

INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

ANA CAROLINA AROUCA BUENO FRANCO

**PLATAFORMA DE SUPERVISÃO PARA A INTEGRAÇÃO DE FONTES
RENOVÁVEIS DE ENERGIA**

Curitiba
2019

ANA CAROLINA AROUCA BUENO FRANCO

**PLATAFORMA DE SUPERVISÃO PARA A INTEGRAÇÃO DE FONTES
RENOVÁVEIS DE ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Área de Concentração Sistemas Energéticos Convencionais e Alternativos, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki

Curitiba

2019

F825p Franco, Ana Carolina Arouca Bueno
Plataforma de supervisão para a integração de fontes renováveis
de energia / Ana Carolina Arouca Bueno Franco. – Curitiba, 2019.
71 f. il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki
Dissertação (Mestrado) – Instituto de Tecnologia para o
Desenvolvimento, Institutos Lactec – Programa de Pós-Graduação
em Desenvolvimento de Tecnologia, 2019.
Inclui Referências bibliográficas.

1. Sistemas supervisórios. 2. Energias renováveis. 3. KPIs. 4.
Geração termosolar. I. Aoki, Alexandre Rasi. II. Instituto de
Tecnologia para o Desenvolvimento, Institutos Lactec – Programa de
Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia. III. Título.

CDD 621.31244

TERMO DE APROVAÇÃO

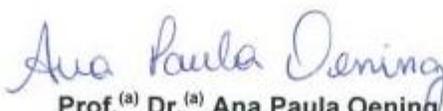
ANA CAROLINA AROUCA BUENO FRANCO

PLATAFORMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE PARA A INTEGRAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

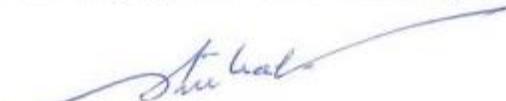
Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito para obtenção do grau de Mestre, no Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, realização do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), pela seguinte banca examinadora:



ORIENTADOR(A): Prof.^(a) Dr.^(a) Alexandre Rasi Aoki
UFPR/Mestrado Profissional do LACTEC



Prof.^(a) Dr.^(a) Ana Paula Oening
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec)



Prof.^(a) Dr.^(a) Renato de Arruda Penteadado Neto
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Lactec)



Prof.^(a) Dr.^(a) Milton Pires Ramos
Gram Pesquisa, Consultoria e Treinamento (GRAM)

Curitiba, 27 de fevereiro de 2019.

Dedico este trabalho à Deus, aos meus pais e ao meu filho Felipe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por todas as oportunidades concedidas ao longo da minha vida profissional. A cada desafio, um novo aprendizado e por contar com boas pessoas para me auxiliar.

Aos meus avós maternos pelo incentivo à dedicação aos estudos, em especial ao meu avô Milton sempre dedicado ao ensino da matemática, contribuindo na minha escolha pela engenharia.

Aos meus pais por terem me proporcionado acesso a boas escolas e também por ajudarem a cuidar do Felipe nas horas em que precisei me ausentar.

Ao meu marido pelo apoio e em especial ao meu filho Felipe que soube compreender as minhas ausências nestes dois anos de mestrado.

Ao meu orientador, professor Alexandre Aoki por ter incentivado a entrar no mestrado, por toda a sua ajuda ao longo deste caminho, pelo apoio na concessão da bolsa de mestrado e principalmente, pela paciência e cordialidade sempre.

À toda equipe do Lactec, em especial à Kristie pela ajuda com a documentação e esclarecimentos relativos ao projeto da termosolar.

Agradeço ao apoio e concessão de bolsa de estudo pela CESP no Projeto de P&D Estratégico Termosolar (PD-00061-0050/2016) para o desenvolvimento desta dissertação.

À Elipse Software que me acolheu na etapa de estágio e proporcionou meu desenvolvimento profissional. Aos amigos Lucas Kotres e Samir Lima pelo apoio com o EPM e *Python*.

Às empresas Brookfield (Sr. Osmar Filho) e Copel (Sr. Claudio Hermeling) que permitiram a visita ao Centro de Operações e a realização das pesquisas.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento do projeto.

RESUMO

A crescente demanda pelo uso de energias renováveis tem fomentado investimentos em novas fontes de energia, como forma de complementar a geração existente e incentivar a busca pela sustentabilidade. A Empresa de Pesquisa Energética em seu Plano Decenal de Energia 2024, prevê a expansão e a inclusão de novas fontes de energia renovável na geração de energia no Brasil. Com isso, há a diversificação dos portfólios das empresas de energia, criando um desafio para as equipes de operação e manutenção em gerir diferentes tecnologias, com a responsabilidade de assegurar a disponibilidade do sistema e prover a otimização de recursos como um diferencial competitivo. Neste contexto, plataformas de supervisão compostas por sistemas supervisórios e historiadores industriais, proporcionam uma supervisão globalizada dos parques de geração, através do uso de indicadores de performance e informações relevantes para auxiliar no planejamento das atividades das equipes de operação e manutenção. Para incentivar projetos de pesquisa com foco na implementação de geração termosolar, a Agência Nacional de Energia Elétrica realizou a Chamada Pública de Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico nº 19. Este trabalho faz parte do projeto de implantação da planta termosolar, na Usina Porto Primavera da Companhia Energética do Estado de São Paulo, usando como base de análise os sistemas de geração hidráulica, solar, eólica e termosolar. O presente trabalho tem como objetivo geral, a especificação de uma plataforma de supervisão para a integração de fontes de energia renováveis. Para estabelecer os indicadores, bem como, sua relevância na aplicação dos sistemas, foi realizada uma análise do estado da arte relativa a sistemas de supervisão aplicados às energias renováveis, além de pesquisas em empresas geradoras com portfólio diversificado. Com base nos resultados, foi elaborada uma especificação técnica para a plataforma de supervisão, que será adotada como referência na Usina Hidrelétrica Porto Primavera. A etapa seguinte à especificação consistiu no desenvolvimento de um protótipo da plataforma, usando dados de simulação de plantas eólicas, fotovoltaicas e termosolar. Com o protótipo foi possível constatar e validar os indicadores de *performance*, mostrando que a pesquisa realizada foi consistente aos objetivos propostos para o trabalho.

Palavras-chave: Sistemas Supervisórios, Energias Renováveis, KPIs, Geração Termosolar.

ABSTRACT

The growing demand for the use of renewable energies has encouraged investments in new energy sources, aiming to complement the existing generation and strength the search for sustainability. EPE (Brazilian Energy Research Enterprise), in its 2024 Energy Ten Year Plan, foresees the expansion and inclusion of new sources of renewable energy in the Brazilian energy matrix. As a result, there is a diversification of the portfolios of energy companies, creating a challenge for operation and maintenance (O&M) teams in managing different technologies, with the responsibility of ensuring system availability and providing resource optimization as a competitive advantage. In this context, supervisory platforms composed of supervisory systems and industrial historic analyzer, provide global supervision of power plants, using performance indicators and relevant information to assist in the planning of the activities of the O&M teams. In order to encourage research projects focused on Solar Thermal generation, ANEEL (Brazilian Electricity Regulatory Agency) carried out the Strategic Research and Development (R&D) Project Public Call number 19. This work is part of this project to implement the concentrated solar power plant at the hydroelectric Porto Primavera of Energy Company of São Paulo (CESP) Power Plant that already uses photovoltaics and wind generation systems. The main goal of this work is the specification of a supervision platform for the integration of renewable energy sources. In order to establish the key performance indicators, as well as their relevance in the application of the systems, a state-of-the-art analysis was performed on the supervisory systems applied to renewable energies, as well as researches in energy generation companies with a diversified portfolio of power plants. Based on the results, a technical specification was elaborated for the supervision platform, which will be adopted as a reference in the Porto Primavera project. The next stage of the specification consisted of the development of a prototype of the platform, using simulated data from wind, photovoltaic and solar thermal power plants. With the prototype, it was possible to verify and validate the key performance indicators, showing that the research was consistent with the objectives proposed for the work.

Keywords: Supervisory, Renewable Energies, KPIs, Solar Thermal Generation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: CRESCIMENTO MUNDIAL DO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS..... | 15 |
| FIGURA 2: COMPONENTES FÍSICOS DO SISTEMA SUPERVISÓRIO | 20 |
| FIGURA 3: CONSCIÊNCIA SITUACIONAL (ETAPAS)..... | 24 |
| FIGURA 4: EXEMPOS DE VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES..... | 24 |
| FIGURA 5: USO DE CORES (METODOLOGIA ALTA PERFORMANCE VISUAL) | 25 |
| FIGURA 6: EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DE ALARMES..... | 26 |
| FIGURA 7: TOPOLOGIA BÁSICA PARA PLATAFORMA DE SUPERVISÃO..... | 29 |
| FIGURA 8: COMPOSIÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO | 32 |
| FIGURA 9 - CURVA DE POTÊNCIA DOS AEROGERADORES | 33 |
| FIGURA 10: FATOR DE CAPACIDADE DE UMA PARQUE EÓLICO..... | 34 |
| FIGURA 11: COMPOSIÇÃO DE UMA PLANTA DE GERAÇÃO TERMOSOLAR..... | 35 |
| FIGURA 12: SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO | 38 |
| FIGURA 13: VISTA AÉREA DA PLANTA TERMOSOLAR MUMBAI | 41 |
| FIGURA 14: CAMPO SOLAR DA PLANTA TERMOSOLAR EM MUMBAI | 41 |
| FIGURA 15: FLUXOGRAMA GERAL DAS ETAPAS DO PROJETO | 46 |
| FIGURA 16: PARQUE DE GERAÇÃO DA COPEL..... | 50 |
| FIGURA 17: PLANTAS FOTOVOLTAICAS E EÓLICA (UHE PORTO PRIMAVERA) ... | 54 |
| FIGURA 18: PLANTAS FOTOVOLTAICAS (UHE PORTO PRIMAVERA) | 55 |
| FIGURA 19: PLANTA FOTOVOLTAICA E SISTEMA DE ARMAZENAMENTO..... | 56 |
| FIGURA 20: DISTRIBUIÇÃO DOS COLETORES CILINDRO PARABÓLICOS | 57 |
| FIGURA 21: TOPOLOGIA DO COMPLEXO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS..... | 58 |
| FIGURA 22: SOLUÇÃO PROPOSTA PARA O PROTÓTIPO | 59 |
| FIGURA 23: TELA DE ACESSO DO SUPERVISÓRIO (PROTÓTIPO) | 61 |
| FIGURA 24: TELA GERAL DO SUPERVISÓRIO (PROTÓTIPO)..... | 62 |
| FIGURA 25: TELA PARQUE EÓLICO DO SUPERVISÓRIO (PROTÓTIPO) | 63 |
| FIGURA 26: TELA FOTOVOLTAICA DO SUPERVISÓRIO (PROTÓTIPO) | 64 |
| FIGURA 27: TELA TERMOSOLAR DO SUPERVISÓRIO (CAMPO SOLAR)..... | 65 |
| FIGURA 28: <i>DASHBOARD</i> DE PARQUE EÓLICO - PIMS (PROTÓTIPO) | 66 |
| FIGURA 29: <i>DASHBOARD</i> PARA PLANTA FOTOVOLTAICA – PIMS (PROTÓTIPO) . | 67 |

FIGURA 30: DASHBOARD TERMOSOLAR – PIMS (PROTÓTIPO)68

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1: PESQUISA DE PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO | 39 |
| TABELA 2: TIPOS DE GERAÇÃO DA UHE PORTO PRIMAVERA..... | 53 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| QUADRO 1: FUNCIONALIDADES DOS SISTEMAS SUPERVISÓRIOS | 20 |
| QUADRO 2: INDICADORES DE <i>PERFORMANCE</i> DE PARQUES EÓLICOS..... | 32 |
| QUADRO 3: PRINCIPAIS EMPRESAS DE GERAÇÃO (PORTFÓLIO)..... | 48 |
| QUADRO 4: ITENS PESQUISADOS | 49 |
| QUADRO 5: PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE CADA TIPO DE GERAÇÃO | 60 |

LISTA DE SIGLAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- CEPEL – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
- CESP – Companhia Energética do Estado de São Paulo
- CLP – Controlador Lógico Programável
- DNI – Irradiação Direta Normal (do inglês, *Direct Normal Irradiance*)
- DNP – Protocolo de Rede Distribuída (do inglês, *Distributed Network Protocol*)
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- ICCP – Protocolo de Comunicação entre Centros de Controle (do inglês, *Inter-Control Center Communications Protocol*)
- IEEE – Instituto dos Engenheiros Eletricistas e de Eletrônica (do inglês, *Institute of Electrical and Electronic Engineers*)
- IEC – Comissão Internacional de Eletrotécnica (do inglês, *International Electrotechnical Commission*)
- ISA – Sociedade Internacional de Automação (do inglês, *International Society of Automation*)
- IRENA – Agência Internacional de Energias Renováveis (do inglês, *International Renewable Energy Agency*)
- KPI – Indicador de Desempenho (do inglês, *Key Performance Indicator*)
- MMS – Mensagem de Especificação da Manufatura (do inglês, *Manufacturing Message Specification*)
- O&M – Operação e Manutenção
- OPC – OLE para Controle de Processos (do inglês, *OLE for Process Control*)
- P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
- PIMS – Sistema de Gerenciamento da Planta (do inglês, *Plant Information Management System*)
- SCADA – Sistema de Supervisão e Controle (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 | CONTEXTO | 15 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA..... | 16 |
| 1.4 | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO..... | 17 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 19 |
| 2.1 | PLATAFORMAS DE SUPERVISÃO PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS..... | 19 |
| 2.1.1 | SISTEMAS SUPERVISÓRIOS | 19 |
| 2.1.1.1 | FUNÇÕES ANALÍTICAS DE SISTEMAS SUPERVISÓRIOS | 21 |
| 2.1.2 | SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES (PIMS) | 28 |
| 2.2 | INDICADORES DE <i>PERFORMANCE</i> PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS..... | 29 |
| 2.2.1 | INDICADORES DE <i>PERFORMANCE</i> – GERAÇÃO EÓLICA | 31 |
| 2.2.2 | INDICADORES DE <i>PERFORMANCE</i> – GERAÇÃO FOTOVOLTAICA..... | 34 |
| 2.2.3 | INDICADORES DE <i>PERFORMANCE</i> – GERAÇÃO TERMOSOLAR | 35 |
| 2.3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO..... | 36 |
| 3 | REVISÃO DA LITERATURA E TECNOLÓGICA | 37 |
| 3.1 | PROCESSO DE SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO..... | 37 |
| 3.2 | ANÁLISE CRÍTICA DE TRABALHOS TÉCNICOS-CIENTÍFICOS | 39 |
| 3.3 | SISTEMAS SUPERVISÓRIOS APLICADOS A ENERGIAS RENOVÁVEIS..... | 41 |
| 3.4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO..... | 44 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODO | 45 |
| 4.1 | MATERIAIS | 45 |
| 4.2 | MÉTODO | 46 |
| 4.2.1 | COLETA DE DADOS DE AUTOMAÇÃO – UHE PORTO PRIMAVERA..... | 47 |
| 4.2.2 | COLETA DE DADOS DO PROJETO DA TERMOSOLAR | 47 |
| 4.2.3 | PESQUISA DE INDICADORES DE <i>PERFORMANCE</i> | 47 |
| 4.2.4 | ELABORAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO SUPERVISÓRIO | 52 |
| 5 | CASO DE APLICAÇÃO | 53 |
| 5.1 | UHE PORTO PRIMAVERA - DADOS..... | 53 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.2 | PROTÓTIPO DA PLATAFORMA DE SUPERVISÃO | 58 |
| 5.2.1 | PROTÓTIPO – SISTEMA SUPERVISÓRIO (NÍVEL OPERACIONAL) | 61 |
| 5.2.2 | PROTÓTIPO – GERENCIAMENTO DAS PLANTAS (NÍVEL TÁTICO) | 65 |
| 6 | CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS | 69 |
| | REFERÊNCIAS | 71 |

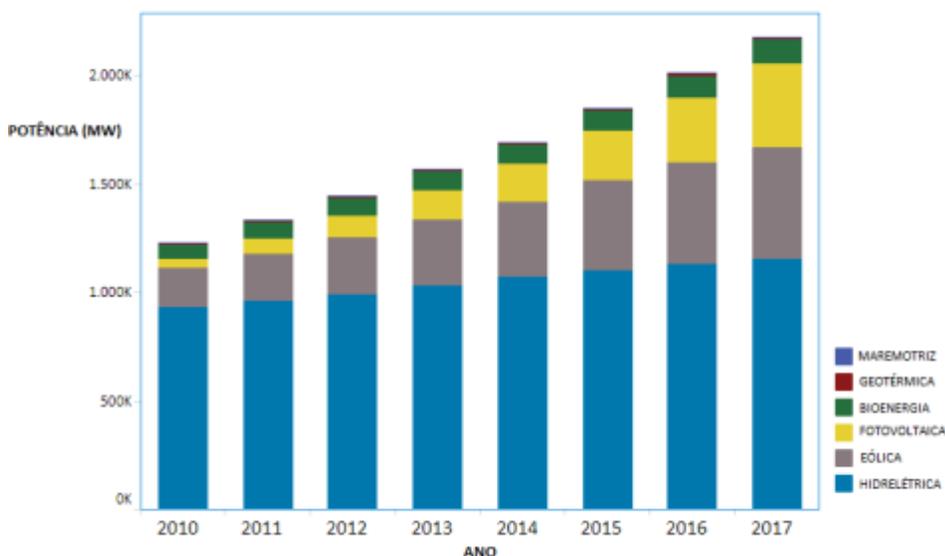
1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

O Brasil possui grande potencial energético e o uso de energias renováveis tem crescido consideravelmente nos últimos anos, colocando-o em posição de destaque e atraindo investimentos da iniciativa privada. Uma das principais diretrizes do Plano Decenal de Energia 2024 elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é priorizar e explorar o uso de energias renováveis para atender à crescente demanda, aliado ao compromisso de uma matriz energética limpa (TOLMASQUIM, 2016).

De acordo com os dados da Agência Internacional de Energias Renováveis (em inglês, *International Renewable Energy Agency* – IRENA), o crescimento mundial de energias renováveis está estimado em cerca de 8 a 9% ao ano, conforme FIGURA 1.

FIGURA 1: CRESCIMENTO MUNDIAL DO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS



FONTE: IRENA (2018).

A ANEEL incentiva empresas de energia em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), buscando estimular a inserção de novas tecnologias. Em 2015 realizou a “Chamada Pública de P&D Estratégico nº 19” com o intuito de incorporar a geração termosolar na matriz energética brasileira através de plantas piloto.

A Companhia Energética do Estado de São Paulo (CESP) participou desta chamada e ficou responsável pela implantação de uma planta piloto de geração termosolar com o uso de concentradores do tipo cilindro-parabólicos, integrada ao Complexo de Energias Renováveis da Usina Hidrelétrica Sérgio Motta (também conhecida por Usina Porto Primavera), localizada no município de Rosana/SP (GAZOLI; et al., 2017). Neste âmbito, o projeto PD-0061-0050/2016 implementa uma plataforma de supervisão para o todo o Complexo de Energias Renováveis, cuja função é prover informações de desempenho de todas as fontes de geração de energia.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma arquitetura da plataforma de supervisão para a integração de fontes de energia renováveis. Os objetivos específicos incluem:

1. Levantar dados de arquitetura, equipamentos, sistema de supervisão e automação dos tipos de geração existentes na Usina Porto Primavera;
2. Elaborar uma “Especificação Técnica” para o Sistema Integrado de Supervisão das Fontes de Energias Renováveis;
3. Definir um padrão de interface para o Sistema Integrado de Supervisão das Fontes de Energias Renováveis;
4. Avaliar as funções analíticas do Sistema Integrado de Supervisão das Fontes de Energias Renováveis;
5. Sugerir normas e práticas que otimizem o desempenho da supervisão da usina; e
6. Testar e validar as implementações sugeridas em um protótipo.

1.3 JUSTIFICATIVA

A combinação de diferentes fontes de geração de energias renováveis (também conhecida como sistemas híbridos) tem sido cada vez mais comum às empresas de energia, devido ao crescimento da demanda e a busca pela sustentabilidade. Devido a

característica de intermitência destas fontes, geralmente são associadas a sistemas de armazenamento, para assegurar o suprimento contínuo e a confiabilidade do sistema (OLATOMIWA; et al., 2016).

Cada fonte de energia possui peculiaridades e tecnologias específicas, fato este que torna as atividades de operação e manutenção (O&M) um desafio às empresas que possuem um portfólio diversificado: alto volume de dados, a gestão de equipamentos de diferentes fornecedores, descentralização das informações, redução de custos e manter a disponibilidade das plantas de geração (GONZALEZ; et al., 2017).

Neste contexto, os sistemas supervisórios (em inglês, *Supervisory, Control and Data Acquisition – SCADA*) desempenham um papel crucial, permitindo a supervisão, o controle em tempo real e a centralização das informações. Podem ser associados a sistemas de gerenciamento de informações (em inglês, *Plant Information Management System – PIMS*). O sistema PIMS permite a coleta de dados de diversas fontes, inclusive SCADAs de diferentes fornecedores, contextualizando as informações e disponibilizando a visualização de diversas formas: painel (*dashboard*), planilhas, gráficos e relatórios.

A justificativa deste trabalho é a proposição de uma arquitetura para uma plataforma de supervisão de energias renováveis, cujo objetivo é prover informações relevantes, usadas como referência no planejamento das atividades das equipes de O&M em empresas de portfólio diversificado de fontes de geração.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O primeiro capítulo da dissertação apresenta um panorama relativo ao crescimento do uso de energias renováveis no mundo e comenta a iniciativa da ANEEL em fomentar a adoção de geração termosolar na matriz energética brasileira. São apresentados os objetivos estabelecidos e a justificativa para a execução do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica relativa às plataformas de supervisão, compostas pelos sistemas supervisórios e historiadores industriais aplicados às energias renováveis, a descrição das suas principais funções e os indicadores de desempenho mais importantes de cada tipo de fonte de geração.

O terceiro capítulo apresenta o estado da arte relativo aos sistemas supervisórios em sistemas híbridos e aos indicadores de *performance* em renováveis, inclusive com a metodologia adotada para a seleção do portfólio bibliográfico. Além disso, apresenta uma análise comparativa de algumas plataformas para energias renováveis disponíveis no mercado.

No quarto capítulo é apresentada a pesquisa realizada com algumas empresas de geração de portfólio diversificado, bem como, levantamento de dados realizado na Usina Porto Primavera.

O quinto capítulo apresenta o caso de aplicação da Usina Porto Primavera e todas as etapas da implementação do protótipo da plataforma de supervisão, composta pelo supervisório e historiador.

O sexto e último capítulo apresenta os resultados obtidos, bem como, algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo deste capítulo serão apresentados, os principais conceitos teóricos relativos aos temas abordados ao longo deste trabalho, tais como, plataformas de supervisão, o setor elétrico e indicadores de performance para energias renováveis.

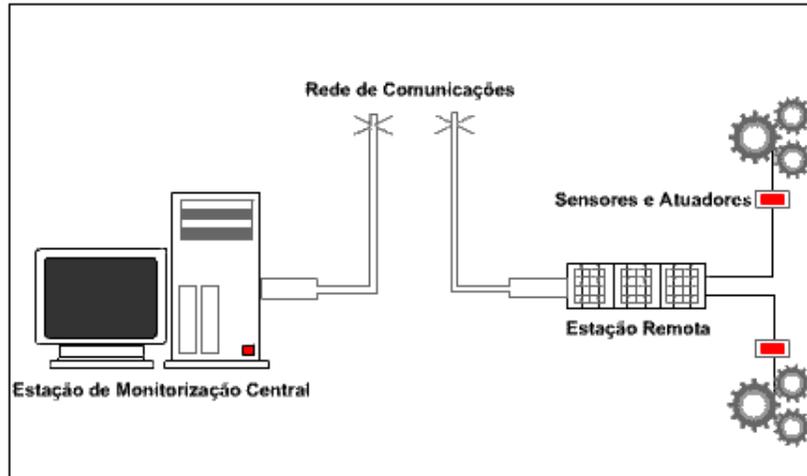
2.1 PLATAFORMAS DE SUPERVISÃO PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS

O uso combinado de sistema supervisório e sistema historiador industrial proporciona além da supervisão, a transformação de dados de geração em informações relevantes, através do uso de cálculos avançados e algoritmos específicos.

2.1.1 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

Os sistemas supervisórios (SCADA) são sistemas que permitem a supervisão e controle de qualquer tipo de processo automatizado em tempo real. Podem ser utilizados em qualquer tipo de processo desde que a coleta de dados seja feita de forma automática, através de equipamentos de aquisição de dados. Os componentes físicos necessários para este tipo de sistema são: sensores e atuadores, controladores lógico programáveis (CLPs), rede de comunicação e a estação de operação do supervisório, conforme FIGURA 2.

FIGURA 2: COMPONENTES FÍSICOS DO SISTEMA SUPERVISÓRIO



FONTE: (SALVADOR; SILVA (2011)).

Além dos componentes físicos, um sistema supervisório é composto por módulos básicos que interagem entre si, conforme o QUADRO 1 (SILVA; SALVADOR, 2011).

QUADRO 1: FUNCIONALIDADES DOS SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

| Módulo | Funcionalidade |
|--|--|
| Núcleo de processamento | Coordena o fluxo de informações entre os módulos do supervisório |
| Comunicação | Habilita a comunicação entre o software e os equipamentos de campo através do uso de drivers de comunicação ou OPC (<i>OLE for Process Control</i>). |
| Gerenciamento de alarmes e eventos | Coordena a criação, exibição e armazenamento dos alarmes da aplicação. |
| Banco de dados e históricos | Estabelece o banco de dados que será usado, bem como, quais as variáveis de processo que serão armazenadas. |
| Telas | Permite a criação e customização de telas pelo usuário, utilizando outros programas ou bibliotecas de objetos gráficos existentes no supervisório. |
| Relatórios | Permite a criação de relatórios customizados através de consultas realizadas no banco de dados. |
| Lógica de programação interna (<i>scripts</i>) | Permite que o usuário crie seus próprios códigos com o objetivo de realizar algum procedimento ou tarefa. |

FONTE: ADAPTADO DE (SALVADOR; SILVA (2011)).

Com relação ao setor elétrico é possível dizer que a sua relação com a automação é intrínseca, pois muitas implementações e avanços na evolução dos sistemas supervisórios e historiadores, foram motivadas e impulsionadas pelo setor elétrico.

Muitos fornecedores de sistemas supervisórios, criaram versões dedicadas ao setor elétrico com o uso de algoritmos específicos, tais como, recomposição de redes de distribuição, cálculos do fluxo de potência, alívio de carga, entre outros. Estes sistemas são projetados para suportar o processamento de uma grande quantidade de variáveis, de forma distribuída, possibilitando o acesso e controle de forma remota, através de centros de operações. No que tange a geração de energias renováveis, os supervisórios dedicados oferecem, além das funcionalidades já descritas, alguns objetos modelados, como aerogeradores, painéis fotovoltaicos, facilitando a configuração e padronização das aplicações.

2.1.1.1 FUNÇÕES ANALÍTICAS DE SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

O núcleo do supervisório é responsável por coordenar o fluxo de informações entre os módulos citados na TABELA 1. As principais funções analíticas dos módulos e normas recomendadas são descritas a seguir.

MÓDULO DE COMUNICAÇÃO

O módulo de comunicação é responsável por coordenar a troca de informações entre equipamentos de campo com o sistema supervisório. Cada fabricante de equipamento disponibiliza a comunicação considerando o uso de protocolos específicos. Para que ocorra a comunicação entre equipamentos e supervisório, existem as seguintes possibilidades:

- *Drivers* de comunicação: utilizados para a comunicação com protocolos de comunicação em automação e energia. Os protocolos mais usados em energia são: DNP 3.0 Master/Slave (*Distributed Network Protocol*), padrão

IEC 61850 (protocolo MMS – *Manufacturing Message Specification*), ICCP (TASE 2), IEC 104/103/102, entre outros.

- OPC: padrão de comunicação para a troca de dados em tempo real (tendo como base o sistema operacional Windows). Para que haja a comunicação, é preciso que os fornecedores de equipamentos disponibilizem o servidor OPC. O supervisor buscará os dados por ser OPC cliente sem que haja a necessidade de uso de driver de comunicação.

GERENCIAMENTO DE ALARMES E EVENTOS

O sistema supervisor permite a criação de alarmes para as variáveis do processo. Um alarme é um indicativo visual e/ou sonoro para alertar o operador do sistema de que há alguma condição de anormalidade. O alarme sempre exige alguma ação corretiva por parte do operador. Um evento pode ser classificado como uma situação de anormalidade ou de distúrbio na planta que não requer ação corretiva, serve apenas para alertar o operador.

Os alarmes possuem funções importantes em um sistema de supervisão e controle:

- Identificam situações de anormalidade ou distúrbio no processo, auxiliando o operador a manter a segurança operacional;
- Identificam desvios indesejados de produtos ou serviços que podem levar a prejuízos;
- Através da análise de seu histórico, servem como fontes de informação e consulta em situações de perturbação.

Um problema recorrente ao se configurar um sistema supervisor é a livre criação de alarmes, sem considerar a sua utilidade ou importância. O excesso de alarmes em uma aplicação coloca em risco a segurança operacional pois o operador não tem tempo hábil para identificar, reconhecer e atuar sobre o alarme. Existem normas e guias cujo foco é o gerenciamento de alarmes de aplicações industriais e de energia.

A primeira norma foi definida pela ISA (em inglês, “*International Society of Automation*”), a ANSI/ISA 18.02 que propõe a elaboração de um documento que visa estabelecer uma filosofia de alarmes para as aplicações de uma indústria ou sistema de energia (HOLLIFIELD, 2010).

O guia EEMUA 191 elaborado pela “*Engineering, Equipment and Materials Users Association*” estabelece as melhores práticas para a criação e gerenciamento de alarmes. Estabelece indicadores e métricas para avaliar o desempenho do sistema de alarmes implementado, sendo uma das referências mais usadas em sistemas de automação e energia (EEMUA, 2018).

BANCO DE DADOS E HISTÓRICOS

O supervisório permite selecionar as variáveis que serão armazenadas, para consultas posteriores, seja para emissão de relatórios ou apenas para a consulta do operador. Os dados são armazenados em sistemas de banco de dados comerciais, nos quais serão geradas tabelas específicas. Em geral, os supervisórios separam as tabelas de variáveis e alarmes e a visualização dos dados armazenados pode ser feita através de tabelas ou gráficos.

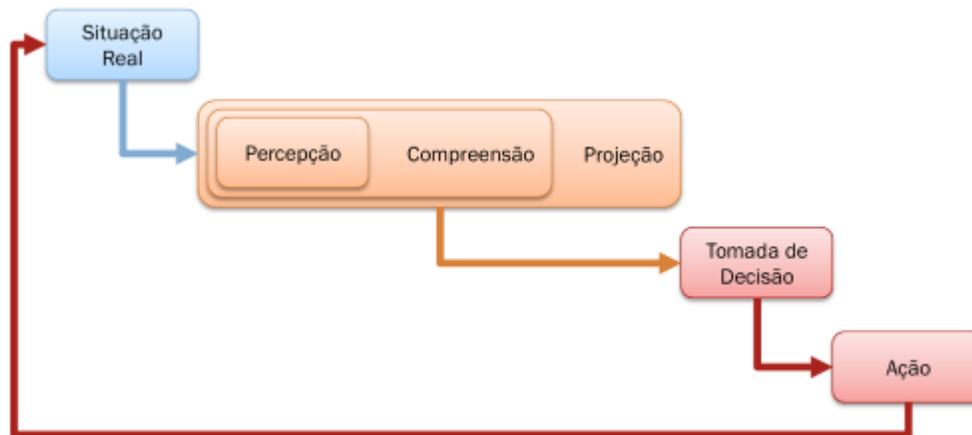
TELAS (INTERFACES GRÁFICAS)

As telas são projetadas para mostrar em tempo real, as informações de processo mais relevantes. Nos últimos anos, tem sido comum o uso de interfaces de alta performance visual. Segundo Goetz (), esse tipo de interface é desenvolvido com base em uma metodologia que visa a segurança do sistema e a usabilidade do sistema. É importante ressaltar que, uma tela com excesso de informações, objetos e animações pode tirar o foco do operador para as informações que são realmente relevantes. De acordo com a norma NBR ISO 9241-11, as medidas de usabilidade são: fácil aprendizado e memorização pelo usuário e uma interface com baixa taxa de erros.

A metodologia de alta performance visual propõe o aumento da “consciência situacional” do operador, de acordo com a FIGURA 3. Primeiro o operador do sistema

percebe um fato, por exemplo, um valor que está discrepante no processo. A segunda etapa é a compreensão, ou seja, ele precisa analisar se apesar do fato percebido, a situação está dentro da normalidade ou não. A terceira etapa consiste na projeção das consequências do fato percebido em função da situação. Com base nestas análises, o operador poderá estabelecer a ação necessária para a correção do problema (GOETZ 2017).

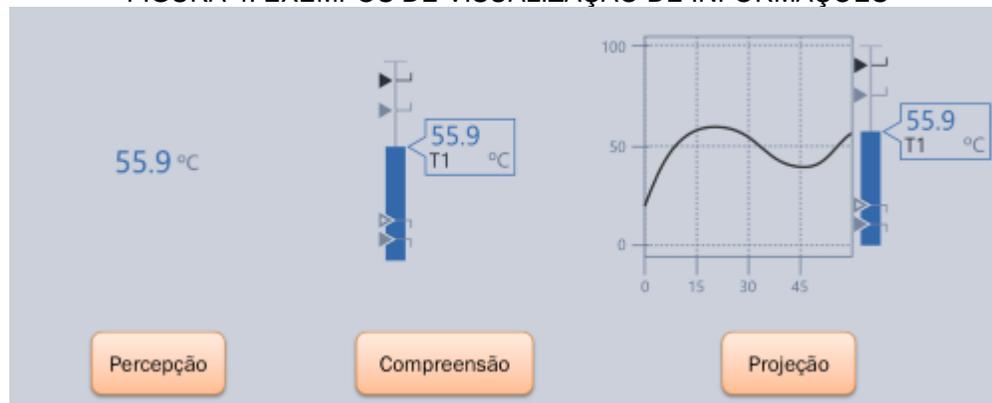
FIGURA 3: CONSCIÊNCIA SITUACIONAL (ETAPAS)



FONTE: GOETZ (2017).

A apresentação de um dado (em números) na tela, não fornece ao operador a percepção necessária para a tomada de decisão. A FIGURA 4 exemplifica como os dados devem ser mostrados.

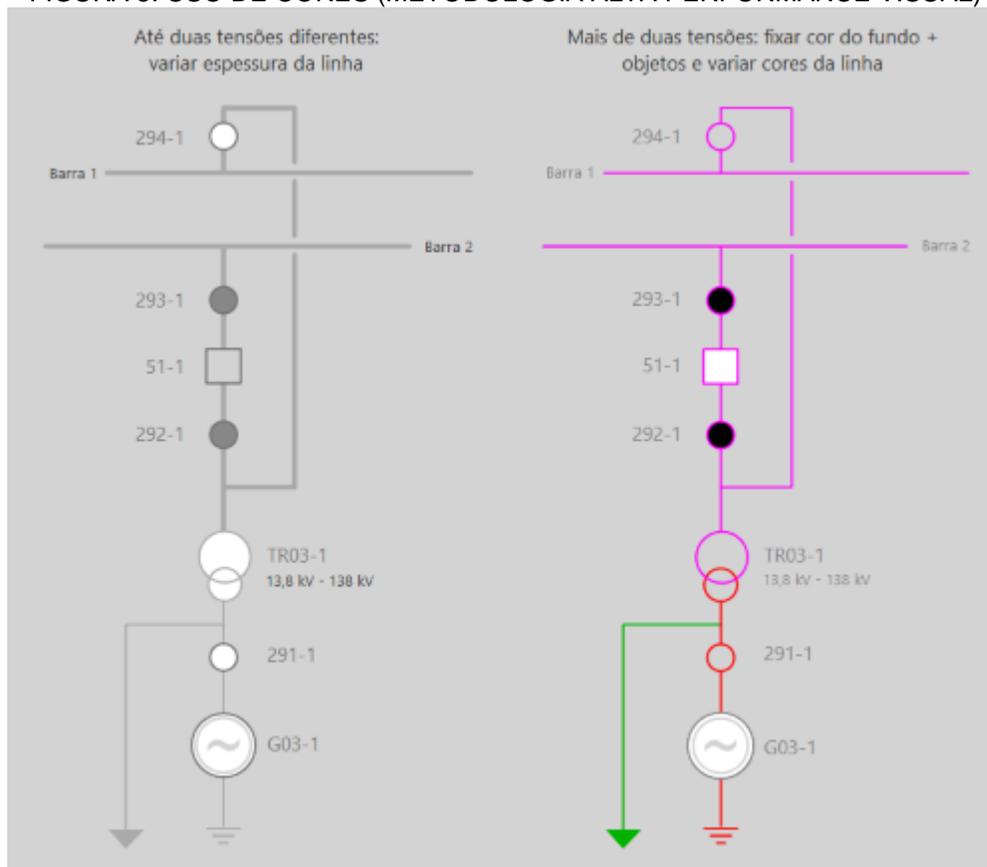
FIGURA 4: EXEMPOS DE VISUALIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES



FONTE: GOETZ (2017).

Com relação ao uso de cores, a metodologia propõe o uso de cores mais discretas para os fundos de telas e cores mais fortes para mostrar informações críticas, conforme FIGURA 5.

FIGURA 5: USO DE CORES (METODOLOGIA ALTA PERFORMANCE VISUAL)



FONTE: GOETZ (2017).

A representação dos alarmes deve ser feita de acordo com a severidade, indicada por um número e forma, conforme FIGURA 6.

FIGURA 6: EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DE ALARMES



FONTE: GOETZ (2017).

RELATÓRIOS

As informações armazenadas podem ser consultadas, com o objetivo de gerar relatórios customizados. O supervisor permite a geração de relatórios em diversos formatos e extensões, tais como “PDF”, “CSV”, “XLS”, entre outros.

LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO INTERNA (SCRIPTS)

Os usuários podem gerar trechos de códigos (*scripts*) associados a algum evento ou a um procedimento. A linguagem de programação adotada depende do fornecedor do sistema supervisor.

Outra funcionalidade bastante útil é a geração de bibliotecas customizadas pelo usuário. Essa biblioteca pode conter um objeto ou um grupo de objetos, que podem ser compartilhados várias vezes ao longo da aplicação. Por exemplo, é possível criar uma biblioteca com o desenho de um aerogerador e os *displays* com as suas informações. Para cada instância, só é necessário alterar as fontes de dados (variáveis). As vantagens de utilização das bibliotecas são:

- Padronização de objetos na aplicação;
- Redução no tempo de desenvolvimento;
- Proteção do conteúdo criado; e
- Redução do tempo de testes.

SEGURANÇA

Os sistemas supervisórios permitem o controle de infraestruturas consideradas críticas, como por exemplo, energia. Por este motivo, os sistemas supervisórios tem sido um dos principais alvos de ataques cibernéticos. De acordo com Branquinho *et al.* (2014), a adoção de medidas que visam a segurança do sistema de automação pode ser justificada por:

- Aspectos legais: normas de segurança são exigidas por lei.
- Operação: qualquer desligamento não programado ou interrupção de energia pode gerar grandes prejuízos e até mesmo, colocar vidas em risco.
- Confidencialidade: é necessário proteger as informações de projetos, dados de clientes e do processo.
- Qualidade: o controle de segurança evita qualquer tipo de sabotagem em produtos e serviços, assegurando a qualidade do processo.

As normas de segurança para sistemas de automação são:

- ANSI/ISA 99 – elaborada pela ISA, com foco em segurança de redes industriais;
- NERC-CIP (*North American Electric Reliability Corporation Critical Infrastructure Protection*) – elaborada com o foco em proteção do sistema elétrico norte-americano.
- NIST 800-82 – elaborada pelo NIST – *National Institute of Standards and Technology*, com foco em segurança de sistemas industriais.

Muitos protocolos de sistemas de automação não possuem mecanismos de segurança em autenticação. Isso ocorre porque há o tráfego de dados em tempo real e a implementação de criptografia, pode afetar o desempenho da comunicação, gerando latência na rede.

Para os sistemas supervisórios, as recomendações de segurança são:

1. Adoção de uma política de senhas: número mínimo de caracteres, com bloqueio ao acesso após n tentativas sem sucesso;

2. Uso de dispositivos para autenticação do usuário: além das senhas, a adoção de dispositivos como *tokens*, biometria, etc.
3. Uso de máquinas confiáveis e configuradas de acordo com a política de segurança da empresa.

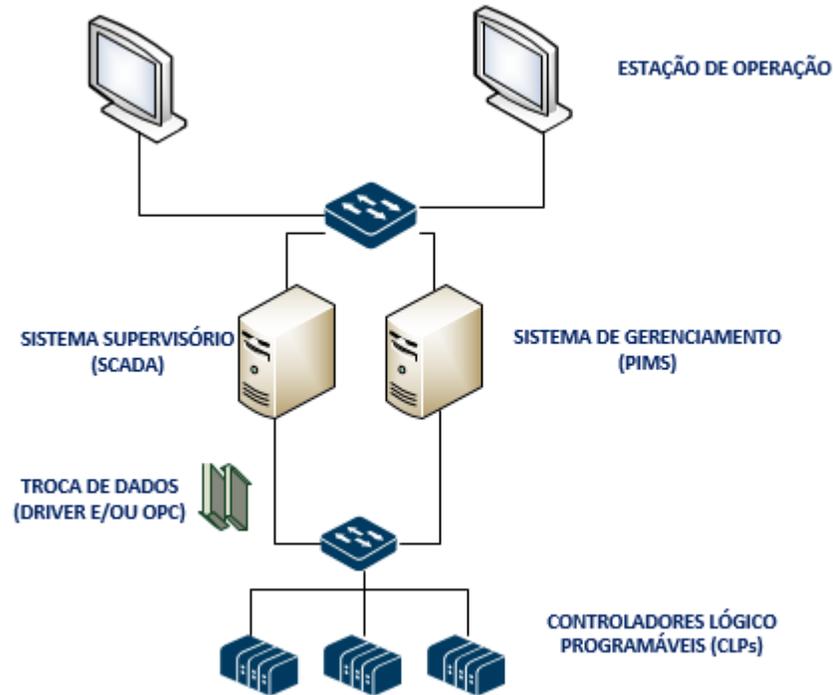
2.1.2 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE INFORMAÇÕES (PIMS)

Um sistema de gerenciamento de informações, também conhecido como historiador industrial, é um sistema de armazenamento de informações históricas, composto por módulos que atuam desde a coleta de dados, processamento, armazenamento e a disponibilização das informações. Como transformam dados em informações relevantes ao processo, atuam no nível tático da empresa. Estes sistemas adotam uma arquitetura distribuída, com a coleta de dados de diversas fontes e o processamento das informações de forma otimizada, e são usados em conjunto com sistemas supervisórios.

Uma topologia básica deste tipo de associação é mostrada na FIGURA 7. Os dados oriundos processo são enviados ao sistema supervisório através dos CLPs. A comunicação entre o CLP e o supervisório pode ser feita através de drivers de comunicação (conforme o protocolo de comunicação disponibilizado pelo fornecedor de CLP) ou através de OPC.

O historiador fará a comunicação com o sistema supervisório e implementará algoritmos de compactação, criação de scripts para implementar cálculos, algoritmos e até mesmo inteligência artificial. Este sistema vai transformar o dado de processo em informação útil. As informações geradas pelos sistemas historiadores são disponibilizadas em painéis ou *dashboards*.

FIGURA 7: TOPOLOGIA BÁSICA PARA PLATAFORMA DE SUPERVISÃO



FONTE: AUTOR (2019).

2.2 INDICADORES DE PERFORMANCE PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS

Em qualquer tipo de processo, seja na área industrial ou em energia, a avaliação de desempenho é necessária para a tomada de decisões. Um indicador de *performance* (em inglês, *Key Performance Indicator* - KPI) pode ser utilizado para medir o sucesso de objetivos específicos de um processo, o cumprimento de metas financeiras e de negócios de uma empresa.

O uso de KPIs é de extrema importância pois através deles, é possível alinhar e definir ações que visem a correção de problemas, em busca da otimização do processo. A correta definição de um KPI é fundamental e deve possuir as seguintes características: precisa ser objetivo e mensurável, precisa ser visualizado por toda a equipe de trabalho envolvida e por fim, deve haver comprometimento da empresa nas ações corretivas. Segundo Cabeza *et al.* (2015), um KPI pode ser caracterizado em:

- Quantitativo (expresso em números ou porcentagem);

- Qualitativo (expresso por adjetivos, por exemplo: bom, ruim, entre outros);
- Valores de entrada versus valores de saída do processo: avalia se o consumo de recursos da entrada é eficiente ao longo do processo, ou seja, mede a eficiência do processo produtivo;
- Indicadores financeiros.

No setor elétrico, os KPIs são bastante utilizados como informações de apoio à tomada de decisões das equipes de operação e manutenção do sistema (também conhecida como “O&M”). Os cálculos dos indicadores gerais de manutenção, que podem ser aplicados em equipamentos e dispositivos de energias renováveis são:

- Tempo médio entre as falhas (em inglês, *Mean Time Between Failures* – MTBF): seu cálculo é dado pela equação (1).

$$MTBF = \frac{(TD - TM)}{P} \quad (1)$$

Onde: TD = Tempo de disponibilidade do equipamento para operação, em horas;

TM = Tempo de manutenção do equipamento, em horas;

P = Número de paradas.

- Tempo médio para reparo (em inglês, *Mean Time To Repair* – MTTR): seu cálculo é dado pela equação (2).

$$MTBF = \frac{TM}{P} \quad (2)$$

Onde: TM = Tempo de manutenção do equipamento, em horas;

P = Número de paradas.

- Disponibilidade: seu cálculo é dado pela equação (3).

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} * 100 \quad (3)$$

Onde: MTBF = Tempo médio entre as falhas, em horas;

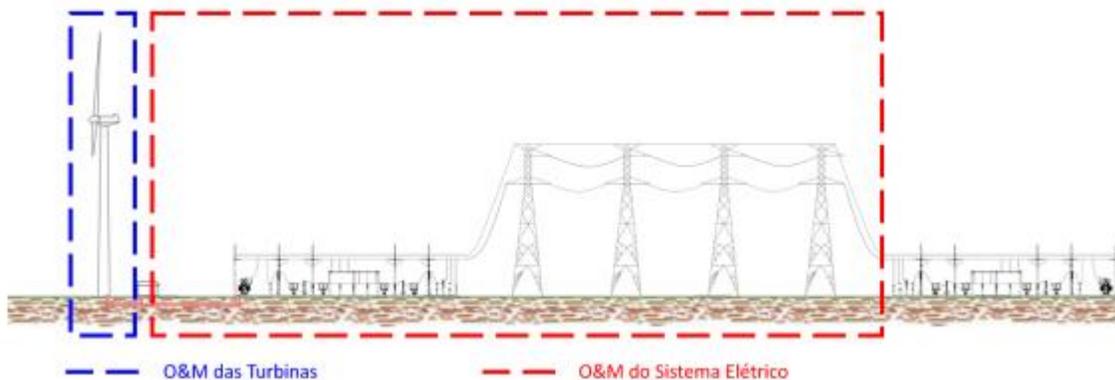
MTTR = Tempo médio para reparo, em horas.

2.2.1 INDICADORES DE PERFORMANCE – GERAÇÃO EÓLICA

A participação da geração eólica na matriz energética brasileira é bastante expressiva. De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o Brasil possui cerca 14 GW de capacidade instalada em 583 parques instalados, contando com mais de 7.000 aerogeradores em operação (ABEEólica (2019)).

Em geral, os parques eólicos podem ser divididos em subsistemas: o conjunto de aerogeradores, a rede de média tensão, subestação e linha de transmissão (FIGURA 8). O principal subsistema é o conjunto de aerogeradores que são responsáveis pela conversão de energia elétrica. Em geral, as empresas proprietárias dos parques eólicos celebram contratos de O&M com as empresas fabricantes de aerogeradores. No contrato são estabelecidas metas de desempenho para os aerogeradores. O descumprimento destas metas gera multa ao fabricante ou um bônus caso a performance seja superior às metas estabelecidas (SANTOS, 2016).

FIGURA 8: COMPOSIÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO



FONTE: SANTOS (2016).

O planejamento das atividades de manutenção é realizado com base no histórico de geração e da distribuição dos ventos. Com isso, obtém-se máximo desempenho em períodos de maior disponibilidade de vento. Os indicadores de performance de um parque eólico podem ser classificados em “operação e manutenção” e “geração de energia” conforme QUADRO 2.

QUADRO 2: INDICADORES DE PERFORMANCE DE PARQUES EÓLICOS

| Indicadores de Operação e Manutenção |
|---|
| Número de falhas ocorridas nos aerogeradores |
| Tempo entre as falhas (MTBF) |
| Tempo médio de reparo (MTTR) |
| Tempo de indisponibilidade do aerogerador por falha |
| Tempo de indisponibilidade por eventos |
| Custos relativos aos contratos de manutenção |
| Custos relativos a manutenção não programada |
| Indicadores de Geração de Energia |
| Capacidade de geração instalada x geração realizada |
| Fator de capacidade |
| Curva de potência do aerogerador |

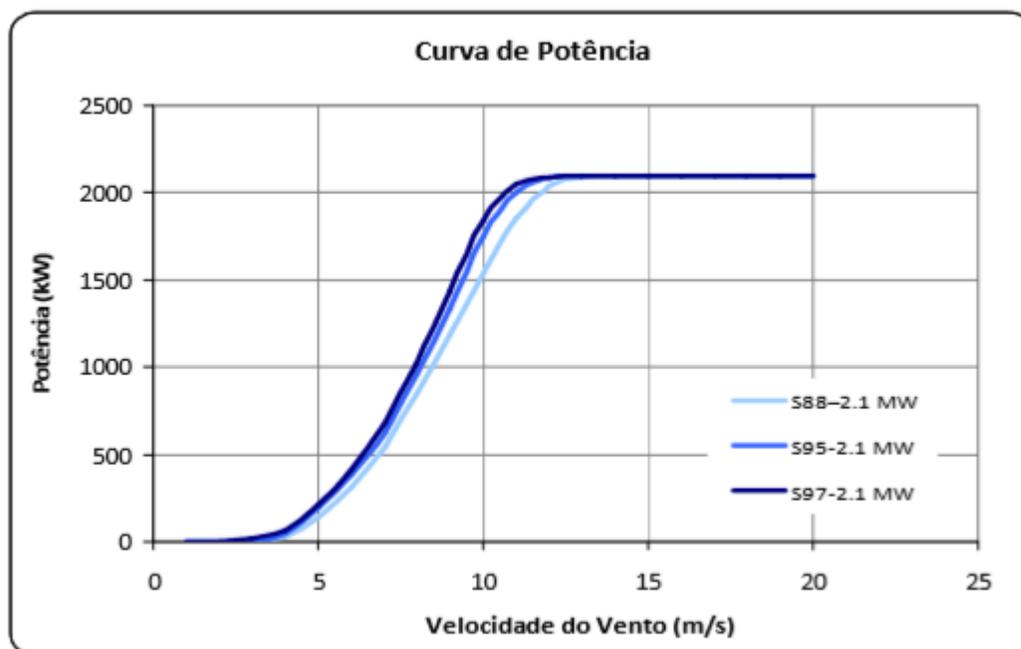
FONTE: ADAPTADO (SANTOS, 2016).

Com base nas informações provenientes dos aerogeradores nestas informações, os operadores podem calcular e analisar os indicadores supracitados. A norma IEC 61400-12-1 estabelece algumas medições relativas ao desempenho nos aerogeradores, que servem como referência.

CURVA DE POTÊNCIA DOS AEROGERADORES

A curva de potência é a relação entre a velocidade do vento e a potência elétrica do aerogerador, conforme FIGURA 9.

FIGURA 9 - CURVA DE POTÊNCIA DOS AEROGERADORES



FONTE: CTGAS-ER (2012).

FATOR DE CAPACIDADE

O fator de capacidade calcula a eficiência do aerogerador, ou seja, é a relação entre a geração real e a estimada. Este dado auxilia a avaliação do potencial eólico de uma determinada região. Seu cálculo depende não só das características do aerogerador, mas também, das características da região do parque eólico.

O cálculo do fator de capacidade é dado pela equação (4):

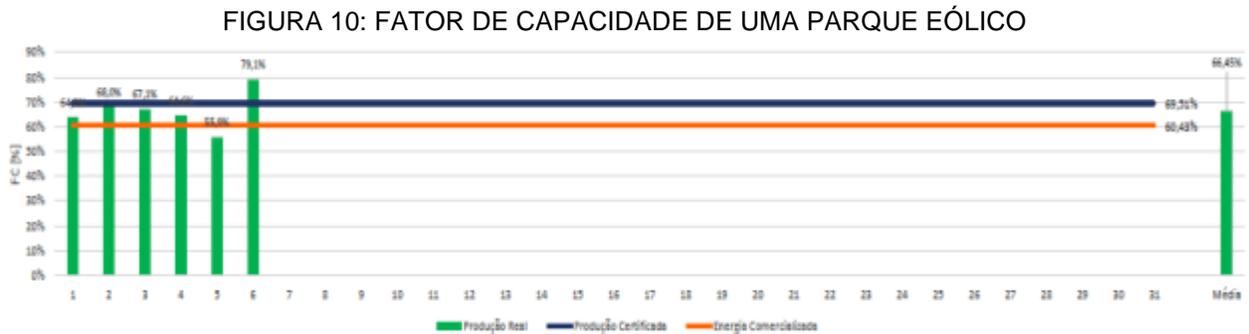
$$FC = \frac{E}{P * T} \quad (4)$$

onde: E = energia produzida, em Watts-hora;

P = potência nominal, em Watts;

T = período de análise, em horas.

Um exemplo de gráfico do fator de capacidade é dado na FIGURA 10.



FONTE: AUTOR (2018).

2.2.2 INDICADORES DE PERFORMANCE – GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A participação da geração fotovoltaica ainda é baixa em relação à eólica na matriz energética brasileira (ANEEL, 2019). Sua operação e manutenção é bem mais simples em relação aos sistemas eólicos, pois a complexidade de operação dos módulos fotovoltaicos é menor em relação aos aerogeradores. A norma que estabelece padrões para a *performance* de sistemas fotovoltaicos é a IEC 61724-1. Os principais indicadores são:

- Índice de performance de energia: é a relação entre a energia produzida e a energia projetada.

- *Performance ratio*: este indicador serve para realizar a comparação entre sistemas de diferentes localizações, indicando a qualidade do sistema em operação.

2.2.3 INDICADORES DE *PERFORMANCE* – GERAÇÃO TERMOSOLAR

O uso da geração termosolar ainda é bastante incipiente no Brasil, sendo que os países que mais utilizam este tipo de geração são Estados Unidos e Espanha (SolarPACES (2019)). De acordo com Cocco; Serra (2015), somente a Espanha possui cerca de 50 plantas com capacidade de geração acima de 2300 MW.

A operação de uma planta de geração termosolar é bem mais complexa em relação à geração fotovoltaica, apesar de ambas utilizarem a mesma fonte primária de energia. De modo geral, a planta termosolar é composta por subsistemas conforme a FIGURA11.

FIGURA 11: COMPOSIÇÃO DE UMA PLANTA DE GERAÇÃO TERMOSOLAR



FONTE: (GAZOLI ET AL. (2018)).

O primeiro subsistema é o campo solar cuja função é a concentração da irradiação solar direta (em inglês, *Direct Normal Irradiance* – DNI) em um receptor. O segundo subsistema é o armazenamento térmico. Nele, o fluido é responsável por acumular energia térmica e transportá-la até o bloco de potência (terceiro subsistema)

ou tanques de armazenamento. O tanque de armazenamento é utilizado para prover energia de forma constante, mesmo com a intermitência da fonte primária de energia, o que torna este tipo de geração bastante atrativa e diferenciada em relação às demais renováveis (Retorta et al. (2018).

A performance de uma planta termosolar (considerando o campo solar) depende dos parâmetros listados abaixo (Heller (2017):

- Precisão do sistema de rastreamento dos concentradores;
- Transferência de calor com o máximo de eficiência para a turbina;
- Armazenamento eficiente da energia coletada;
- Refletância dos espelhos;
- Perdas térmicas nos fluidos dos concentradores;
- Limpeza dos espelhos;
- Precisão geométrica dos espelhos; e
- Redução do efeito de sombreamento entre os concentradores.

Os dados meteorológicos, em especial o DNI, são utilizados para a análise do desempenho da planta, para descobrir componentes do campo solar com mal funcionamento e perdas nos coletores por degradação.

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Conforme apresentado ao longo deste capítulo, uma plataforma de supervisão é importante em empresas com portfólio de geração diversificado, pois disponibiliza informações relevantes que são usadas como referência no planejamento das atividades de operação e manutenção das diversas plantas de geração. Foram apresentados também, os principais conceitos relativos aos indicadores de performance em fontes de energias renováveis.

3 REVISÃO DA LITERATURA E TECNOLÓGICA

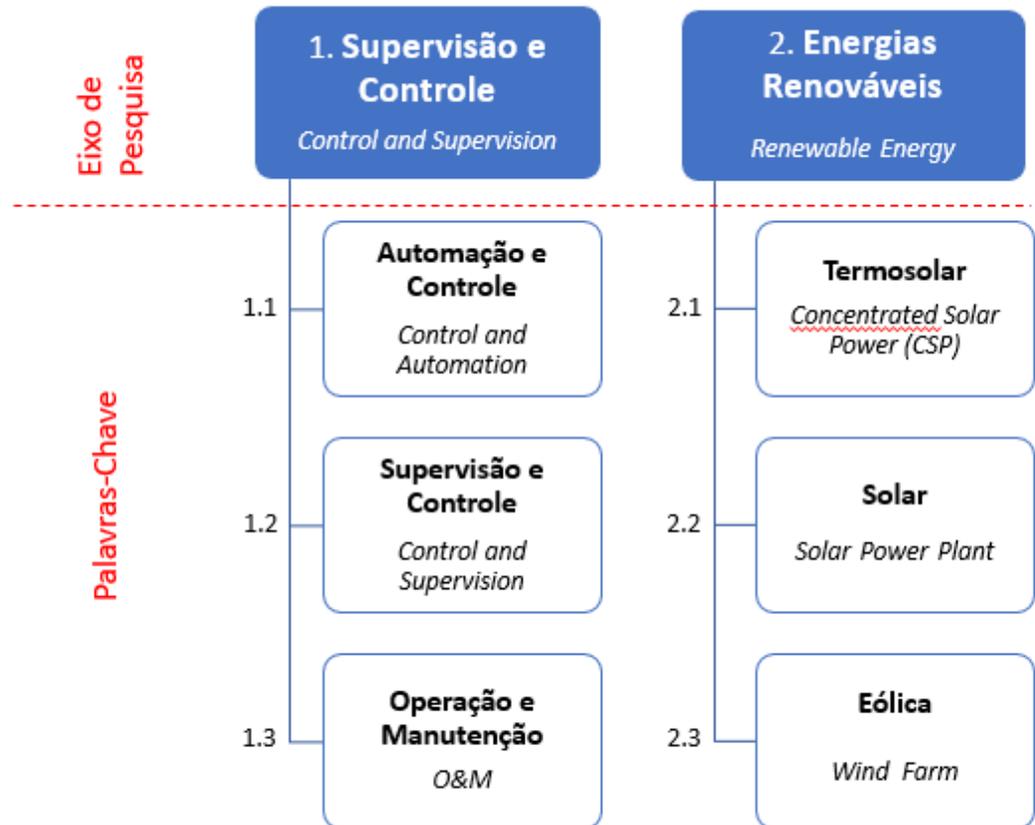
Este capítulo apresenta o processo de seleção do portfólio bibliográfico que tem por objetivo a análise das principais publicações e pesquisas no tema em estudo e o levantamento tecnológico cujo objetivo é fazer um comparativo de funcionalidades de alguns sistemas supervisórios aplicados em energias renováveis, tais como, o *Elipse Power*[®] da *Elipse Software*[®], o *Action.Net*[®] da *Spin Engenharia de Automação* e o *SAGE*[®] do CEPEL com a análise das principais funcionalidades aplicadas ao setor elétrico.

3.1 PROCESSO DE SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

O processo de seleção do portfólio bibliográfico estabelece a definição de eixos de pesquisa, a escolha de palavras-chave e as combinações entre elas. Esta metodologia de seleção permite buscar e filtrar as principais publicações científicas pertinentes ao assunto pesquisado. O primeiro eixo de pesquisa estabelecido com base no tema proposto para a dissertação foi “supervisão e controle” relacionado às plantas de geração de energias renováveis.

O segundo eixo estabelecido foi “energias renováveis”, pois o foco da dissertação é a proposição de uma arquitetura de uma plataforma de supervisão e controle para energias renováveis (eólica, solar e termosolar). De acordo com o tema da dissertação foram definidas as palavras chaves de acordo com a FIGURA 12.

FIGURA 12: SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO



FONTE: AUTOR (2019).

Para a pesquisa dos artigos foi usado o software *Publish or Perish*[®] (versão 6.45.6354.6959) desenvolvido pela *Harzing*[®]. O software permite realizar a pesquisa através da combinação de palavras-chave, estabelecer o período de consulta, além de apresentar métricas bibliométricas dos artigos obtidos no processo de busca. Através das combinações entre as palavras-chave foram obtidos os resultados de acordo com a TABELA 1.

TABELA 1: PESQUISA DE PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

| Pesquisas | | |
|------------------------------|----------------------------|------------------|
| Supervisão e Controle | Energias Renováveis | Resultado |
| Automação e Operação | Termosolar (CSP) | 85 |
| | Solar (Fotovoltaica) | 106 |
| | Eólica | 652 |
| Supervisão e Controle | Termosolar (CSP) | 48 |
| | Solar (Fotovoltaica) | 61 |
| | Eólica | 361 |
| Operação e Manutenção | Termosolar (CSP) | 49 |
| | Solar (Fotovoltaica) | 45 |
| | Eólica | 257 |
| Total | | 1.664 |

FONTE: AUTOR (2019).

O resultado das pesquisas realizadas (1.664 artigos) foi exportado para o software *Mendeley Desktop*[®] (versão 1.19.2) para aplicar os filtros de pesquisa e excluir duplicidades. Os critérios de seleção dos artigos foram: período (2008-2018), idioma (inglês) e base de dados (IEEE, ELSEVIER, SPRINGER e WEB OF SCIENCE). Após a leitura dos artigos, foram selecionados os mais relevantes e pertinentes ao trabalho proposto.

3.2 ANÁLISE CRÍTICA DE TRABALHOS TÉCNICOS-CIENTÍFICOS

A literatura científica possui vários trabalhos focados no uso de sistemas supervisórios em apenas um tipo de energia: eólica ou fotovoltaica ou termosolar. Poucos trabalhos mencionam aplicações com mais de uma fonte de energia renovável e o uso de sistemas supervisórios.

Lee *et al.* (2017) mencionam a importância dos sistemas híbridos de energia (compostos por mais de uma fonte de energia renovável). Ao longo do artigo, descrevem o desenvolvimento do sistema supervisório, a definição dos parâmetros e algoritmos implementados, com a adoção da norma IEC 61850 e do protocolo Modbus.

O sistema foi aplicado a uma planta experimental e segundo os autores, os testes realizados são compatíveis com os resultados calculados.

Gonzalez *et al.* (2017) descrevem os principais indicadores de performance para parques eólicos como apoio à tomada de decisões. O artigo menciona o crescimento do uso de energia eólica e que as empresas precisam otimizar a operação e manutenção. Também citam a falta de consenso no uso de indicadores pelas empresas. Eles identificam todos os *stakeholders* (operadores, investidor, fornecedor do aerogerador, seguradora, operadores do sistema, governo e/ou usuários finais) envolvidos na operação de um parque eólico e relacionam os indicadores, de acordo com as necessidades dos envolvidos no projeto. Os indicadores são separados por categorias: *performance*, confiabilidade (disponibilidade), manutenção, financeiro e segurança. Após a classificação, eles correlacionam os indicadores com as suas respectivas categorias. O trabalho serve como base, para uma avaliação global de desempenho de um parque eólico.

Os principais KPIs relacionados às usinas termosolares com sistemas de armazenamento térmico são apresentados no artigo de Cabeza *et al.* (2015). O artigo apresenta os KPIs estabelecidos pela “*European Solar Thermal Electricity Association*” – ESTELA. Os indicadores são divididos em: aumento de eficiência e redução de custos, otimização do uso de energia e otimização de recursos naturais.

No artigo de Nayak *et al.* (2015), é descrita a implementação de uma planta termosolar de 1 MW na Índia, conforme FIGURA 8. Os autores relatam que o projeto foi apoiado pelo governo indiano com os objetivos de conhecer a tecnologia, treinar mão de obra e fomentar o seu uso, devido ao grande potencial deste tipo de geração no país. O campo solar é mostrado nas FIGURAS 13 e 14.

FIGURA 13: VISTA AÉREA DA PLANTA TERMOSOLAR MUMBAI

FONTE: Nayak *et al.* (2015)

FIGURA 14: CAMPO SOLAR DA PLANTA TERMOSOLAR EM MUMBAI

FONTE: Nayak *et al.* (2015)

Eles abordam todas as etapas do projeto: a escolha dos equipamentos, o funcionamento e modos de operação previstos e os principais problemas relatados durante o comissionamento da planta: problemas operacionais, de equipamentos e do sistema. No final do artigo, é feita uma avaliação do desempenho da planta que, ficou bem abaixo do estimado. Os autores apresentam as eficiências estimadas e o realizado, apontando as possíveis causas dos baixos rendimentos.

3.3 SISTEMAS SUPERVISÓRIOS APLICADOS A ENERGIAS RENOVÁVEIS

- *Elipse Power*[®] – *Elipse Software*

O *Elipse Power*[®], desenvolvido pela Elipse Software, possui funcionalidades dedicadas às aplicações de energia. O software possui um modelador elétrico, baseado na norma IEC 61970 (*Common Information Model – CIM*). Com base no modelo elétrico estabelecido, o algoritmo do processador topológico identifica os níveis de tensão da subestação elétrica (com o uso de cores customizadas) e trechos que estão energizados. Possui integração com a norma IEC61850 (protocolo MMS), importando as variáveis dos relés, reduzindo o tempo de engenharia da aplicação. Possui integração com outros protocolos de energia: IEC 60870- 5-101/102/103/104 Master/Slave, DNP 3.0 Master/Slave, IEC61850, entre outros (“Elipse Power” (2018)).

Para aplicações de energia em indústrias, possui o módulo de alívio de cargas cuja função é desligar uma quantidade mínima de cargas, levando em conta a geração local, assegurando o suprimento para as cargas essenciais. O sistema permite a conectividade com sistemas das distribuidoras de energia, tais como, o GIS (Sistema de Informações Georreferenciadas) e OMS (Sistema de Gerenciamento de Interrupções de Fornecimento). Possui o módulo de *self-healing* cuja função é a recomposição de forma automática de um grupo de consumidores da concessionária após uma interrupção do fornecimento de energia elétrica.

Para energias renováveis possui uma modelagem padronizada de placas fotovoltaicas e aerogeradores. Permite o envio de dados para a ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) com dados padronizados pelo submódulo 2.7 (“Elipse Power” (2018)).

- *Action.Net* – Spin Engenharia de Automação

O *Action.Net* desenvolvido pela Spin Engenharia de Automação, é um supervisor para aplicações gerais (industrial e energia). Permite a criação de bibliotecas do usuário, através da metodologia *Lean Automation*. Possui integração com os principais protocolos de energia: IEC61850 (MMS), DNP 3.0 Master/Slave, IEC 60870-5-101-104, IEC61850, entre outros. O software disponibiliza o envio de dados ao ONS usando o submódulo 2.7. Em parceria com a empresa Sinapsis Inovação em

Energia, criou o *ActionWise* que integra os algoritmos de *self-healing*, corte seletivo de cargas, processador topológico e estimador de estados. Possui um módulo de OMS que se conecta em tempo real ao *Action.Net*, auxiliando os operadores das distribuidoras de energia. Para o uso em energias renováveis, permite que o usuário cadastre sua biblioteca e a instancie, reduzindo o tempo de engenharia (“Manual - Action.Net” (2018)).

- *SAGE* – CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica)

O *SAGE* (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) desenvolvido pelo CEPEL, é um supervisor com foco em sistemas elétricos de potência, o qual também é utilizado em aplicações de energias renováveis. Possui conectividade com todos os protocolos de energia: IEC 60870-5-101/102/103/104 Master/Slave, DNP 3.0 Master/Slave, ICCP, entre outros. Possui objetos modelos para a configuração de diagramas unifilares (disjuntor, seccionadoras, etc.). Para energia renovável, os objetos são customizados pelo cliente. Oferece integração com outro sistema, o REGER, para análise de oscilografia (“*SAGE* - Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia” (2018).

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O capítulo apresentou as principais características de alguns sistemas supervisórios disponíveis no mercado. Em geral, estes sistemas não são projetados para aplicações específicas, ou seja, há a necessidade de customização de telas e objetos. Todos apresentam conectividade com protocolos de comunicação usados em energia e a possibilidade de expansão.

Em relação à literatura técnica, boa parte dos trabalhos são focados ao monitoramento de parques eólicos. Não foi possível identificar trabalhos com foco em supervisórios e a integração de energias renováveis que incluíssem o uso de energia heliotérmica.

4 MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo aborda os materiais e métodos necessários para a especificação e implementação do protótipo da plataforma de supervisão. Os materiais são compostos pelos *softwares* utilizados para o desenvolvimento do protótipo. Na seção método é apresentada a pesquisa realizada em empresas de geração de energia, com o objetivo de compreender e estudar como é feito o gerenciamento e supervisão, bem como elencar os principais indicadores de desempenho usados. Também é apresentada a metodologia para a especificação e desenvolvimento do protótipo.

4.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento do protótipo foram utilizados os softwares *Elipse Power*[®] (versão 4.8.build 300) e o *Elipse Plant Manager*[®] (versão 3.06. build 180), ambos da *Elipse Software*[®]. Sendo que, o software *Elipse Plant Manager*[®] - módulo Portal usado para a criação de *dashboards*, fica alocado em um servidor da Elipse na nuvem.

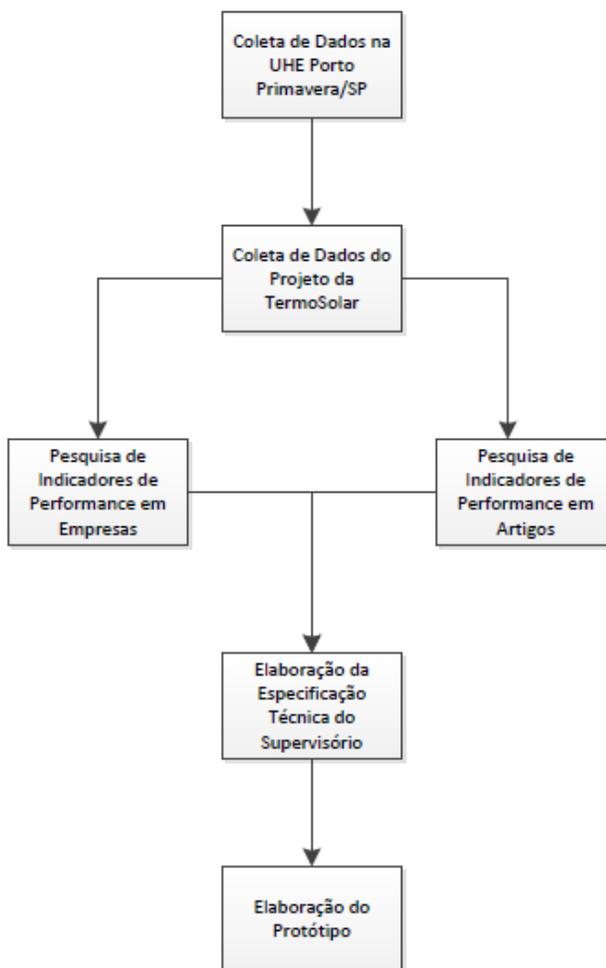
Os dados usados no protótipo relativos à geração eólica são de 2014 e foram obtidos através de um parque eólico da *Engie* na França (Engie (2013), bem como, os dados relativos à geração fotovoltaica foram cedidos pela CESP, os quais são relativos aos dados do parque Villa-Lobos no período de 2018. Com relação à geração termosolar, não foi localizada nenhuma base de dados real que pudesse ser usada, por isso, alguns valores foram simulados.

Para a geração dos gráficos de histograma e curva de potência no *Elipse Plant Manager*[®] foi utilizada a linguagem Python (versão para Windows – 3.6.7 rc 2) com as seguintes bibliotecas do Python: *Epmwebapi* (versão 1.01.010), *Pandas* (versão 0.23.4), *Matplotlib* (versão 3.0.2) e *Numpy* (versão 1.1.10). Os gráficos gerados foram exportados para o *Elipse Plant Manager Portal*

4.2 MÉTODO

A plataforma de supervisão proposta neste trabalho requer a adoção dos principais indicadores de performance das fontes de geração, bem como a aplicação das principais normas relativas ao assunto visando a otimização operacional do sistema. Como são tratados vários sistemas independentes (plantas fotovoltaicas, eólica, termosolar e sistema de armazenamento), o desenvolvimento da plataforma foi dividido em etapas conforme a FIGURA 15. As etapas do fluxograma são descritas nos tópicos seguintes.

FIGURA 15: FLUXOGRAMA GERAL DAS ETAPAS DO PROJETO



FONTE: AUTOR (2018).

4.2.1 COLETA DE DADOS DE AUTOMAÇÃO – UHE PORTO PRIMAVERA

A visita na Usina Porto Primavera foi realizada em junho de 2018, cujo objetivo consistiu no levantamento de dados das plantas existentes e investigação da expectativa em relação ao sistema de supervisão proposto.

O levantamento teve como foco, a estrutura de comunicação e automação entre as plantas fotovoltaicas e eólicas, com o supervisório da CESP. Foi possível averiguar que a estrutura atual permite a centralização dos dados, através do uso do protocolo Modbus. Com base nestas informações, foi possível elaborar a especificação técnica, prevista nos objetivos deste trabalho.

Os dados coletados foram:

- Rede de automação existente;
- Lista de dispositivos de campo (automação e infraestrutura de rede); e
- Coleta de documentação com as variáveis (e seus respectivos endereços de rede) que estão sendo supervisionadas atualmente.

4.2.2 COLETA DE DADOS DO PROJETO DA TERMOSOLAR

A segunda etapa envolveu a coleta de dados relativos ao projeto da planta termosolar, através de documentação fornecida pelo Lactec. Os dados levantados referem-se a topologia de automação que prevista, bem como, as principais variáveis supervisionadas em tempo real dos blocos que compõem a planta: campo solar, bloco de potência e sistema de armazenamento térmico.

4.2.3 PESQUISA DE INDICADORES DE *PERFORMANCE*

A pesquisa dos indicadores de performance foi dividida em duas etapas: a pesquisa de artigos e trabalhos científicos, conforme apresentado no Capítulo 3. A outra etapa foi baseada na pesquisa realizada em empresas que possuem portfólio de geração de energia diversificado, conforme o QUADRO 3. As visitas foram realizadas em empresas que permitiram o acesso ao centro de operações (COG).

QUADRO 3: PRINCIPAIS EMPRESAS DE GERAÇÃO (PORTFÓLIO)

| Empresa | Eólica | Hidráulica | Solar | Biomassa | Termosolar |
|------------------|---------------|-------------------|--------------|-----------------|-------------------|
| AES TIETÊ | sim | sim | sim | não | não |
| BROOKFIELD | sim | sim | sim | sim | não |
| CPFL RENOVÁVEIS | sim | sim | sim | sim | não |
| CESP | sim | sim | sim | não | sim |
| CEMIG | sim | sim | sim | não | não |
| CHESF | sim | sim | não | não | não |
| COPEL | sim | sim | não | não | não |
| CONTOUR GLOBAL | sim | sim | sim | não | sim ¹ |
| ENEL GREEN POWER | sim | sim | sim | sim | sim ² |
| ENGIE | sim | sim | sim | sim | não |

FONTE: AUTOR (2019).

Ao longo das visitas, os questionamentos realizados focaram a supervisão da geração e uso dos indicadores conforme QUADRO 4. Os critérios para a seleção dos questionamentos foram: averiguação da adoção dos sistemas propostos neste trabalho (SCADA e PIMS) pelas empresas e se há a compreensão da importância do uso de indicadores e normas nos sistemas implementados.

¹ Empreendimentos fora do Brasil.

² Empreendimentos fora do Brasil.

QUADRO 4: ITENS PESQUISADOS

| Pesquisa - Tópicos |
|--|
| Uso combinado de SCADA + PIMS |
| Padronização no uso de KPIs |
| Relevância no uso de KPIs para atividades de O&M |
| Adoção de normas de usabilidade, segurança e alarmes |

FONTE: AUTOR (2019).

A seguir são descritas as visitas realizadas e pesquisas por e-mail.

Brookfield Energia Renovável

A visita foi realizada em janeiro/2018, no Centro de Operações da Geração, localizado no Rio de Janeiro/RJ. As informações foram passadas pelo Sr. Osmar Ormianin Filho, gerente sênior do centro de operações.

O sistema supervisorio da Brookfield conta com aproximadamente, 80.000 variáveis de campo e atua com supervisão e controle. Em seu portfólio, a empresa conta com geração eólica, biomassa, fotovoltaica e hidráulica (usinas e pequenas centrais hidrelétricas). A empresa possui dois centros de operações em energia: um localizado no Canadá (matriz da empresa) e outro localizado no Rio de Janeiro. Os dois centros não trocam dados entre si e não há um padrão adotado pela empresa.

Os indicadores de performance são importantes para a tomada de decisões nas etapas de pré e pós operação do sistema. Como a empresa tem comprado muitos ativos, a preocupação em tratar estas informações é recente. Atualmente os indicadores são calculados usando os softwares *Excel*[®] da *Microsoft*[®] e *Matlab*[®] da *MathWorks*[®]. Os dados são fornecidos pelo sistema supervisorio.

Segundo o Sr. Osmar, este mesmo procedimento é adotado no Canadá. Há a intenção da empresa adotar a integração do sistema supervisorio com um software, com função de historiador e que permita o uso de técnicas de inteligência artificial. A ausência de uma plataforma (SCADA + PIMS) para o cálculo e exibição dos KPIs dificulta a gestão da manutenção das plantas, bem como, a administração de contratos com os fornecedores de aerogeradores dos parques eólicos.

A empresa já adota o uso de normas de usabilidade e segurança. Ainda não foi implementada uma filosofia de gestão de alarmes (mas já consta no planejamento da empresa).

Copel Geração

A visita foi realizada em fevereiro de 2018, no Centro de Operações de Geração e Transmissão (COGT) em Curitiba. As informações foram passadas pelo Sr. Claudio Hermeling, analista de automação. A Copel possui sistemas supervisórios de vários fornecedores. Além das usinas e pequenas centrais hidrelétricas, a empresa possui em seu portfólio: parques eólicos, biomassa e térmica a gás.

FIGURA 16: PARQUE DE GERAÇÃO DA COPEL



FONTE: COPEL (2019).

Como não há uma centralização dos dados em um único supervisório, não há atualmente, uma gestão de indicadores de performance. Os supervisórios existentes

foram implementados por empresas diferentes, portanto, não há um padrão nas informações que são disponibilizadas, dificultando ações de manutenção e até mesmo, a operação do sistema.

Por não ter padronização no SCADA, não foi implementado um sistema PIMS. O planejamento da empresa é rever todo o centro de operações com a adoção de um único sistema. Não há uma padronização no uso de indicadores de performance. Também não há uso de normas que visem a otimização de alarmes e usabilidade, entretanto já há estudo para a adoção de normas de segurança do sistema de supervisão.

EBL España Services

A pesquisa sobre o uso de indicadores foi realizada por e-mail, com o Sr. Isaac Hernández. Ele relatou que os principais parâmetros de uma usina termosolar são: temperaturas (variáveis), DNI, disponibilidade dos equipamentos, degradação e grau de limpeza. A maior dificuldade relatada na operação de uma usina termosolar é a variação meteorológica. Devido a este fator, a organização do trabalho das equipes precisa ser adaptada constantemente para que não ocorra ociosidade. A empresa já utiliza um software de supervisão (não mencionou qual é utilizado) e faz comparações com o modelo matemático, para avaliar a eficiência global da planta.

Hochschule Kaiserslautern - *University of Applied Sciences*

Da mesma forma que a EBL, a pesquisa sobre os indicadores foi realizada por e-mail, com o Sr. Matthias Hampel. Para ele, um indicador de desempenho importante em uma termosolar é quanta energia gerada, pode substituir o uso de combustível fóssil. As principais dificuldades relatadas neste tipo de geração é que, além de monitorar as temperaturas (entrada e saída), fluxo de massa, é necessário monitorar a integração com o sistema de aquecimento. Outra dificuldade apontada é relacionada às perdas de energia ao longo do processo.

Ele estima que os custos de operação e manutenção deste tipo de sistema sejam baixos, em torno de 3%. Devido a isso, ele acredita que uma plataforma de supervisão ajude a detectar problemas, mas não a reduzir custos.

4.2.4 ELABORAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO SUPERVISÓRIO

Para a elaboração da especificação técnica do sistema supervisório foram considerados os dados coletados nas etapas anteriores, conforme descrito no fluxograma. Os assuntos abordados foram:

- Arquitetura prevista;
- Sugestão de hardware;
- Lista de software;
- Descrição das plantas existentes;
- Descrição das variáveis coletadas atualmente;
- Descrição das variáveis da planta termosolar;
- Telas sugeridas para o sistema e seus indicadores de performance;
- Banco de dados;
- Gerenciamento de alarmes; e
- Segurança do sistema supervisório e gerenciamento de usuários.

A etapa seguinte relativa a elaboração do protótipo é descrita no Capítulo 5 (seção 5.2).

5 CASO DE APLICAÇÃO

O objetivo geral do presente trabalho é a proposição de uma plataforma de supervisão para o Complexo de Energias Renováveis da UHE Porto Primavera conforme mencionado no Capítulo 1. Para elencar os principais indicadores de *performance* e informações relevantes de geração que foram pesquisados foi elaborado um protótipo que usou como referência principal os dados do projeto da termosolar.

5.1 UHE PORTO PRIMAVERA - DADOS

A UHE Porto Primavera fica localizada em Rosana, interior de São Paulo. Além da geração hidrelétrica, ela possui um “Complexo de Energias Renováveis” composto por geração eólica, fotovoltaica e a geração termosolar. A TABELA 2 mostra cada tipo de geração e sua respectiva capacidade de geração (potência).

TABELA 2: TIPOS DE GERAÇÃO DA UHE PORTO PRIMAVERA

| Tipo de Geração | Potência |
|---|-----------------|
| Hidrelétrica | 1.540 MW |
| Fotovoltaica (Monocristalina Rígida) | 250 kW pico |
| Fotovoltaica (Flutuante) | 25 kW pico |
| Fotovoltaica (Amorfa Flexível) | 250 kW pico |
| Fotovoltaica (Policristalina sem tracker) | 50 kW pico |
| Fotovoltaica (Policristalina com tracker) | 50 kW pico |
| Eólica | 200 kW |
| Termosolar | 0,5 MW |

FONTE: AUTOR (2019).

A FIGURA 17 mostra as plantas fotovoltaica e eólica da usina, as quais já são supervisionadas pela CESP em São Paulo.

FIGURA 17: PLANTAS FOTOVOLTAICAS E EÓLICA (UHE PORTO PRIMAVERA)



FONTE: AUTOR (2018).

As plantas fotovoltaicas flutuantes, conforme FIGURA 18, estão alocadas perto das estações solarimétrica e anemométrica e da mesma forma que as demais, já possuem supervisão.

FIGURA 18: PLANTAS FOTOVOLTAICAS (UHE PORTO PRIMAVERA)



FONTE: AUTOR (2018).

A FIGURA 19 mostra o local onde será implementada uma planta fotovoltaica com sistema de armazenamento, os quais também serão supervisionados pelo presente trabalho.

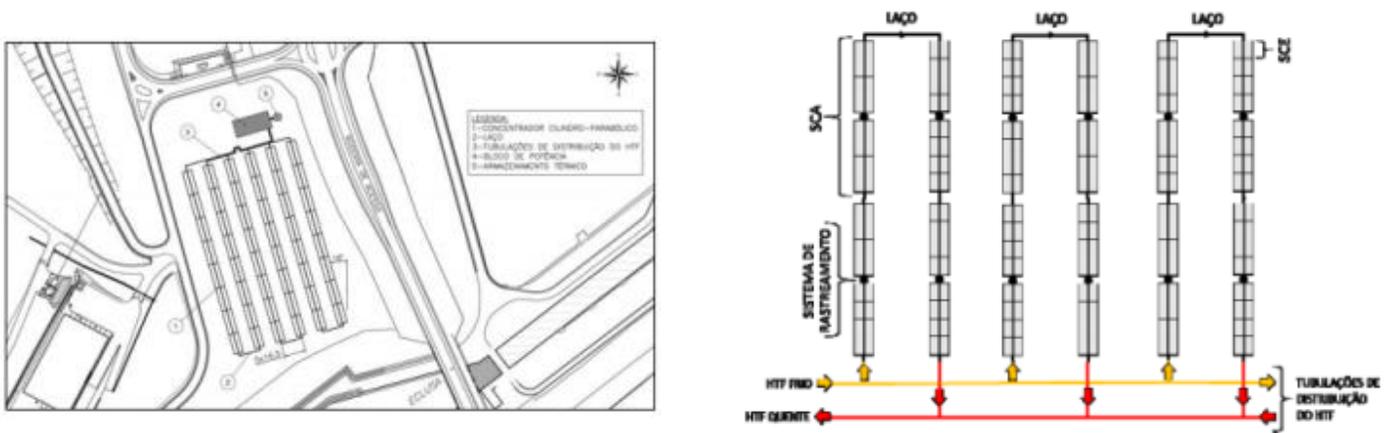
FIGURA 19: PLANTA FOTOVOLTAICA E SISTEMA DE ARMAZENAMENTO



FONTE: AUTOR (2018).

A planta piloto termosolar é constituída por concentradores do tipo “Cilindro Parabólicos” com potência nominal prevista de 500 kW e conecta-se ao barramento de serviços auxiliares da usina. O modelo do concentrador usado é o *SkyTroughDSP*[®] fabricado pela empresa *SkyFuel*[®] formando três laços conforme a FIGURA 20. Para permitir que a planta opere mesmo na ausência de sol, foi adicionado um sistema de armazenamento térmico (em inglês, *Thermal Energy Storage* – TES) (Gazoli et al. (2018)).

FIGURA 20: DISTRIBUIÇÃO DOS COLETORES CILINDRO PARABÓLICOS



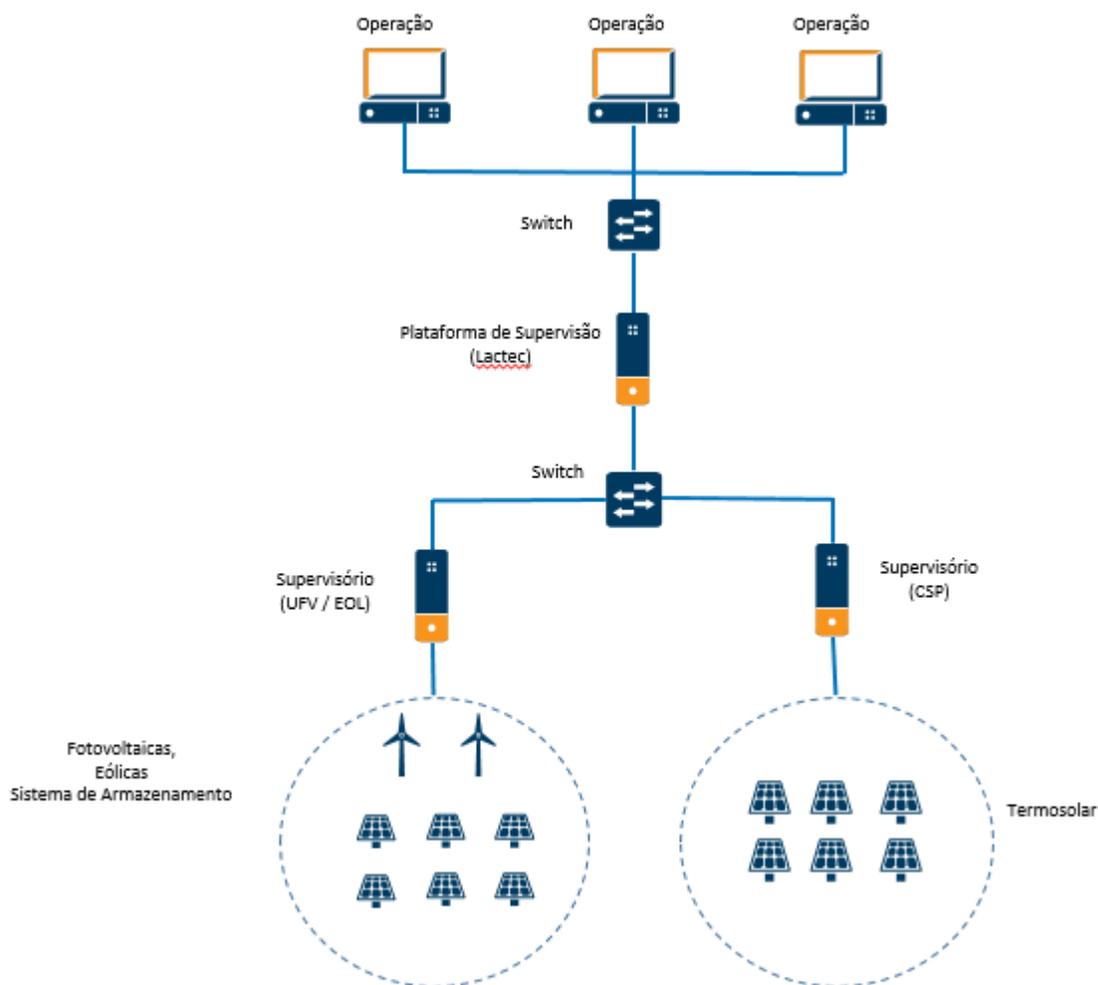
FORTE: GAZOLI ET AL. (2018).

A implementação da plataforma de supervisão na UHE Porto Primavera tem por objetivo a centralização das informações de todas as plantas do Complexo de Energias Renováveis, conforme a FIGURA 21. De acordo com a topologia:

- Planta Termosolar: composta pelo campo solar, bloco de potência e sistema de armazenamento térmico. Os controladores lógico programáveis trocam dados em tempo real com o “Supervisório (CSP)” que por sua vez, envia dados utilizando o protocolo de comunicação IEC-60870-5-104 ao supervisório central.
- Plantas fotovoltaicas, eólica e sistema de armazenamento: os dados de todas as plantas e o sistema de armazenamento são centralizados e disponibilizados ao “Supervisório (UFV / EOL)” que também utiliza o protocolo de comunicação IEC-60870-5-104 para a troca de dados com o supervisório central.
- Plataforma de Supervisão (Lactec): consiste no sistema supervisório central, ou seja, a plataforma de supervisão de energias renováveis proposta neste trabalho. Responsável pela centralização, armazenamento e tratamento dos dados para prover a supervisão global do sistema e análise através de indicadores de *performance*.

- Operação: através da intranet ou internet, o supervisor permite o acesso dos operadores do sistema, permitindo a supervisão global das plantas.

FIGURA 21: TOPOLOGIA DO COMPLEXO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS



FONTE: AUTOR (2019).

5.2 PROTÓTIPO DA PLATAFORMA DE SUPERVISÃO

O objetivo de elaborar um protótipo da plataforma de energias renováveis é elencar as principais informações e indicadores de performance. Para o protótipo foram usados dois software: *Elipse Power*[®] (versão 4.8.build 300) e o *Elipse Plant Manager*[®] (versão 3.06. build 180), ambos da *Elipse Software*[®]. Também foi utilizada a linguagem

Python para gerar scripts de cálculos relacionados aos parques eólicos. O uso combinado dos dois softwares se justifica para prover o máximo de informações possíveis aos operadores da usina, conforme FIGURA 22. O nível operacional é representado pelo sistema supervisorio no qual é possível realizar a supervisão e controle das plantas em tempo real. O nível tático é representado pelo sistema PIMS, permitindo a análise de dados armazenados em históricos. Com a análise disponibilizada neste nível é possível planejar as atividades da operação e manutenção, bem como, identificar áreas de melhoria nas plantas.



FONTE: AUTOR (2019).

A primeira etapa para a construção do protótipo consistiu no levantamento das principais variáveis de cada tipo de geração, conforme QUADRO 5. Como a planta termosolar não está em operação devido ao cronograma do projeto, os valores do protótipo foram simulados ou estabelecidos de acordo com o equipamento ou tipo de processo.

QUADRO 5: PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE CADA TIPO DE GERAÇÃO

| Tipo | Descrição | Variável | Unidade |
|------------------------------------|-----------------------|--|------------------|
| Geral | Sistema | Data | Data |
| | | Hora | Hora |
| | | Usuário | texto |
| | Meteorológicos | Temperatura Ambiente | °C |
| | | Velocidade do Vento | m/s |
| | | Direção do Vento | ° graus |
| | | Irradiância (DNI) | W/m ² |
| Eólica | Aerogerador | Potência | W |
| | | Velocidade | m/s |
| Fotovoltaica | Geral | Temperatura | °C |
| | | Potência do Arranjo Fotovoltaico | kW |
| | | Potência Ativa | kW |
| | | Potência Reativa | kW |
| Termosolar | Campo Solar | Ângulo de rastreamento | ° graus |
| | | Temperatura Fluido (HTF) | °C |
| | | Status | texto |
| | | Pressão de Entrada | bar |
| | | Pressão de Saída | bar |
| | | Vazão Fluido (HTF) | Kg/s |
| | Armazenamento Térmico | Temperatura Óleo | °C |
| | | Pressão Óleo | bar |
| | | Vazão Óleo | Kg/s |
| | | Calor Específico Óleo | kJ/kg.K |
| | | Temperatura Água e Vapor | °C |
| | | Pressão Água e Vapor | bar |
| | | Vazão Água e Vapor | ton/h |
| | | Entalpia Água e Vapor | kJ/kg |
| | Bloco de Potência | Consumo Vapor (Turbina) | ton/h |
| | | Eficiência Bruta (Turbina) | % |
| | | Eficiência Líquida (Turbina) | % |
| | | Potência Térmica Mínima (Turbina) | kW térmico |
| | | Potência Térmica Máxima (Turbina) | kW térmico |
| | | Potência Térmica (Torre de Resfriamento) | kW térmico |
| Temperatura de Saída (Condensador) | | °C | |
| Rotação (Turbina) | | rpm | |

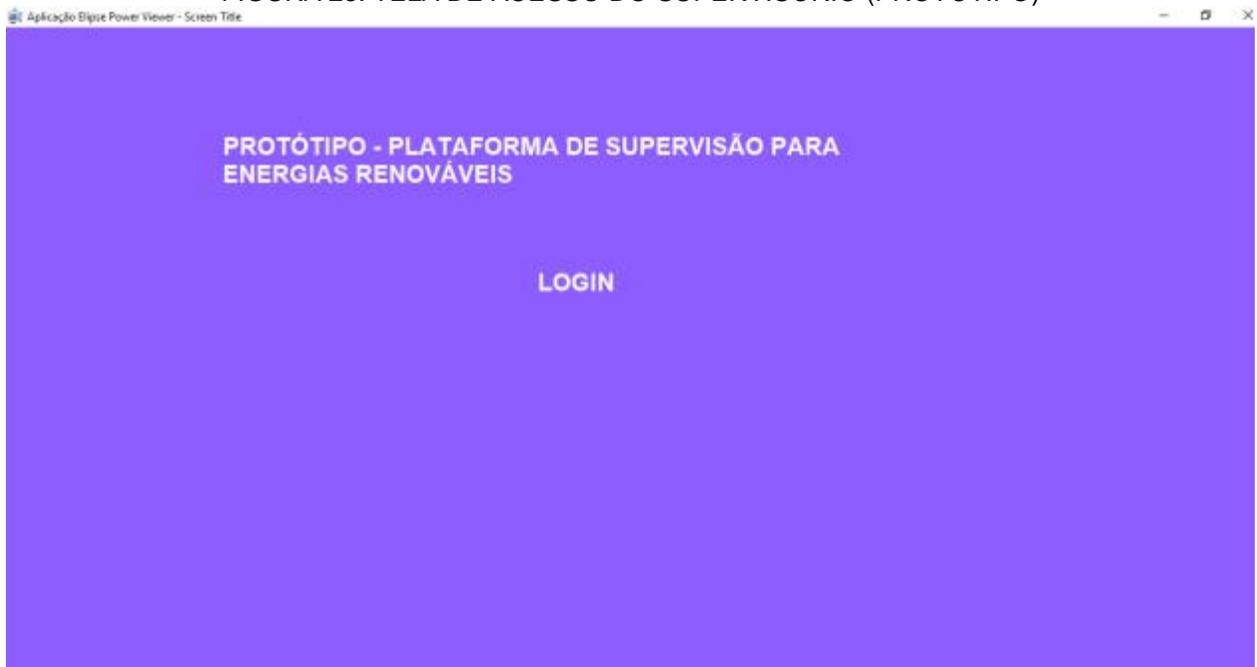
FONTE: AUTOR (2019).

5.2.1 PROTÓTIPO – SISTEMA SUPERVISÓRIO (NÍVEL OPERACIONAL)

A segunda etapa para a construção do protótipo foi o desenvolvimento de uma aplicação exemplo no software *Elipse Power*®. Por ser um sistema SCADA, ele permite a supervisão e controle das plantas, sendo que através do supervisório os dados são armazenados para análise posterior do sistema PIMS, neste caso o EPM. As telas criadas no supervisório foram: Nível 1: Tela de Acesso; Nível 2: Tela Geral do Sistema; e Nível 3: Telas específicas por tipo de geração.

A tela de acesso permite que o usuário cadastrado faça o *login* na aplicação, conforme FIGURA 23. Em caso de falha, o software permitirá mais duas tentativas. Além disso, caso o usuário realize a autenticação, mas fique inativo por mais de cinco minutos, a tela será encerrada como forma de segurança. Se a autenticação do usuário for confirmada, ele é direcionado para a tela geral do sistema. Todos os comandos realizados pelo usuário ficam registrados em banco de dados (para fins de auditoria).

FIGURA 23: TELA DE ACESSO DO SUPERVISÓRIO (PROTÓTIPO)



FONTE: AUTOR (2019).

Na tela geral conforme FIGURA 24 são mostradas informações de todas as plantas de geração de energia renovável. Para cada planta é descrito o tipo de geração,

a potência e a disponibilidade em tempo real. Na parte superior da tela, o menu de navegação, adotado como padrão nas demais telas do sistema.

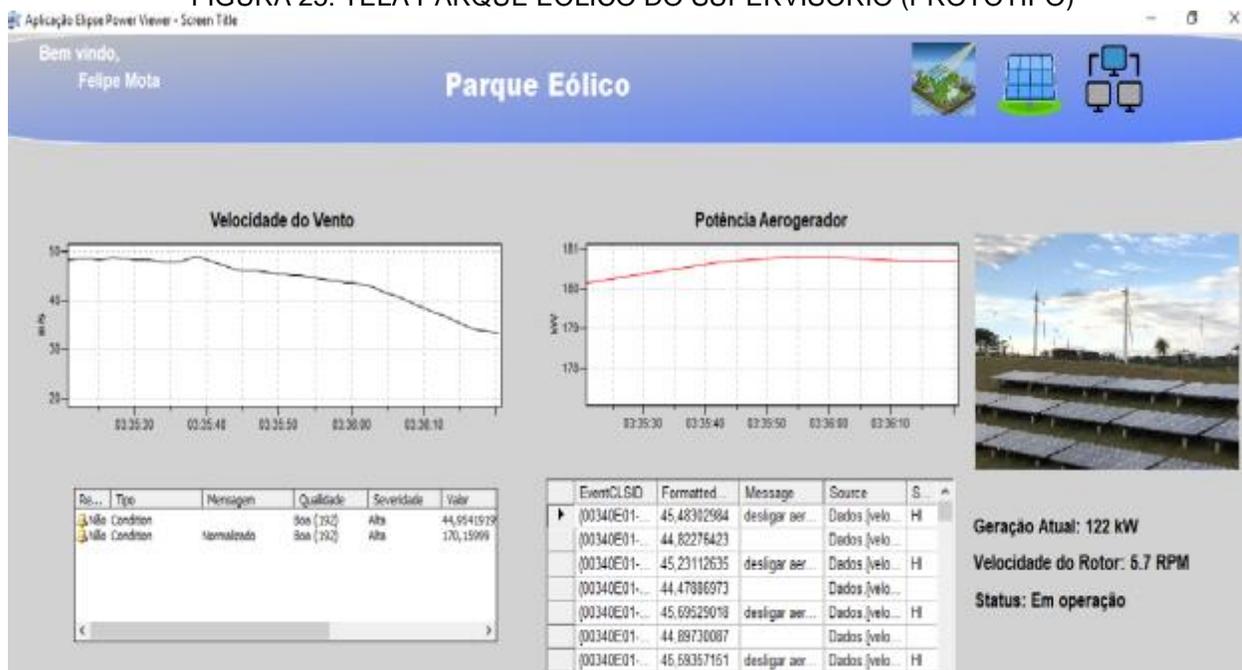
FIGURA 24: TELA GERAL DO SUPERVISÓRIO (PROTÓTIPO)



FONTE: AUTOR (2019).

Ao selecionar a opção de tela do parque eólico (FIGURA 25), o operador poderá ver em tempo real dados como velocidade do vento (m/s) e a potência do aerogerador (kW). A foto (ou imagem de vigilância com câmera) do parque é mostrada do lado direito da tela. Os alarmes da aplicação são mostrados para que o operador possa acionar a manutenção e tomar as ações necessárias para a normalização do sistema. Todos os alarmes da aplicação são gravados em banco de dados e através de seu histórico é possível analisar se a configuração deles está adequada, ou seja, se foram criados de forma coerente para evitar “avalanches de alarmes” (conforme recomendações de normas existentes). Na tela também é mostrada uma tabela com a relação dos alarmes ou dados das variáveis, conforme seleção do operador.

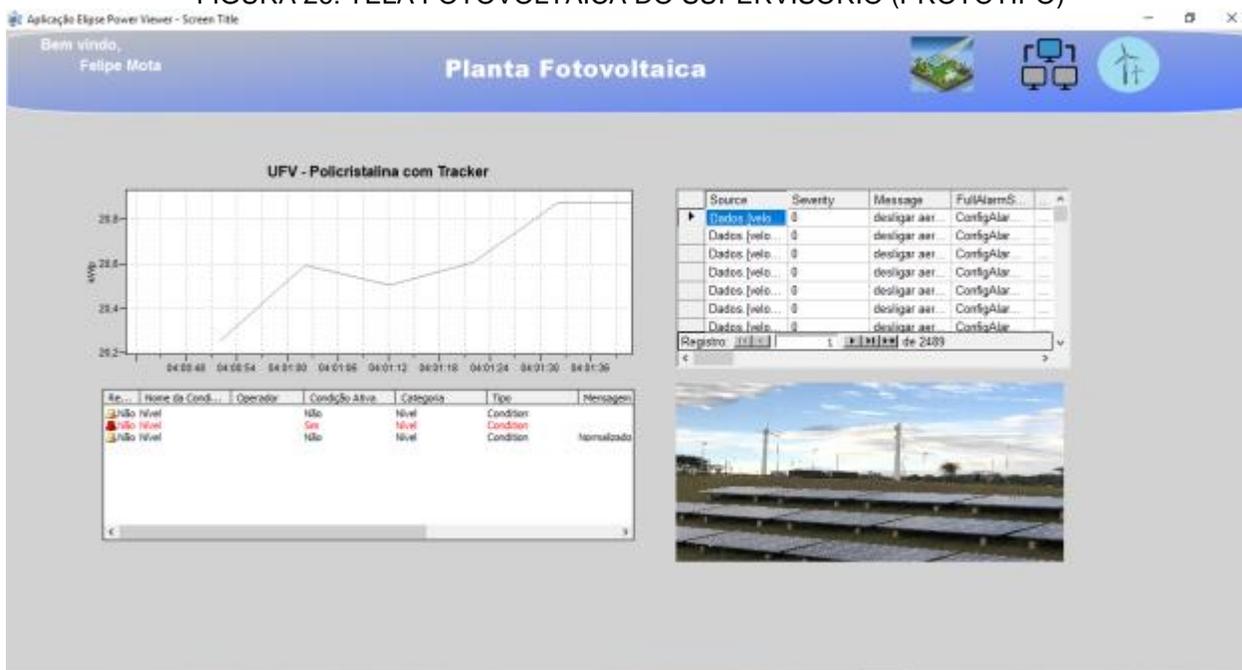
FIGURA 25: TELA PARQUE EÓLICO DO SUPERVISÓRIO (PROTÓTIPO)



FONTE: AUTOR (2019).

A tela da fotovoltaica (FIGURA 26) mostra o menu superior (padronizado para as telas de operação) e disponibiliza dados da potência da planta fotovoltaica (em kW pico), os alarmes da aplicação e a tabela de variáveis.

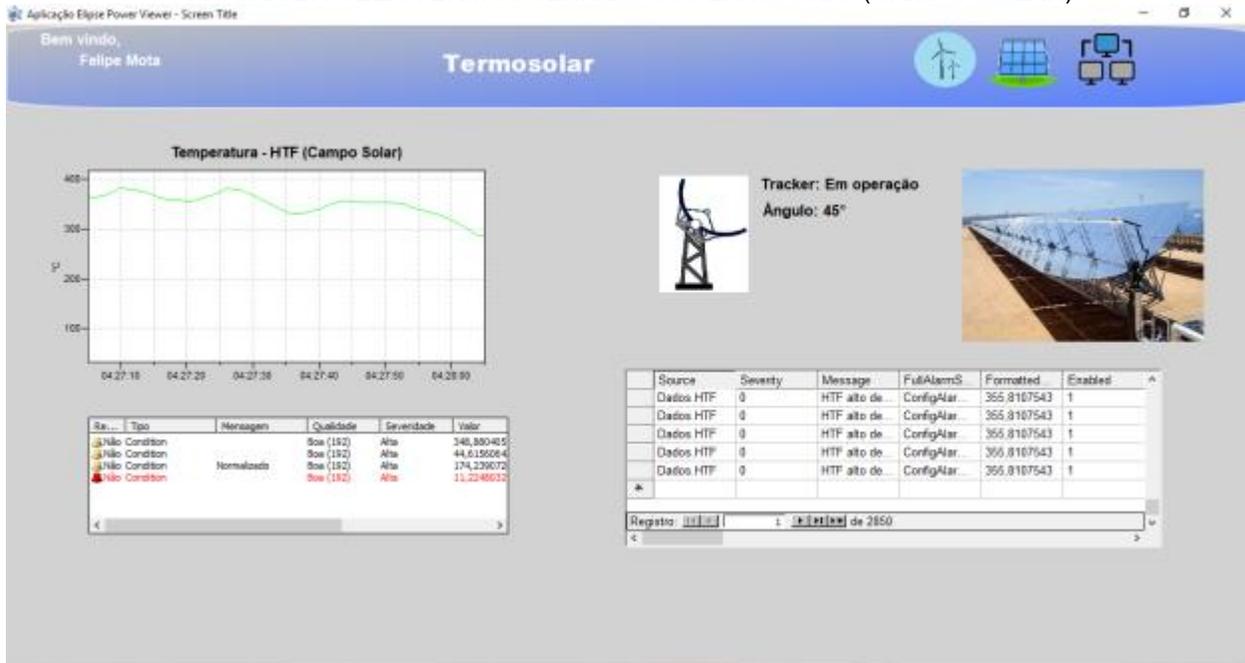
FIGURA 26: TELA FOTOVOLTAICA DO SUPERVISÓRIO (PROTÓTIPO)



FONTE: AUTOR (2019).

A tela da termosolar (FIGURA 27) disponibiliza dados do campo solar, o gráfico com a temperatura do HTF (quente), dados relativos ao concentrador (status e ângulo de inclinação), os alarmes ativos na aplicação e a tabela com dados de alarmes e históricos.

FIGURA 27: TELA TERMOSOLAR DO SUPERVISÓRIO (CAMPO SOLAR)



FONTE: AUTOR (2019).

5.2.2 PROTÓTIPO – GERENCIAMENTO DAS PLANTAS (NÍVEL TÁTICO)

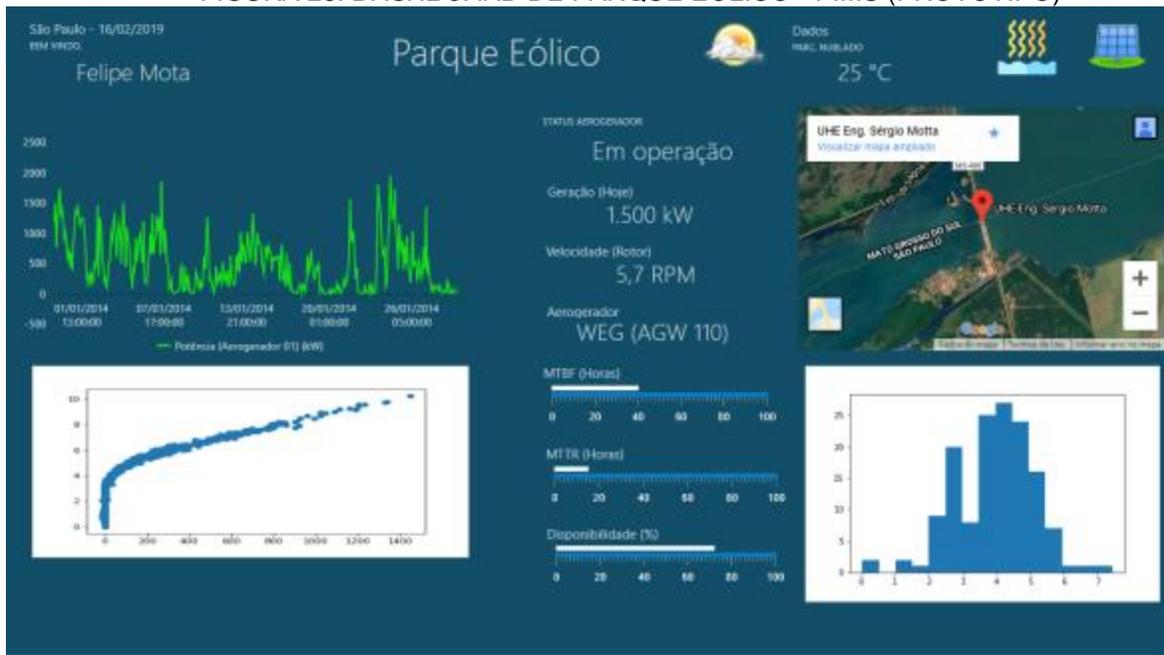
Para o desenvolvimento das telas de *performance* no EPM foram considerados os principais indicadores de cada fonte de geração. Como o EPM não permite controle, pode ser disponibilizado para um grupo maior de usuários com a função de compartilhar informações das plantas. A principal vantagem de seu uso em conjunto com o sistema supervisório é que ele permite funções de análise através da implementação de scripts, por exemplo, gerar a curva de potência do aerogerador, implementar técnicas de inteligência artificial e cálculos mais complexos.

É importante ressaltar que as telas apresentadas no tópico anterior permitem o controle e supervisão em tempo real. As telas mostradas a seguir disponibilizam dados em tempo real e histórico (com o intuito de análise) e não permitem controle.

O *dashboard* gerado para um parque eólico é visto na FIGURA 28. Nele, as informações relativas a: localidade, data, operador, título com o nome do parque selecionado, informações de clima (temperatura) e botões de acesso aos demais *dashboards*, são disponibilizadas na parte superior da tela. A parte central da tela mostra informações relativas a um aerogerador selecionado pelo operador: gráfico

mensal da potência, curva de potência (para averiguar se o comportamento está de acordo com o previsto pelo fabricante), status de operação (operação, manutenção ou indisponível), geração diária, velocidade do rotor, modelo do aerogerador (de acordo com o modelo carregado, é feita a verificação da curva de potência), a localização do parque selecionado é mostrada no *Google Maps*[®] e o histograma com a distribuição das velocidades do vento. Além disso, são mostrados os indicadores de operação e manutenção (descritos no capítulo 2): MTTR, MTBF e Disponibilidade. Com essas informações é possível analisar se o desempenho do parque ou aerogerador está dentro do previsto.

FIGURA 28: DASHBOARD DE PARQUE EÓLICO - PIMS (PROTÓTIPO)



FONTE: AUTOR (2019).

O *dashboard* relativo a uma planta fotovoltaica é mostrado na FIGURA 29. A parte superior da tela contém informações relativas à localidade, operador, data, informação da planta selecionada, temperatura ambiente e botões de navegação. Na parte central da tela são mostradas informações gerais da planta fotovoltaica: gráfico de geração de energia mensal, status da geração diária, tipo de planta (policristalina, flutuante, *tracker* fixo, rígida), dados dos inversores, velocidade do vento, irradiância

(DNI), indicador de redução de emissão de CO₂ em função do uso de fonte renovável, imagem da planta selecionada e a localização da planta no *Google Maps*[®].

FIGURA 29: DASHBOARD PARA PLANTA FOTOVOLTAICA – PIMS (PROTÓTIPO)



FONTE: AUTOR (2019).

O *dashboard* relativo à planta termosolar é mostrado na FIGURA 30. Os indicadores foram divididos em: campo solar (informações do sistema de rastreamento, DNI, temperaturas do fluido térmico, eficiência estimada e disponibilidade dos concentradores do campo solar), armazenamento térmico (potência térmica e disponibilidade dos equipamentos) e, por fim, o bloco de potência (potência da turbina, disponibilidade dos equipamentos e o número de horas trabalhadas).

FIGURA 30: DASHBOARD TERMOSSOLAR – PIMS (PROTÓTIPO)



FONTE: AUTOR (2019).

A plataforma proposta no trabalho cumpre os objetivos estabelecidos de supervisão das plantas de energias renováveis. Embora a elaboração do protótipo tenha levado em conta apenas os principais indicadores e não tenham sido usados dados reais de geração, o protótipo mostra a relevância da plataforma como suporte ao planejamento das atividades das equipes de O&M.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A diversificação do portfólio de geração de energias renováveis já é uma realidade em boa parte das empresas, sendo que através da chamada estratégia da ANEEL, estimulará a inserção da geração termosolar na matriz energética brasileira.

Se por um lado, o uso de diferentes tipos de energias renováveis traz benefícios ao meio ambiente, por outro gera impactos no planejamento das atividades de O&M. Durante o levantamento de dados na UHE Porto Primavera foi possível constatar alguns desafios, tais como a integração entre equipamentos e protocolos diversificados, grande volume de dados e o desafio de conhecer as peculiaridades de cada tipo de geração.

Para a elaboração da “Especificação Técnica” foi realizada uma pesquisa em empresas de geração na qual foram constatadas lacunas nos sistemas de supervisão existentes, destacando-se que não há uma padronização em relação ao uso de indicadores e os sistemas não possuem objetos e bibliotecas pré-definidos que atendam a todas as fontes de energias renováveis.

Ainda na Especificação Técnica elaborada foi sugerida a adoção de um padrão de interface para o sistema integrado de supervisão, com o intuito de facilitar a manutenção e desenvolvimento do sistema proposto, bem como otimizar a segurança operacional do sistema. Todas as funções analíticas do sistema supervisório foram analisadas como por exemplo a padronização de telas com o uso da metodologia de alta performance, gerenciamento de alarmes e normas de segurança. Foram sugeridos os principais indicadores de performance para cada tipo de geração de energia renovável tais como a curva de potência de aerogeradores, geração da planta termosolar, entre outros. A validação de todo o trabalho de pesquisa da dissertação ocorreu através da elaboração de um protótipo, composto pelos sistemas SCADA e PIMS.

Com a validação através do protótipo e a especificação técnica elaborada, o objetivo geral proposto em desenvolver a arquitetura da plataforma de supervisão para a integração de fontes de energia renováveis foi alcançado. Com isso, a implementação de um sistema com funções e indicadores pré-estabelecidos, conforme a plataforma

desenhada no presente trabalho, pode auxiliar a equipe de O&M no planejamento das atividades de pré e pós operação, sem contar que é essencial na gestão de alguns contratos. Os benefícios deste tipo de gestão podem ser convertidos em lucro, a longo prazo.

A sugestão para trabalhos futuros seria a inclusão de recursos de inteligência artificial no sistema PIMS para otimizar a supervisão através da integração das fontes de energias renováveis, proporcionando funcionalidades avançadas, tais como, indicação de manutenção preditiva de equipamentos, reconhecimento de falhas na operação de equipamentos, avaliação de desempenho sistêmico e diagnóstico de sistemas com baixa eficiência. Estes recursos não foram aplicados neste projeto devido a limitação de tempo do trabalho de mestrado e por não ter um período mínimo de dados das plantas para análise.

REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA, A. B. DE E. E.-. Números ABEEólica - Janeiro/2019. .
- ANEEL. Banco de Informações da Geração. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil>>. Acesso em: 11/5/2017.
- Aspectos Técnicos da Energia Eólica. Disponível em: <http://ead2.ctgas.com.br/a_rquivos/aperfeicoamento/AspectosTecnicosEnergiaEolica/Apostila_Aspectos_Tecnicos_Daniel_Faro_v1.pdf>. Acesso em: 6/4/2019.
- BRANQUINHO, M. A.; SEIDL, J.; MORAES, L. C.; BRANQUINHO, T. B.; JÚNIOR, J. DE A. **Segurança de Automação Industrial e SCADA**. 1^a edição ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- CABEZA, L. F.; GALINDO, E.; PRIETO, C.; BARRENECHE, C. Key performance indicators in thermal energy storage : Survey and assessment. **Renewable Energy**, v. 83, p. 820–827, 2015.
- COCCO, D.; SERRA, F. Performance comparison of two-tank direct and thermocline thermal energy storage systems for 1 MWe class concentrating solar power plants. **Energy**, v. 81, p. 526–536, 2015.
- EEMUA. EEMUA Publication 191 Alarm systems - a guide to design, management and procurement. Disponível em: <<https://www.eemua.org/Products/Publications/Print/EEMUA-Publication-191.aspx>>. Acesso em: 7/4/2019.
- Elipse Power. Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/produto/elipse-power/>>. Acesso em: 7/4/2019.
- ENGIE. Bienvenue sur le premier parc éolien Open Data de ENGIE. Disponível em: <<https://opendata-renewables.engie.com/pages/home/?flg=fr>>. Acesso em: 7/4/2019.
- GAZOLI, J. R.; JUNIOR, N. P.; SOUZ, S. P.; PASCHOALOTTO, L. A. C.; SOUZA, O. J. DIMENSIONAMENTO BÁSICO DO CAMPO SOLAR DE CONCENTRADORES CILINDRO-PARABÓLICO DA USINA TERMOSOLAR PORTO PRIMAVERA. VII

Congresso Brasileiro de Energia Solar. **Anais...** , 2018. Gramado.

GAZOLI, J. R.; JÚNIOR, N. P.; SOUZA, S. P.; PASCHOALOTTO, L. A. C.; SOUA, O. J. DE S. ESTUDO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS VISANDO NACIONALIZAÇÃO E METODOLOGIA PARA ALOCAÇÃO DE PLANTAS TERMOSSOLARES CONCENTRADAS NO BRASIL. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. **Anais...** , 2017. Gramado.

GOETZ, H. F. Metodologia para Desenvolvimento de IHMs de Alta Performance Visual. Disponível em: <<http://kb.elipse.com.br/pt-br/questions/5289/Metodologia+para+Desenvolvimento+de+IHMs+de+Alta+Performanc+e+Visual.>>. Acesso em: 11/5/2017.

GONZALEZ, E.; NANOS, E.; SEYR, H.; et al. Key Performance Indicators for Wind Farm Operation and Maintenance. 14th Deep Sea Offshore Wind R&D Conference, EERA DeepWind'2017. **Anais...** , 2017.

HELLER, P. Introduction to CSP systems and performance. **The Performance of Concentrated Solar Power (CSP) Systems**. p.1–29, 2017. Elsevier.

HOLLIFIELD, B. Understanding and Applying the ANSI/ISA 18.2 Alarm Management Standard. .

IRENA. Insights on Renewables. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2018/Jun/Insights-on-planning-for-power-system-regulators>>. Acesso em: 7/4/2019.

LEE, J.; LEE, S.; CHO, H.; HAM, K. S.; HONG, J. Supervisory Control and Data Acquisition for Standalone Hybrid Power Generation Systems. **Sustainable Computing**, 2017.

Manual - Action.Net. Disponível em: <<https://spinengenharia.com.br/>>. Acesso em: 7/4/2019.

NAYAK, J. K.; KEDARE, S. B.; BANERJEE, R.; et al. A 1 MW National Solar Thermal Research cum Demonstration Facility at Gwalpahari, Haryana, India. **Current Science**, v. 109, n. 8, p. 1445–1457, 2015.

OLATOMIWA, L.; MEKHILEF, S.; ISMAIL, M. S.; MOGHAVVEMI, M. Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews - Elsevier**, p. 821–835, 2016.

RETORTA, F. S.; KÜSTER, K. K.; AOKI, A. R.; et al. ESTUDO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS VISANDO NACIONALIZAÇÃO E METODOLOGIA PARA ALOCAÇÃO DE PLANTAS TERMOSSOLARES CONCENTRADAS NO BRASIL. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. **Anais...**, 2018. Gramado.

SAGE - Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia. Disponível em: <http://www.cepel.br/pt_br/produtos/programas-computacionais-por-categoria/operacao-de-sistemas-em-tempo-real.htm>. Acesso em: 7/4/2019.

SALVADOR, M.; SILVA, A. P. O que são sistemas supervisórios? Disponível em: <<http://kb.elipse.com.br/pt-br/questions/62/O+que+são+sistemas+supervisórios%3F>>. Acesso em: 4/11/2017.

SANTOS, M. T. DOS. **Sistema de Medição de Desempenho para Operação e Manutenção de Parques Eólicos no Brasil**, 2016. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SOLARPACES. CSP Projects Around the World. Disponível em: <<https://www.solarpaces.org/csp-technologies/csp-projects-around-the-world/>>. Acesso em: 7/4/2019.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável - Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro, 2016.