador e competitivo, exigindo um constante desenvolvimento de projetos com excelência técnica e financeira (KONZEN; IVANOSKI; RUSCHEL, 2018).

Nascimento (2017) afirma que o Brasil detém um potencial expressivo para geração de energia elétrica através de fonte solar, devido ao nível de irradiação solar superior ao de países em que projetos para o aproveitamento da energia é amplamente disseminado, como no caso da Alemanha, França e Espanha. A CCEE (2019) afirma que a geração de usinas de grande porte de energia solar no cenário nacional cresceu 86,6% no primeiro semestre de 2019. Nelas, a produção de energia foi de 485 MW médios em comparação aos 260 MW médios entregues pelo SIN no ano de 2018 (CCEE, 2019). Segundo ANEEL (2021) um total de 3914 usinas fotovoltaicas encontram-se em operação, 33 empreendimentos encontram-se em

construção e 343 estão em construção não iniciada. A Figura 6 apresenta a situação dos projetos de geração fotovoltaica e seus respectivos estados.

Figura 6 – Situação dos projetos fotovoltaicos



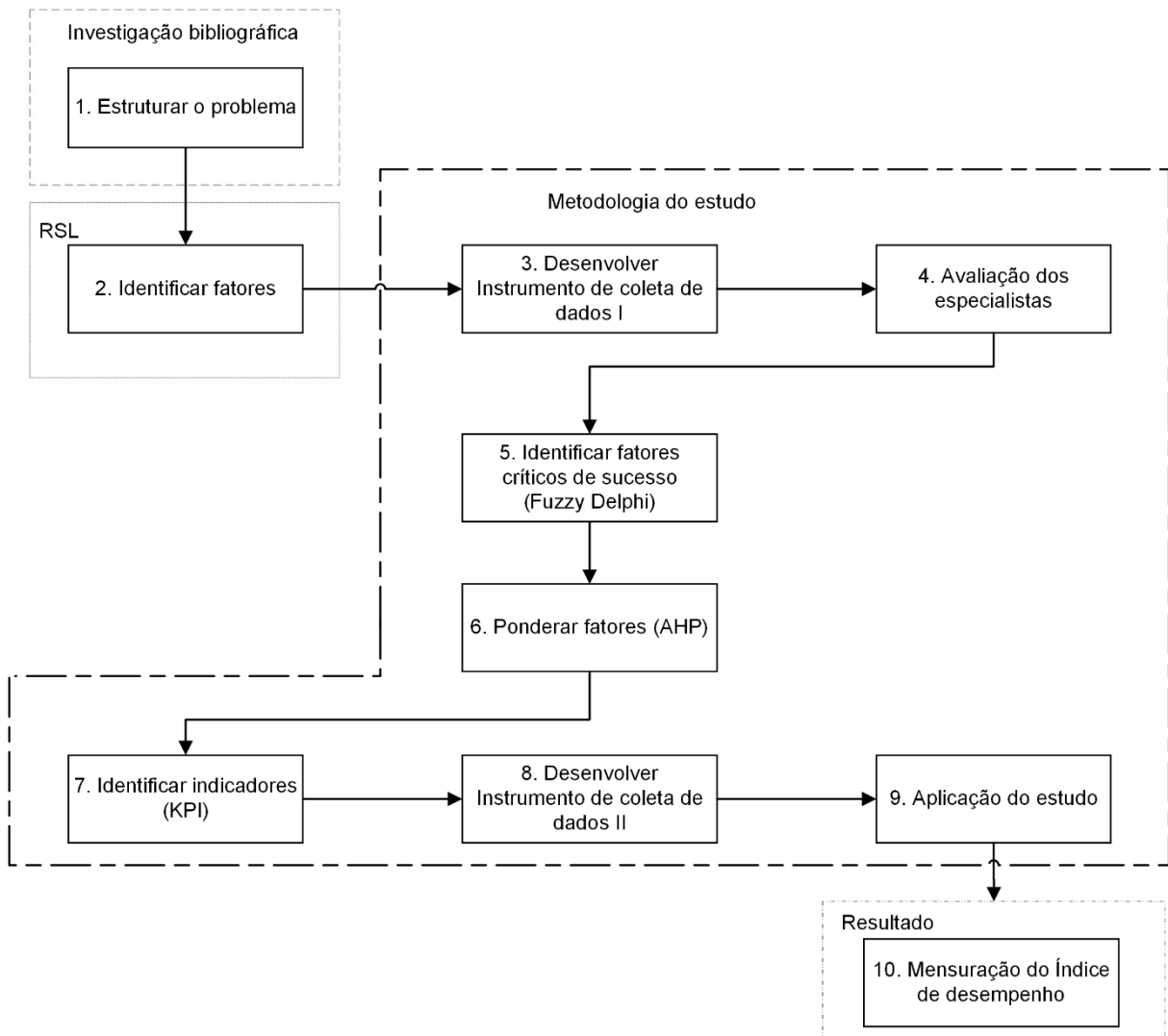
Fonte: BURIN *et al.* (2020).

O fato dos projetos fotovoltaicos não estarem presentes em todo território brasileiro pode estar relacionado às condições do setor elétrico e às características de cada região como a posição para a captação de energia solar. As condições do setor elétrico são complexas e não possuem soluções simples para maioria dos problemas estruturais (CCEE, 2018). As fontes mais competitivas terão facilidade de acesso e conseqüentemente projetos aprovados para comercialização. Diante desse contexto, o cenário de estudo dessa pesquisa concentra-se na geração centralizada presente no Brasil.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento do estudo foram percorridas 10 etapas fundamentais para atingir o objetivo e responder ao problema da pesquisa. A Figura 7 mostra o fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 7 – Etapas da pesquisa



Fonte: Autora.

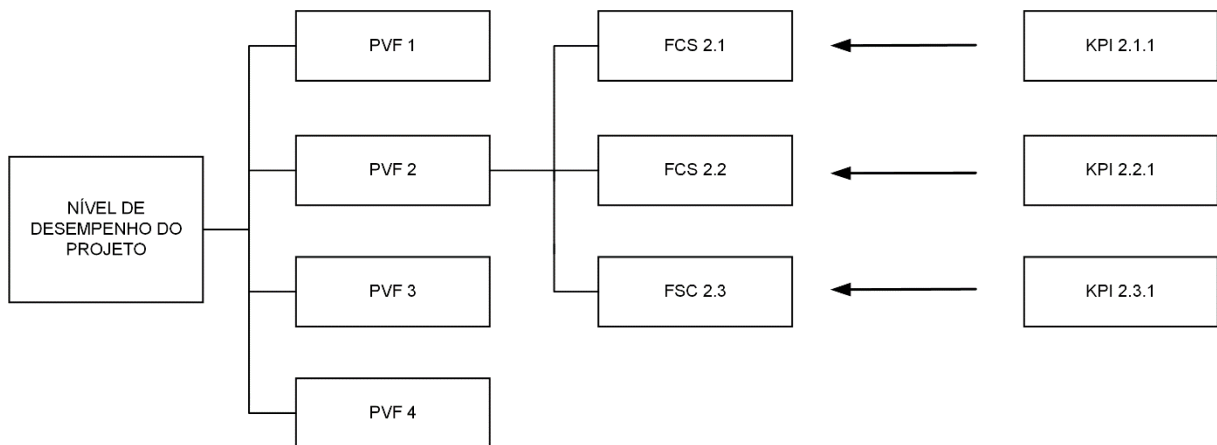
A Etapa 1 corresponde ao processo de definição do problema, na qual foram realizadas investigações bibliográficas que ofereceram suporte para estruturar as delimitações do estudo. Posteriormente, foi realizada uma revisão sistemática na Etapa 2 para buscar os fatores que influenciam na implementação de um projeto de

usina de geração de energia fotovoltaica. O processo de revisão sistemática é apresentado no **APÊNDICE A** e o detalhamento dos fatores está na Seção 4.1.

Após identificar os fatores, estes foram organizados em uma estrutura hierárquica composta por PVF e FCS. Na Etapa 3, o instrumento de coleta de dados I (**APÊNDICE C**) foi elaborado para a avaliação dos especialistas, que ocorreu na Etapa 4. Feito isso, o método Fuzzy Delphi (FDM) foi usado para examinar a importância dos fatores identificados através da RSL, para assim definir os fatores fundamentais de acordo com a realidade do setor de energia. Esse procedimento corresponde a Etapa 5. A aplicação do método está presente na Seção 4.2. Nesse processo, especialistas (tomadores de decisão) em projetos de geração de energia fotovoltaica foram convidados a indicar a importância dos fatores por meio do instrumento de coleta de dados, usando variáveis linguísticas descritas na Tabela 2 da Seção 2.4.1. Dada a importância através do FDM, foi possível validar os fatores identificados através da RSL e construir a matriz de julgamento, processo 1 da Figura 4 da Seção 2.3. Na sequência, Etapa 6, iniciou-se o processo de ponderação dos fatores através do método AHP, descrito na Seção 4.5. Nesse processo, foram calculadas as matrizes de pesos dos fatores, por meio da formulação matemática da Figura 4.

A seguir, os indicadores (KPI) foram desenvolvidos com base na literatura e regulamentação do setor de energia elétrica para projetos de geração de energia fotovoltaica e são explicados na Seção 4.4. Posterior à definição dos KPI, foi necessário o desenvolvimento do instrumento de coleta de dados II (**APÊNDICE D**), que trata do diagnóstico do desempenho do projeto e é direcionado aos gestores de usinas fotovoltaicas. O instrumento serve para mensurar os KPI que estão associados aos FCS. O modelo da estrutura hierárquica associado aos KPI, considerados como a entrada de mensuração da estrutura, consta na Figura 8.

Figura 8 – Modelo da estrutura hierárquica associado aos KPI



Fonte: Autora.

Na Etapa 9, foi realizada a coleta de dados da aplicação do instrumento com os indicadores de desempenho. Por conseguinte, a Etapa 10, trata da mensuração do nível de desempenho dos projetos, para identificar qual o nível de atingimento de cada indicador. Essa formulação se encontra na Seção 4.6 e sua aplicação está na Seção 5. Na sequência, com base no nível de atingimento dos indicadores, uma matriz de priorização é construída a fim de auxiliar na melhoria do projeto.

### 3.4 MATRIZ DE AMARRAÇÃO

A partir da matriz de amarração, é possível compreender o relacionamento entre o problema de pesquisa e demais procedimentos dessa dissertação. Esse instrumento auxilia o leitor no entendimento da relação entre cada componente da dissertação na condução do problema da pesquisa até o objetivo geral do trabalho. Além disso, ele permite identificar a aderência e compatibilidade entre os objetivos, métodos, referencial teórico e pesquisa de campo. Cada coluna presente na matriz recebe uma numeração e a linha de amarração compreende a qual coluna aquele termo deve estar amarrado. A matriz pode ser visualizada na Figura 9.

Figura 9 – Matriz de amarração da pesquisa

Problema de pesquisa (1)	Questões motivadoras (2)	Objetivo Geral (3)	Objetivos específicos (4)	Metodologia (5)	Coleta de dados (6)	Título do trabalho (7)
Como auxiliar os desenvolvedores de projetos de geração de energia fotovoltaica a elevarem o seu desempenho na comercialização de energia?	A. Para o desenvolvimento de projetos de geração de energia fotovoltaica, existem fatores não só econômicos e técnicos que influenciam na sua capacidade competitiva	Construir um modelo para mensurar o nível de desempenho dos projetos de usinas fotovoltaicas para comercialização de energia no Ambiente de Contratação Regulada	A. Definir os fatores fundamentais na implementação de projetos de geração de energia fotovoltaica	Revisão sistemática de literatura	<i>Strings</i> com palavras-chave em <i>DataBase</i> de <i>Journals</i>	Mensuração do nível de desempenho de projetos de geração de energia fotovoltaica para comercialização de energia
	B. A identificação de fatores que influenciam na atratividade de empreendimentos é essencial para tomada de decisão. Isso ocorre porque o crescimento do mercado não depende somente de incentivos externos, mas também de uma busca por alternativas que impulsionem o setor		B. Modelar matematicamente um sistema de mensuração do nível de desempenho dos projetos de usinas fotovoltaicas baseados nos fatores previamente estabelecidos	Pesquisa documental	Consulta a EPE	
			C. Testar modelo com gestores de projetos de geração de usinas fotovoltaicas e apresentar os níveis de desempenho	Método Fuzzy Delphi	Instrumento de coleta I	
Amarração	(1)	(2)	(3)	(3 e 4)	(5)	(3 e 4)

Fonte: Autora.

## 4 MODELAGEM

Este capítulo apresenta a construção da modelagem e é constituído por cinco seções. A primeira exhibe e discute os fatores críticos de sucesso. A segunda apresenta a aplicação do Método Fuzzy Delphi. A terceira contém a descrição dos indicadores (KPI). A quarta e quinta seção apresentam a formulação matemática da modelagem.

### 4.1 FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO

Os fatores críticos de sucesso para implementação de geração de energia fotovoltaica foram agrupados em três categorias: econômicos, locais e tecnológicos. Em relação ao aspecto econômico, este apresenta fatores que influenciam diretamente no investimento inicial para construção de uma usina, como inclinação do terreno e desapropriações, custo de equipamentos e custo de conexão (AL GARNI; AWASTHI, 2017; MIRANDA, 2016; MME; EPE, 2018). O aspecto local está relacionado com as condições de acesso e clima (EPE; MME, 2018; MANGANIELLO *et al.*, 2020). O tecnológico, por sua vez, está atrelado à eficiência da instalação, como a disposição dos módulos influenciada por aspectos relacionados à técnica de análise, irradiação solar, por estar relacionada nesse contexto com questões de medição como a tecnologia de concentração da radiação, e inclinação dos painéis por levar em consideração novamente a tecnologia utilizada na concepção da usina (ALONSO, 2016; DOLJAK; STANOJEVIĆ, 2017; EPE; MME, 2018). Logo, nota-se que essas categorias foram definidas com base nas características dos fatores.

Os fatores para o desenvolvimento dos projetos de energia fotovoltaica foram obtidos através de uma revisão sistemática de literatura (**APÊNDICE A**) e na sequência foram validados conforme a regulamentação (**APÊNDICE B**). Na Tabela 3, é possível observar os 9 fatores e sua respectiva categoria.

Tabela 3 – Fatores para o desenvolvimento de projetos fotovoltaicos

Fator	
<b>Econômico</b>	Ft1: Custo da terra
	Ft2: Custo de equipamento
	Ft3: Proximidade de subestações
<b>Local</b>	Ft4: Proximidade de áreas urbanas
	Ft5: Proximidade das estradas
	Ft6: Clima
<b>Tecnológico</b>	Ft7: Inclinação dos painéis
	Ft8: Irradiação solar
	Ft9: Disposição dos módulos

Fonte: Autora.

Para a instalação de uma usina fotovoltaica, deve ser levado em consideração as condições da terra, pois esta ocupará grandes áreas e o custo da terra é um dos principais fatores contribuintes no investimento necessário para construção da usina. Nesse caso, a natureza do solo e a geologia são capazes de afetar o tipo de obra, especialmente a fundação e terraplanagem, o que afeta diretamente nos custos envolvidos na viabilidade do projeto (WU *et al.*, 2014). É essencial um terreno plano pois áreas de alta inclinação não tornam o projeto economicamente viável (AL GARNI; AWASTHI, 2017). Quanto maior for a inclinação, maiores os custos de nivelamento da terra (HAFEZNIA; YOUSEFI; ASTARAEI, 2017). Mensour *et al.* (2019) reafirmam que as usinas solares são significativamente afetadas pela elevação da terra e isso causa impacto diretamente nos custos com a construção do projeto.

Diante do ritmo acelerado de inovações na fabricação de materiais e dispositivos para parques solares, é necessário avaliar o custo dos equipamentos (PATEL *et al.*, 2019). Uma avaliação econômica das instalações propostas para o sistema fotovoltaico pode determinar o custo da energia produzida pelas instalações (ADARAMOLA; VÅGNES, 2015). A Greener (2017), Empresa de Pesquisa e Consultoria especializada no setor de energia solar fotovoltaica, complementa que a escolha dos equipamentos se faz necessária para a implementação do projeto, e que isso tem influência direta nos custos e eficiência da obra, uma vez que,



consequentemente, essa influência retorna em maiores custos de operação e manutenção.

Além disso, a proximidade de subestações é um aspecto que influencia na instalação das plantas (MENSOUR *et al.*, 2019). É importante avaliar a distância entre a usina e a subestação, pois impacta no custo de conexão (SÁNCHEZ-LOZANO *et al.*, 2013). Já em relação à proximidade de áreas urbanas, a análise desse fator pode reduzir o custo de transmissão e distribuição de eletricidade (HAFEZNIA; YOUSEFI; ASTARAEI, 2017). Al Garni e Awasthi (2017) mencionam que a proximidade de áreas urbanas é um fator favorável na construção de projetos. Contudo, a literatura afirma que deve ser mantida uma distância de 500 metros das áreas urbanas (UYAN, 2013). Referente ao acesso à rede rodoviária, este também é importante para o sucesso de um projeto de usina (MENSOUR *et al.*, 2019). A proximidade de estradas facilita o transporte dos recursos humanos e equipamentos (HAFEZNIA; YOUSEFI; ASTARAEI, 2017). De acordo com a Lei Federal n. 6.766/79, é proibido construções a menos de 15 metros das margens das rodovias, ferrovias e rios (BRASIL, 1979).

Outro fator considerado em um projeto fotovoltaico são as condições do clima que podem afetar o processo de radiação solar incidente em energia elétrica. Em regiões que apresentam período quente e seco, a taxa de desempenho pode reduzir em média 0,31% a 0,36% por dia nos dias sem chuva (DAHER *et al.*, 2018). O efeito da temperatura pode reduzir a vulnerabilidade do investimento e aumentar a eficiência da instalação (HAFEZNIA; YOUSEFI; ASTARAEI, 2017). Áreas com temperaturas médias mais baixas são mais favoráveis no contexto de desempenho do sistema (DOLJAK; STANOJEVIĆ, 2017), pois, a temperatura ambiente afeta o desempenho do sistema fotovoltaico (AL GARNI; AWASTHI, 2017). A potência de saída de um módulo fotovoltaico é afetada por fatores climáticos, a chuva por exemplo, influência de maneira indireta na temperatura da célula solar (YADAV; BAJPAI, 2018).

Segundo Doljak e Stanojević (2017) escolher a inclinação certa pode ocasionar em uma maior produção de energia por unidade de área. Rachchh *et al.* (2016) concluem que, com o aumento do ângulo de inclinação, o espaçamento entre as colunas do painel aumenta, isso aponta que a capacidade de instalação diminui e por consequência resulta em menor geração de energia. Um contribuinte para um aumento no desempenho do módulo e na saída elétrica é o ângulo do sol

(HAFEZNIA; YOUSEFI; ASTARAEI, 2017), este varia em diferentes latitudes (YADAV; BAJPAI, 2018), gera assim a necessidade de ajustar os painéis em ângulos específicos para aumentar a irradiação solar recebida. Ressalta-se que a inclinação dos painéis voltada para o sul é uma orientação ideal para usinas no hemisfério norte, e inclinação orientada para o norte é ideal para usinas localizadas no hemisfério sul (AL GARNI; AWASTHI, 2017).

No que se refere a irradiação solar, a realização do estudo do local solar é uma estratégia para garantir um projeto econômico e com bom desempenho (AL GARNI; AWASTHI, 2017). De acordo com Mensour *et al.* (2019), a irradiação solar é um dos critérios de decisão mais importantes. Além disso, o fator disposição dos módulos é significativo para um projeto de usina fotovoltaica já que estes podem ser instalados de duas formas: como paisagem ou retrato (HAFEZNIA; YOUSEFI; ASTARAEI, 2017). Ressalta-se ainda que, a distância entre as matrizes da planta deve considerar a sombra que pode ser gerada nas horas de luz solar, pois a sombra obstrui a luz do sol de maneira a diminuir a produção de energia elétrica (AWAN *et al.*, 2019).

A fim de verificar a relação dos fatores obtidos na revisão com a regulamentação imposta pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), responsável pelo planejamento do setor elétrico, analisou-se o memorial descritivo do projeto da central geradora fotovoltaica, documentação requerida no processo de habilitação (EPE; MME, 2018b), em que é possível observar que os fatores se relacionam com elementos necessários para o Cadastramento e Habilitação Técnica no que tange à participação nos Leilões de energia.

Conforme o memorial descritivo, faz-se necessário as características gerais do empreendimento, as quais abordam questões de localização e acessos, infraestrutura disponível, recurso solar, condições climáticas e caracterização geral do terreno da UFV. Em relação à concepção técnica da UFV, este aborda dentre os itens solicitados, o descritivo da conexão do empreendimento. Em relação aos custos, solicita-se o custo fixo anual de operação e manutenção. Dessa forma, as informações disponibilizadas pela EPE confirmam a importância dos fatores obtidos a partir da RSL. A seguir, é necessário realizar a validação dos fatores através do nível de importância que cada fator representa.

## 4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO FUZZY DELPHI

Uma vez definido os fatores, foi elaborado o instrumento de coleta de dados I (**APÊNDICE C**) para a coleta relacionada ao nível de importância. Dos vinte cinco especialistas contatados, dez responderam o instrumento. Esse tamanho de amostra para aplicação do método é aceitável, ao consideramos estudos anteriores como o de Hsu; Lee; Kreng (2010) com um grupo de nove especialistas, Bouzon *et al.* (2016) com um grupo de dez especialistas e Singh e Sarkar (2020) com um grupo de 15 especialistas. Os entrevistados foram especialistas em projetos de geração de energia fotovoltaica: coordenador de planejamento de projetos, analista de projeto fotovoltaico, engenheiro de projetos, analista de pesquisa energética e engenheiro civil atuante na coordenação e construção de parque solar de geração distribuída e centralizada.

A partir das respostas do instrumento de coleta de dados, foi possível identificar os fatores críticos essenciais para implementação de projetos fotovoltaicos através do Método Fuzzy Delphi. Dos nove fatores identificados na literatura e documentação do setor, sete foram selecionados. O cálculo do FDM é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado do FDM

Fatores	$a_j$	$b_j$	$c_j$	TFN correspondente	Valor de defuzzificação ( $\tilde{a}_j$ )	Decisão (selecionado/rejeitado)
Ft1	0,1	0,7	0,9	(0,1, 0,7, 0,9)	0,6	Selecionado
Ft2	0,5	0,8	0,9	(0,5, 0,8, 0,9)	0,7	Selecionado
Ft3	0,1	0,7	0,9	(0,1, 0,7, 0,9)	0,6	Selecionado
Ft4	0,1	0,5	0,9	(0,1, 0,5, 0,9)	0,5	Rejeitado
Ft5	0,1	0,6	0,9	(0,1, 0,6, 0,9)	0,5	Rejeitado
Ft6	0,3	0,7	0,9	(0,3, 0,7, 0,9)	0,6	Selecionado
Ft7	0,5	0,8	0,9	(0,5, 0,8, 0,9)	0,7	Selecionado
Ft8	0,5	0,9	0,9	(0,5, 0,9, 0,9)	0,8	Selecionado
Ft9	0,5	0,8	0,9	(0,5, 0,8, 0,9)	0,7	Selecionado

**Limite ( $\tilde{a}$ ) 0,6**

Fonte: Autora.

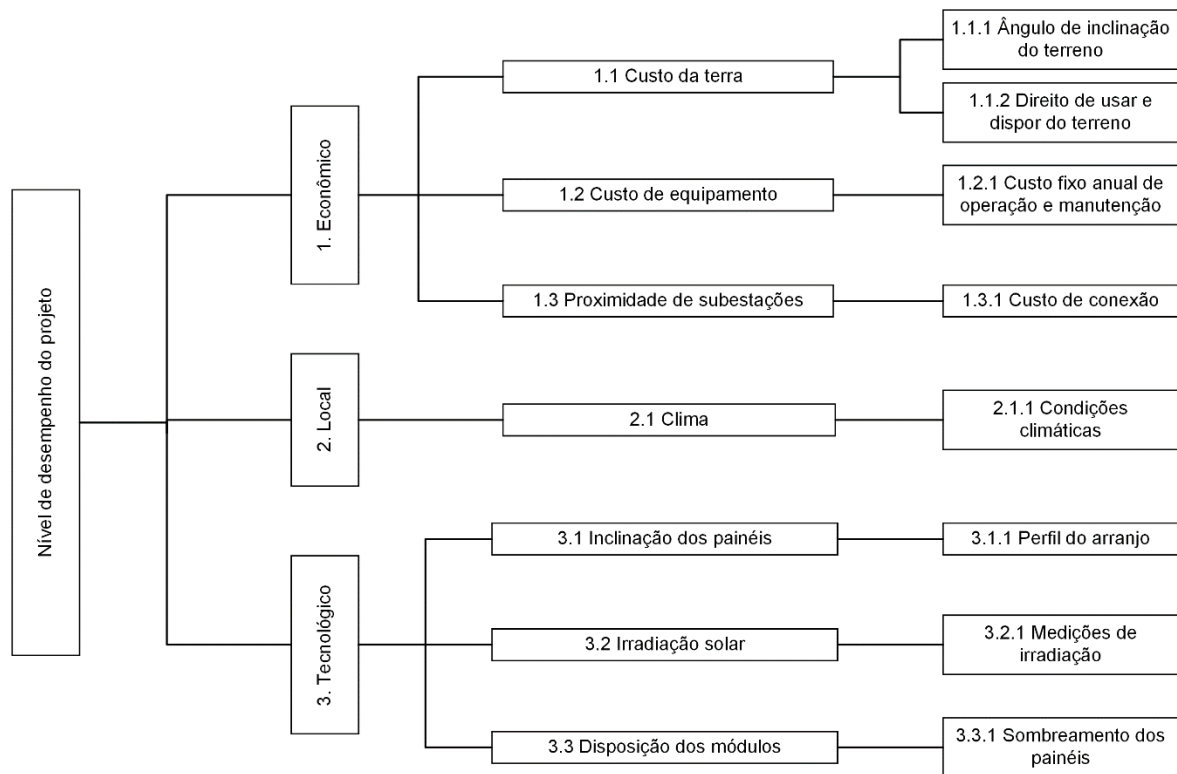
O valor limite estabelece o critério para selecionar ou rejeitar o fator, conforme descrita na seção 2.4.1. Dessa forma, dois fatores foram eliminados, o Ft4 (Proximidade das áreas urbanas) e Ft5 (Proximidade das estradas), pois  $\tilde{a}_j$  é menor que 0,6 ( $\tilde{a}$ ). Logo, o fator clima caracteriza a categoria local, que até o momento da revisão de literatura estava relacionada com as condições de acesso (Ft4 e Ft5) e clima (Ft6) da região de instalação.

Algumas observações foram realizadas pelos especialistas como fatores adicionais necessários para implementação de projetos fotovoltaicos, tais como: potência que se deseja instalar, regulamentação do setor elétrico brasileiro e custos com obras civis. Isso porque fatores críticos de sucesso consistem em um método de inteligência competitiva e permitem organizações focalizarem estrategicamente suas ações, por isso são também chamados de requisitos críticos, requisitos estratégicos, fatores-chaves e fatores essenciais. Então, verifica-se que os fatores sugeridos são importantes para implementação de projetos de geração de energia fotovoltaica e fatores como regulamentação do setor elétrico e custos com obras civis estão incluídos nos indicadores, já a potência que se deseja instalar não se enquadra nos fatores críticos a nível de comparação de desempenho do projeto, embora seja um fator importante na definição dos procedimentos para rede de conexão.

#### **4.2.1 Árvore de decisão**

Com o desenvolvimento das seções anteriores, os fatores críticos de sucesso foram extraídos da literatura por meio da revisão sistemática e validados através do Método Fuzzy Delphi. Após esses procedimentos, foi possível organizar os fatores que farão parte do sistema de mensuração de desempenho dos projetos. Esses fatores foram agrupados em PVF, divididos em aspectos econômicos, local e tecnológicos. Dessa forma, esses processos resultaram na árvore de decisão que pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 – Árvore de decisão para o desempenho de projetos de energia fotovoltaica na geração centralizada



Fonte: Autora.

A Árvore de decisão apresenta os PVF, os FCS e os KPI. Os KPI são a mensuração dos FCS, em que, para cada fator, tem pelo menos um KPI associado. Estes estão representados por números de acordo com a associação. A próxima seção apresenta o detalhamento da elaboração dos indicadores para mensuração do desempenho do projeto.

#### 4.3 CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

Para atingir o objetivo de mensurar o desempenho do projeto de geração centralizada, foram identificados 8 indicadores (KPI). Esses KPI fazem parte do instrumento de coleta de dados II (**APÊNDICE D**), destinado aos empreendedores e desenvolvedores de projetos de geração centralizada que devem mensurar esses KPI em relação aos seus projetos.

A formulação dos KPI deu-se com base na literatura e regulamentação do setor de energia elétrica para projetos de geração de energia fotovoltaica. Através deste estudo, além da formulação dos KPI, foi possível identificar os principais

motivos da não habilitação de projetos fotovoltaicos (**APÊNDICE E**) de 2017 até 2019, devido à disponibilidade de dados presente nos documentos do setor de energia. Na sequência, é explicada a construção dos KPI.

O KPI 1.1.1, ângulo de inclinação do terreno, que corresponde ao fator custo da terra (FCS 1.1), relaciona-se com o fato de que é essencial um terreno plano, já que áreas de alta inclinação não tornam o projeto economicamente viável (AL GARNI; AWASTHI, 2017). Quanto maior for a inclinação, maior os custos de nivelamento da terra. Uma inclinação econômica da terra para construção da usina de energia solar é de 0 a 3% (HAFEZNIA; YOUSEFI; ASTARAEI, 2017).

O KPI 1.1.2, direito de usar e dispor do terreno, resulta da pesquisa realizada sobre os empreendimentos, na qual a não comprovação do direito de usar ou dispor da área destinada à implantação do projeto está entre os motivos de não habilitação (EPE; MME, 2018). Outro ponto é em relação ao alargamento da faixa de servidão, pois, dependendo da região, ela pode aumentar o número de desapropriações ou da área de supressão vegetal. Todas essas circunstâncias podem elevar o custo final do projeto (MIRANDA, 2016). Esse pode ser um dos motivos de um maior custo relacionado ao direito de usar ou dispor do terreno. Além disso, a não apresentação da licença ambiental no prazo limite estabelecido pela Portaria MME nº 102/2016 (MME, 2016), ou em portaria específica para o leilão em curso, implicará a não habilitação do empreendimento.

No que se refere ao KPI 1.2.1, custo fixo anual de operação e manutenção, relacionado ao fator custo de equipamento (FCS 1.2), segundo EPE e MME (2018) deverá ser incluído na documentação do processo de habilitação o memorial descritivo do projeto da central geradora fotovoltaica, na qual deve constar os valores declarados do custo fixo anual de operação e manutenção justificado por meio de planilhas, discriminando todos os custos incorridos na determinação desses valores. É necessário uma avaliação econômica das instalações propostas para o sistema fotovoltaico, a fim de determinar o custo da energia produzida pelas instalações (ADARAMOLA; VAGNES, 2015). A GREENER (2017b), empresa de Pesquisa e Consultoria especializada no setor de energia solar fotovoltaica, complementa que a escolha dos equipamentos se faz necessária para a implementação do projeto, e que isso tem influência direta nos custos e eficiência da obra, conseqüentemente essa influência retorna em maiores custos de operação e manutenção.

O KPI 1.3.1, custo de conexão, aborda a relação do custo devido à distância da subestação com o local a ser instalada a usina. A proximidade de subestações é um aspecto que influencia na instalação das plantas (MENSOUR *et al.*, 2019). Por esse motivo, é importante avaliar a distância entre a usina e a subestação, pois isso impacta no custo de conexão (SÁNCHEZ-LOZANO *et al.*, 2013). Uma vez não avaliado esse indicador, é provável que os custos em relação ao custo de conexão serão mais elevados.

Após a formulação dos indicadores presentes no aspecto econômico (PV 1), foi então realizada a formulação dos KPI para o aspecto local, correspondente ao FCS clima. O KPI 2.1.1, condições climáticas, é formulado com base na regulamentação. No processo de habilitação do projeto deverá ser incluído as características gerais do empreendimento, dentre elas as condições climáticas (EPE; MME, 2018a). Na medida em que existe uma maximização do rendimento anual de energia provocado pelas instalações fotovoltaicas, a geração de eletricidade fotovoltaica precisará de maneira eficiente corresponder aos perfis de carga local, pois as variabilidades sazonais são desafiadoras (MANGANIELLO *et al.*, 2020).

Além disso, a própria tecnologia do módulo fotovoltaico pode ser adaptada para lidar com o clima e o ambiente da instalação. Para locais que apresentam alta latitude, em que o clima é mais frio, o uso de módulos fotovoltaicos com um coeficiente de temperatura mais alto e um comportamento aprimorado com pouca luz pode permitir uma melhor parcela sazonal da produção de energia. Isso significa mais rendimento de energia nas estações frias e perdas insignificantes no rendimento energético anual global quando comparado com o uso de módulos fotovoltaicos com um coeficiente de temperatura mais baixo e um comportamento com pouca luz (MANGANIELLO *et al.*, 2020).

Por fim, foi então elaborado os KPI que correspondem aos FCS presentes no PVF tecnológico, aspecto atrelado a eficiência da instalação. O KPI 3.1.1, perfil do arranjo, parte do princípio de que, para o processo de habilitação do projeto, deve ser informado as tecnologias utilizadas na concepção da usina, como o uso de concentradores, seguidores (um eixo ou dois) e tipo de seguimento. Ainda, referente ao desenho de projeto, essas informações são solicitadas novamente, mencionando que o projeto deverá conter, obrigatoriamente no caso de seguidor solar, os eixos e tipo de seguimento (azimutal, horizontal, polar, outro), separação entre seguidores e limitação de ângulo de giro (EPE; MME, 2018a).

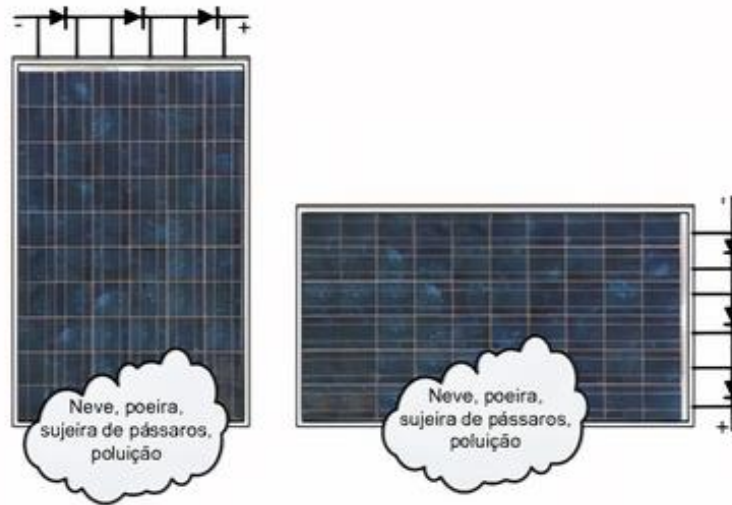
Um seguidor solar ou *tracker* é um dispositivo que altera a posição dos painéis fotovoltaicos, seguindo o caminho do sol. Projetos de grande escala normalmente usam seguidores horizontais de eixo único. Já os rastreadores de duplo eixo são utilizados principalmente em aplicações residenciais nos países com sistema *Feed-In-Tariff* (FIT), preços fixos de eletricidade que são pagos aos produtores de energia renovável por cada unidade de energia produzida e injetada na rede elétrica (GUARNIERI, 2017; SOLAR, 2017; TREVILIN, 2014). Ressalta-se que a inclinação dos painéis voltada para o sul é uma orientação ideal para usinas no hemisfério norte, e inclinação orientada para o norte é ideal para usinas localizadas no hemisfério sul (AL GARNI; AWASTHI, 2017). Escolher a inclinação certa pode permitir uma maior produção de energia por unidade de área (DOLJAK; STANOJEVIĆ, 2017).

Além disso, relacionado ao PVF tecnológico, a irradiação solar apresenta o KPI 3.2.1 que verifica as questões de medições de irradiação. De acordo com a Portaria MME nº 102/2016, é exigido para empreendimentos sem tecnologia de concentração da radiação, o mínimo de 12 meses consecutivos de medição da irradiação global horizontal no local do empreendimento. Já para empreendimento com tecnologia de concentração da radiação, o mínimo é de 36 meses consecutivos desta medição (MME; EPE, 2018).

Como último fator relacionado ao PVF tecnológico, está o fator disposição dos módulos, em que o KPI 3.3.1, sombreamento dos painéis, é formulado com base na regulamentação e literatura. A perda por poeira, acúmulo de neve, combinados com a forma de montagem do módulo fotovoltaico em retrato ou paisagem, pode chegar a 10%, e, em alguns casos, a montagem horizontal dos módulos pode reduzir pela metade a geração de energia (ALONSO, 2016). Segundo (EPE; MME, 2018a), nas características gerais do empreendimento, deve ser descrito os possíveis anteparos que possam gerar sombra na sua região, além de corpos reflexivos que possam influenciar na produção de energia ou estação de medição solarimétrica. A sombra se relaciona com a disposição, uma vez que a maneira como está disposto o módulo pode influenciar na proporção da sombra que incide sobre o painel. Um exemplo desse fato está presente na Figura 11.



Figura 11 – Efeito do sombreamento da montagem retrato e paisagem



Fonte: ALONSO (2016).

Uma vez que o projeto apresente a relação de corpos reflexivos que possam influenciar na produção de energia, o indicador 3.3.1 tem a finalidade de verificar se foi realizada a análise dessa relação para decidir a maneira como os módulos estariam dispostos. A importância dessas análises se dá, uma vez que a corrente que circula pela célula sombreada pode gerar uma polarização reversa da mesma, ocasionada pelo produto da corrente do circuito série e pela resistência paralela da célula. Em alguns casos, a intensidade da corrente pode ser tão alta que a tensão de ruptura da junção  $p-n$  da célula é ultrapassada, passando assim a ter um comportamento como um curto e dissipar uma elevada potência, gerando os pontos quentes, que podem destruir o material do encapsulamento do módulo e, conseqüentemente, ocasionar a destruição da célula, de maneira a reduzir permanentemente a eficiência do módulo (ALONSO, 2016). Desenvolvida a construção dos indicadores de desempenho, foi então realizada a formulação matemática para obtenção da matriz de peso dos fatores.

#### 4.4 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA DE PONDERAÇÃO

Para calcular os FCS foi utilizado o nível de importância estabelecido pelos especialistas na aplicação do método Fuzzy Delphi. Ao questionar sobre a importância de cada fator para implementação de projetos fotovoltaicos, entende-se que os especialistas definiram o nível de importância que o fator tem para

implementação e, uma vez que é definido, isto é, quando um fator se apresenta como pouco importante e outro como extremamente importante, torna-se possível comparar o nível de importância de um fator em relação ao outro. Assim, a ponderação foi realizada com a opinião dos especialistas (Instrumento de coleta de dados I – **APÊNDICE C**).

Uma vez que os fatores foram julgados, inicia-se o processo de ponderação AHP através da construção da matriz de julgamentos (processo 1 da Figura 4). Nesse caso, a matriz é de ordem  $n = 7$  ( $i, j = \{1, 2, \dots, 7\}$ ). Para verificar a relação de consistência de cada resposta obtida, realizou-se o processo de ponderação 10 vezes (dez tomadores de decisão).

A seguir, com os passos dos processos 1 ao 5 do formulário da Figura 4, é então obtida a matriz de pesos dos FCS. Cada matriz de pesos obtida de acordo com o tomador de decisão pode ser observada na Tabela 5. Observa-se que cada linha resulta no peso de um FCS e cada coluna representa a ponderação de acordo com o tomador de decisão ( $w_{d1} \dots w_{d10}$ ). Portanto,  $\vec{W}_{d1}$  é o vetor coluna obtido através da aplicação do método AHP para o especialista 1 e assim sucessivamente.

Tabela 5 – Matriz de pesos

Fatores	$w_{d1}$	$w_{d2}$	$w_{d3}$	$w_{d4}$	$w_{d5}$	$w_{d6}$	$w_{d7}$	$w_{d8}$	$w_{d9}$	$w_{d10}$
FCS 1	5%	34%	7%	10%	18%	3%	2%	6%	20%	14%
FCS 2	16%	12%	20%	28%	18%	17%	21%	18%	7%	14%
FCS 3	16%	12%	20%	3%	18%	3%	8%	6%	20%	14%
FCS 4	16%	4%	20%	10%	18%	7%	8%	18%	7%	14%
FCS 5	16%	12%	20%	10%	6%	16%	21%	18%	20%	14%
FCS 6	16%	12%	7%	28%	18%	36%	21%	18%	20%	14%
FCS 7	16%	12%	7%	10%	6%	16%	21%	18%	7%	14%

Fonte: Autora.

Na sequência, é necessário calcular a consistência da matriz e, para isso, realizou-se os processos de 6 a 10 da Figura 4. Como a matriz é de ordem 7, o Índice Randômico (*Random Index* - IR) utilizado para o cálculo da Relação de Consistência (RC) é de 1,32. Uma vez realizado os cálculos do índice de Consistência (IC) e definido o IR, então é possível encontrar a RC resultante. Caso o

RC calculado seja inferior ou igual a 0,10, a matriz de julgamentos é considerada consistente (SAATY, 1989). Caso contrário, a matriz é considerada inconsistente, e o julgamento precisa ser refeito (processo 10 da Figura 4). A Tabela 6 apresenta o RC obtido nos cálculos para cada tomador de decisão, bem como o índice de consistência e o cálculo do autovalor.

Tabela 6 – Relação de consistência

Decisor	$\lambda_{max}$	IC	RC
D1	7,00	0,00	0%
D2	7,04	0,01	0%
D3	7,00	0,00	0%
D4	7,10	0,02	1%
D5	7,00	0,00	0%
D6	7,19	0,03	2%
D7	7,10	0,02	1%
D8	7,00	0,00	0%
D9	7,00	0,00	0%
D10	7,00	0,00	0%

Fonte: Autora.

Nota-se que, para todos os tomadores de decisão, a matriz de julgamentos é considerada consistente, pois RC é inferior a 0,10. Assim, após a ponderação da estrutura hierárquica de cada respondente e verificada a relação de consistência é então realizada a média aritmética das matrizes de peso ( $\bar{w}_{FCS_k}$ ). Na Tabela 7, é possível visualizar o peso dos elementos FCS do sistema de mensuração de desempenho pretendido.

Tabela 7 – Resultado da ponderação

PVF	FCS	Peso FCS
Econômico	Custo da terra	11,98%
	Custo de equipamento	17,00%
	Proximidade de subestações	11,95%

(continua)

Tabela 8 – Resultado da ponderação

(conclusão)

<b>PVF</b>	<b>FCS</b>	<b>Peso FCS</b>
Local	Clima	12,13%
	Inclinação dos painéis	15,33%
Tecnológico	Irradiação solar	18,94%
	Disposição dos módulos	12,67%
	<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autora.

Essa ponderação será utilizada no processo de mensuração do desempenho dos projetos que é tratado na próxima seção.

#### 4.5 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA DE MENSURAÇÃO

Esse processo inicia na mensuração dos KPI, que são medidos quantitativamente, nos quais definiu-se que 10% indica que o projeto não atende aos requisitos mínimos de acordo com a regulamentação e exposto na literatura. Já a pontuação 90% indica que o projeto atende a todos os requisitos dentro do escopo da pesquisa e compete ao gestor avaliar os demais aspectos para atingir os 100% em sua totalidade. A Tabela 8 apresenta os cinco níveis de resposta possíveis e a mensuração correspondente.

Tabela 9 – Escala de valores para mensuração dos KPI

<b>Resposta do gestor ao KPI</b>	<b>Mensuração do KPI (<math>KPI_k</math>)</b>
Completamente insatisfatório	10%
Insatisfatório	30%
Regular	50%
Satisfatório	70%
Completamente satisfatório	90%

Fonte: Autora.

Para calcular o índice de desempenho ( $Id$ ), é necessário multiplicar cada peso dos FCS pela mensuração do KPI. Logo, soma-se todos os  $m$  valores resultantes dessa multiplicação (RIGO, 2019), conforme Equação 6.

$$Id = \sum_{k=1}^m (\bar{w}_{FCS_k} \times KPI_k); (k = \{1,2, \dots 7\}) \quad (6)$$

O resultado da Equação 6 é o objetivo do diagnóstico. Cada projeto resultará em um percentual que corresponderá ao nível de desempenho obtido. Para classificação do projeto de acordo com esse índice, foram elaborados quatro julgamentos conforme Tabela 9.

Tabela 10 – Escala de avaliação do desempenho do projeto

<b>Índice de desempenho (Id)</b>	<b>Julgamento do projeto</b>
10% ----- 29%	Desempenho insuficiente
30% ----- 49%	Desempenho baixo
50% ----- 69%	Desempenho regular
69% ----- 90%	Desempenho suficiente

Fonte: Autora.

A elaboração dos limites apresentados foi construída com base na escala de valores para mensuração dos KPI. Esses limites julgarão os projetos de geração fotovoltaica em relação ao desempenho de modo a facilitar a visão dos gestores sobre os processos de regulamentação e potenciais melhorias.

## 5 APLICAÇÃO DO MODELO PARA DIAGNÓSTICO

A aplicação do modelo deu-se por intermédio do instrumento de coleta de dados II (**APÊNDICE D**), contendo os indicadores estabelecidos na Seção 4.4. Na sequência, foi possível realizar a mensuração dos KPI de acordo com a Seção 4.6. O índice de desempenho do projeto é então calculado através da Equação 6. Essa Seção apresenta as características do projeto inserido para diagnóstico no modelo, com intuito de verificar as condições do empreendimento em relação ao ambiente de contratação regulada.

### 5.1 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado em um projeto de usina de energia fotovoltaica que apresenta uma potência instalada de 10 MW. Além disso, não foi habilitado e nem contratado no ACR. Em relação à situação do empreendimento, este se encontra com construção não iniciada. O fato de não ter sido contratado e nem habilitado possibilita o diagnóstico do projeto antes de iniciar o processo de competição no leilão. Nesse estudo, são abordados os fatores com base nas instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica para empreendimentos fotovoltaicos. Salienta-se que além desses fatores, e do nível de desempenho obtido com esta pesquisa, cabe ao gestor analisar as condições específicas para o leilão que deseja participar. A Tabela 10 apresenta o resultado da mensuração do KPI do estudo de caso e o índice de desempenho obtido.

Tabela 11 – Mensuração do KPI do estudo de caso

(continua)

PVF	FCS	Peso FCS	Mensuração do KPI do estudo de caso	
Econômico	Custo da terra	11,98%	Satisfatório	70%
			Completamente insatisfatório	10%
	Custo de equipamento	17,00%	Regular	50%
			Proximidade de subestações	11,95%

Tabela 12 – Mensuração do KPI do estudo de caso

(conclusão)				
PVF	FCS	Peso FCS	Mensuração do KPI do estudo de caso	
Local	Clima	12,13%	Insatisfatório	30%
	Inclinação dos painéis	15,33%	Insatisfatório	30%
Tecnológico	Irradiação solar	18,94%	Regular	50%
	Disposição dos módulos	12,67%	Insatisfatório	30%
	Total	100%	Índice de desempenho $I_d$	41,91%

Fonte: Autora.

Segundo o gestor, o ângulo de inclinação do terreno para a construção do projeto da usina fotovoltaica é de 4% a 7%, essa situação representa uma mensuração de 70%, o que corresponde a uma resposta satisfatória do ponto de vista econômico. Contudo, o projeto não apresenta licença ambiental, motivo recorrente nos projetos que não são habilitados nos leilões de energia (**APÊNDICE E**).

No que se refere ao indicador correspondente ao fator custo de equipamentos, a escolha e o custo dos equipamentos tiveram uma influência de 40% a 60% nos valores relacionados ao custo fixo anual de operação e manutenção e isso é um retorno regular, uma vez que a escolha dos equipamentos é necessária para implementação do projeto e está relacionada de maneira direta nos custos e eficiência da obra. Tudo isso traz como consequência maiores custos de operação e manutenção. Já o custo de conexão, resultante da distância do local de instalação da usina com a subestação é de 20% a 40%, o que é satisfatório, visto que a distância entre o local da usina e a subestação não trouxe grandes impactos no custo de conexão.

Referente à análise das condições climáticas da região de instalação, indicador associado ao fator clima, este se apresenta insatisfatório, pois realizou-se uma análise meteorológica durante 12 meses consecutivos, e, apesar de ter sido realizado uma análise, é importante documentar e avaliar a tecnologia do módulo de acordo com o clima da região de instalação para proporcionar uma melhor produção de energia frente às variabilidades sazonais.

Do ponto de vista tecnológico, o projeto apresenta a descrição do perfil de arranjo, indicando a inclinação dos módulos e a separação entre eles. Isso também se apresenta como insatisfatório segundo as regulamentações. Além da descrição do perfil de arranjo, é necessário apresentar a latitude local e os desenhos do projeto, principalmente o desenho do perfil do arranjo.

No que se refere à análise do indicador correspondente ao fator irradiação solar, observa-se que o empreendimento possui tecnologia de concentração da radiação. Para tanto, é necessário, para o processo de habilitação, que o projeto apresente um histórico de 36 meses ou mais de medições contínuas de irradiações. O projeto, por sua vez, apresenta um histórico de 10 meses de medições contínuas de irradiação, o que é um retorno regular, pois o empreendimento realiza as medições. No entanto, para atender ao requisito de habilitação, é necessário ampliar o histórico de medições. Por fim, não é realizada uma simulação da melhor disposição dos módulos, considerando as condições de sombreamento e isso pode reduzir a eficiência do módulo, mesmo que o projeto apresente técnicas para identificação dos possíveis anteparos que sombreiam a região do empreendimento.

Realizada a mensuração dos KPI, o projeto retornou um índice de desempenho de 41,91%. Esse desempenho é considerado baixo, uma vez que o projeto apresenta tanto indicadores que necessitam de melhorias para atender os requisitos de habilitação em leilões de energia, como melhorias em alguns critérios segundo a literatura. Assim, obtida a mensuração do KPI e índice de desempenho do estudo de caso, na sequência realizou-se a construção de uma matriz de priorização.

### **5.1.1 Matriz de priorização**

Com o intuito de auxiliar na melhoria do projeto, uma matriz de priorização foi construída. Esta ferramenta estabelece a priorização de fatores-chave, problemas a serem resolvidos e processos a serem implementados nas organizações. Tichauer (2016) afirma que a matriz de priorização mais conhecida é a Matriz GUT, que estabelece a priorização baseada nos fatores de Gravidade, Urgência e Tendência e consiste em uma tabela de pontuação, na qual podem ser visualizados quais itens apresentam maior prioridade em relação aos demais.



O aspecto Gravidade considera a intensidade e profundidade dos danos que o problema pode custar, se não atuar sobre ele; a Urgência, considera o prazo em que é necessário agir para evitar resultados indesejáveis; e o aspecto Tendência, considera a proporção que o problema pode assumir no futuro, caso não realize nenhuma ação (DANINI, 2018; QUEIROZ *et al.*, 2012). O Quadro 1 sintetiza esses aspectos, relacionando cada nível com a sua respectiva pontuação.

Quadro 1 – Aspectos de priorização usadas na GUT

Pontos	G - Gravidade	U - Urgência	T - Tendência
5	Extremamente grave	Precisa de ação imediata	Se nada for feito, o agravamento da situação será imediato
4	Muito grave	É urgente	Vai piorar a curto prazo
3	Grave	O mais rápido possível	Vai piorar a médio prazo
2	Pouco grave	Pouco urgente	Vai piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não vai piorar

Fonte: Adaptado de Danini (2018).

A ideologia da matriz GUT é atribuir valores (pesos) de 1 a 5 aos aspectos. A partir disso, o resultado é obtido pelo produto dos valores atribuídos aos aspectos. A Gravidade (G) foi definida de acordo com escala de valores para mensuração dos KPI (Tabela 8). Logo, nos extremos, temos que 10% é correspondente a “extremamente grave” e 90% a “sem gravidade”. Já a Urgência (U) e a Tendência (T) foram avaliadas de acordo com os requisitos da regulamentação e características encontradas na literatura em relação aos projetos fotovoltaicos, sendo considerado de ação imediata quando o indicador é fundamental para o processo de contratação e habilitação nos leilões e verificado o agravamento da situação para definição da tendência. Ressalta-se que as prioridades podem ser alteradas conforme a experiência do projetista e a necessidade do projeto em questão. Obtidos os resultados de cada processo, estes são organizados em ordem decrescente (DANINI, 2018). O Quadro 2 apresenta a matriz GUT do estudo de caso.

Quadro 2 – Matriz GUT do estudo de caso

Indicadores	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	GxUxT	Prioridade dos indicadores
Ângulo de inclinação do terreno	1	1	1	1	Direito de usar e dispor do terreno
Direito de usar e dispor do terreno	5	5	5	125	Perfil do arranjo
Custo fixo anual de operação e manutenção	3	2	2	12	Condições climáticas
Custo de conexão	2	1	1	2	Sombreamento dos painéis
Condições climáticas	4	4	4	64	Medições de irradiação
Perfil do arranjo	4	5	5	100	Custo fixo anual de operação e manutenção
Medições de irradiação	5	1	5	25	Custo de conexão
Sombreamento dos painéis	4	3	4	48	Ângulo de inclinação do terreno

Fonte: Autora.

É possível verificar, através da matriz GUT, a ordem de priorização, iniciando pelo indicador direito de usar e dispor do terreno, que trata da licença ambiental, uma vez que para habilitação é necessário possuir a licença ambiental, bem como os relatórios de impacto ambiental. Percebe-se que esse indicador é extremamente grave e precisa de uma ação imediata, pois a tendência é o agravamento da situação do empreendimento e, por consequência, a sua não habilitação. Na sequência, o indicador perfil de arranjo que indica a inclinação dos painéis é muito grave e precisa ser realizada uma ação imediata para o processo de habilitação.

Posterior a esta priorização, o indicador condições climáticas, que contempla a análise das condições climáticas da região de instalação, é apresentado como muito grave, é urgente e pode piorar a curto prazo. Isso porque a tecnologia do módulo adaptada ao clima da região de instalação influencia na produção de energia. Já em relação ao indicador sombreamento dos painéis, é exposto como

muito grave, necessita de uma ação o mais rápido possível, pois a tendência é piorar a curto prazo.

O indicador medições de irradiação, apresenta-se como extremamente grave, pois quando o empreendimento possui tecnologia de concentração da radiação, no processo de habilitação é exigido um histórico de 36 meses ou mais de medições. Em relação à urgência, pode esperar até atingir o histórico necessário. Porém, a tendência é a não habilitação, caso não seja apresentado o tempo necessário do histórico de medições.

Com relação aos custos dos equipamentos que influenciam nos valores do custo fixo anual de operação e manutenção, o indicador trata de um processo que é grave, pouco urgente, pois em um primeiro momento a escolha dos equipamentos já foi realizada, contudo, a tendência é que a longo prazo possa elevar os custos anuais de operação de manutenção.

A nível tecnológico, o indicador referente à porcentagem de custo de conexão resultante da distância do local de instalação da usina com a subestação indica ser pouco grave, podendo esperar por ações futuras, uma vez que a tendência é não piorar, visto que não houve grandes custos envolvidos devido a distância entre o local de instalação e a subestação. Do ponto de vista econômico, o indicador que representa o ângulo de inclinação do terreno para construção do projeto da usina fotovoltaica, não é grave, pois o ângulo de inclinação é próximo do que se considera economicamente viável. Não é necessária nenhuma ação imediata e não possui a tendência de piorar. Portanto, realizada a análise da matriz GUT, cabe ao gestor avaliar a consistência das prioridades atribuídas de acordo com a disponibilidade de recursos do empreendimento.

## 5.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade, posta em discussão nesse estudo, propôs-se a verificar a variação do índice de desempenho dos projetos devido às mudanças do grau de importância dos fatores analisados. Sob a ótica referencial clássica, a análise de sensibilidade surgiu ao perceber a importância de obter simulações sobre o efeito do modelo, considerando variações nos seus elementos de entrada (SILVA; GHISI, 2013). Essa análise trata-se de uma investigação sistemática da resposta de uma simulação em relação aos valores extremos dos parâmetros quantitativos

observados, ou com base nas mudanças drásticas nos parâmetros qualitativos (KLEIJNEN, 1997).

Diante disso, optou-se por alterar o valor dos parâmetros quantitativos obtidos para os fatores críticos de sucesso no método de Análise Hierárquica de Processos. Dada a importância que cada fator possui no âmbito da habilitação de projetos em leilões, verifica-se a possibilidade da Empresa de Pesquisa Energética considerar esses fatores de igual importância para os trâmites existentes no setor. Posto isso, os valores obtidos através do instrumento de coleta de dados, aplicado com 10 especialistas da área, foram alterados para igual importância e a simulação consta na Tabela 11.

Tabela 13 – Análise de sensibilidade

<b>FCS</b>	<b>Peso FCS</b>	<b>Mensuração do KPI</b>	
Custo da terra	14,29%	Satisfatório	70%
		Completamente insatisfatório	10%
Custo de equipamento	14,29%	Regular	50%
Proximidade de subestações	14,29%	Satisfatório	70%
Clima	14,29%	Insatisfatório	30%
Inclinação dos painéis	14,29%	Insatisfatório	30%
Irradiação solar	14,29%	Insatisfatório	30%
Disposição dos módulos	14,29%	Regular	50%
	100%	Índice de desempenho $I_d$	42,86%

Fonte: Autora.

É possível observar que o  $I_d$  apresentou uma diferença de 0,95% em relação à mensuração do nível de desempenho realizada a partir do resultado da aplicação com os especialistas da área ( $I_d = 41,91\%$ ). Verifica-se que o modelo é pouco sensível e, embora apresente variação no desempenho do projeto, este não altera seu julgamento (Tabela 9), o qual necessita de melhorias para uma possível habilitação, pois apresenta desempenho baixo, mesmo alterando os valores da matriz de peso dos FCS para igual importância. Além disso, avaliando o grau de

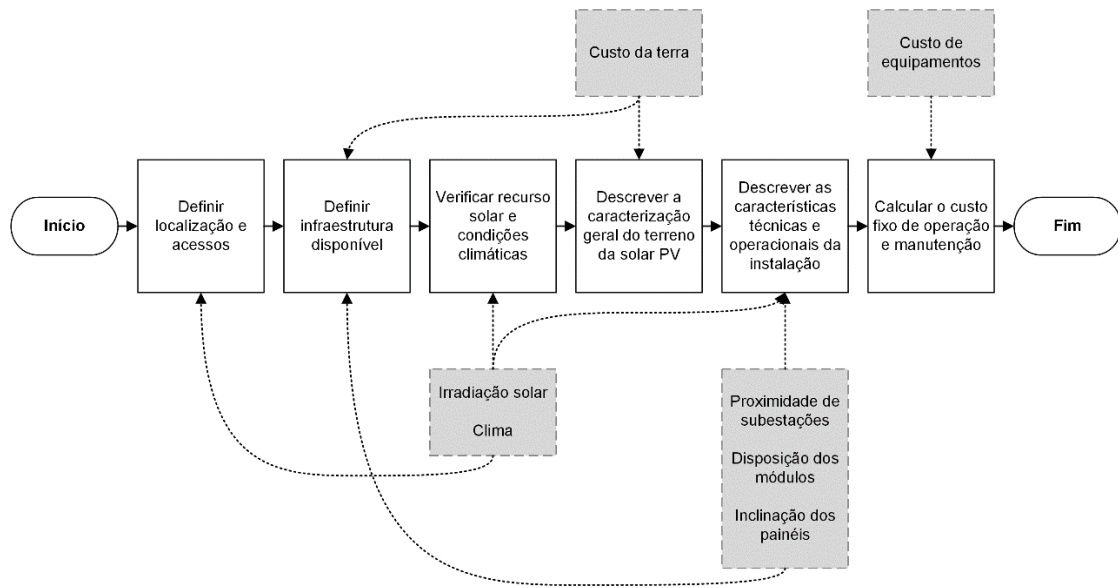
dispersão dos dados por meio do desvio padrão amostral do resultado da aplicação com os especialistas da área, este apresenta um valor de 3%. Quanto maior for o valor do desvio padrão, maior a dispersão dos dados (EUGÉNIA GRAÇA MARTINS, 2013). Com isso, verifica-se que o valor está próximo de zero mesmo que os especialistas não tenham avaliado os fatores com igual importância como foi simulado e os dados não apresentam grandes dispersões, aproximando-se da homogeneidade.

## 6 **FRAMEWORK PARA DESENVOLVEDORES DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS**

Uma porcentagem significativa dos projetos solares fotovoltaicos que concorrem aos leilões de geração de energia no Brasil é considerada inapta a concorrer (a saber 32% no leilão A-4/2018). Isso ocorre pela falta de informações e organização dos projetos. Esses não chegam a entrar no pleito da concorrência por descuido em sua elaboração ou desconhecimento dos processos burocráticos que envolvem os leilões (**APÊNDICE E**). Porém, recursos das empresas são consumidos para a elaboração deles, mesmo que com resultado ineficiente. Essa ineficiência no processo de formulação dos projetos afeta o número de projetos que poderiam concorrer em sua plenitude nos leilões, considerando que mais projetos concorrendo pode elevar a eficiência dos projetos vencedores.

Diante desse cenário, buscou-se desenvolver um *framework* geral para os desenvolvedores de projetos solares fotovoltaicos. As instruções para solicitação de cadastramento de empreendimentos fotovoltaicos e habilitação técnica com vistas à participação nos leilões de energia elétrica foram analisadas a fim de relacionar os fatores fundamentais com a regulamentação. Com base nas instruções do memorial descritivo, é possível observar, na Figura 12, esta relação. Ressalta-se que os fatores fundamentais perpassam por todas as etapas, sendo este um processo complexo e interativo, porém, e a figura apresenta as relações mais fortes entre etapas do memorial descritivo e os fatores fundamentais.

Figura 12 – Processo de desenvolvimento de projetos a concorrer em leilões



Fonte: Autora.

Conforme processo da Figura 11, inicialmente, são solicitadas as características gerais do empreendimento. Nessa solicitação deve constar a localização e acessos, bem como a infraestrutura disponível, o recurso solar e condições climáticas e uma caracterização geral do terreno da usina fotovoltaica. Na sequência, é solicitada a concepção técnica da usina, na qual devem estar presentes as características técnicas e operacionais da instalação como características da subestação e tecnologias utilizadas na concepção da usina. Ainda, no memorial descritivo, é necessário ter o custo fixo anual de operação e manutenção e esses valores devem ser justificados por meio de planilhas, discriminando todos os custos incorridos na determinação desses valores. É relevante mencionar que todas as escolhas de projeto que englobam cada etapa devem ser documentadas para compor o memorial descritivo do projeto.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse estudo, objetivou-se construir um modelo para mensurar o nível de desempenho dos projetos de usinas fotovoltaicas para comercialização de energia. Dada a definição dos fatores fundamentais na implementação de projetos de geração de energia fotovoltaica, com base na literatura e especialistas do setor elétrico, utilizou-se um sistema de mensuração de desempenho baseado em indicadores, agrupados em Fatores Críticos de Sucesso e Ponto de Vistas Fundamentais.

Com a intenção de diagnosticar o estado dos projetos de geração de energia fotovoltaica para participações em leilões de energia, determinou-se uma medida de nível de desempenho. O estudo de caso realizado, constatou um desempenho baixo, havendo necessidade de melhoria em todos os aspectos. Com base na realidade do projeto, apresentada através da mensuração, foi possível aplicar uma matriz de priorização, a fim de auxiliar o gestor do projeto no processo de melhoria.

Ainda, diante do cenário geral do processo de habilitação e cadastramento em leilões, um *framework* geral foi construído com base nas instruções do memorial descritivo. Além disso, identificou-se que os fatores fundamentais permeiam todas as etapas do processo e as relações mais fortes entre as etapas do memorial descritivo e os fatores fundamentais foram demonstradas.

### 7.1 LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Para realização desse estudo, algumas variáveis limitaram o resultado. A principal, refere-se ao número de estudos de caso, pois, devido à pandemia da COVID-19 e, conseqüentemente o distanciamento social, percebeu-se que gestores não se sentem à vontade em responder informações sobre os projetos de maneira *online*. Realizar mais aplicações do estudo poderia proporcionar maiores análises do diagnóstico.

Em relação às perspectivas futuras, diante da limitação apresentada, em um primeiro momento, percebe-se a necessidade de ampliar os participantes da pesquisa pois isso é uma oportunidade de promover a análise da comparação de projetos com altos e baixos desempenhos. Além disso, analisar o sucesso da entrega dos empreendimentos contratados nos leilões de energia. Outra questão é a



aplicação do modelo com outras fontes de energia a fim de identificar os fatores críticos específicos para cada fonte geradora de energia. Salienta-se ainda, a aplicabilidade do estudo com especialistas de outros países para avaliar se os fatores possuem o mesmo nível de importância com base na realidade do país.

## REFERÊNCIAS

ABDULKAREEM, K. H. *et al.* A new standardisation and selection framework for real-time image dehazing algorithms from multi-foggy scenes based on fuzzy Delphi and hybrid multi-criteria decision analysis methods. **Neural Computing and Applications**, [s. l.], v. 4, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00521-020-05020-4>>

ABRACEEL. **Mercado Livre de Energia Elétrica: Um guia básico para consumidores potencialmente livres e especiais**. 2017. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-783681287-monitor-crt-17-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-783681287-monitor-crt-17-_JM)>. Acesso em: 20 dez. 2020.

ABSOLAR, A. B. de E. S. F. **Energia Solar Fotovoltaica: a próxima onda do mercado livre de energia**. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/energia-solar-fotovoltaica-a-proxima-onda-do-mercado-livre-de-energia.html>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

ABSOLAR, A. B. de E. S. F. **Acelerando a fonte solar fotovoltaica no mercado livre de energia**. 2020a. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/acelerando-a-fonte-solar-fotovoltaica-no-mercado-livre-de-energia.html>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

ABSOLAR, A. B. de E. S. F. **PERSPECTIVAS PARA O MERCADO SOLAR FOTOVOLTAICO GLOBAL**. 2020b. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/perspectivas-para-o-mercado-solar-fotovoltaico-global.html>>.

ADARAMOLA, M. S.; VÅGNES, E. E. T. Preliminary assessment of a small-scale rooftop PV-grid tied in Norwegian climatic conditions. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 90, n. 2015, p. 458–465, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.11.028>>

AL GARNI, H. Z.; AWASTHI, A. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. **Applied Energy**, [s. l.], v. 206, n. July, p. 1225–1240, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>>

ALONSO, R. H. **Posicionamento eficiente de módulos fotovoltaicos em plantas solares no ambiente urbano**. 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-26082016-151946/publico/RafaelHerreroAlonsoCorr16.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2020.

ANEEL. **Nota Técnica nº 0086/2008-SRD/SRT/ANEEL**. 2008. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2008/026/documento/nota\\_tecnica\\_0086\\_srd.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2008/026/documento/nota_tecnica_0086_srd.pdf)>. Acesso em: 29 maio. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Energia no Brasil e no mundo - Parte I**. 2009. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap1.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap1.pdf)>. Acesso em: 30 jan. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Rede básica**. 2010a. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/busca?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp\\_auth%3DDdsHoQoZ%26p\\_p\\_id%3D3%26p\\_p\\_lifecycle](https://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_auth%3DDdsHoQoZ%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle)>. Acesso em: 29 maio. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Redes e linhas de distribuição**. 2010b. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/busca?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp\\_auth%3DI2i1iKcm%26p\\_p\\_id%3D3%26p\\_p\\_lifecycle](https://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_auth%3DI2i1iKcm%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle)>. Acesso em: 29 maio. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Leilão de geração “A-4” termina com deságio de 59,07%**. 2018a. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/leilao-de-geracao-a-4-termina-com-desagio-de-59-07-/656877?inheritRedirect=false](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/leilao-de-geracao-a-4-termina-com-desagio-de-59-07-/656877?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 20 set. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Regulação do Mercado de Energia Elétrica - Comercialização**. 2018b. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/mercado-de-eletricidade>>. Acesso em: 3 fev. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Editais de geração**. 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao4>>. Acesso em: 4 fev. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **COVID-19 - ANEEL institui Gabinete de Monitoramento da Situação Elétrica (GMSE)**. 2020a. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/covid-19-aneel-institui-gabinete-de-monitoramento-da-situacao-eletrica-gmse-/656877](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/covid-19-aneel-institui-gabinete-de-monitoramento-da-situacao-eletrica-gmse-/656877)>. Acesso em: 6 jun. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Nota Técnica nº 01/2020-GMSE/ANEEL**. 2020b. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/0/NT.pdf/901e12ed-ead7d-91a7-c805-e27b2508a2ce>>. Acesso em: 7 jun. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Postergados os leilões de energia elétrica e de transmissão**. 2020c. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/postergados-os-leiloes-de-energia-eletrica-e-de-transmissao/656877?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp\\_](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/postergados-os-leiloes-de-energia-eletrica-e-de-transmissao/656877?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp_)>. Acesso em: 7 jun. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Capacidade de Geração do Brasil**. 2020d. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Energia Solar**. 2020e. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 5 fev. 2020.

ANEEL, A. N. de E. E. **Informações de Geração**. 2021. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/siga>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

AWAN, A. B. *et al.* Design and comparative analysis of photovoltaic and parabolic trough based CSP plants. **Solar Energy**, [s. l.], v. 183, p. 551–565, 2019. Disponível em: <<https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063041599&doi=10.1016%2Fj.solener.2019.03.037&partnerID=40&md5=6bb8cf721b955ed1901364388dfe710b>>

BADAWY, M. *et al.* A survey on exploring key performance indicators. **Future Computing and Informatics Journal**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 47–52, 2016.

BARBOSA, D. M.; BAX, M. A Design Science como metodologia para a criação de um modelo de Gestão da Informação para o contexto da avaliação de cursos de graduação. **Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 32–48, 2017. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/download/17841/18068>>

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process**. London: Springer, 2004.

BOUZON, M. *et al.* Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 108, p. 182–197, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.021>>

BRASIL. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências**. 1979. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm)>. Acesso em: 1 ago. 2020.

BRASIL. **DECRETO Nº 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004**. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163compilado.htm)>. Acesso em: 2 dez. 2020.

BRASIL. **MEDIDA PROVISÓRIA Nº 998, DE 1º DE SETEMBRO DE 2020**. 2020. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Mpv/mpv998.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Mpv/mpv998.htm)>. Acesso em: 1 fev. 2021.

BRASIL. **LEI Nº 14.120, DE 1º DE MARÇO DE 2021**. 2021. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2021/Lei/L14120.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14120.htm)>. Acesso em: 1 fev. 2021.

BUDAK, A. *et al.* Real-time location systems selection by using a fuzzy MCDM approach: An application in humanitarian relief logistics. **Applied Soft Computing Journal**, [s. l.], v. 92, 2020.

BUI, T. D. *et al.* Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 154, n. August 2019, p. 104625, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104625>>

BURIN, H. P. *et al.* **Relatório trimestral SOLARMAP**. 2020. Disponível em: <<https://nic-ufsm.org/solarmap/>>. Acesso em: 31 jan. 2021.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. Disponível em:

<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18157/tde-08022012-104925/publico/VanessaRibeiroCampos.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

CARLINI, E. *et al.* **System Operations impact of Covid-19: European Perspective**. 2020. Disponível em: <<https://www.cigre.org/article/GB/system-operations-impact-of-covid-19-european-perspective>>. Acesso em: 12 dez. 2020.

CCEE, C. de C. de E. E. **Entenda o mercado e a CCEE**. 2016. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/como-participar/participe/entenda\\_mercado?\\_adf.ctrl-state=7pf2omp8z\\_14&\\_afLoop=922320749906382#!%40%40%3F\\_afLoop%3D922320749906382%26\\_adf.ctrl-state%3D7pf2omp8z\\_18](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/participe/entenda_mercado?_adf.ctrl-state=7pf2omp8z_14&_afLoop=922320749906382#!%40%40%3F_afLoop%3D922320749906382%26_adf.ctrl-state%3D7pf2omp8z_18)>. Acesso em: 3 fev. 2020.

CCEE, C. de C. de E. E. **20 Anos do Mercado Brasileiro de Energia Elétrica**. 2018. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE\\_645490](http://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_645490)>. Acesso em: 22 jan. 2020.

CCEE, C. de C. de E. E. **Geração de energia solar cresce 86 , 6 % no país neste primeiro semestre**. 2019. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/noticias-opinio/noticias/noticialeitura?contentid=CCEE\\_650025&\\_adf.ctrl-state=16o2x20ce8\\_1&\\_afLoop=20093810574206#!%40%40%3Fcontentid%3DCCEE\\_650025%26\\_afLoop%3D20093810574206%26\\_adf.ctrl-state%3D16o2x2](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opinio/noticias/noticialeitura?contentid=CCEE_650025&_adf.ctrl-state=16o2x20ce8_1&_afLoop=20093810574206#!%40%40%3Fcontentid%3DCCEE_650025%26_afLoop%3D20093810574206%26_adf.ctrl-state%3D16o2x2)>. Acesso em: 18 fev. 2020.

CCEE, C. de C. de E. E. **Entenda o modelo brasileiro**. 2020. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/setor\\_eletrico?\\_adf.ctrl-state=7pf2omp8z\\_40&\\_afLoop=923572932551223#!%40%40%3F\\_afLoop%3D923572932551223%26\\_adf.ctrl-state%3D7pf2omp8z\\_44](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=7pf2omp8z_40&_afLoop=923572932551223#!%40%40%3F_afLoop%3D923572932551223%26_adf.ctrl-state%3D7pf2omp8z_44)>. Acesso em: 3 fev. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Energia elétrica: custos e competitividade**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer\\_public/37/84/37840980-7812-4d55-ad3b-bfb154efd2f4/26\\_-\\_energia\\_eletrica.pdf](https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/37/84/37840980-7812-4d55-ad3b-bfb154efd2f4/26_-_energia_eletrica.pdf)>

DAHER, D. H. *et al.* Impact of tropical desert maritime climate on the performance of a PV grid-connected power plant. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 125, p. 729–737, 2018.

DALKEY, N.; HELMER, O. An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. **Management Science**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 458–467, 1963.

DANINI, T. S. **MOLDURA ANALÍTICA PARA PRIORIZAR A AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS DE TRABALHO NA UFSCar**. 2018. Disponível em: <[https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9559/DANINI\\_Thiago\\_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9559/DANINI_Thiago_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y)>. Acesso em: 22 dez. 2020.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, M. C.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática: noções gerais. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, [s. l.], v. 45, n. 5, p. 1260–1266, 2011.

DOLJAK, D.; STANOJEVIĆ, G. Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. **Energy**, [s. l.], v. 127, p. 291–300, 2017.

DRESCH, A. *et al.* Design Science Research : método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/gp/v20n4/aop\\_gp031412.pdf](http://www.scielo.br/pdf/gp/v20n4/aop_gp031412.pdf)>

EPE. **Leilão de Geração A-4/2018**. 2018. Disponível em: <<https://goo.gl/pv9zRF>>. Acesso em: 10 set. 2018.

EPE, E. de P. E. **Leilões de Energia Nova de 2017**. 2017a. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-268/Informe Leilões 2017 - Portugues.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-268/Informe%20Leil%C3%B5es%202017%20-%20Portugues.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2020.

EPE, E. de P. E. **Leilão de Energia de Reserva A-4/2017**. 2017b. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-110/EPE-DEE-IT-096 - A4 2017 - Versão Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-110/EPE-DEE-IT-096%20-%20A4%202017%20-%20Vers%C3%A3o%20Final.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2020.

EPE, E. de P. E. **Leilões de Energia Elétrica de 2019**. 2019a. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-355/Informe Resultado da Habilitação Técnica e Vencedores- Leilão A-4 de 2019\\_v3.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-355/Informe%20Resultado%20da%20Habilita%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnica%20e%20Vencedores%20-%20Leil%C3%A3o%20A-4%20de%202019_v3.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2020.

EPE, E. de P. E. **Leilão A-4 de 2019**. 2019b. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-355/Informe Resultado da Habilitação Técnica e Vencedores- Leilão A-4 de 2019\\_v3.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-355/Informe%20Resultado%20da%20Habilita%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnica%20e%20Vencedores%20-%20Leil%C3%A3o%20A-4%20de%202019_v3.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2020.

EPE, E. de P. E. **Leilão de Geração A-6/2019**. 2019c. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-376/Informe Habilitação - Leilão A6 2019.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-376/Informe%20Habilita%C3%A7%C3%A3o%20-%20Leil%C3%A3o%20A6%202019.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2020.

EPE, E. de P. E. **Impactado pela Covid-19, consumo de energia deve cair 0,9% em 2020**. 2020a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/impactado-pela-covid-19-consumo-de-energia-deve-cair-0-9-em-2020>>. Acesso em: 7 jun. 2020.

EPE, E. de P. E. **Estudos Prospectivos da Transmissão: A Importância do Barramento de Conexão de Novos Projetos de Geração**. 2020b. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-327/Informe\\_Margem\\_Energia\\_Renovável\\_v0.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-327/Informe_Margem_Energia_Renovavel_v0.pdf)>. Acesso em: 29 maio. 2020.

EPE, E. de P. E.; MME, M. de M. e E. **Sistema de Acompanhamento de Empreendimentos Geradores de Energia Elétrica- AEGE Manual para Empreendedores**. 2015. Disponível em:

<[http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/EPE-DEE-RE-028\\_r2\\_Manual Emp.pdf](http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/EPE-DEE-RE-028_r2_Manual_Emp.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2020.

EPE, E. de P. E.; MME, M. de M. e E. **Expansão da Geração: Empreendimentos Fotovoltaicos**. 2018. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/leiloes-de-energia/Documents/EPE-DEE-065\\_2013\\_R5\\_2017\\_UFV.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/leiloes-de-energia/Documents/EPE-DEE-065_2013_R5_2017_UFV.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2020.

EUGÉNIA GRAÇA MARTINS, M. Desvio padrão amostral. **Revista de Ciência Elementar**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 2013, 2013.

FLOWERS, M. E. *et al.* Climate impacts on the cost of solar energy. **Energy Policy**, [s. l.], v. 94, p. 264–273, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.018>>

FUTURE SOLAR. **Conheça todas as etapas para implementar um projeto de energia solar fotovoltaica**. 2020. Disponível em: <<http://futuresolar.com.br/conheca-todas-as-etapas-para-implementar-um-projeto-de-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GRANDZOL, J. R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. **Association for Institutional Research**, [s. l.], v. 6, 2005. Disponível em: <[https://www.academia.edu/20944102/Improving\\_the\\_Faculty\\_Selection\\_Process\\_in\\_Higher\\_Education\\_A\\_Case\\_for\\_the\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process\\_IR\\_Applications\\_Volume\\_6](https://www.academia.edu/20944102/Improving_the_Faculty_Selection_Process_in_Higher_Education_A_Case_for_the_Analytic_Hierarchy_Process_IR_Applications_Volume_6)>

GREENER. **GUIA PARA EMPREENDEDORES FOTOVOLTAICOS**. 2016. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2016/12/e-book-03-guia-para-empresendedores-fotovoltaicos-parte-2.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

GREENER. **Como as usinas fotovoltaicas estão se desenvolvendo no Brasil?** 2017a. Disponível em: <<http://www.greener.com.br/como-usinas-fotovoltaicas-estao-se-desenvolvendo-no-brasil>>. Acesso em: 27 jan. 2020.

GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Centralizada 2017**. 2017b. Disponível em: <<https://greener.com.br/wp-content/uploads/2017/11/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-brasileiro-de-geracao-centralizada-2017-greener.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2020.

GREENER. **Grandes Usinas Solares 2020: Mercado Livre e Leilões**. 2020a. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/estudo-grandes-usinas-solares/>>. Acesso em: 26 fev. 2020.

GREENER. **Impactos e expectativas segundo o mercado**. 2020b. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/covid-19-mercado-solar/>>. Acesso em: 7 jun. 2020.

GUARNIERI, M. V. **USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS COM SEGUIMENTO EM UM EIXO NO BRASIL: ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO, CUSTOS E EXPECTATIVA DE DESEMPENHO**. 2017. Disponível em:

<[http://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Dissertacao\\_Mauricio\\_Vivan\\_Guarnieri.pdf](http://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Dissertacao_Mauricio_Vivan_Guarnieri.pdf)>. Acesso em: 2 jul. 2020.

GUARNIERI, P. Síntese dos Principais Critérios, Métodos e Subproblemas da Seleção de Fornecedores Multicritério. **Revista de Administração Contemporânea**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 1–25, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rac/v19n1/1982-7849-rac-19-1-0001.pdf>>

HAFEZNIA, H.; YOUSEFI, H.; ASTARAEI, F. R. A novel framework for the potential assessment of utility-scale photovoltaic solar energy, application to eastern Iran. **ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT**, [s. l.], v. 151, p. 240–258, 2017.

HARATZ, M.; SAUAIA, R.; KOLOSZUK, R. **Energia Solar Fotovoltaica: a próxima onda do mercado livre de energia**. 2019. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2019/07/energia-solar-fotovoltaica-proxima-onda-mercado-livre-de-energia/36208>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

HERNÁNDEZ-CALLEJO, L.; GALLARDO-SAAVEDRA, S.; ALONSO-GÓMEZ, V. A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. **Solar Energy**, [s. l.], v. 188, n. June, p. 426–440, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.017>>

HOFFMANN, W. H.; SCHLOSSER, R. Success Factors of Strategic Alliances in Small and Medium-sized Enterprises—An Empirical Survey. **Long Range Planning**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 357–381, 2001.

HSU, Y. L.; LEE, C. H.; KRENG, V. B. The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 419–425, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.068>>

IEA, I. E. A. **Impacto da Covid-19 na eletricidade**. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/covid-19-impact-on-electricity>>. Acesso em: 28 out. 2020.

IRENA, I. R. E. A. **Future of solar photovoltaic: deployment , investment , technology , grid integration and socio-economic aspects**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/perspectivas-para-o-mercado-solar-fotovoltaico-global.html>>

ISHIKAWA, A. *et al.* The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. **Fuzzy Sets and Systems**, [s. l.], v. 55, n. 3, p. 241–253, 1993.

KLEIJNEN, J. P. C. Sensitivity analysis and related analysis: A review of some statistical techniques. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, [s. l.], v. 57, n. 1/4, p. 111–142, 1997.

KONZEN, G.; IVANOSKI, T.; RUSCHEL, C. S. **O patrão enlouqueceu ou faz sentido? Investigando os preços da energia fotovoltaica no último leilão**. 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-tem-artigos-publicados-no-anuario-cenarios-solar-2019>>. Acesso em: 18 fev. 2020.



MA, Z. *et al.* Constructing road safety performance indicators using fuzzy delphi method and grey delphi method. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 1509–1514, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.062>>

MANGANIELLO, P. *et al.* Tuning electricity generation throughout the year with PV module technology. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 160, p. 418–427, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.106>>

MARDANI, A. *et al.* Multiple criteria decision-making techniques and their applications - A review of the literature from 2000 to 2014. **Economic Research-Ekonomska Istrazivanja**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 516–571, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>>

MENEZES, P. C. F. DE. **SISTEMAS LÓGICOS PARA CONSISTENTES APLICADOS AOS MODELOS HIERÁRQUICOS PARA TOMADAS DE DECISÃO: ESTUDO REALIZADO EM GESTÃO DE PROJETOS**. 2015. Disponível em: <[https://unisanta.br/arquivos/mestrado/mecanica/dissertacoes/Dissertacao\\_Paulo.pdf](https://unisanta.br/arquivos/mestrado/mecanica/dissertacoes/Dissertacao_Paulo.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2020.

MENSOUR, O. N. *et al.* A geographical information system-based multi-criteria method for the evaluation of solar farms locations: A case study in Souss-Massa area, southern Morocco. **Energy**, [s. l.], v. 182, p. 900–919, 2019. Disponível em: <<https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85067545762&doi=10.1016%2Fj.energy.2019.06.063&partnerID=40&md5=6143a5e5cd9cd828621172e14b0642c0>>

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v17n1/14.pdf>>

MIRANDA, R. M. **PROJETO DE USINA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE LARGA ESCALA EM TERRA NO BRASIL**. 2016.

MME; EPE. **Projetos fotovoltaicos nos leilões de energia: Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 a 2018**. 2018. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-330/EPE-DEE-NT-091\\_2018-r0.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-330/EPE-DEE-NT-091_2018-r0.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2020.

MME, M. de M. e E. **PORTARIA NO 102, DE 6 DE JULHO DE 2016**. 2016. Disponível em: <[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/23173136/do1-2016-07-07-portaria-no-102-de-6-de-julho-de-2016-23173055](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/23173136/do1-2016-07-07-portaria-no-102-de-6-de-julho-de-2016-23173055)>. Acesso em: 20 dez. 2020.

MME, M. de M. e E. **PORTARIA Nº 465, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2019**. 2019. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-465-de-12-de-dezembro-de-2019.-233554889>>. Acesso em: 1 fev. 2021.

MME, M. de M. e E. **CMSE avalia impactos da pandemia do COVID-19 no setor elétrico brasileiro**. 2020. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/todas-as-noticias/-/asset\\_publisher/pdAS9lcdBICN/content/cmse-avalia-impactos-da](http://www.mme.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9lcdBICN/content/cmse-avalia-impactos-da)>

pandemia-do-covid-19-no-setor-eletrico-brasileiro>. Acesso em: 6 jun. 2020.

MURRAY, T. J.; PIPINO, L. L.; VAN GIGCH, J. P. A pilot study of fuzzy set modification of delphi. **Human Systems Management**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 76–80, 1985.

MUZZIO, H. Indivíduo, Liderança e Cultura: Evidências de uma Gestão da Criatividade. **Revista de Administração Contemporânea**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 107–124, 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-6552017000100107&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-6552017000100107&lng=pt&nrm=iso&tlng=en)>

NALMPANTIS, D. *et al.* Evaluation of innovative ideas for Public Transport proposed by citizens using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). **European Transport Research Review**, [s. l.], v. 11, n. 1, 2019.

NASCIMENTO, R. L. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL : SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS**. 2017. Disponível em: <[http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia\\_solar\\_limp.pdf?sequence=1](http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_limp.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 5 fev. 2020.

NOOROLLAHI, E. *et al.* Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy. **Energies**, [s. l.], p. 1–24, 2016.

ONS, O. N. do S. E. **Procedimentos de Rede**. 2021. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>>. Acesso em: 2 dez. 2020.

PARMENTER, D. **Key Performance Indicators**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. Disponível em: <[https://jadoobi.com/wp-content/uploads/2018/03/Parmenter-David-Key-performance-indicators\\_-\\_developing-implementing-and-using-winning-KPIs-Wiley-2015.pdf](https://jadoobi.com/wp-content/uploads/2018/03/Parmenter-David-Key-performance-indicators_-_developing-implementing-and-using-winning-KPIs-Wiley-2015.pdf)>

PATEL, M. T. *et al.* A worldwide cost-based design and optimization of tilted bifacial solar farms. **Applied Energy**, [s. l.], v. 247, n. December 2018, p. 467–479, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.150>>

PENG, W. *et al.* **A Semi-automatic System with an Iterative Learning Method for Discovering the Leading Indicators in Business Processes**. 2007. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/1288552.1288557>>. Acesso em: 18 fev. 2020.

PIMENTA, L. B. *et al.* Processo Analítico Hierárquico ( AHP ) em ambiente SIG : temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais Analytical Hierarchical Process ( AHP ) in the GIS Environment : issues and applications for decision making using. **Interações**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 407–420, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11625-017-0433-5.pdf>>

PINTO, M. S. S. *et al.* Tomada de decisões em leilões de energia elétrica de longo prazo. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 539–546, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052014000400009&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052014000400009&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 365–381, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032104000073?via%3Dihub>>

PORTAL SOLAR. **Brasil tem 2 mil megawatts de energia solar negociados no mercado livre este ano**. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/brasil-tem-2-mil-megawatts-de-energia-solar-negociados-no-mercado-livre-este-ano.html>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

PRAÇA, F. S. G. Metodologia da pesquisa científica: Organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. **Revista Eletrônica Diálogos Acadêmicos**, [s. l.], v. 08, n. 1, p. 72–87, 2015. Disponível em: <<http://www.uniesp.edu.br/fnsa/revista>>

PROVDANOV, C. C.; FREITAS, E. C. De. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book Metodologia do Trabalho Cientifico.pdf](http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf)>

QUEIROZ, J. V. *et al.* Franchising e especialização de serviços como estratégia de crescimento e manutenção: uma análise através da Matriz SWOT e GUT na DDEX – Direct to Door Express. **Revista GEPROS**, [s. l.], v. 0, n. 1, p. 49, 2012.

RACHCHH, R.; KUMAR, M.; TRIPATHI, B. Solar photovoltaic system design optimization by shading analysis to maximize energy generation from limited urban area. **ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT**, [s. l.], v. 115, p. 244–252, 2016.

RATNER, S. V; NIZHEGORODTSEV, R. M. Analysis of renewable energy projects' implementation in Russia. **Thermal Engineering**, [s. l.], v. 64, n. 6, p. 429–436, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1134/S0040601517060052.pdf>>

REDISKE, G. *et al.* Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review. **International Journal of Energy Research**, [s. l.], v. 43, n. 5, p. 1689–1701, 2019.

RESENDE, L. M. M. *et al.* Critical success factors in coopetition: Evidence on a business network. **Industrial Marketing Management**, [s. l.], v. 68, p. 177–187, 2018.

RIGO, P. D. **Modelo de diagnóstico para projetos de micro e minigeração distribuída de energia fotovoltaica**. 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/16792/DIS\\_PPGEPP\\_2019\\_RIGO\\_PAULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/16792/DIS_PPGEPP_2019_RIGO_PAULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 18 fev. 2020.

RIGO, P. D. *et al.* Renewable energy problems: Exploring the methods to support the decision-making process. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 23, p. 1–27, 2020.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 161–176, 1987.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, Mak-ron, 1989.

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M. *et al.* Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 24, p. 544–556, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>>

SHEN, L. *et al.* A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 74, p. 170–179, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.006>>

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 135–148, 2013.

SILVÉRIO, A. A.; RODRIGUES, L. C.; XAVIER, A. F. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE PROJETOS: UM CASO DO SETOR DE ENERGIA. **Iberoamerican Journal of Project Management**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 81–99, 2015.

SINGH, P. K.; SARKAR, P. A framework based on fuzzy Delphi and DEMATEL for sustainable product development: A case of Indian automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 246, p. 118991, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118991>>

SOLAR, P. **Seguidor solar - Tracker: vantagens e desvantagens**. 2017. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/painel-solar/seguidor-solar---tracker-vantagens-e-desvantagens-parte-1.html>>. Acesso em: 3 jul. 2020.

SOLAR, P. **ABSOLAR participa de reunião com MME para debater impacto da pandemia de coronavírus no setor solar**. 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/absolar-participa-de-reuniao-com-mme-para-debater-impacto-da-pandemia-de-coronavirus-no-setor-solar.html>>. Acesso em: 7 jun. 2020.

SOUZA, G. H. S. De *et al.* Gestão Energética E Inovação Sustentável: a Formação De Preço Da Energia Eólica No Estado Do Rio Grande Do Norte. **Review of Administration and Innovation - RAI**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 255, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rai/article/view/100223>>

STEFANO, N. M. Uma proposta de métodos híbridos para critérios e subcritérios de implantação do Sistema Produto-Serviço (PSS). **Exacta**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 431–448, 2016.

SÜSSER, D.; KANNEN, A. `Renewables? Yes, please!': perceptions and assessment of community transition induced by renewable-energy projects in North

Frisia. **Sustainability Science**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 563–578, 2017.

TICHAUER, R. M. **Matriz de Priorização Aplicada à Pesquisa Mineral na Pequena Mineração**. 2016. Disponível em:

<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-20012017-162427/publico/RicardoMarceloTichauerCorr16.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2020.

TREVELIN, F. C. **Estudo Comparativo Entre Métodos de Rastreamento Solar Aplicados a Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em:

<[http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-02092014-093245/publico/Trevelin\\_Felipe\\_Camargo.pdf](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-02092014-093245/publico/Trevelin_Felipe_Camargo.pdf)>.

UYAN, M. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region Konya/Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 28, p. 11–17, 2013. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>>

VAFADARNIKJOO, A. *et al.* Assessment of consumers' motivations to purchase a remanufactured product by applying Fuzzy Delphi method and single valued neutrosophic sets. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 196, p. 230–244, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.037>>

VIANA, A. G.; RAMOS, D. S. Outcomes from the first large-scale solar PV auction in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 91, n. April, p. 219–228, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.003>>

WANG, J.-J. *et al.* Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 2263–2278, 2009. Disponível em:

<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032109001166?token=739B08CD852045ECE91A16225524559975D02EDB2E7AB03C15C07869765DF1231938ECC0BE44D588EE211F91B859BD97>>

WU, Y. *et al.* Decision framework of solar thermal power plant site selection based on linguistic Choquet operator. **Applied Energy**, [s. l.], v. 136, p. 303–311, 2014.

YADAV, S. K.; BAJPAI, U. Performance evaluation of a rooftop solar photovoltaic power plant in Northern India. **Energy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 43, p. 130–138, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.01.006>>

YUNNA, W.; GENG, S. Multi-criteria decision making on selection of solar-wind hybrid power station location: A case of China. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 81, p. 527–533, 2014. Disponível em:

<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0196890414001757?token=E3C3B5FB610B1D375A64904CD66D0062651C8165738A315421274BE770B583941E5C09CA4E3299CE2111EC3C62F96E6A>>

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets**. 8. ed. California. v. 3 Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez47.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S001999586590241X>>

## APÊNDICE A – REVISÃO SISTEMÁTICA

A metodologia da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi utilizada para identificação dos fatores fundamentais e construção da estrutura utilizada na AHP composta por PVF e FCS. Uma vez identificada a necessidade do estudo por meio da execução de leituras primárias sobre o tema. O primeiro passo efetuado foi o desenvolvimento do protocolo da revisão e sua execução nas bases de dados (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO; TAKAHASHI; BERTOLOZZI, 2011). Definida a questão de pesquisa “Quais os fatores fundamentais para a implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica? ”, leituras iniciais revelaram as palavras-chave relacionadas para o desenvolvimento da *string* de busca nas bases de dados. Duas bases de dados científicas foram selecionadas: Scopus e Web of Science. Com essas bases de dados foi possível identificar as mais relevantes pesquisas da área de energia. A metodologia de busca foi aplicada em título, resumo e palavras-chave, sem restrição de tempo de publicação. A pesquisa foi filtrada por artigos de periódicos durante o período de setembro de 2019 até janeiro de 2020.

A *string* nas bases de dados retornou um total de 89 artigos, sendo 10 duplicados, resultando em 79 artigos. A partir disso, foi possível fazer a leitura completa de todos eles, segundo os seguintes critérios de exclusão: (1) O artigo contém palavras pesquisadas no título, resumo ou palavras-chave? (2) O artigo tem objetivos relacionados à energia fotovoltaica? (3) O artigo possui algum fator relacionado a projetos fotovoltaicos? Se uma dessas perguntas for não, o artigo é excluído da análise. O processo realizado resultou em 10 artigos que apresentaram os fatores. A seguir pode ser visualizado no Quadro 3 os sinônimos e palavras mais utilizadas na literatura.

Quadro 3 – Sinônimos e palavras mais utilizadas na literatura

<b>Origem</b>	<b>Combinação</b>
Solar farm	Power plant* OR solar farm*
Power plant	
Photovoltaic system	Photovoltaic energy OR photovoltaic system OR photovoltaic solar energy
Photovoltaic solar energy	
Photovoltaic energy	
Installation	Project* OR installation*
Building	
Project	
Factor	Factor* OR criteria
Criteria	
Indicator	
<i>String de busca:</i>	TITLE-ABS-KEY: (“power plant*” OR “solar farm*”) AND (“photovoltaic energy*” OR “Photovoltaic* System*” OR “Photovoltaic* solar energy*”) AND (factor* OR criteria) AND (project* OR installation*).

## APÊNDICE B – INFORMAÇÕES DA EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA

A Empresa de Pesquisa Energética através do documento de **instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica com vistas à participação nos leilões de energia elétrica** tem por objetivo apresentar as instruções para participação nos leilões de compra de energia elétrica, para o Sistema Interligado Nacional – SIN, em que são celebrados contratos de comercialização no Ambiente de Contratação Regulada – ACR. As instruções presentes no documento se aplicam aos empreendedores interessados em participar dos leilões de compra de energia elétrica, originados de empreendimentos fotovoltaicos e do acréscimo de capacidade devido a questões relacionadas às ampliações (EPE; MME, 2018a).

A EPE disponibiliza o Sistema de Acompanhamento de Empreendimentos Geradores de Energia – AEGE, com a finalidade de possibilitar aos empreendedores a inclusão dos dados, independentemente da realização de Leilões de Energia. Essa inclusão dos dados é um dos elementos necessários para o Cadastramento e Habilitação Técnica para participar dos Leilões de Energia (EPE; MME, 2015).

Deve ser incluído na documentação do processo de habilitação, o memorial descritivo do projeto da central geradora fotovoltaica – UFV. Os dados que constam no memorial, podem ser observados na Figura 13. Destaca-se que os fatores obtidos através da revisão sistemática da literatura estão presentes na regulamentação (**Capítulo 6, Figura 12**).

Figura 13 – Memorial descritivo

Características gerais do empreendimento	Concepção técnica da UFV	Índice de indisponibilidade	Custo fixo anual de operação e manutenção	Desenhos do projeto
Localização e acessos	Características das Unidades Geradoras (módulos fotovoltaicos e inversores)	Presentar índices de indisponibilidade adotados no projeto	Valores declarados justificados por meio de planilhas	Localização e acessos à UFV
Infraestrutura disponível	Descrição dos demais componentes: características técnicas e operacionais da instalação			Diagramas Unifilares (representa graficamente uma instalação elétrica)
Recurso solar e condições climáticas	Descritivo da conexão do empreendimento			
Caracterização geral do terreno da UFV				

Fonte: EPE; MME (2015).



## APÊNDICE C – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS I



---

### Pesquisa de opinião

---

A finalidade desse questionário é definir os fatores que impactam na implementação de projetos de usinas fotovoltaica. A sua contribuição é de extrema importância para validação dos fatores fundamentais na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica.

---

1. Qual o nível de importância do fator **custo da terra** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
- Pouco importante
- Indiferente
- Importante
- Extremamente importante

---

2. Qual o nível de importância do fator **custo de equipamento** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
- Pouco importante
- Indiferente
- Importante
- Extremamente importante

---

3. Qual o nível de importância do fator **proximidade de subestações** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
- Pouco importante
- Indiferente
- Importante
- Extremamente importante

---

4. Qual o nível de importância do fator **proximidade de áreas urbanas** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
  - Pouco importante
  - Indiferente
  - Importante
  - Extremamente importante
-

---

5. Qual o nível de importância do fator **proximidade das estradas** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
  - Pouco importante
  - Indiferente
  - Importante
  - Extremamente importante
- 

6. Qual o nível de importância do fator **clima** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
  - Pouco importante
  - Indiferente
  - Importante
  - Extremamente importante
- 

7. Qual o nível de importância do fator **inclinação dos painéis** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
  - Pouco importante
  - Indiferente
  - Importante
  - Extremamente importante
- 

8. Qual o nível de importância do fator **irradiação solar** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
  - Pouco importante
  - Indiferente
  - Importante
  - Extremamente importante
- 

9. Qual o nível de importância do fator **disposição dos módulos** na implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

- Sem importância
  - Pouco importante
  - Indiferente
  - Importante
  - Extremamente importante
- 

10. Você percebeu a ausência de um fator importante para implementação de um projeto de geração de energia fotovoltaica?

---

11. Deseja fazer alguma sugestão ou crítica em relação a implementação de projetos de geração de energia fotovoltaica?

---

## APÊNDICE D – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS II



### QUESTIONÁRIO PARA MENSURAÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO

A estudante de pós-graduação Virginia Thomasi, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), integrante do Núcleo de Inovação e Competitividade (NIC) e Instituto de Redes Inteligentes (INRI), sob a orientação do Professor Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk, gostaria de convidá-lo (a) a participar de uma pesquisa de caráter científico.

Uma vez que, para a implementação de projetos é necessário observar os aspectos do projeto e contextos geográficos a fim de elevar ao máximo a produção de energia. Este questionário procura auxiliar os gestores na identificação e mensuração do desempenho de requisitos para habilitação de um projeto fotovoltaico.

#### Endereço de e-mail

#### Nome do empreendimento

Qual a potência instalada do projeto?

Qual a sua função no projeto do empreendimento?

O projeto foi habilitado no ambiente de contratação regulada (ACR)?

- Sim
- Não

O empreendimento foi contratado no ACR?

- Sim
- Não

Em que situação o empreendimento se encontra?

- Em operação
- Em construção
- Construção não iniciada

#### Ponto de vista econômico

---

1.1.1 Qual o ângulo de inclinação do terreno para a construção do projeto da usina fotovoltaica?

- a) 0% a 3%
- b) 4% a 7%
- c) 8% a 12%
- d) 13% a 16%
- e) 17% ou mais

**1.1.2 Para o direito de usar e dispor do terreno, com relação a emissão da documentação da licença ambiental da área de instalação, qual a opção que melhor descreve a situação do seu projeto:**

- a) Não possui a licença ambiental.
- b) Apresenta a licença ambiental emitida para fins exclusivos de participação nos leilões de geração de energia elétrica.
- c) A licença ambiental atesta a viabilidade ambiental.
- d) A licença ambiental atesta a viabilidade ambiental e aprova a localização e concepção do empreendimento.
- e) O empreendimento possui a licença ambiental conforme a regulamentação e os relatórios de impacto ambiental.

**1.2.1 O quanto a escolha e o custo dos equipamentos influenciaram nos valores relacionados ao custo fixo anual de operação e manutenção?**

- a) 0% a 20%
- b) 20% a 40%
- c) 40% a 60%
- d) 60% a 80%
- e) 80% a 100%

**1.3.1 Qual a porcentagem de custo de conexão resultante da distância do local de instalação da usina com a subestação?**

- a) 0% a 20%
- b) 20% a 40%
- c) 40% a 60%
- d) 60% a 80%
- e) 80% a 100%

---

#### **Ponto de vista local**

**2.1.1 Em relação a análise das condições climáticas da região de instalação:**

- a) Foi realizada uma análise meteorológica simples.
- b) A análise meteorológica foi realizada durante 12 meses consecutivos.
- c) A análise meteorológica foi realizada durante 24 meses consecutivos.
- d) A análise das condições climáticas foi realizada e adicionada ao memorial descritivo.
- e) A análise das condições climáticas foi documentada e a tecnologia do módulo foi adaptada de acordo com o clima da região de instalação.

---

#### **Ponto de vista tecnológico**

**3.1.1 O perfil do arranjo indicando a inclinação dos painéis contempla:**

- a) Descrição simples da inclinação dos painéis.
- b) Descrição do perfil do arranjo indicando a inclinação dos módulos e a separação entre eles.
- c) Simulação para descrição do perfil do arranjo indicando a inclinação dos módulos e a separação entre eles.

- d) Simulação para descrição do perfil do arranjo indicando a inclinação dos módulos e a separação entre eles, bem como a latitude local em graus.
- e) Simulação para descrição do perfil do arranjo indicando a inclinação dos módulos e a separação entre eles, bem como a latitude local em graus e adicionado ao memorial descritivo junto aos desenhos do projeto, o desenho do perfil do arranjo.

### **3.2.1 Como foi realizado e apresentado o estudo sobre o sombreamento nos painéis?**

- a) Simples relação dos possíveis anteparos que sombreiam a região do empreendimento.
- b) Técnica para identificação dos possíveis anteparos que sombreiam a região do empreendimento.
- c) Técnica para identificação dos possíveis anteparos que sombreiam a região do empreendimento e preenchimento do memorial descritivo com as informações.
- d) Técnica para identificação dos possíveis anteparos que sombreiam a região do empreendimento e simulação da melhor disposição dos módulos considerando as condições de sombreamento.
- e) Todas as etapas anteriores foram realizadas e adicionadas ao memorial descritivo.

### **O empreendimento possui tecnologia de concentração da radiação?**

- a) Sim
- b) Não

### **3.3.1 Para medições contínuas de irradiação no local do empreendimento:**

- a) O projeto não apresenta histórico de medições contínuas de irradiação.
- b) O projeto apresenta o histórico de 6 meses de medições contínuas de irradiação.
- c) O projeto apresenta o histórico de 10 meses de medições contínuas de irradiação.
- d) O projeto apresenta o histórico de 12 meses ou mais de medições contínuas de irradiação.
- e) O projeto apresenta um histórico de 36 meses ou mais de medições contínuas de irradiações.

### **Deseja fazer algum comentário sobre a implementação de projetos fotovoltaicos e o processo de habilitação?**

### **Você possui alguma sugestão ou crítica em relação à esta pesquisa?**

## APÊNDICE E – MOTIVOS DA NÃO HABILITAÇÃO DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS EM LEILÕES

Leilão	Motivos da não habilitação	Detalhamento
A-4 2017	Projeto / Registro ANEEL	Incompatibilidade dos dados do empreendimento com o Registro da ANEEL
		Falta de Registro da ANEEL
	Conexão ao SIN	Falta de margem de escoamento para o ponto de conexão escolhido
	Meio Ambiente	Ausência de Licença Ambiental
		Incompatibilidade dos dados do empreendimento com os da Licença Ambiental
	Garantia Física e Produção de Energia	Inconsistências entre informações apresentadas que prejudicam o adequado cálculo da Produção de Energia e da Garantia Física do projeto
Direito de Usar ou Dispor do Terreno	Não comprovação do direito de usar ou dispor da área destinada à implantação do projeto	
A-4/2018	Projeto / Registro ANEEL	Incompatibilidade dos dados do empreendimento com o Registro da ANEEL
		Falta de Registro da ANEEL
	Conexão ao SIN	Falta de margem de escoamento
		Não comprovação de viabilidade técnica de conexão
	Meio Ambiente	Ausência de Licença Ambiental
		incompatibilidade dos dados do empreendimento com os dados da Licença Ambiental
Garantia Física e Produção de Energia	Inconsistências entre informações apresentadas que prejudicam o adequado cálculo da Produção de Energia e da Garantia Física do projeto	
Direito de Usar ou Dispor do Terreno	Não comprovação do direito de usar ou dispor da área destinada à implantação do projeto	
A-4/2019	Projeto / Registro ANEEL	Problemas no projeto ou incompatibilidade com o Registro ANEEL
	Conexão ao SIN	Falta de margem de escoamento
		Não comprovação de viabilidade

<b>Leilão</b>	<b>Motivos da não habilitação</b>	<b>Detalhamento</b>
		técnica de conexão
	Meio Ambiente	Ausência de licença ambiental
		Inconsistências na licença apresentada
	Garantia Física e Produção de Energia	Inconsistências entre informações apresentadas que prejudicam o adequado cálculo da Produção de Energia e da Garantia Física do projeto.
Direito de Usar ou Dispor do Terreno	Não comprovação do direito de usar ou dispor da área destinada à implantação do projeto	
A-6/2019	Projeto	Problemas no projeto (Interferência, comprovação de combustível e outros)
	Conexão ao SIN	Não comprovação de viabilidade técnica de conexão
	Meio Ambiente	Ausência de licença ambiental
		Inconsistências entre o projeto e a licença apresentada
	Garantia Física e Produção de Energia	Inconsistências entre informações apresentadas que impeçam o cálculo da Garantia Física do projeto
Direito de Usar ou Dispor do Terreno	Não comprovação do direito de usar ou dispor da área destinada à implantação do projeto	

Fonte: EPE (2018, 2017b, 2019b, 2019c).