



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

**ALECSANDRO SILVA DA CONCEIÇÃO JUNIOR**

**MELHORIA E AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE EQUIPAMENTOS  
DE TORRES EÓLICAS E SOLARES: INOVAÇÕES PARA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA**

**RECIFE**

**2023**

ALECSANDRO SILVA DA CONCEIÇÃO JUNIOR

**MELHORIA E AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE EQUIPAMENTOS  
DE TORRES EÓLICAS E SOLARES: INOVAÇÕES PARA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências da Computação na Universidade Federal de Pernambuco, como pré-requisito à obtenção do título de Bacharel em Ciências da Computação.

Orientador (a): Profa. Dra. Carina Frota Alves

RECIFE

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Conceição Junior , Alecsandro Silva da.

Melhoria e Automação do Processo de Análise de Equipamentos de Torres Eólicas e Solares: Inovações para Eficiência Energética / Alecsandro Silva da Conceição Junior . - Recife, 2023.

55 : il.

Orientador(a): Carina Frota Alves

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Ciências da Computação - Bacharelado, 2023.

1. Energia renovável. 2. Energia verde. 3. Torres eólicas. 4. Torres solares. 5. Equipamentos. I. Alves, Carina Frota. (Orientação). II. Título.

000 CDD (22.ed.)

ALECSANDRO SILVA DA CONCEIÇÃO JUNIOR

**MELHORIA E AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE DE EQUIPAMENTOS  
DE TORRES EÓLICAS E SOLARES: INOVAÇÕES PARA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências da Computação na Universidade Federal de Pernambuco, como pré-requisito à obtenção do título de Bacharel em Ciências da Computação.

Aprovada em: 29/08/2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Carina Frota Alves  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Filipe Carlos de Albuquerque Calegario  
Universidade Federal de Pernambuco

## RESUMO

Energias verdes são fontes limpas de energia que têm ganhado cada vez mais importância e investimento, tendo em vista o futuro do planeta e seu menor impacto no ecossistema. Porém, antes da instalação de fontes de energias limpas, principalmente a eólica e solar, é necessário um extenso estudo operacional que depende de uma constante avaliação dos mais diversos indicadores para garantir a operabilidade dos equipamentos e torres, a fim de garantir a compatibilidade e funcionamento dos mesmos na rede elétrica e sua eficiência energética a longo prazo. Neste contexto, é de extrema importância garantir que estes equipamentos operem acima do limite esperado e, quando não é possível garantir esta operação, identificar o mais rápido possível o motivo de sua inoperância e corrigir o erro o quanto antes. Este processo, no entanto, é extremamente burocrático e nada automatizado, muitas vezes tornando as torres indisponíveis por dias por falta de um diagnóstico apropriado ou por falta de manutenção preditiva adequada. Portanto, este trabalho tem como objetivo tornar este processo de análise e operação pré instalação das torres eólicas e elétricas mais eficiente e automatizado. A melhoria deste processo visa garantir, na maior parte do tempo, a eficiência das mesmas a partir do monitoramento de diversos sensores presentes nas torres e, de forma preditiva, prever erros e outras falhas que outrora passariam despercebidas ao olho humano. Para consolidar este trabalho, foram utilizadas metodologias como o estudo de caso, Design Thinking e BPM (Business Process Management). Matérias estas que guiaram o trabalho e o desenvolveram até sua solução final: a otimização do processo de implantação e acompanhamento de torres de avaliação e a criação de uma plataforma de acompanhamento dos indicadores e manutenção dos instrumentos.

**Palavras-chave:** Energia renovável, energia verde, torres eólicas, torres solares, equipamentos, predição.

## ABSTRACT

Renewable energies are clean sources of power that have been gaining increasing importance and investment, considering the future of the planet and their reduced impact on the ecosystem. However, before the installation of clean energy sources, especially wind and solar, an extensive operational study is required, which relies on a constant evaluation of various indicators to ensure the operability of equipment and towers, in order to guarantee their compatibility and functionality within the electrical grid and its long-term energy efficiency. In this context, it is of utmost importance to ensure these devices operate beyond expected limits. When operation cannot be ensured, identifying the reason for their inoperability promptly and rectifying the issue as soon as possible becomes essential. However, this process is highly bureaucratic and largely non-automated, frequently rendering the towers unavailable for days due to a lack of proper diagnosis or adequate predictive maintenance. Thus, the objective of this work is to render the analysis and operation before the wind and solar towers installation, to make it more efficient and automated. This is achieved by primarily monitoring various sensors present on the towers, ensuring their efficiency through the majority of the time, and predicting errors and other failures that would otherwise go unnoticed by the human eye. To consolidate this work, methodologies such as case study, Design Thinking, and BPM (Business Process Management) were employed. These approaches guided the work and led it to its final solution: the optimization of the deployment and monitoring process for evaluation towers, and the creation of a platform for tracking indicators and maintaining instruments.

**Keywords:** Renewable energy, green energy, wind towers, solar towers, equipment, prediction.

## SUMÁRIO

<b>Sumário</b>	<b>6</b>
<b>Lista de ilustrações</b>	<b>7</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>8</b>
<b>2. Referencial Teórico</b>	<b>10</b>
2.1 Transformação digital	10
2.2 Design Thinking	11
2.3 Business Process Management	13
2.4 Energia Verde	15
2.4.1 Pré instalação de energia verde	16
<b>3. Metodologia</b>	<b>19</b>
3.1 Estudo de Caso	19
3.2 Contexto da Empresa	19
3.3 Questões de Pesquisa	21
3.4 Objetivos	22
3.4.1 Compreensão dos Indicadores e Parâmetros Operacionais	23
3.4.2 Análise de dados	23
<b>4. Aplicação e Resultados do Estudo de Caso</b>	<b>24</b>
4.1 Preparação para o estudo	24
4.2 Investigação do estudo e levantamento de melhorias e oportunidades de inovação	25
4.3 Modelagem AS-IS do processo de instalação e acompanhamento das torres de medição de indicadores	27
4.4 Dores e necessidades	29
4.5 Modelagem TO BE do processo de instalação e acompanhamento das torres de medição de indicadores	31
4.6 Implementação do Processo TO BE	32
4.6.1 Prototipação da plataforma	33
4.6.2 Coleta de dados das torres	35
4.6.3 Análise de dados coletados	36
4.6.4 Desenvolvimento de modelos de predição	38
4.6.5 Implementação da plataforma	39
4.7 Síntese do estudo de caso	48
<b>5. Lições aprendidas</b>	<b>51</b>
<b>6. Conclusões, Limitações e Trabalhos Futuros</b>	<b>52</b>
<b>7. Referências</b>	<b>54</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – O processo de Design Thinking	12
<b>Figura 2</b> – O ciclo de vida do BPMN	14
<b>Figura 3</b> – Exemplo de estrutura da torre de coleta para estudo solar [Cedida pela empresa estudada]	17
<b>Figura 4</b> – Exemplo de estrutura da torre de coleta para estudo eólico [6]	18
<b>Figura 5</b> – Modelo AS IS do processo atual	28
<b>Figura 6</b> – Modelo TO BE após a solução	32
<b>Figura 7</b> – Dashboard de acompanhamento geral	33
<b>Figura 8</b> – Mapa das torres na plataforma	33
<b>Figura 9</b> – Acompanhamento e indicadores das torres	34
<b>Figura 10</b> – Dashboard inicial de dados do sistema	40
<b>Figura 11</b> – Mapa de torres	41
<b>Figura 12</b> – Detalhe de uma torre dentro do mapa de torres	41
<b>Figura 13</b> – Detalhe da uma torre - Informações gerais	42
<b>Figura 14</b> – Detalhes da torre - Instrumentos	42
<b>Figura 15</b> – Ativos do sistema - Torres	43
<b>Figura 16</b> – Prestadores de serviço	44
<b>Figura 17</b> – Gráfico de linha - 2 Instrumentos	45
<b>Figura 18</b> – Gráfico de linha - 1 Instrumento	45
<b>Figura 19</b> – Gráfico de rosa dos ventos	46
<b>Figura 20</b> – Gráfico de comparação	46
<b>Figura 21</b> – O gráfico de rosa dos ventos	47
<b>Figura 22</b> – Incidências	47
<b>Figura 23</b> – Solicitações	48

## 1. INTRODUÇÃO

A questão das mudanças climáticas ganha uma relevância cada vez mais presente no cenário global. O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)[1] ressalta de maneira incontestável que uma das principais raízes do aumento da temperatura do planeta reside nas fontes de energia não renováveis. O processo extrativo e geracional dessas fontes não apenas exacerba os níveis de emissões de gases de efeito estufa, mas também causa impactos drásticos no meio ambiente e em seus ecossistemas interdependentes.

À medida que a sociedade enfrenta uma demanda crescente por energia elétrica, impulsionada pela expansão populacional e avanços tecnológicos, surge a necessidade de transitar para soluções energéticas mais sustentáveis. Nesse contexto, a energia solar e eólica surgem como protagonistas na busca por uma matriz energética responsável e ambientalmente consciente. No Brasil, essas fontes têm testemunhado um crescimento constante, refletido em um aumento significativo de 73% desde 2011 [2], quando comparado às fontes de energia fóssil. Esse avanço se traduz em uma participação de aproximadamente 15% na matriz energética nacional, um marco notável que ecoa o potencial dessas fontes limpas e renováveis.

No entanto, à medida que as energias solar e eólica conquistam espaço no cenário energético, também se tornam evidentes os desafios intrínsecos à sua adoção em larga escala. A natureza intermitente da produção energética é um dos obstáculos que essas fontes enfrentam, com suas flutuações podendo gerar implicações significativas nas redes elétricas existentes. Além disso, os dispositivos e equipamentos que compõem a infraestrutura energética devem aderir a uma série complexa de requisitos e indicadores para operar de maneira harmoniosa dentro do ecossistema energético do Brasil.

Nesse contexto, uma boa avaliação pré instalação destas fontes surge como pilar fundamental para garantir a performance otimizada da rede. No entanto, até recentemente, essas atividades eram predominantemente conduzidas de forma manual, o que resultava em demoras significativas no diagnóstico e solução de problemas. Esse atraso muitas vezes resultava em inoperância dos equipamentos e torres de avaliação. A ausência de detecção preditiva exacerba ainda mais essas limitações, impactando a confiabilidade e eficiência da coleta de dados obtida.

Este trabalho propõe então a otimização do processo através da criação de uma ferramenta de software, redefinindo a maneira como os dados são coletados, analisados e automatizando as ações necessárias para manter o sistema de avaliação operando. Ao criar um ambiente que integra automação, análise avançada e previsão, visamos não apenas superar os desafios operacionais, mas também desencadear uma nova era de eficiência, confiabilidade e sustentabilidade no cenário da energia renovável.

Ao longo deste estudo, foram abordados métodos para tratar os principais obstáculos relacionados à implementação da infraestrutura de validação de locais destinados à instalação de sistemas de energia solar e eólica. O enfrentamento desses desafios foi orientado pelos preceitos estabelecidos por Robert K. Yin [9] e conduzido sob a abordagem de estudo de caso. Adicionalmente, a metodologia adotada foi influenciada pelos princípios do Design Thinking [11], com suporte da notação BPMN (Business Process Model and Notation) [12]. Esta notação desempenhou um papel essencial ao mapear os dados do processo atual e compará-los com os dados após as melhorias mapeadas e futuramente implementadas, possibilitando uma análise e avaliação mais aprofundada dos indicadores identificados e seu desempenho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesta seção, serão detalhadas informações essenciais para uma compreensão abrangente do presente estudo, dados técnicos sobre o problema e processos usados para construir a solução. Além da apresentação dos dados pertinentes acerca da energia sustentável, elucidado o processo de inovação, bem como a contextualização da empresa cujo projeto visa a mitigar os desafios identificados.

### **2.1 Transformação digital**

No contexto globalizado atual, a manutenção da competitividade empresarial é uma preocupação constante. As organizações, em sua busca por excelência operacional, veem-se frequentemente obrigadas a reformular seus processos e práticas, uma vez que muitas das abordagens tradicionais tornam-se obsoletas devido à dinâmica constante dos avanços tecnológicos em um mundo cada vez mais globalizado [7]. Nesse contexto, emerge a necessidade da chamada "transformação digital", um processo que visa definir e otimizar a operação de uma empresa através da aplicação estratégica da tecnologia.

A jornada rumo à transformação digital é um processo altamente individualizado, que demanda uma análise aprofundada do contexto específico de cada organização. A personalização desse processo implica considerar a atual situação da empresa, seus objetivos estratégicos e as áreas onde a aplicação de tecnologia pode gerar ganhos significativos de eficiência e competitividade.

Durante esta jornada, são identificados três pilares fundamentais: cultura organizacional, capital humano e tecnologia [8]. Cada um desses elementos desempenha um papel crucial no sucesso da transformação. Primeiramente, a cultura organizacional desempenha um papel vital, uma vez que a resistência a mudanças profundas pode ser uma barreira significativa. A transformação digital requer não apenas a implementação de tecnologias avançadas, mas também a adaptação de práticas, crenças e valores organizacionais.

No que se refere ao capital humano, é fundamental contar com uma equipe altamente apta em relação à transformação digital. A formação e o treinamento adequados são essenciais para que os colaboradores possam não apenas

implementar as mudanças necessárias, mas também compreender e defender a lógica a essas transformações. Em particular, em empresas mais tradicionais a introdução de novas práticas pode ser uma tarefa complexa, exigindo um investimento significativo na capacitação da equipe.

Além disso, é importante destacar que a cultura digital não é uma abordagem universal que pode ser simplesmente importada de uma organização para outra. Pelo contrário, deve ser moldada e adaptada às nuances e à realidade específica de cada contexto empresarial. Isso envolve considerar fatores como a familiaridade da equipe com a tecnologia, a natureza do mercado em que a empresa atua e outras variáveis que podem afetar a adoção bem-sucedida da transformação digital.

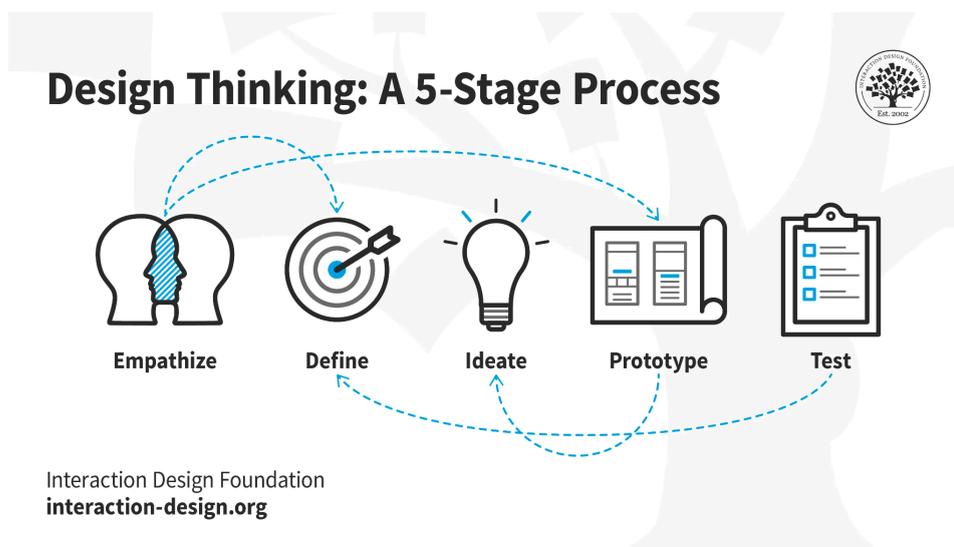
Por fim, a transformação digital deve ser encarada como uma aliada na busca constante pela melhoria contínua nas empresas, não como uma ameaça [8]. Através de uma abordagem estratégica e adaptativa, as organizações podem capitalizar sobre as oportunidades oferecidas pela revolução digital, impulsionando sua eficiência operacional, sua capacidade de inovação e, por fim, sua competitividade no cenário globalizado.

## **2.2 Design Thinking**

O Design Thinking é um processo caracterizado por sua abordagem não linear, com o propósito de compreender de forma aprofundada as preocupações e necessidades dos usuários, colocando-os no centro da metodologia. Este processo enfatiza a obtenção de uma compreensão aprofundada das necessidades, desejos e frustrações dos usuários. O objetivo principal é conceber produtos que não apenas abordam questões reais, mas também aprimoram a qualidade de vida dos usuários. Este processo foi concebido pelos autores David Kelley, professor da Universidade de Stanford e Tim Brown [17].

O Design Thinking é estruturado em cinco macro etapas, que são: empatizar, definir, idear, prototipar e testar[11]. É crucial enfatizar que, devido à natureza não linear do Design Thinking, é plenamente possível (e às vezes necessário) transitar entre essas etapas em caso de dúvidas, pivotações ou redefinições de escopo. Aliás, essa abordagem é recomendada pelo Design Thinking, uma vez que as necessidades e desejos dos usuários podem ser complexos e demandar um entendimento mais profundo que pode evoluir ao longo do processo.

**Figura 1 – O processo de Design Thinking**



Na fase de empatizar, destaca-se a importância de posicionar o usuário como o centro da investigação e da experiência. Nesse estágio, é preciso ouvir atentamente o usuário, conduzir pesquisas apropriadas, compreender suas necessidades e demonstrar empatia genuína em relação a elas. É crucial adotar uma postura de escuta sem julgamento e manter a mente aberta para acolher as dores e necessidades levantadas pelo usuário [11]. Essas informações coletadas serão fundamentais e submetidas a uma análise profunda na etapa subsequente do processo.

A fase de definição assume um papel crucial ao se basear nos dados adquiridos na etapa anterior. Nesse estágio, identificam-se e priorizam-se as principais dores dos usuários. A partir dessa priorização, são definidos os desafios que devem ser superados para conceber uma solução efetiva. É nesse ponto que todas as percepções e aspirações dos usuários são colocadas à vista, possibilitando uma compreensão abrangente do problema em sua totalidade [14]. Essa etapa representa uma etapa preparatória essencial para a próxima fase do processo.

A etapa de idear, também conhecida como ideação, representa o momento em que a solução é definida em sua completude. Neste estágio, todos os pontos de dor, desejos e desafios previamente identificados e priorizados devem ser abordados de forma criativa. Essa fase é o ponto alto da expressão da criatividade no processo de Design Thinking. Aqui, não apenas se busca desenvolver uma solução funcional, mas também se almeja criar algo que seja simples, otimizado e, preferencialmente, inovador, que ainda não esteja disponível no mercado.

Para consolidar a solução, é elaborado um protótipo, que pode adotar várias formas, indo desde protótipos digitais até modelos analógicos. O propósito fundamental do protótipo é tornar a solução tangível e visualmente perceptível, possibilitando a iteração e o aperfeiçoamento da solução antes de sua efetiva construção ou implementação [14].

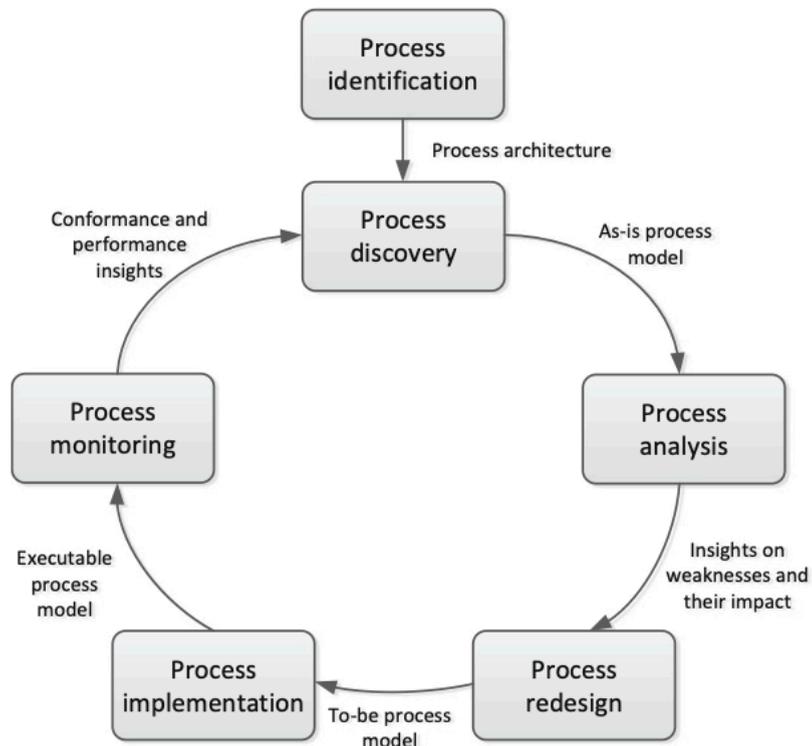
A etapa de prototipagem está intrinsecamente ligada à fase de testes e representa um dos principais ciclos no processo de Design Thinking. A criação de um protótipo permite a realização de testes com os usuários, antecipando potenciais falhas futuras e refinando aspectos que possam não ter sido inicialmente identificados. Ao prototipar, testar e ajustar as ideias antes da implementação completa, reduzem-se os riscos associados ao desenvolvimento de produtos que não estejam alinhados com as necessidades do mercado. Além disso, essa abordagem facilita a adaptação às novas informações e mudanças nas demandas dos usuários à medida que o processo de design avança.

O processo de Design Thinking desempenha um papel fundamental na criação de produtos digitais de alta qualidade, pautados na centralidade do usuário e com uma maior garantia de funcionamento geral. Este enfoque representa um dos pilares da construção digital e, notavelmente, é passível de adaptação a uma ampla variedade de contextos de inovação [17]. A chave para sua aplicação bem-sucedida reside na compreensão das etapas e seus princípios, permitindo a sua integração efetiva em qualquer iniciativa voltada para o desenvolvimento de produtos ou soluções digitais [11].

### **2.3 Business Process Management**

O Gerenciamento de Processos de Negócios (BPM) é uma disciplina gerencial que busca aprimorar o desempenho das organizações por meio de um ciclo composto por seis fases: Descoberta do Processo, Análise do Processo, Redesenho do Processo, Implementação, Controle e Monitoramento, e finalmente, Melhoria. Este ciclo é contínuo e recorrente [13].

**Figura 2 – O ciclo de vida do BPMN**



Na fase de Descoberta do Processo, é conduzido um estudo detalhado do negócio com o intuito de identificar o processo atual em operação na empresa. São mapeados os responsáveis por sua execução e os elementos que regem esse processo. O resultado desse mapeamento é denominado "AS IS", representando um retrato fiel do processo atual da organização.

Posteriormente, no estágio de Redesenho do Processo, são identificados pontos de melhoria, demandas dos stakeholders e objetivos da organização. Isso culmina na concepção de um processo denominado "TO BE", que representa a versão idealizada e otimizada a ser implementada na etapa seguinte.

A fase de Implementação envolve a aplicação prática do processo "TO BE" previamente desenhado e ajustado para se alinhar ao contexto de negócios em questão. Após a implementação, o novo processo é monitorado de perto para assegurar que esteja sendo executado de forma eficaz e atenda aos objetivos inicialmente propostos.

Após a observação prática do processo em funcionamento, é realizada, se necessário, uma nova melhoria do processo. Nesta nova etapa, identificam-se oportunidades adicionais de otimização e elementos que possam ter sido

negligenciados anteriormente, visando aperfeiçoar ainda mais o processo. Esse ciclo do BPM é contínuo e, por sua natureza cíclica, deve sempre identificar oportunidades de melhoria ao longo de sua execução, promovendo aprimoramento constante nos processos organizacionais.

## **2.4 Energia Verde**

Diariamente, é possível testemunhar os desdobramentos das atividades humanas sobre o ecossistema, manifestados tanto pelo incessante aumento na temperatura global quanto pelo crescente surgimento de ondas de calor que acontecem cada vez mais frequentemente. Estas perspectivas se tornam ainda mais preocupantes quando se pondera sobre o impacto prejudicial dos combustíveis fósseis, que atualmente ocupam a posição preeminente como atualmente a maior fonte de energia do mundo atual.

Para mitigar a dependência de recursos energéticos finitos, é preciso promover amplamente a adoção de fontes energéticas sustentáveis, com destaque para as energias denominadas "verdes". Importa ressaltar que, embora frequentemente confundida com a categoria mais abrangente das energias renováveis, a energia verde não apenas se caracteriza pela sua natureza renovável, mas também pela notável ausência de elementos emissores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que são inerentes a processos como por exemplo a combustão de matérias orgânicas provenientes de florestas renováveis.

No contexto brasileiro, destacam-se como exemplos de energias verdes a hidrelétrica, a solar e a eólica, que já possuem ampla implementação nacional. No âmbito deste projeto, deve-se direcionar os esforços primordialmente para a energia solar e a energia elétrica. Ambas as modalidades demandam a instalação de torres de medição que visam dar base aos estudos de viabilidade local.

A energia solar, que se baseia na captação da irradiação solar por meio de painéis fotovoltaicos, vem se consolidando como uma fonte de energia confiável e ecologicamente responsável. Atualmente, no cenário energético do Brasil, a energia solar representa uma parcela de quase 5% da matriz energética nacional [2], com projeções promissoras de expansão. Sua abundância e acessibilidade conferem-lhe uma variabilidade substancial, uma vez que sua geração de eletricidade não acarreta a emissão de gases de efeito estufa, desempenhando, assim, um papel

fundamental na redução das emissões globais de gases poluentes e no combate às mudanças climáticas.

Já a energia eólica, que se baseia na captura da energia cinética dos ventos por meio de turbinas, desempenha um papel de destaque no panorama das energias renováveis. Sua capacidade de produção em grande escala a consagra como um componente essencial para a diversificação da matriz energética. Além disso, a energia eólica se distingue por sua elevada eficiência e operação sustentável, desprovida de quaisquer emissões prejudiciais ao meio ambiente. No contexto brasileiro, a contribuição da energia eólica à matriz energética nacional supera ligeiramente os 10%, com projeções de crescimento para além de 13% até o ano de 2025 [2].

Apesar dos inúmeros benefícios inerentes, as fontes de energia renovável enfrentam alguns desafios, tais como a intermitência de determinadas fontes e a necessidade de infraestrutura apropriada para sua implantação. No entanto, é importante destacar que, com o avanço constante da tecnologia e os investimentos crescentes em pesquisa e desenvolvimento, essas barreiras estão sendo gradualmente superadas. O horizonte futuro das energias renováveis, notadamente no que tange à energia solar e eólica, apresenta-se promissor, desempenhando um papel cada vez mais central na transição em direção a um sistema energético global mais sustentável e seguro. Isso se traduz como um passo significativo na resposta às crises ambientais e energéticas que afetam o cenário global.

#### **2.4.1 Pré instalação de energia verde**

Antes de implementar qualquer fonte de energia verde em grande escala, é imprescindível conduzir uma série de estudos de viabilidade econômica e avaliar o potencial do local onde se pretende instalar a infraestrutura. Estes estudos têm o objetivo de determinar se o local em questão é de fato a escolha mais adequada para a implantação de uma fonte de energia renovável. Tais análises devem ser realizadas em conformidade com as normas e regulamentos vigentes, garantindo a qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos.

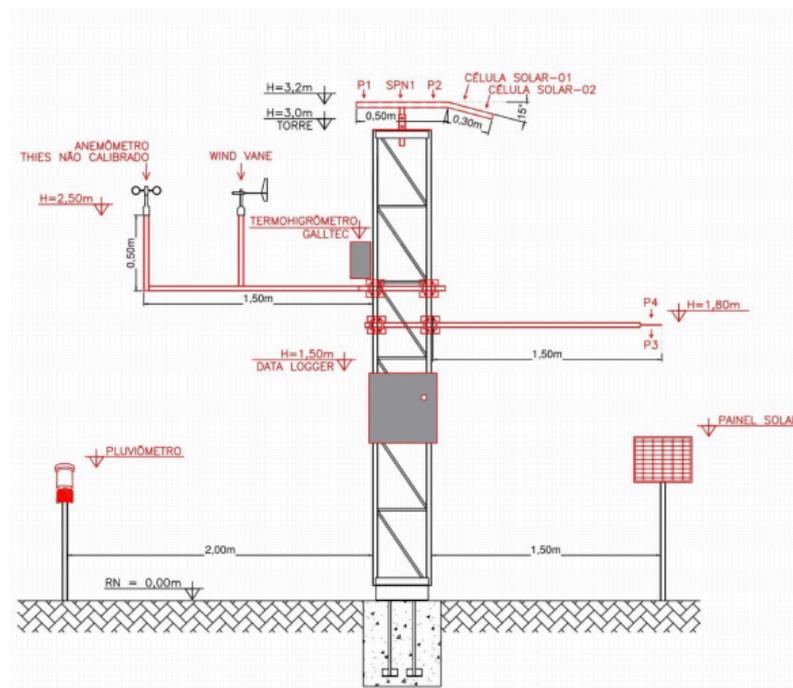
Com efeito, a precisão nas medições de vento desempenha um papel crítico na determinação da eficácia de um parque eólico. Mesmo um erro aparentemente pequeno, como 10% nas medições de vento, pode se traduzir em uma diferença

substancial na quantidade de energia gerada ao longo do tempo. De fato, esse erro pode culminar em uma discrepância de até 33% na produção total de energia ao final da implementação de um parque eólico [6].

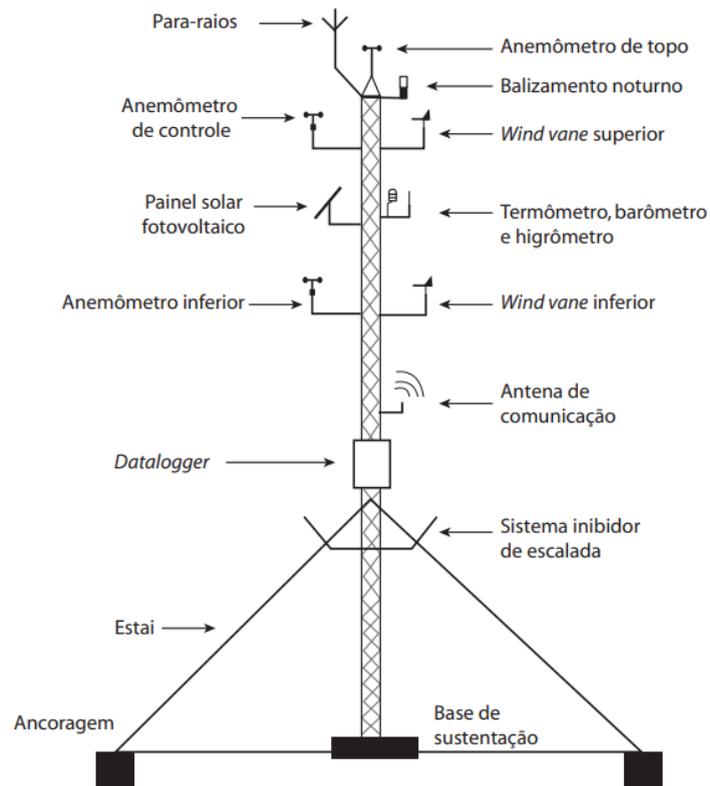
Assim, é de extrema importância aderir rigorosamente aos procedimentos de medição e coletar dados de forma constante por um período de tempo significativo. Em muitos casos, esse período pode se estender de 2 a 3 anos[6], dependendo das especificidades do local e da disponibilidade de dados históricos confiáveis. Essa abordagem minuciosa e cuidadosa é essencial para garantir a viabilidade e a eficiência de projetos de energia eólica.

Para a realização de um estudo de viabilidade da energia solar, é necessário implementar previamente uma série de dispositivos de medição, tais como piranômetros, pluviômetros, WindVane, anemômetros, albedômetros, entre outros. Para este mesmo escopo de investigação, voltado para torres de medição eólica, faz-se necessária a aquisição e instalação de dispositivos como anemômetros, birutas, barômetros, bem como outros equipamentos de monitoramento atmosférico. A quantidade e tipologia destes instrumentos podem variar consideravelmente em função das particularidades geográficas e das necessidades específicas de coleta de dados em cada local de estudo.

**Figura 3** – Exemplo de estrutura da torre de coleta para estudo solar [Cedida pela empresa estudada]



**Figura 4** – Exemplo de estrutura da torre de coleta para estudo eólico [6]



Após a instalação das torres de medição, um conjunto de operações é executado tanto em ambiente de escritório quanto em campo. Essas atividades são meticulosamente documentadas em relatórios que são submetidos às autoridades competentes, no caso deste projeto, o AMA. O AMA nada mais é do que um programa do Sistema Brasileiro de Minas e Energia cuja sigla significa Sistema de Acompanhamento de Medições Anemométricas, sistema este que recebe os relatórios mencionados acima.

Ao término do período de coleta de dados, o Sistema Brasileiro de Minas e Energia irá avaliar se o local está ou não apto para receber um parque verde. Em caso de verificação positiva de viabilidade, o processo de instalação do referido parque é autorizado no local em questão.

Este processo antecede a efetiva implantação dos parques de geração de energia verde no local, porém, sua relevância é fundamental para a gestão eficaz dos recursos públicos e dos fundos alocados para essa finalidade. Isso assegura que a produção de energia seja maximizada e ocorra apenas nos locais mais apropriados ao longo de todo o ano, resultando em uma utilização mais eficiente dos recursos e garantindo a eficiência energética desejada.

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia deste projeto se baseia em um processo de estudo de caso descrito inicialmente por Robert K. Yin, no livro “Case Study Research: Design and Methods” [1].

#### **3.1 Estudo de Caso**

O método de estudo de caso descrito por Robert K. Yin [9], é uma abordagem de pesquisa que se concentra na análise aprofundada de um fenômeno específico dentro de seu contexto. Este método é útil quando se deseja investigar fenômenos complexos onde as variáveis não podem ser facilmente isoladas. Yin destaca que um estudo de caso não é apenas uma ferramenta de coleta de dados, mas um plano de pesquisa que considera múltiplas fontes de evidência, como entrevistas, observações e documentos.

A aplicação prática do método de estudo de caso envolve, de forma geral, cinco macro etapas: Definir questões de estudo de caso (1); As proposições do estudo (2); As unidades de análise utilizadas no estudo (3); A lógica que liga os dados a proposição (4); Por fim, os resultados, os critérios para interpretar as descobertas (5). Esta é uma abordagem sistemática, enfatizando a importância do desenho do estudo de caso para garantir que os resultados sejam confiáveis e válidos.

#### **3.2 Contexto da Empresa**

A empresa que desempenha um papel significativo nesse estudo de caso atua principalmente nas regiões Norte e Nordeste e é uma das principais organizações do setor energético no Brasil. Com mais de 25 anos de atuação no mercado, esta empresa foi uma precursora no campo das energias renováveis no país. Sua presença abrange todas as cinco regiões do Brasil, e ela continua a expandir seus projetos de geração de energia limpa, abrangendo uma ampla variedade de fontes, desde a energia solar até a energia hidrelétrica, em todo o território nacional.

Atualmente, a empresa opera aproximadamente 44 parques eólicos e 2 parques solares [19]. A capacidade de geração de energia de fontes solares e eólicas experimentou um crescimento notável, com um aumento superior a 70% em relação ao mesmo período de 2022 [19]. As perspectivas apontam para uma contínua expansão nesse aspecto, com a aquisição e viabilização de um número crescente de parques de energia verde. Essa estratégia está alinhada tanto com os objetivos comerciais da empresa quanto com seu compromisso ecológico, demonstrando um firme comprometimento com a promoção de fontes de energia sustentável.

Como mencionado anteriormente, a implementação e expansão dessa extensa rede de energia solar e eólica no Brasil demandam um conjunto completo de procedimentos de teste, medição e coleta de dados, realizados ao longo de um extenso período de tempo, com o propósito de avaliar a viabilidade de cada local. Esses estudos são conduzidos em diversas localidades, e a empresa, juntamente com suas equipes técnicas, monitora e acompanha esses locais ao longo de um período. Essa abordagem rigorosa visa garantir uma tomada de decisão embasada e eficaz no que se refere à expansão da infraestrutura de energia renovável.

Este processo de acompanhamento revela-se notavelmente complexo, uma vez que é predominantemente baseado em procedimentos manuais, carecendo de automação. Desde a coleta de dados, que é realizada manualmente em cada torre, até a depuração dos dados e a identificação de valores discrepantes (outliers), bem como a geração dos relatórios mensais, todos esses passos são executados manualmente. Isso implica em um trabalho que é caracterizado por sua lentidão, burocracia e custos significativos associados.

É importante, então, destacar a necessidade de modernizar e otimizar esses processos, a fim de aumentar a eficiência, reduzir os custos e aprimorar a qualidade das operações de monitoramento e análise de dados relacionadas à infraestrutura de energia renovável. O objetivo primordial da empresa é a automação de seu processo, buscando simplificá-lo e torná-lo mais econômico, permitindo viabilizar a instalação de um maior número de torres de monitoramento. Visando sempre acelerar a expansão da matriz de energia verde e renovável no Brasil.

### 3.3 Questões de Pesquisa

A primeira fase envolve a definição clara do caso a ser estudado a partir de questões. Yin enfatiza a importância de definir o "caso" de forma precisa, seja ele um indivíduo, um grupo, uma organização ou um fenômeno, para estabelecer os limites da investigação. As perguntas devem ser formuladas usando a estrutura "Como" e "Porque". No caso deste estudo serão acompanhados ao longo do projeto a resolução destas questões de pesquisa:

**[P1]** Como o processo investigatório pré instalação de parques energia solar e eólicos pode ser otimizado visando a instalação do processo em mais locais ao mesmo tempo?

**[P2]** Como podemos prever erros nas torres de medição antes que os mesmos aconteçam, evitando downtimes de equipamentos?

**[P3]** Como tornar o processo de manutenção preditiva e corretiva mais rápido e eficiente?

**[P4]** Como entender e mapear automaticamente as incidências do sistema? Evitando a necessidade de análise humana minuciosa para detectar erros?

Para ajudar a procurar provas relevantes sobre o estudo de caso, Yin recomenda a criação de proposições de estudo, neste estudo, todas as proposições são visando a descoberta da forma mais eficiente e automatizada de resolver o problema de acompanhamento e instalação de torres de investigação. Pode se destacar então estas duas proposições:

**[Prop 1]** A eficiência e automatização pode ser encontrada procurando as operações mais necessárias, mas negligenciadas, dentro do processo.

**[Prop 2]** O processo pode ser considerado eficiente quando o número de incidências observadas nas torres for maior do que o observado atualmente pelo trabalho humano, enquanto o uptime das torres aumentar devido a automatização dos acionamentos de manutenções e correções necessárias.

Enquanto unidade de análise, foi definido neste caso de estudo que será analisado o processo de instalação de torres de monitoramento / investigação de dados necessárias para a instalação futura de parques eólicos e solares. Esta análise será feita inicialmente em uma das maiores empresas de energia elétrica do Brasil.

Neste estudo de caso, a lógica que liga os dados às proposições foi influenciada pelos princípios do Design Thinking e estruturada através da notação BPMN. Esta abordagem permitiu um mapeamento detalhado dos processos atuais, servindo como uma base sólida para comparar com os resultados após as implementações de melhorias. Foi utilizado o método de "ajuste ao padrão" ("fit to pattern") para estabelecer uma relação direta entre os dados coletados e as proposições teóricas do estudo. Esse método, inspirado no trabalho de Donald Campbell [6], possibilita a identificação de padrões de referência para comparação e oferece uma métrica qualitativa para avaliar o sucesso das implementações.

Em relação ao quinto componente, os critérios para interpretar as descobertas foram estabelecidos com base na clareza do ajuste entre os dados e os padrões de referência identificados. Dada a natureza única de cada dado no padrão, não foi possível realizar testes estatísticos convencionais. No entanto, a distinção clara entre diferentes padrões permitiu a interpretação dos resultados em termos de comparação com pelo menos duas proposições rivais. A eficácia das melhorias implementadas foi avaliada com base em quão bem os dados se ajustam aos padrões de referência, fornecendo um critério robusto, embora qualitativo, para a interpretação das descobertas.

### **3.4 Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho é analisar todo o processo de acompanhamento de equipamentos que precedem a instalação de torres eólicas e solares e melhorar este processo, tornando-o mais eficiente, rápido e econômico.

Em suma, será trabalhado em três fases:

- Detalhamento AS-IS de todo processo atual de acompanhamento e implementação das torres de instrumentação
- Estudo de melhoria e proposição TO-BE para este processo, o tornando mais eficiente e automatizado.
- Prova de conceito que avalia os indicadores necessários para o funcionamento das torres em suas melhores condições, levando em consideração 3 indicadores: Eficiência, Economia e Rapidez.

Além dos objetivos acima citados, dentro do processo de energia e automação, existem dois objetivos secundários envolvendo os dados específicos do

processo, eles estão descritos de forma detalhada abaixo, e serão utilizados como fontes de análise e verificação ao longo do trabalho.

### **3.4.1 Compreensão dos Indicadores e Parâmetros Operacionais**

No escopo deste objetivo, será realizado um processo de investigação sobre os principais indicadores e parâmetros operacionais que desempenham um papel crucial na instalação das torres de avaliação, que precedem a instalação de parques de torres eólicas e solares. A pesquisa visa compreender como estes equipamentos influenciam uns aos outros e como suas variações sazonais afetam o comportamento operacional das torres. Esse esforço deve permitir a formação de uma base de entendimento do qual os próximos passos de desenvolvimento do sistema possam ser construídos com precisão.

### **3.4.2 Análise de dados**

Será estudada a possibilidade de implementação de algoritmos de análise de dados, que devem ser capazes de identificar padrões, tendências e anomalias nos indicadores operacionais capturados pelos sensores das torres. Esses algoritmos serão refinados por meio de iterações e testes rigorosos, resultando em um sistema confiável para a detecção precoce de problemas operacionais.

Com base nos dados históricos e nas análises contínuas realizadas, serão desenvolvidos modelos preditivos de falhas. Esses modelos devem empregar técnicas de machine learning, a fim de prever possíveis falhas nos equipamentos com considerável precisão. Isso deve possibilitar a adoção de uma abordagem de manutenção preditiva mais eficaz, reduzindo significativamente o tempo de inatividade não planejada.

## **4. APLICAÇÃO E RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO**

Nesta seção, será apresentado como o estudo de caso se desenrolou e seus resultados, mais especificamente toda a análise feita, como as principais perguntas inicialmente levantadas foram respondidas e de quais formas os problemas e objetivos levantados foram solucionados.

Nesta seção serão observados as principais técnicas envolvendo os processos/matérias mencionados no referencial teórico. O AS IS e TO BE são representações claras da estrutura do BPM [12]. Já no Design Thinking as principais aplicações serão feitas seguindo o processo de empatia com o usuário, criação do protótipo, testes e aprimoramentos de acordo com os resultados obtidos [11].

### **4.1 Preparação para o estudo**

Para aprofundar a compreensão do contexto relacionado ao estudo de caso, foram adotadas estratégias metodológicas que visam uma análise mais ampla e a identificação precisa dos desafios enfrentados pela empresa, bem como das oportunidades e requisitos de quem vivencia o processo no dia a dia. A utilização dessas estratégias segue o primeiro passo do Design Thinking [11] que se propõe justamente a empatizar com o futuro usuário da solução, quem está sofrendo a dor. Uma das principais formas de empatia é a escuta ativa, método possível a ser realizado em entrevistas com usuários.

Foi então, elaborado um roteiro de entrevistas. Essas entrevistas foram conduzidas com membros da equipe operacional da própria empresa. Esse enfoque permitiu a obtenção de insights valiosos diretamente daqueles que estão envolvidos no cotidiano das operações. As entrevistas proporcionaram um quadro claro dos principais desafios e obstáculos que a equipe enfrenta em sua rotina de trabalho, oferecendo uma visão concreta dos pontos críticos que requerem intervenção.

Além disso, foi adotada uma das dinâmicas derivadas do Design Thinking, conhecida como "sombra". Essa abordagem envolve a observação detalhada e imersiva dos processos cotidianos que se busca aprimorar. Durante um período predefinido, os pesquisadores acompanharam de perto o desenvolvimento das atividades diárias, colocando-se no lugar dos colaboradores que vivenciam estes processos. Essa dinâmica proporcionou uma perspectiva única, permitindo uma

compreensão profunda das dores, desafios e necessidades enfrentadas pelos membros da equipe. Além disso, a observação cuidadosa possibilitou a identificação de oportunidades de melhoria que podem não ter sido explicitamente mencionadas, mas que se tornaram evidentes por meio da análise direta.

A combinação dessas abordagens por meio de entrevistas e a imersão direta na rotina operacional, enriqueceu substancialmente o processo de análise do estudo de caso. Isso porque as informações obtidas se complementam, proporcionando uma visão mais abrangente e aprofundada dos desafios e oportunidades em questão. Essa abordagem metodológica multifacetada não apenas ajuda a identificar problemas subjacentes, mas também cria uma base sólida para o desenvolvimento de soluções que sejam verdadeiramente centradas no usuário e alinhadas com as necessidades reais da empresa.

#### **4.2 Investigação do estudo e levantamento de melhorias e oportunidades de inovação**

Ao longo do período avaliado, foram realizadas diversas entrevistas e estudos de documentos com o objetivo de entender as reais necessidades, dores e como o projeto de software poderia ajudar a empresa a resolver seus principais problemas e otimizar o tempo gasto em atividades desnecessárias, além de otimizar o processo como um todo.

No total foram realizadas 9 entrevistas e coletas com 4 pessoas distintas que vivenciam o processo no dia a dia. O perfil destes pode ser encontrado no quadro abaixo.

**Quadro 1** – Perfil dos entrevistados e o tempo total das entrevistas

<b>Referência no texto</b>	<b>Papel no processo</b>	<b>Entrevistas realizadas</b>	<b>Tempo total das entrevistas</b>
Entrevistado 1	Encarregado da equipe de instalação e manutenção	2	120 Minutos
Entrevistado 2	Analista de recursos Eólico e Solar da empresa	2	105 Minutos
Entrevistado 3	Técnico analista de dados	4	195 Minutos

Entrevistado 4	Técnico de software responsável pela arquitetura da futura solução	1	30 Minutos
----------------	--	---	------------

No geral, as perguntas foram direcionadas principalmente para a coleta do processo dos entrevistados no dia a dia, suas principais dores e principalmente quais pontos, na visão deles, eram os pontos mais burocráticos em todo o processo, além das oportunidades de melhoria que poderiam ter sido encontradas. A única ressalva se dá para o **entrevistado 3**, que além desta coleta inicial também participou de outros momentos onde ajudou a equipe do processo a coletar e codificar os dados recebidos pelas torres ao longo de todo o processo. O processo de sombra, também descrito, foi realizado com o **entrevistado 3** e **4**, onde foi possível acompanhar e vivenciar mais de perto o processo analisado.

Os resultados das entrevistas se mostraram extremamente importantes para o estudo de caso. Para o **entrevistado 2**, por exemplo, o processo atual é extremamente complexo, o fluxo é demasiadamente burocrático e lento, o que limita a quantidade total de áreas de avaliação que é possível observar simultaneamente. Esta limitação acaba por dificultar a quantidade de futuros parques eólicos e/ou solares que podem ser implantados. O que atrasa ainda mais o desenvolvimento e a evolução de fontes de energias renováveis no Brasil.

Tecnicamente o processo atual possui erros empíricos na forma como é coletado. Segundo um dos técnicos do processo [**Entrevistado 4**], há no protocolo atual erros de medição proveniente dos principais equipamentos e uma quantidade demasiadamente alta de despesas por torre, já que os dados são coletados e calculados manualmente. Estes cálculos são realizados por uma empresa terceira que semanalmente retorna os dados que precisam ser verificados novamente pela equipe interna no projeto. O que leva tempo, dificultando ainda mais o processo de coleta e análise dos principais indicadores.

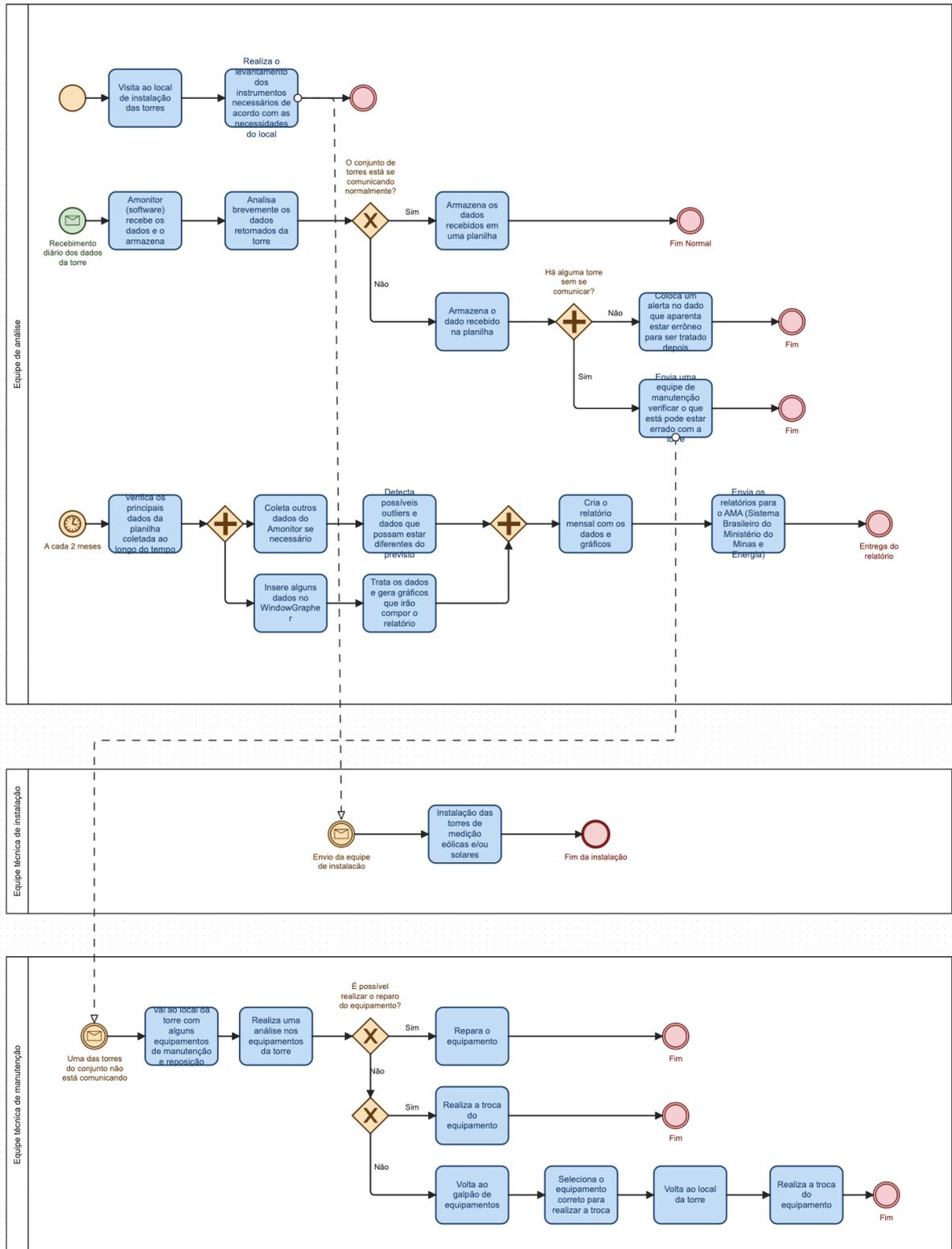
"[...] São dados extremamente específicos, recebemos dados em txt que segue uma sequência de canais, uma sequência físicas de casas decimais, "tudo". Isso é tudo feito na mão, é tudo baixado, analisado manualmente e depois exportamos os dados para o AMA." - **Entrevistado 3**

O grande desafio a ser enfrentado, segundo um dos técnicos entrevistados envolvidos no processo [Entrevistado 3], é a quantidade de dados obtidos que precisam ser entregues. Segundo o próprio, existem diversos gráficos, formatos e análises que precisam ser feitas para o AMA considerar o relatório. Além, claro, de ser necessário o tratamento dos dados, excluindo outliers e erros de medição.

#### **4.3 Modelagem AS-IS do processo de instalação e acompanhamento das torres de medição de indicadores**

A partir das entrevistas e dinâmicas realizadas foi possível montar um panorama geral do processo atual, onde foi coletada tanto suas deficiências quanto gargalos que poderiam ser resolvidos com um software que automatizasse o processo.

Figura 5 – Modelo AS IS do processo atual



Neste processo atual, centrado nas atividades principais foram detectados diversos gargalos como o da equipe de manutenção, que precisa se deslocar desnecessariamente em casos de reposição de equipamentos nas torres,

aumentando custos, gastos com deslocamento e também diminuindo o uptime (tempo onde a torre está ativa) da torre enquanto os equipamentos não são devidamente corrigidos.

Além disso, é possível detectar com mais clareza onde as informações podem não ser observadas com clareza quando a torre retorna dados e eles nem sempre são analisados podem passar despercebidos pontos importantes.

#### 4.4 Dores e necessidades

Após o mapeamento de todo o processo AS IS, foi iniciado um processo de entendimento de melhorias e desafios a partir da observação das dores e necessidades, este estudo foi feito também ouvindo as opiniões de melhoria das próprias pessoas que passavam pelo processo. As principais dores levantadas foram em relação à complexidade do fluxo. Também foram citados problemas sobre:

- Não é possível, com clareza e de forma imediata, saber os status das torres que estão comunicando, medindo bem e nem o status dos sensores de medição em tempo real.

**Desafio operacional:** O desafio operacional, neste caso, é a frequência com que estes dados precisam ser avaliados. No processo atual, como são avaliados manualmente, seria necessário a observação destes dados todos os dias, processo este que levaria tempo e uma equipe dedicada.

- Muitas vezes, não está clara a razão por trás de uma incidência. A torre pode mandar um dado mas não fica claro o porquê ela está se comportando assim de antemão, é sempre necessário fazer uma análise para entender a fundo o que pode está causando este problema.

**Desafio operacional:** Novamente, pela análise ser necessária para a detecção de anomalias, ela seria um processo realizado diariamente, o que aumentaria o tempo da equipe em um trabalho operacional e repetitivo, que se escalaria quanto mais torres de avaliação forem instaladas ao longo do território.

- Todas as visões gráficas e comparativas precisam ser feitas à mão. Por isso, são feitas com um período de distância uma da outra maior do que o necessário. Então, se algum erro acontecer na torre depois desta análise, a torre vai continuar não funcionando até a próxima análise.

- Se o erro do equipamento não for corrigido o mais rápido possível o dado errado vai ser repassado erroneamente para a AMA o que pode, ao longo do período e com ocorrências, inviabilizar a criação do parque não por ineficiência do local, mas por erros de leitura e equipamentos.

**Desafio operacional:** O desafio operacional neste caso é além do tempo e dinheiro gasto com análises da equipe a possibilidade de considerar um local como não viável para a instalação por falta de dados, não por incapacidade de se instalar um parque eólico e solar no lugar.

Além das dores mapeadas, foram mencionadas e observadas diversas melhorias que podem ser aplicadas no processo. São desejos mencionados pelo próprio time que participou de todas as entrevistas e que ativamente estão no processo.

- Seria importante a coleta constante de dados o mais rápido possível. O objetivo é verificar quaisquer incidências com as torres ou seus equipamentos de forma automatizada, não sendo necessário a presença humana, eliminando a necessidade de uma equipe terceirizada que analisa e envia os dados para a empresa.
- Utilização de modelos matemáticos preditivos para entender se uma torre está ou não operando e se os equipamentos operam na melhor eficiência ou não em quaisquer circunstâncias. O objetivo é novamente melhorar a eficiência operacional, como o modelo preditivo atualmente não existe, se o dado não for manualmente avaliado é necessário esperar uma torre parar de operar para executar alguma manutenção corretiva, no lugar da aplicação do modelo preditivo a medida que os equipamentos começam a apresentar algum tipo de indício levando a futura falha..
- Oportunidade de mostrar todas as torres geolocalizadas e seus status em tempo real, a fim de facilitar a visualização de torres. O objetivo é trazer uma visualização melhorada para o processo, principalmente considerando que um dos objetivos da empresa é aumentar a quantidade de locais que possuem estas torres.
- Análise comparativa do desempenho de torres em localidades próximas. Além de relatórios mensais gráficos e textuais com a situação destas torres avaliadas realizadas automaticamente. O objetivo é diminuir o tempo de

trabalho da equipe, aumentando a quantidade de locais que podem ser avaliados enquanto os relatórios, manuais atualmente, são enviados automaticamente para o órgão responsável.

- Acompanhamento de frotas para monitoramento preditivo das torres, visando diminuir a quantidade de equipamentos que falham ao longo do tempo.
- Notificações em tempo real para casos de falhas de comunicação e erros de dados. Para que a equipe aja rapidamente em casos de erros observados.
- Verificar de forma fácil em cada uma das torres de verificação instaladas, seus equipamentos, localização, relatórios gerados, informações extras, manutenções e a visibilidade dos seus equipamentos.

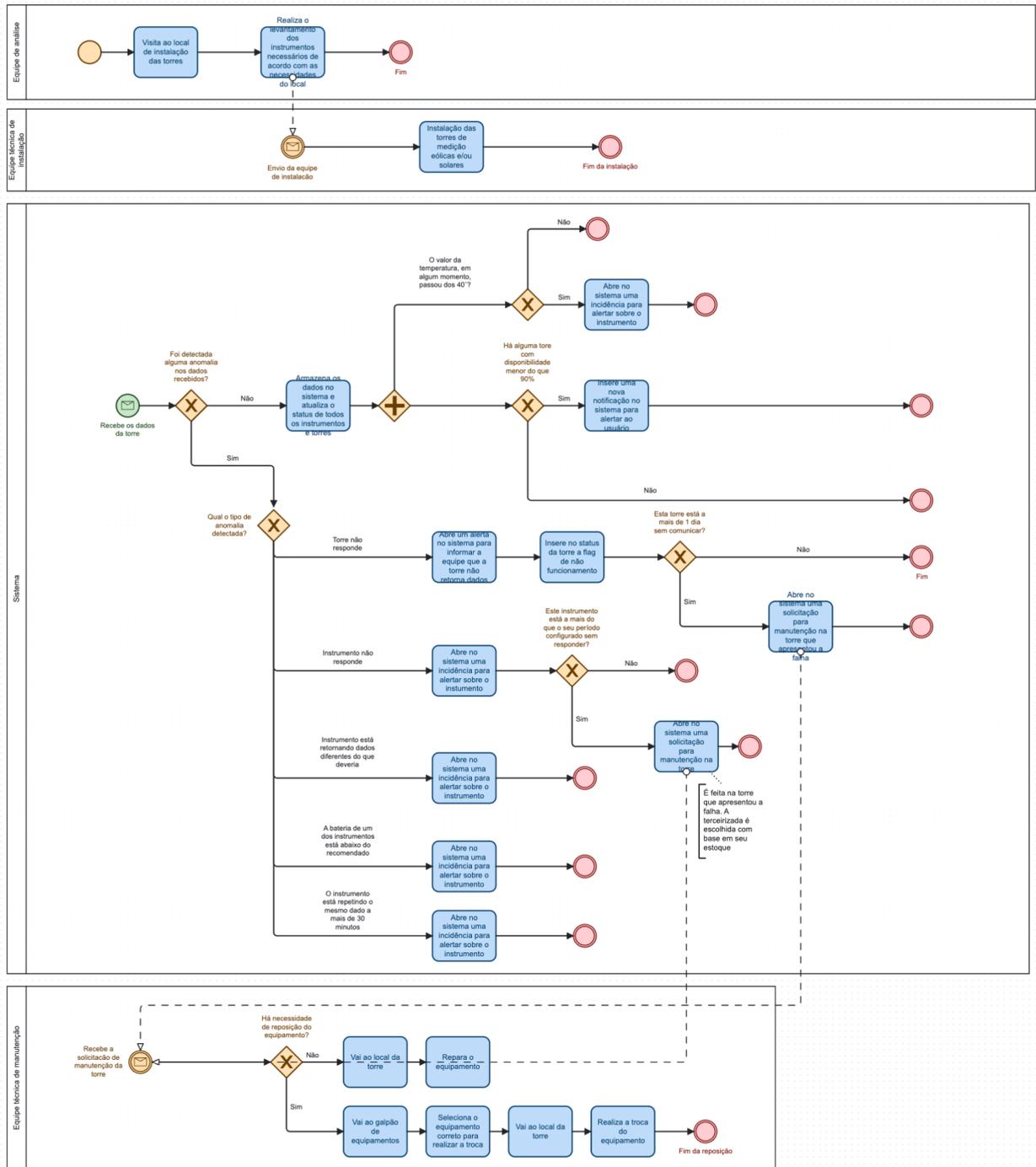
#### **4.5 Modelagem TO BE do processo de instalação e acompanhamento das torres de medição de indicadores**

A partir do estudo das dores e necessidades descobertos nas primeiras fases, como mencionado acima, foi possível idealizar uma solução mais adequada e que se encaixa à realidade da empresa de Energia.

Esta solução foi proposta inicialmente a partir do desenho de um esquema TO BE, este esquema proporciona uma visão clara e objetiva do fluxo de trabalho final das equipes da empresa bem como de todos os outros envolvidos no processo de análise, manutenção e instalação das torres de monitoramento.

No caso, foi proposto então uma plataforma que visa automatizar o fluxo de trabalho da empresa de energia, permitindo facilmente o acesso a informações e análises previamente manuais, além de facilitar todo o contato com as equipes de instalação e manutenção, que também possuem acesso ao sistema.

Figura 6 – Modelo TO BE após a solução



#### 4.6 Implementação do Processo TO BE

Com a análise de dores, necessidades e baseada na jornada atual, foi optado por criar um software para automatizar e resolver os principais problemas da jornada do usuário. Este software, antes de desenvolvido, foi validado com toda a equipe do projeto utilizando novamente a metodologia de Design Thinking.

### 4.6.1 Prototipação da plataforma

Após a ideação (etapa 3 do fluxo de trabalho da metodologia) foi idealizado junto a equipe do projeto alguns desenhos que, dentro da metodologia de Design Thinking são chamados de wireframes [18]. O objetivo da criação dos mesmos foi transformar as principais dores e oportunidades do processo em uma solução digital facilmente modificada para testar com os futuros usuários este conceito antes da prototipação em alta fidelidade.

Figura 7 – Dashboard de acompanhamento geral

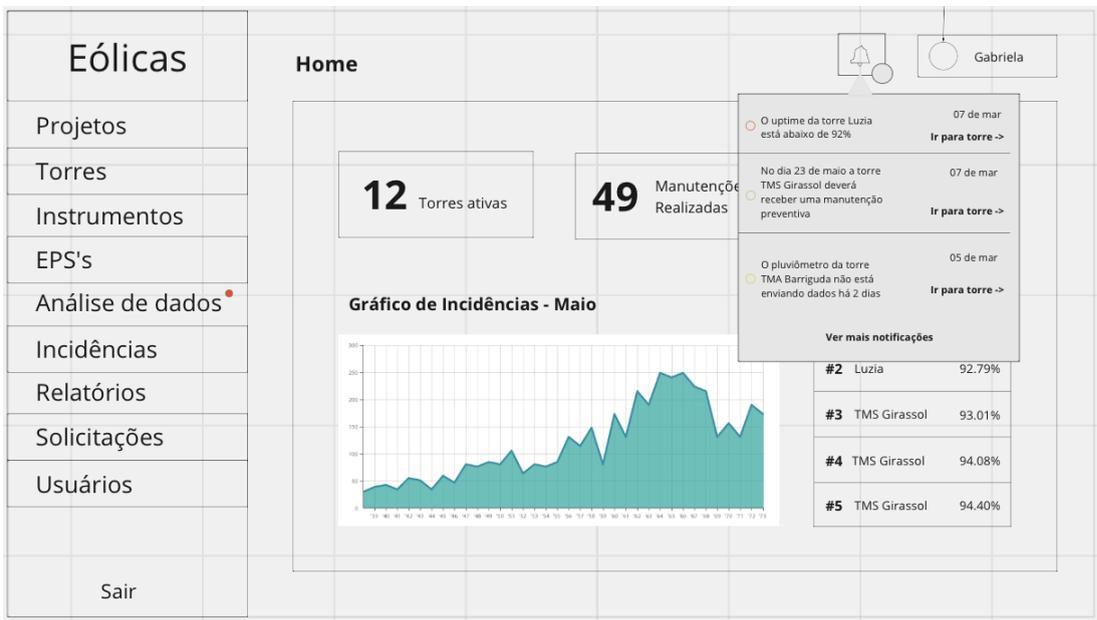
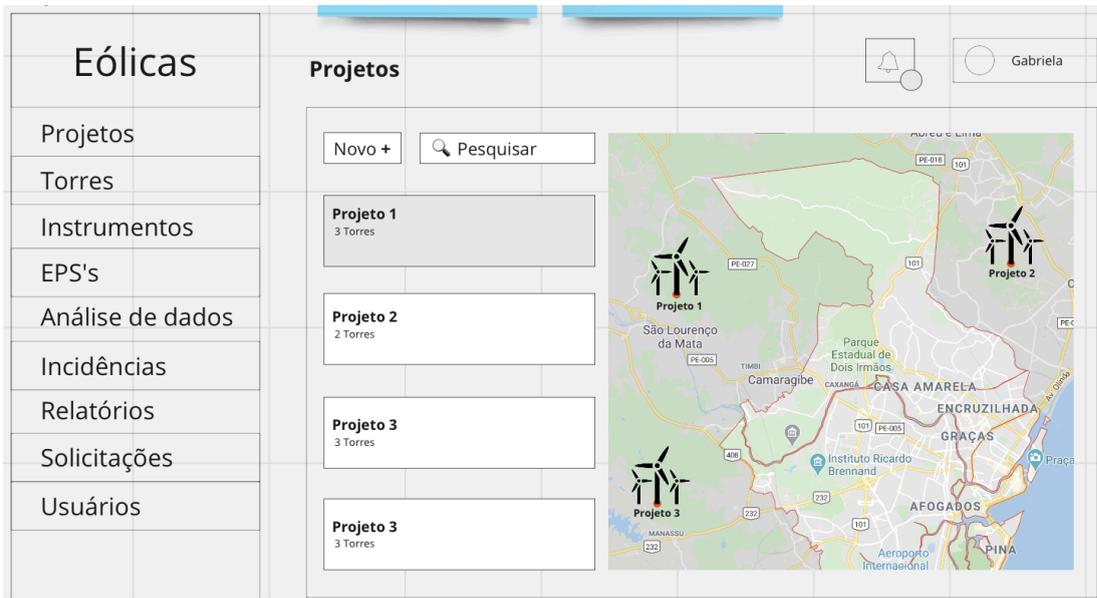
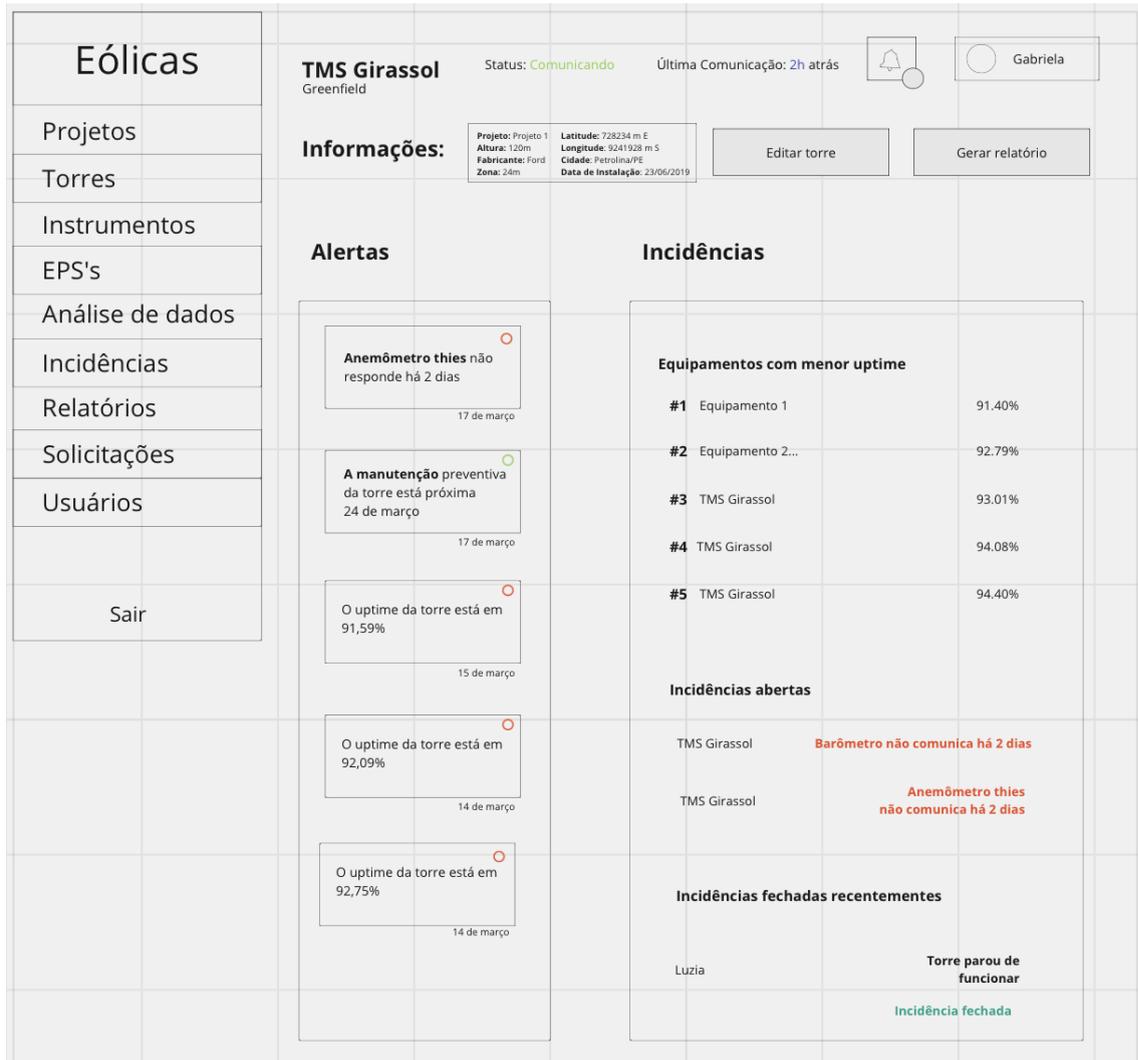


Figura 8 – Mapa das torres na plataforma



**Figura 9 – Acompanhamento e indicadores das torres**



Após o desenho em baixa fidelidade, a solução então foi validada e ajustada com os usuários em reunião e em testes de fluxo, testes estes que aconteceram em conjunto com os usuários que participaram das entrevistas. Estes ajustes propostos permitiu uma maior assertividade ao se desenhar o protótipo de alta fidelidade (etapa 4 do design thinking [18]) para proporcionar uma interação eficaz entre os operadores, técnicos e os resultados obtidos por meio da análise dos dados, desenvolveu-se uma interface de usuário intuitiva e de fácil utilização. A criação desta interface teve como objetivo central facilitar a tomada de decisões informadas e a programação de manutenções preditivas, ao permitir o acesso rápido e compreensível às informações relevantes.

Como requisitos do protótipo de alta fidelidade, foi pensado primeiramente na criação de uma interface gráfica amigável, considerando os princípios de usabilidade e design centrado no usuário. A interface foi projetada para exibir os dados

coletados em tempo real, as análises realizadas e as previsões de falhas de maneira clara e visualmente atraentes.

Os operadores e técnicos têm a capacidade de acessar a interface por meio de tablets ou computadores. Isso garantiu que as informações estivessem disponíveis tanto nas salas de controle quanto em um local remoto, onde a equipe está operando.

A interface fornece visualizações gráficas interativas, incluindo gráficos de scatter plot, rosa dos ventos e visualização do status dos equipamentos em operação. Os dados são atualizados em tempo real, permitindo que a equipe monitore o desempenho dos equipamentos de forma contínua.

Além disso, a interface foi equipada com alertas automatizados que foram implementados para que, sempre que uma anomalia ou possível falha fosse detectada pelos modelos de predição, o usuário fosse alertado imediatamente. Esses alertas permitiram que a equipe respondesse rapidamente a situações críticas, adotando ações corretivas imediatas ou programando intervenções preditivas.

A interface de usuário desenvolvida atuou como uma ferramenta fundamental para a aplicação prática dos resultados obtidos ao longo da pesquisa. Ao permitir uma visão consolidada e em tempo real do status operacional, as decisões puderam ser tomadas de maneira mais informada e estratégica, resultando em uma operação mais eficiente e confiável dos equipamentos de torres eólicas e solares.

Este protótipo foi validado e testado inúmeras vezes com a equipe em novas entrevistas individuais e em grupo (etapa 5 do Design Thinking). A partir destas coletas foram levantadas proposições de melhoria que eram novamente desenhadas no protótipo, até que foi possível chegar a uma versão final que atendia as dores e necessidades atuais coletadas.

Além do diagrama TO BE do processo, também foi importante a observação de como o sistema iria se comportar respondendo os principais objetivos mapeados inicialmente para a plataforma. Esta observação está descrita nos 3 tópicos abaixo, separados em: Coleta de dados das torres (4.5.1), Análise de dados coletados (4.5.2) e Desenvolvimento de modelos de predição (4.5.3).

#### **4.6.2 Coleta de dados das torres**

No âmbito desta pesquisa, a coleta de dados foi realizada por meio da transmissão dos dados dos equipamentos previamente instalados nas torres, visando a captura de informações precisas e em tempo real sobre o funcionamento desses sistemas. Os sensores são estrategicamente posicionados em pontos-chave das torres e calibrados de acordo com as necessidades de captura e do local pela própria equipe da empresa.

A seleção destes sensores é baseada em critérios técnicos e funcionais que garantem a captura abrangente dos indicadores relevantes para cada região e de acordo com cada tipo de futuro parte (eólico ou solar). São empregados sensores para medição da velocidade do vento em diferentes alturas, temperatura ambiente, radiação solar incidente, bem como outros sensores como: Anemômetros, Albedômetros, WindVane, Piranômetro entre outros.

Os sensores são conectados a uma rede de coleta de dados, que possibilita a transmissão contínua das informações para um sistema central de processamento. Essa abordagem permitiu uma supervisão do desempenho dos equipamentos, resultando em uma coleta de dados mais próxima possível do tempo real.

A coleta de dados, para cada um dos futuros parques eólicos ou solares, é realizada ao longo de um período de 2 anos, abrangendo diferentes condições climáticas e operacionais. Esse período garante a obtenção de um conjunto de dados diversificado e representativo, necessário para as análises subsequentes.

#### **4.6.3 Análise de dados coletados**

Após a coleta de dados por meio dos sensores instalados nos equipamentos das torres, o próximo passo consistiu na análise desses dados. Essa etapa envolveu o processamento e a interpretação dos dados brutos por meio de algoritmos de aprendizado de máquina.

Os dados coletados foram submetidos a uma série de pré-processamentos, incluindo filtragem, normalização e tratamento de outliers, a fim de garantir a qualidade e a consistência dos dados analisados. Em seguida, foram aplicados algoritmos de aprendizado de máquina, como algoritmos de agrupamento (clusterização) e algoritmos de regressão, para identificar padrões operacionais, correlações entre indicadores e possíveis anomalias.

A identificação de padrões permitiu a compreensão mais profunda do comportamento dos equipamentos em diferentes cenários, fornecendo insights sobre os fatores que afetam o desempenho e a eficiência energética. Além disso, as correlações identificadas entre os indicadores auxiliaram na compreensão das interações complexas entre os diferentes parâmetros monitorados.

Um dos principais objetivos da análise de dados foi a detecção precoce de possíveis anomalias ou falhas iminentes nos equipamentos. Para isso, foram desenvolvidos algoritmos específicos que se concentraram na identificação de padrões anômalos nos dados. Esses padrões indicavam situações que poderiam levar a problemas operacionais, permitindo uma intervenção proativa antes que as falhas ocorressem.

Para realizar esta análise dos dados da melhor forma, foi necessário criar 4 tipos de gráficos: Gráfico de linha; Rosa dos ventos; Comparação e Tower Shading. Para cada um dos gráficos é necessário selecionar um conjunto de informações que serve para sua necessidade.

Para visualizarmos um gráfico de linha é preciso informar 3 informações: um período de tempo, a torre em questão e quais os instrumentos dessa torre serão vistos durante esta análise. Cada instrumento tem quatro tipos de dados: Máxima (max), Média (avg), Mínimo (min) e Desvio Padrão (std), e a Média (avg), mais utilizados das análises. Os dados são lidos de 10 em 10 minutos, caso não haja um dado nesse intervalo (seja por falha do instrumento ou remoção do usuário) é mostrado um espaço vazio. O gráfico de linha permite que sejam selecionadas no máximo duas unidades de medida diferentes, sendo mostrado em dois eixos diferentes e o seu principal objetivo é comparar resultados de alguns instrumentos da torre.

O segundo gráfico, rosa dos ventos, é usado para ilustrar a direção e a frequência das diferentes direções do vento medidas pelo instrumento "Windvane" das torres. Para este também é necessário selecionar uma das torres e também o período em que os dados devem aparecer. Para a visualização é feita uma média do período selecionado e renderizado de maneira que quanto mais frequente for aquela direção, mais distante do centro a linha fica.

O gráfico de comparação (também conhecido como dispersão ou scatter plot), terceiro gráfico da lista, é uma representação gráfica que exhibe pontos individuais em um sistema de coordenadas, onde cada ponto representa a

interseção de duas variáveis diferentes. Ele serve para identificar padrões, tendências ou correlações entre dados de dois instrumentos diferentes, sejam estes da mesma torre ou não. Caso o mesmo instrumento seja selecionado para ambos os lados da comparação, veremos uma linha reta (pois os dados são iguais). Ele por padrão é mais utilizado para comparação entre 2, para visualizar melhor sua performance comparado a outra.

Por fim, o gráfico de tower shading ou sombreamento de torre é usado para comparar anemômetros, instrumentos que medem a velocidade do vento. Para isto, é utilizada a razão entre seus valores, o sombreamento acontece quando a direção do vento é de tal forma que a torre age como um escudo para o anemômetro, causando uma diminuição das medidas de velocidade, como é sempre comparado dois anemômetros a forma esperada desse gráfico é a de um coração. Esse tipo de gráfico precisa de um volume muito grande de dados para proporcionar uma análise útil, mesmo usando um ano de medição ainda podemos notar bastante ruído nas direções de vento que são menos frequentes.

A análise de dados foi uma etapa fundamental para a consecução dos objetivos desta pesquisa, fornecendo informações valiosas para a tomada de decisões informadas e para a implementação bem-sucedida de modelos de predição de falhas.

#### **4.6.4 Desenvolvimento de modelos de predição**

Com base nos dados históricos obtidos durante a fase de coleta e nas análises detalhadas realizadas na etapa anterior, procedeu-se ao desenvolvimento de modelos de predição de falhas. Esses modelos foram criados com o propósito de antecipar possíveis problemas operacionais nos equipamentos das torres, permitindo intervenções preditivas antes que as falhas ocorressem.

A criação desses modelos baseou-se em técnicas de machine learning, que foram aplicadas aos dados históricos relevantes. Os dados incluíram informações sobre o desempenho passado dos equipamentos, bem como os indicadores operacionais capturados pelos sensores. Essa fonte de dados permitiu que os modelos aprendessem os padrões sutis associados a diferentes cenários operacionais e, conseqüentemente, a identificação de situações que poderiam levar a falhas.

Durante a fase de desenvolvimento, foram considerados diferentes algoritmos de machine learning, como regressão e árvores de decisão. Os modelos foram treinados utilizando uma parte dos dados históricos e validados utilizando outra parte para avaliar sua precisão e capacidade de prever falhas.

Os modelos resultantes foram capazes de prever problemas potenciais com base nas informações fornecidas pelos sensores em tempo real. A precisão das previsões foi constantemente avaliada e refinada à medida que mais dados foram coletados e analisados.

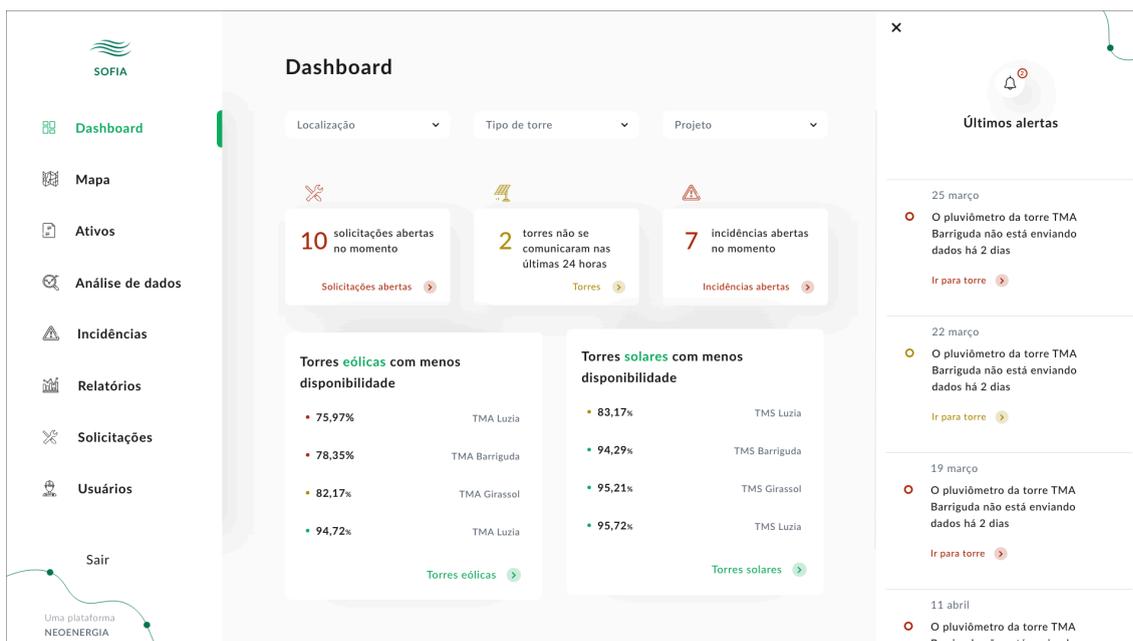
Esses modelos de predição de falhas representaram uma contribuição significativa para a eficiência operacional dos equipamentos, permitindo que as equipes de operação e manutenção tomassem medidas proativas para evitar possíveis interrupções não planejadas.

#### **4.6.5 Implementação da plataforma**

Após a validação da plataforma por parte dos usuários em protótipos de alta fidelidade, foi iniciada a implementação propriamente dita. Ela serviu como pontapé inicial para a validação dos objetivos e indicadores inicialmente propostos para a melhoria do estudo de caso.

Segue abaixo uma listagem de funcionalidades da plataforma implementada bem como uma descrição das mesmas.

**Figura 10 – Dashboard inicial de dados do sistema**

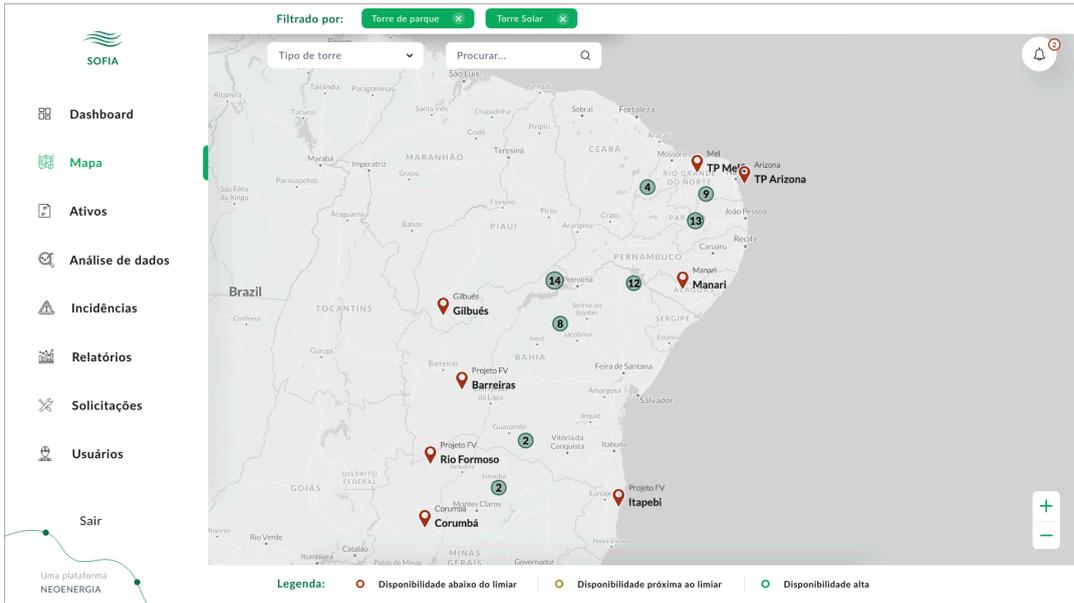


**Dashboard:** O usuário deve conseguir acessar o sistema de forma simples e visualizar de antemão os principais dados do sistema, sendo eles as solicitações abertas no momento, quais torres estão sem comunicar e quais incidências estão abertas no momento.

**Alertas:** Acontecem sempre que alguma atualização que acontecem no sistema. Seja quando uma torre ou equipamento não estiver respondendo, quando um chamado está sendo aberto, ou quando um dado parece estar diferente do padrão previamente mapeado para esta torre.

**Disponibilidade de torres:** Para obedecer a disponibilidade ideal, uma torre deve ter a disponibilidade acima de 90%, é mostrada então uma lista de disponibilidades de baixo para cima, a fim de alertar os usuários sobre as torres mais problemáticas da plataforma.

Figura 11 – Mapa de torres



**Mapa:** Nesta funcionalidade, o usuário consegue visualizar todas as torres do sistema e se está acima ou não da disponibilidade esperada. Se está abaixo do limiar padrão, próximo ao limiar ou se está com uma disponibilidade alta (acima de 90%). É possível aqui pesquisar uma torre específica ou visualizar todos os dados das partes se necessário.

Figura 12 – Detalhe de uma torre dentro do mapa de torres

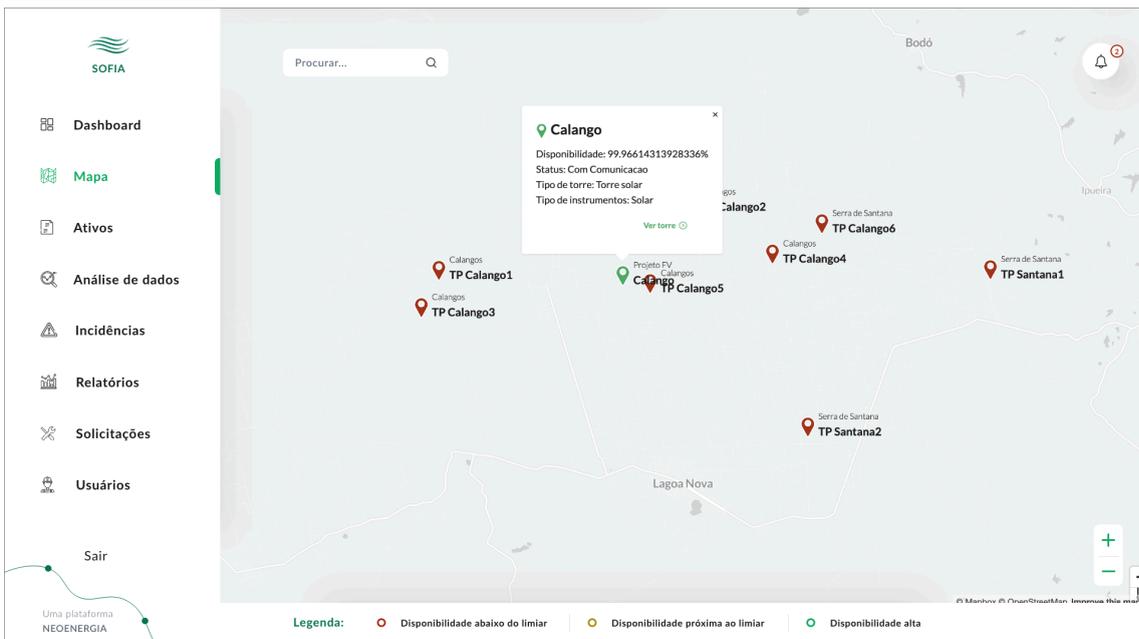
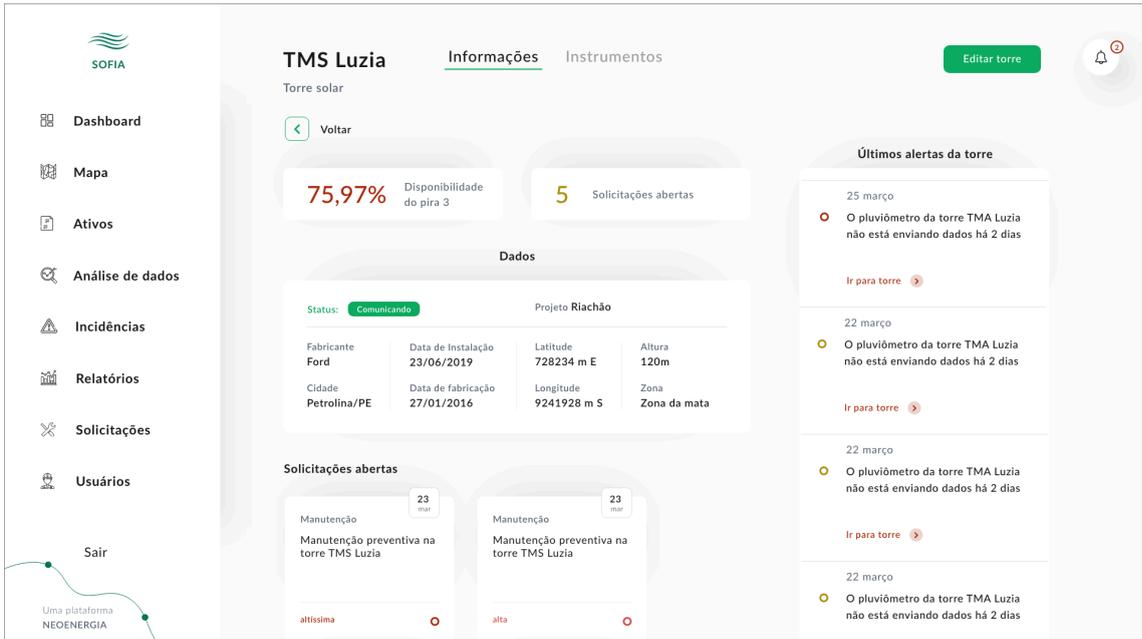
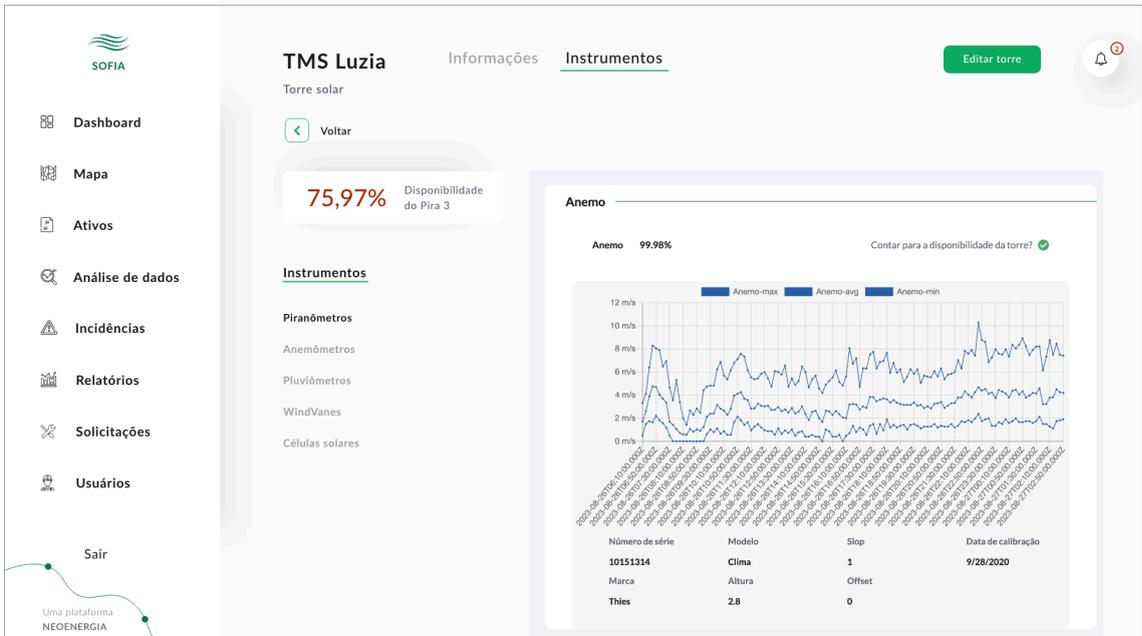


Figura 13 – Detalhe da uma torre - Informações gerais



**Detalhamento da torre:** Nesta funcionalidade o usuário deve conseguir visualizar todos os detalhes de uma torre, seja informações mais práticas, últimos alertas, disponibilidade, solicitações abertas e seus status.

Figura 14 – Detalhes da torre - Instrumentos



**Gráficos de instrumentos:** Nesta página, o usuário será capaz de visualizar todos os gráficos de todos os instrumentos da torre em tempo real, podendo visualizar as

informações de disponibilidade por equipamento para todo e qualquer equipamento da torre.

**Figura 15 – Ativos do sistema - Torres**

The screenshot displays the 'Ativos' (Assets) section of the SOFIA system, specifically the 'Torres' (Towers) tab. The interface features a sidebar with navigation options: Dashboard, Mapa, Ativos (highlighted), Análise de dados, Incidências, Relatórios, Solicitações, Usuários, and Sair. The main content area shows a list of towers with various filters and a table of 75 filtered towers. The table columns are: Nome, Projeto, Status, Tipo, Data de Instal., Latitude, Longitude, Altura, and Cidade. The status of each tower is indicated by a colored pill: 'Com Comunicação' (green), '2 Dias Sem Com.' (red), and 'Sem Comunicação' (grey).

Nome	Projeto	Status	Tipo	Data de Instal.	Latitude	Longitude	Altura	Cidade
TP Canoas2	Canoas	Com Comunicação	Torre de Parque	30/10/2018	-6,900003°	-36,773733°	84m	Santa Luzia
TP Canoas4	Canoas	Com Comunicação	Torre de Parque	30/10/2018	-6,863242°	-36,747006°	84m	Santa Luzia
TP Chafariz1	Chafariz	Com Comunicação	Torre de Parque	30/10/2018	-6,974474°	-36,880824°	82m	Santa Luzia
TP Chafariz2	Chafariz	Com Comunicação	Torre de Parque	30/10/2018	-7,035523°	-36,915602°	82m	Santa Luzia
TP Chafariz3	Chafariz	Com Comunicação	Torre de Parque	30/10/2018	-7,03043°	-36,88842°	84m	Santa Luzia
TP Chafariz6	Chafariz	Com Comunicação	Torre de Parque	30/10/2018	-7,001296°	-36,874895°	82m	Santa Luzia
TP Chafariz7	Chafariz	Com Comunicação	Torre de Parque	30/10/2018	-6,938502°	-36,866312°	82m	Santa Luzia
TP Lagoa4	Lagoas	Com Comunicação	Torre de Parque	30/10/2018	-6,88049°	-36,82832°	84m	Santa Luzia
TP Oitis8	Oitis8	Com Comunicação	Torre de Parque	28/09/2020	-9,1014°	-41,747705°	125m	Dom Inocencio
Bonito	Projeto FV	2 Dias Sem Com.	Torre solar	28/09/2020	-8,699244°	-41,715134°	3m	Lagoa do Barro do...

**Ativos - Torres:** A visualização de disponibilidades de torres também é listada para o usuário entender suas informações e status, aqui ele consegue além de visualizar os dados, atualizar os mesmos e mudar quaisquer informações necessárias para seu perfeito funcionamento.

Figura 16 – Prestadores de serviço

**Ativos**   Torres   Instrumentos   Prestadoras de serviço   Projetos

Procurar...

55 Eps filtradas

**Braselco**  
Solicitações: 0  
Estoque: 0 Torre(s); 5 Instrumento(s)

**EML**  
Solicitações: 0  
Estoque: 3 Torre(s); 0 Instrumento(s)

**Notus**  
Solicitações: 0  
Estoque: 2 Torre(s); 5 Instrumento(s)

**IS**  
Solicitações: 10  
Estoque: 18 Torre(s); 83 Instrumento(s)

**BRIK**  
Solicitações: 0  
Estoque: 0 Torre(s); 57 Instrumento(s)

**Neoenergia**  
Solicitações: 0  
Estoque: 6 Torre(s); 0 Instrumento(s)

**IS**   Editar

Solicitações abertas: 8   Ver solicitações

Torres em estoque: 10

Instrumentos em estoque: 48

**Instrumentos**

Tipo de instrumento	Estoque atual	Estoque mínimo	Item
Anemo	27	0	Item
AneV	4	0	Item
WV	13	0	Item
Baro	4	0	Item
Umíd	9	0	Item
Temp	9	0	Item
Datalogger	5	0	Item
GHI	8	0	Item
Pluv	4	0	Item

**Torres**

Tipo de torre	Estoque atual
Torre de habilitação	9
Torre de Reforço	8

**Prestadores de serviço:** Nesta seção, o usuário consegue visualizar todas as equipes prestadores de serviços bem como o estoque de cada equipamento que a prestadora possui. Isto é útil para casos de manutenções. Em casos de substituição de equipamentos, o sistema aciona automaticamente a prestadora livre que possui o equipamento.

Figura 17 – Gráfico de linha - 2 Instrumentos

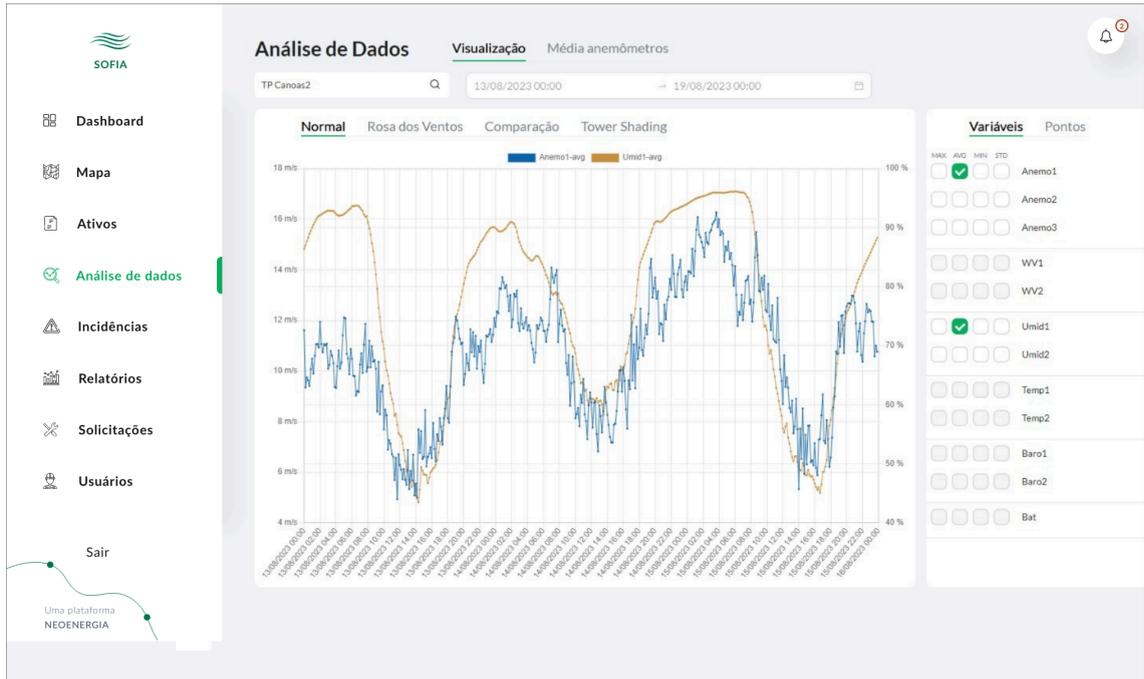


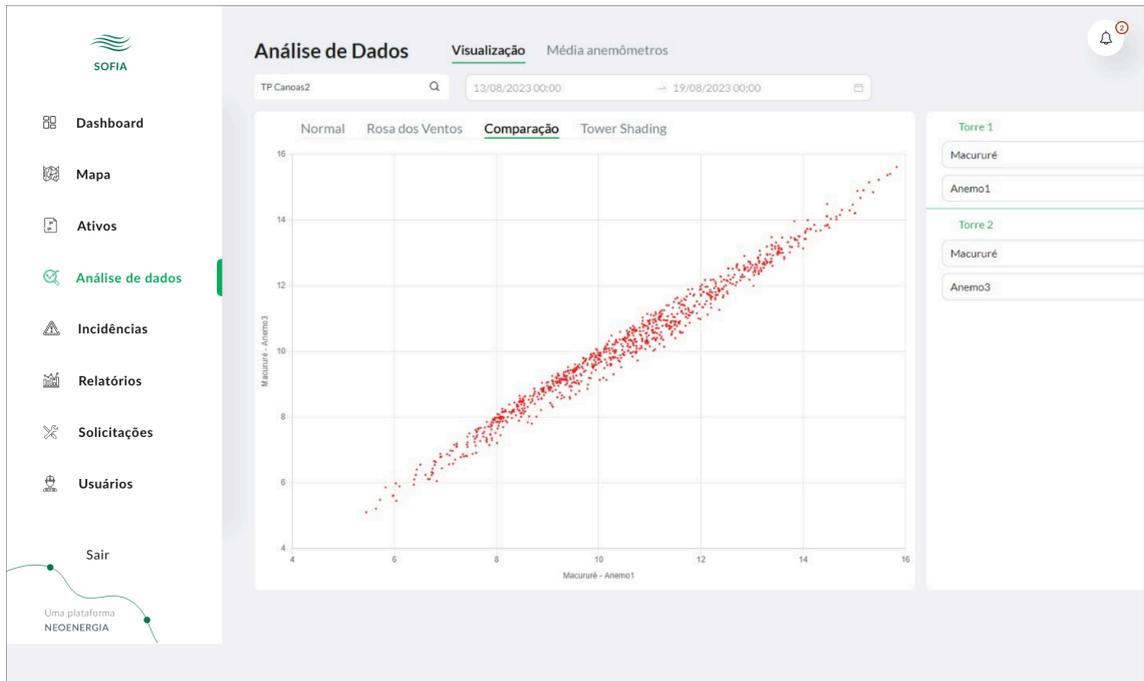
Figura 18 – Gráfico de linha - 1 Instrumento



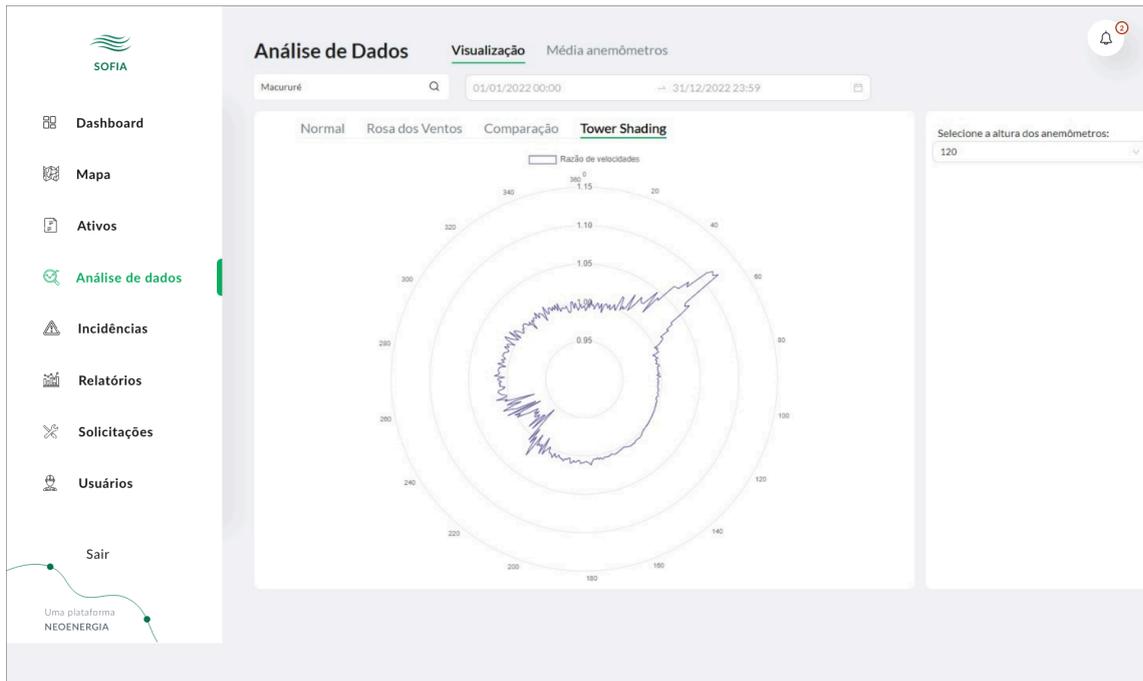
Figura 19 – Gráfico de rosa dos ventos



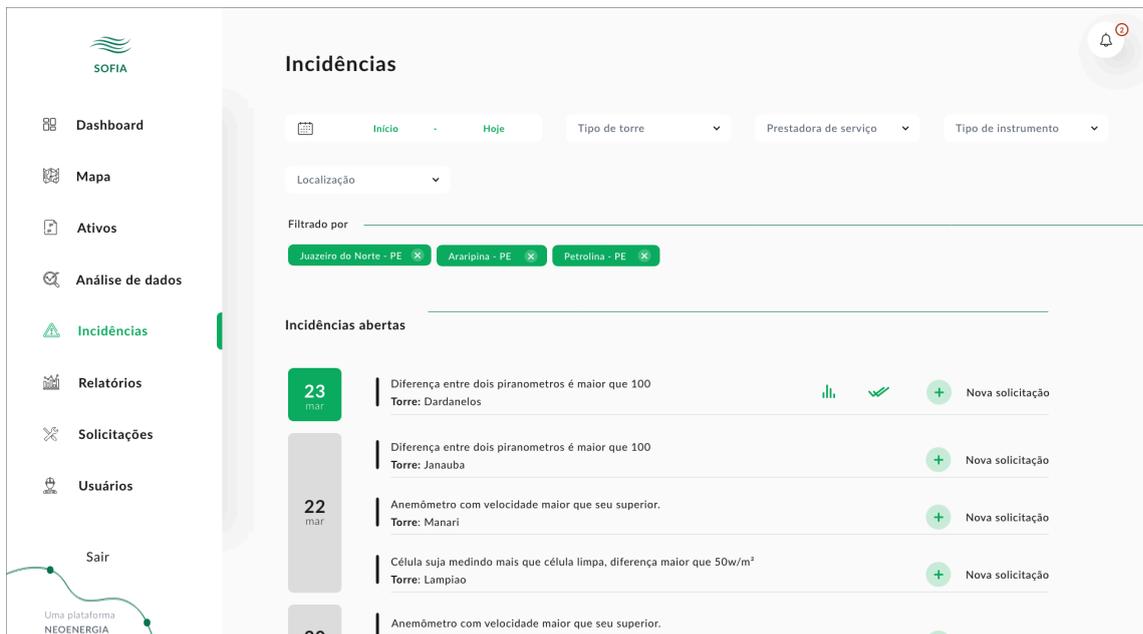
Figura 20 – Gráfico de comparação



**Figura 21 – O gráfico de rosa dos ventos**

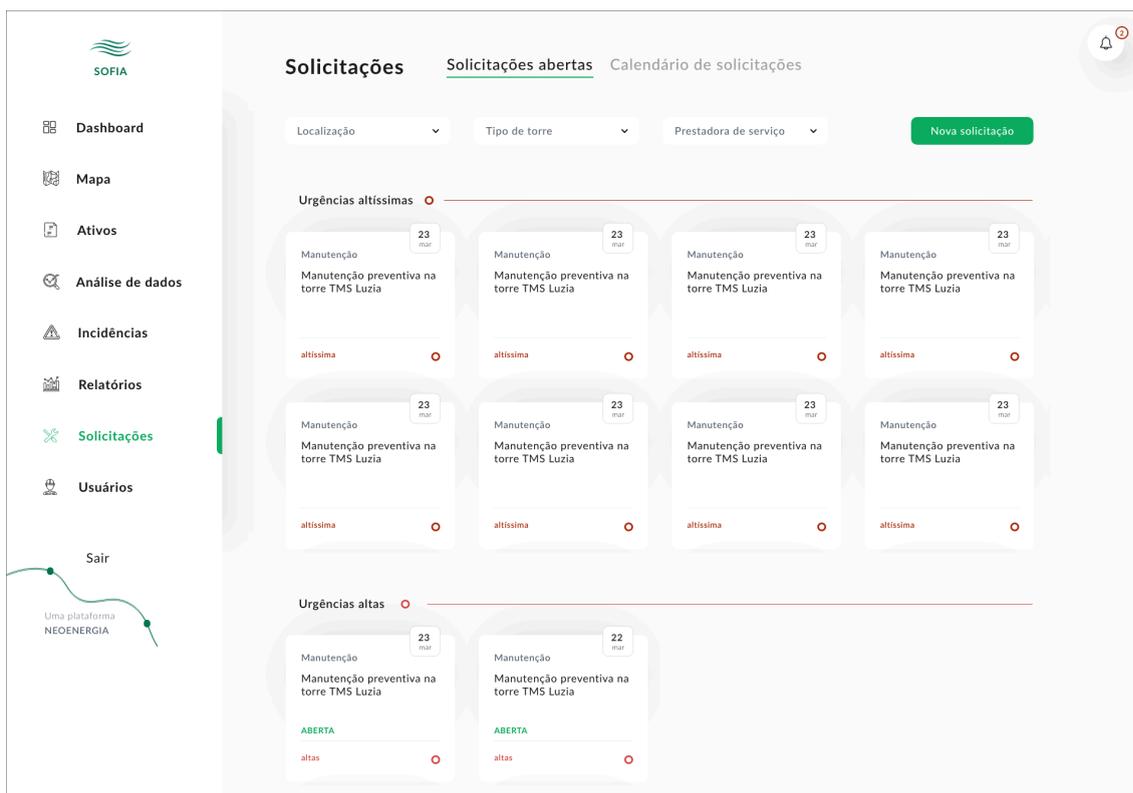


**Figura 22 – Incidências**



**Incidência:** Uma incidência é aberta sempre que um dado não está de acordo com o padrão esperado desta torre / tipo de equipamento, esta incidência apenas notifica o usuário. A partir das suas informações o usuário pode abrir uma solicitação no sistema, para que uma das equipes de campo averigüe este dado.

**Figura 23 – Solicitações**



**Solicitação:** Uma solicitação sempre terá como resultado a visita de uma equipe a torre. Seja para manutenção preditiva, manutenção corretiva ou apenas para visualização de uma das incidências que aconteceram. Elas são divididas em 5 categorias, das urgências altíssimas até as de baixa urgência.

Para o desenvolvimento do sistema, foram utilizadas tecnologias comuns no mercado como React Native para o Front-End e TypeScript para o backend. As tecnologias foram selecionadas de acordo com as necessidades levantadas tanto em relação a otimização dos recursos, quanto em relação à integração com os dados enviados pelas torres.

#### 4.7 Síntese do estudo de caso

Como evidenciado nas seções anteriores, a integração do estudo de caso com a estrutura do BPM e a aplicação da metodologia do Design Thinking desempenharam um papel fundamental na abordagem das questões centrais estabelecidas no início da investigação.

A otimização do processo [P1] foi alcançada por meio da automação de uma parte substancial das tarefas. Essa automação resultou em um aumento na eficiência da equipe, permitindo que os problemas sejam solucionados prontamente em vez de demandar análises extensivas para identificá-los, uma vez que agora são identificados automaticamente.

Essa abordagem transformou a limitação do processo, que antes estava relacionada à quantidade de dados inseridos pela equipe, para a capacidade da equipe de manutenção de cobrir os locais de instalação das torres de medição. Essa capacidade aumentada supera significativamente a restrição anterior, proporcionando uma melhoria no processo como um todo.

A detecção de erros nas torres de avaliação [P2] foi solucionada por meio da implementação de algoritmos que realizam a coleta de dados e monitoram os desvios com base no tipo de equipamento. Essa abordagem tornou o processo automatizado e altamente eficiente. A partir da coleta contínua de desvios, categorizados por tipo, a equipe responsável é prontamente notificada e, quando necessário, o sistema aciona automaticamente a equipe de manutenção para realizar as correções necessárias. Estes erros localizados pelo sistema chegam para o usuário em forma de notificações [Figura 10] e incidências [Figura 22].

Como mencionado anteriormente, o sistema opera de maneira automática, acionando a equipe de manutenção tanto em casos de falhas persistentes ou downtime constante de uma torre ou de seus equipamentos, como parte de uma abordagem de manutenção corretiva. No entanto, vale ressaltar que esse mecanismo de acionamento também abrange a manutenção preditiva. Na manutenção preditiva [P3], o sistema vai além do simples acompanhamento do tempo decorrido desde a última intervenção de manutenção. Ele utiliza algoritmos de previsão para avaliar se um determinado instrumento apresenta probabilidade de falha nos próximos dias ou semanas. Esse processo permite que a equipe seja acionada preditivamente, antes que ocorra uma falha ou um downtime, contribuindo para a minimização de interrupções não planejadas.

Esse processo é viável devido à capacidade do sistema de mapear as incidências de cada equipamento e torre de forma individualizada, eliminando assim a necessidade de intervenção humana para detecção de erros [P4].

De maneira conclusiva, esse processo valida as duas hipóteses iniciais definidas no caso de estudo. As operações previamente subestimadas,

especificamente a análise e detecção, que eram frequentemente negligenciadas devido ao esforço operacional exigido, se mostraram elementos cruciais para a otimização do sistema. Essas operações não apenas aprimoraram o sistema, mas também agregaram valor substancial à empresa ao longo do processo [Prop 1].

O que também se comprovou verídico em relação à segunda proposição onde se observou um aumento significativo no número de incidências detectadas, uma vez que agora são identificadas de maneira automática [Prop 2]. No entanto, a automação completa do acionamento das equipes de manutenção resultou em uma maior eficiência do sistema como um todo. Isso se traduziu em uma redução substancial no tempo total de inatividade (downtime) do sistema.

O sistema implementado, mesmo que recente, já está sendo utilizado pela empresa. Os resultados estão se mostrando positivos mesmo em sua aplicação breve. Novas funcionalidades foram solicitadas e estão sendo implementadas como o módulo de controle de projetos (conjunto de torres instaladas em uma localização) e o controle de relatórios enviados pelo AMA por torre. Estas funcionalidades e outras solicitações e melhorias estão sendo coletadas em tempo real junto a empresa.

Este processo finaliza o ciclo de implantação BPM e também do Design Thinking. Ciclo estes onde novas melhorias são solicitadas / percebidas e novamente se inicia um novo processo para melhorar o que foi construído. Este processo é sempre necessário e faz parte da construção e da transformação digital constante que todas as empresas precisam passar para se manter atualizadas no mercado.

## 5. LIÇÕES APRENDIDAS

Ao fim do projeto, foi possível levantar as principais lições aprendidas, pontos observados durante a execução e que podem servir de aprendizado para próximos projetos futuros.

- A primeira grande lição aprendida foi a importância de uma metodologia bem estruturada no sucesso de um projeto. A combinação de Design Thinking com a notação BPMN provou ser uma abordagem eficaz para entender, mapear e melhorar complexos processos industriais. Isso ressalta que uma boa preparação e planejamento são cruciais para qualquer projeto de melhoria de processo. A proximidade com os usuários, ponto central no Design Thinking e que fez o projeto ser bem sucedido. Cada um dos pontos de melhoria e ajustes eram validados diretamente com quem estavam dentro do processo. Isto ajudou o mesmo a se tornar um processo não só otimizado para a realidade da empresa, mas desejado por quem o iria vivenciar no dia a dia.
- Ambas metodologias estruturadas em um formato de estudo de caso ajudaram a transformar o esqueleto do trabalho em uma ferramenta que pode ser utilizada por outras empresas da área de tecnologia ou não a estruturar e melhorar seus processos utilizando tecnologia. Os métodos e estratégias desenvolvidos neste projeto têm grande potencial de replicabilidade. Outras empresas no setor de energia verde podem adotar abordagens similares para melhorar seus próprios processos, tornando este projeto um possível estudo de caso para a indústria.
- A coleta e comparação do processo antes (AS IS) e depois da implementação (TO BE) das melhorias permitiram uma avaliação objetiva das estratégias aplicadas, enfatizando as necessidades do usuário e como cada uma delas foram atendidas tanto na melhoria do processo quanto ao longo da implantação do sistema. Esta melhoria pode ser evidenciada tanto na diminuição do trabalho manual da equipe quanto na redução do downtime das torres que estão no sistema operando.

## 6. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

À medida que surgem desafios crescentes relacionados às mudanças climáticas e à busca por alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis, a importância das fontes de energia renovável, como a solar e eólica, torna-se cada vez mais evidente. O potencial dessas fontes para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover uma matriz energética mais limpa e responsável é inquestionável. No entanto, a eficiência dessas tecnologias é um fator crítico que determina sua viabilidade a longo prazo.

A implementação dos sistemas de monitoramento e análise automatizada em torres que antecedem a instalação de parques eólicos e solares demonstra a aplicação prática e transformadora da tecnologia no setor de energia renovável. O projeto compartilha o objetivo fundamental de otimizar a eficiência destas análises, prever falhas e maximizar a produção de energia limpa, contribuindo assim para um futuro mais sustentável.

A capacidade de identificar padrões operacionais, tendências e anomalias, utilizando algoritmos, demonstra como a tecnologia pode capacitar os operadores a tomar decisões informadas e a implementar intervenções preditivas de maneira eficaz. A implementação de modelos de previsão de falhas baseados em dados históricos é um marco importante na direção de uma manutenção mais proativa e na redução dos períodos de inoperância desses equipamentos.

O processo de implementação da tecnologia compartilha uma trajetória de planejamento, desenvolvimento, testes e integração cuidadosa, culminando em sistemas operacionais capazes de contribuir positivamente para a eficiência e sustentabilidade da produção de energia renovável. É necessário antes de tudo entender a raiz do problema, para depois se propor uma solução adequada e que irá resolver as diretrizes necessárias.

A capacidade de monitorar, analisar e prever o desempenho de torres de monitoramento que antecedem parques eólicos e solares não apenas resulta em uma operação mais eficiente, mas também ressalta a importância da inovação tecnológica no enfrentamento dos desafios globais relacionados à energia e ao meio ambiente. A interseção entre a tecnologia e as energias renováveis destaca um caminho promissor para um futuro mais sustentável, que desempenha um papel vital na otimização dos recursos naturais e na redução dos impactos ambientais.

No contexto mais amplo, a implementação bem-sucedida dessas soluções de automação contribui para um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente. Ao acompanhar de forma mais constante e automatizada os instrumentos que precedem a instalação de grandes parques de energia, podemos desempenhar um papel fundamental na transição para uma matriz energética mais limpa e na mitigação dos impactos ambientais.

Em última análise, este trabalho representa um passo adiante na busca por um equilíbrio entre a demanda crescente por energia e a necessidade premente de preservar nosso planeta para as gerações futuras. As abordagens exploradas aqui não apenas aprimoram a eficiência operacional dos sistemas de energia renovável, mas também exemplificam o poder da inovação tecnológica como um catalisador para a mudança positiva e a construção de um futuro mais sustentável.

Os resultados concretos desta implementação foram a redução significativa dos períodos de inoperância dos equipamentos e a rápida execução de relatórios necessários para validar os dados coletados com os órgãos competentes da área de energia. Com a capacidade de identificar e abordar problemas potenciais antes que eles se transformassem em falhas reais, os equipamentos operaram de maneira mais eficiente e confiável, já que o downtime de todas as torres diminuiu e um dos principais fatores de inoperância dos equipamentos (a falta de manutenções preditivas) foi adicionada a equação. Este processo contribui para uma mais constante e correta visualização dos dados coletados.

Em relação a limitação do trabalho, é notável que pela recente implementação do sistema proposto, ainda é necessário uma coleta mais extensa para considerar melhorias e aprimoramentos futuros, comuns a todo software e parte do processo do BPM e também do Design Thinking, implementados durante a execução do projeto.

Por fim, este processo, por ser necessário não só para a empresa abordada mas para todas as empresas de energias que implementam a energia verde, pode ser facilmente replicado e adequado ao contexto das mesmas. Estendendo assim o campo de atuação do mesmo. Tornando-o uma possível referência para estas empresas ao buscar automatizar o seus processos que possam estar passando pelas mesmas necessidades de melhoria e otimização.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] IPCC. **SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6) Summary for Policymakers.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- [2] **Brasil amplia uso de energias eólica e solar e reduz índice de combustíveis fósseis, afirma estudo.** Disponível em: <<https://exame.com/esg/brasil-amplia-uso-de-energias-eolica-e-solar-e-reduz-indice-de-combustiveis-fosseis-afirma-estudo/>>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- [3] ACCIONA. **The importance of renewable energies | ACCIONA | Business as unusual.** Disponível em: <[https://www.acciona.com/renewable-energy/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/renewable-energy/?_adin=02021864894)>. Acesso em: 25 Jun. 2023.
- [4] BOEHM, S. ; SCHUMER, C. 10 conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023. **WRI Brasil.** Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- [5] O que é energia do petróleo e como ela é utilizada no mundo?. **EsferaEnergia,** 2023. Disponível em: <<https://blog.esferaenergia.com.br/fontes-de-energia/energia-petroleo>>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [6] Energia renovável chega a quase 50% da matriz elétrica brasileira. **Serviços e Informações do Brasil,** 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira>>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- [6] O QUE É PRECISO CONSIDERAR PARA INICIAR UMA USINA EÓLICA?. **ENERGÊS,** 2022. Disponível em: <<https://energes.com.br/iniciar-eolica>>. Acesso em: 17 ago. 2023.
- [7] 4 pilares de uma jornada de transformação digital. **Opus software,** 2023. Disponível em: <<https://www.opus-software.com.br/insights/jornada-de-transformacao-digital>>. Acesso em: 7 set. 2023.
- [8] Pilares da transformação digital: veja aqui quais são! **blog.engdb.com.br,** 2021. Disponível em: <<https://blog.engdb.com.br/pilares-da-transformacao-digital>>. Acesso em: 10 set. 2023.
- [9] YIN, R. K. **Case study research and applications: Design and methods.** 6. ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications, 2018.

- [10] O que é BPM? Aprenda tudo o que precisa sobre Business Process Management. **Blog SYDLE**, 2022. Disponível em: <<https://www.sydle.com/br/blog/o-que-e-bpm-60f86637b2503757979da2f8>>. Acesso em: 15 set. 2023.
- [11] EDUCAÇÃO, R. X. Afinal, o que é Design Thinking e quais as etapas?. **XP Educação**, 2022. Disponível em: <<https://blog.xpeducacao.com.br/design-thinking/>>. Acesso em: 18 set. 2023.
- [12] OLIVEIRA, W. O que é BPMN? A notação mais usada para modelar processos. **HEFLO PT**, 2018. Disponível em: <<https://www.heflo.com/pt-br/bpm/notacao-bpmn/>>. Acesso em: 18 set. 2023.
- [13] DUMAS, M. *et al.* **Fundamentals of Business Process Management**. 2. ed. [S.l.]: Berlin Springer Berlin Springer, 2018. Acesso em: 18 set. 2023.
- [14] BROWN, T. Change by Design: How design thinking transforms organizations and inspires innovation. [S.l.]: **Harper Business**, 2009. Acesso em: 17 set. 2023.
- [15] LOWDERMILK, T. **Design Centrado no Usuário**. [S.l.]: Novatec Editora, 2019. Acesso em: 16 set. 2023.
- [16] NORMAN, D. A.; DEIRÓA. **O design do dia-a-dia**. [S.l.]: Rio De Janeiro Rocco, 2006. Acesso em: 18 set. 2023.
- [17] BERG, L. O que é Design Thinking? Um Guia Completo sobre Design Thinking. **AprendeAí**, [s.d.]. Disponível em: <<https://aprendeai.com/inovacao/o-que-e-design-thinking>>. Acesso em: 19 set. 2023.
- [18] What is Wireframing? **The Interaction Design Foundation**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.interaction-design.org/literature/topics/wireframing>>. Acesso em: 30 set. 2023.
- [19] Geração eólica e solar da Neoenergia cresce 70% em 2022. **Neoenergia**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/w/geracao-eolica-e-solar-da-neoenergia-cresce-70-em-2022>>. Acesso em: 1º out. 2023.