

**Aplicação de Mapeamento de Fluxo de Processos e Simulação Computacional para
Melhoria de Processos em uma Empresa do Ramo Eólico**

**Using Process Flow Mapping and Computational Simulation to Improve Processes in a
Company in the Wind Industry**

**Aplicación de Mapeo de Flujos de Procesos y Simulación Computacional para Mejorar
Procesos en una Empresa de la Industria Eólica**

Como Citar:

Terceiro, Manuela A.; Pontes, Heráclito L. J.; Baltazar, Marcos C. P. (2024). Aplicação de Mapeamento de Fluxo de Processos e Simulação Computacional para Melhoria de Processos em uma Empresa do Ramo Eólico. Revista Gestão & Tecnologia, v. 24, nº 4. P.216-242

Manuela Andrade Terceiro

Graduada em Engenharia de Produção Mecânica na Universidade Federal do Ceará.

Heráclito Lopes Jaguaribe Pontes

Coordenador do Curso de Engenharia de Produção Mecânica e Professor Associado do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará

<https://orcid.org/0000-0002-8199-7935>

Marcos Charles Pinheiro Baltazar

Professor na área de Logística do Instituto Federal de Alagoas

Editor Científico: José Edson Lara
Organização Comitê Científico
Double Blind Review pelo SEER/OJS
Recebido em 03/06/2022
Aprovado em 02/08/2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution – Non-Commercial 3.0 Brazil

Resumo

Objetivo do estudo: Melhorar o fluxo de processos de uma empresa do ramo eólico por meio do mapeamento do fluxo do processo na área de Ultrassom e da projeção do fluxo num *software* de simulação de eventos discretos específico como forma de aumentar a capacidade para atendimento ao plano de produção.

Metodologia/abordagem: Implementação de uma rotina de apontamentos, construção de uma base de dados de tempos de processamento e análise e melhoria de fluxo IDEF-SIM e da simulação computacional.

Originalidade/Relevância: A simulação de eventos discretos é uma ferramenta atual e com grande potencial que permite a realização de cenários para testar possibilidades de melhorias de um sistema produtivo com rapidez e flexibilidade. A utilização da simulação em empresas do ramo eólico é algo recente e relevante, pois são empresas com grande potencial de crescimento, que demandam uma análise constante de seus fluxos de produção e uma tomada de decisão rápida baseada em cenários.

Principais resultados: Foi possível identificar cenários que retornariam um processamento mensal de pás eólicas superior ao atual, bem como uma redução de 50% no número de pás em espera.

Contribuições teóricas/metodológicas: Constatou-se a necessidade de: (a) envolvimento de gestores que conhecem bem os processos para buscar soluções; (b) uniformizar processos e instrumentos de coleta de dados de medição antes de iniciar a simulação de processos; (c) adequação dados validados para simulação computacional. Reforçou-se a: (d) aplicabilidade do IDEF-SIM como técnica de adequada para compreender os processos em conjunto com a simulação computacional para identificar meios de aumentar a capacidade de processos.

Palavras-chave: Simulação; Flexsim; Processo; IDEF-SIM; Ramo Eólico.

Abstract

Objective: Improve the process flow of a company in the wind industry by mapping the process flow in the Ultrasound area and projecting the flow in a specific discrete event simulation software to increase the production capacity.

Methodology/approach: Implementation of an annotation routine, construction of a database of processing times and analysis and improvement through IDEF-SIM flow and computer simulation.

Originality/Relevance: The simulation of discrete events is an up-to-date tool with great potential that allows the realization of scenarios to test possibilities for improvement of a production system without impacting the company's daily activities, quickly and flexibly. The use of simulation in companies in the wind industry is something recent and relevant, as they are companies with great growth potential in the short and medium term that demand constant analysis of their production flows and quick decision-making based on scenarios.

Main results: It was possible to identify scenarios that would return a higher monthly wind blade processing than the current one, as well as a 50% reduction in the number of standby blades.

Theoretical/methodological contributions: There was a need for: (a) involvement of managers who know the processes well to seek solutions; (b) standardize measurement data

collection processes and instruments before starting the process simulation; (c) adequacy of validated data for computer simulation. It was reinforced the: (d) applicability of the IDEF-SIM as an adequate technique to understand the processes together with the computational simulation to identify ways to increase the process capacity.

Keywords: Simulação; Flexsim; IDEF-SIM.

Resumen

Objetivo del estudio: Mejorar el flujo del proceso una empresa en la industria eólica mapeando el flujo del proceso en el área de Ultrasonidos y proyectando el flujo en un software específico de simulación de eventos discretos como una forma de aumentar la capacidad para cumplir con el plan de producción.

Metodología/enfoque: Implementación de una rutina de anotación, construcción de una base de datos de tiempos de procesamiento y análisis y mejora del flujo IDEF-SIM y simulación por computadora.

Originalidad/Relevancia: La simulación de eventos discretos es una herramienta actualizada con gran potencial que permite la realización de escenarios para probar posibilidades de mejora de un sistema productivo sin impactar en las actividades diarias de la empresa, de forma rápida y flexible. El uso de la simulación en empresas del sector eólico es algo reciente y relevante, ya que son empresas con gran potencial de crecimiento a corto y medio plazo que demandan un análisis constante de sus flujos de producción y una rápida toma de decisiones basada en escenarios.

Principales resultados: Se logró identificar escenarios que arrojarían un procesamiento mensual de palas eólicas superior al actual, así como una reducción del 50% en el número de palas en espera.

Contribuciones teóricas/metodológicas: Era necesario: (a) involucrar a los gerentes que conocen bien los procesos para buscar soluciones; (b) estandarizar los procesos e instrumentos de recopilación de datos de medición antes de iniciar la simulación del proceso; (c) idoneidad de los datos validados para la simulación por ordenador. Se reforzó la: (d) aplicabilidad del IDEF-SIM como técnica adecuada para comprender los procesos junto con la simulación computacional para identificar formas de incrementar la capacidad del proceso.

Palabras clave: Simulación; Flexsim; IDEF-SIM.

1. INTRODUÇÃO

A urbanização das cidades e o conseqüente avanço da infraestrutura, estimularam o uso da energia elétrica na iluminação e nos transportes, oriundo dos combustíveis fósseis (F. W. B. da Silva, 2017). Entretanto, o avanço tecnológico, aliado à propagação de ideias sustentáveis, favoreceram o uso de fontes alternativas de energia, destacando-se a energia eólica.

O aumento da demanda mundial por energia eólica estimulou às empresas a buscarem altos volumes de produção e a otimizar o uso do metro quadrado nos parques industriais. Somente a indústria brasileira eólica – oitavo lugar no *ranking* mundial em capacidade instalada, em 2019 - apresentou 15,4 GW de capacidade instalada, equivalente a 7.578 aerogeradores operando em 12 estados (Eólica, 2020).

Neste segmento industrial, mudanças físicas no plano de produção requerem altos investimentos, pois lidam com componentes de grande porte. A simulação computacional destes ambientes é um instrumento válido para análise e melhoria de processos com custo menores. Simular no computador permite analisar diferentes projeções físicas na produção antes que qualquer mudança tenha sido iniciada (Pontes et al., 2017) e viabilizam o estudo minucioso das restrições, desperdícios e recursos envolvidos no sistema (Chiminelli et al., 2017).

Um desafio importante enfrentado pelas empresas do setor, em especial as que produzem pás eólicas sob encomenda, é aumentar a produção sem alterar o prazo de entrega para um determinado cliente. Deste modo, alguns questionamentos são fundamentais: qual a capacidade atual de processamento? Quais as possibilidades de cenários para que a área expanda a capacidade de processamento? É possível reduzir o número de pás em fila na área e aumentar o número de pás processadas no mês?

O presente trabalho tem por objetivo melhorar o fluxo de uma empresa do ramo eólico por meio do mapeamento do fluxo do processo na área de Ultrassom e da projeção do fluxo num *software* de simulação específico como forma de aumentar a capacidade para atendimento ao plano de produção.

Este trabalho está organizado em cinco seções. Na primeira seção, a introdução, foi contextualizado o trabalho e definido o objetivo. Na segunda seção são apresentados os fundamentos teóricos para compreensão do trabalho, que envolve a indústria eólica, a simulação computacional e a metodologia IDEF-SIM. Na seção 3 são descritos o método proposto e as fases utilizadas para realização do trabalho. Na seção 4 é apresentado o estudo de caso com a caracterização da empresa, a modelagem conceitual e computacional e análise dos cenários simulados. Por último, na seção 5, são apresentadas as conclusões.

2. REFENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria Eólica

A indústria eólica brasileira caracteriza-se por, baseado numa análise das 4 Forças de Porter: (a) baixo grau de concorrência entre investidores de parques eólicos brasileiros; (b) alto poder de barganha entre fornecedores; (c) notório poder de barganha por parte do governo federal; e (d) crescente ameaça de novos entrantes, apesar de significativas barreiras de entradas no setor (Magalhães et al., 2019).

A participação da indústria eólica no mercado de geração de energia tem crescido e com obtenção de melhorias com reduções dos custos envolvidos nessa geração. Os principais gastos da indústria se concentram, principalmente em: investimento, operação, manutenção e financeiro (Dai et al., 2018). Um dos equipamentos que merece destaque na indústria eólica é o aerogerador e a pá eólica.

Um aerogerador é um dispositivo destinado a converter a energia cinética proveniente do vento em energia elétrica, por acionamento de um gerador elétrico (Manwell et al., 2009). Os principais componentes do aerogerador, sistema gerador de energia eólica (Figura 1), são:

- Pás eólicas, responsáveis pela captação do vento e conversão da energia até o rotor;
- Rotor, responsável pela fixação da pá e por transmitir a rotação para o eixo;
- Torre, responsável por sustentar a nacelle e o rotor;
- Nacelle, figura 1, responsável por comportar elementos como caixa de transmissão e transformador, essenciais para a execução das principais funções do aerogerador;
- Gearbox ou caixa multiplicadora, responsável por transformar as rotações ao eixo de baixa velocidade;
- Gerador, responsável pela conversão de energia em elétrica;
- Anemômetro, responsável por medir intensidade, velocidade e direção do vento.

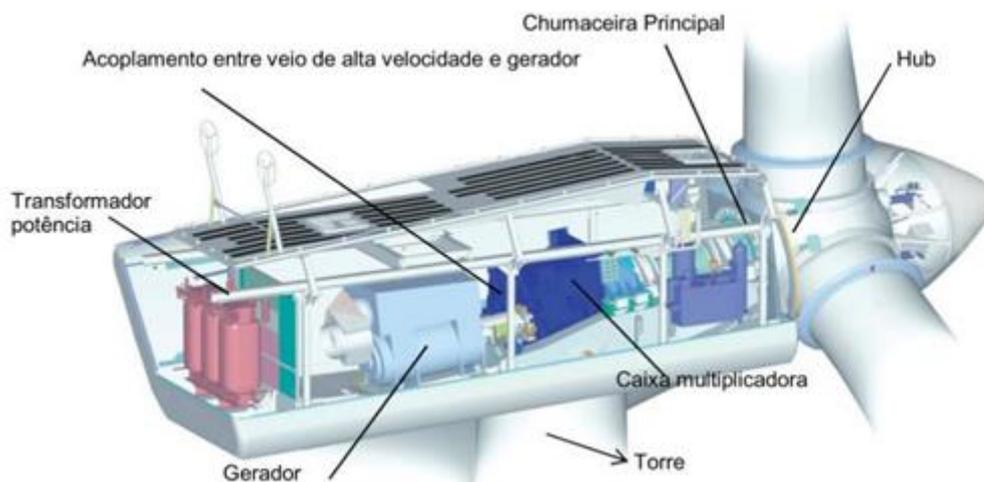


Figura 1. Interior de uma Nacelle com os respectivos equipamentos

Fonte: SEQUEIRA, C. D. A análise de vibrações como ferramenta para a melhoria da manutenção em aerogeradores. Tese de Doutorado na Faculdade de Ciências e Tecnologia de Lisboa. Lisboa, 2012.

As pás eólicas são fabricadas a partir do processo de infusão em moldes e possuem um custo de fabricação em torno de 15 a 20% do custo total da turbina (Lucena et al., 2017). Para evitar danos, em pás eólicas, segundo Yang, He e Zhang (2016), é necessário que durante a fabricação ou instalação seja executadas técnicas de ensaios não destrutivos que detectam as sete principais falhas nas pás: falha de colagem, falha na junta adesiva, desconexão, delaminação, quebra das fibras, rachaduras no *gelcoat* e descolamento da casca.

De acordo com Jeong e Lee (2015), as pás eólicas, constituídas de plástico reforçado com fibra de vidro e outros materiais leves como balsa e cloreto de polivinil, apresentam defeitos de fabricação que, se não consertados, enfraquecem a carga da pá podendo levar a destruição. Assim, em sua pesquisa, apresenta o sistema de inspeção ultrassônica como forma de analisar os defeitos gerados na fabricação da pá, possibilitando o reparo da pá antes de chegar ao parque eólico.

Segundo Soares (2018), os ensaios não destrutivos compõem um grupo de técnicas de inspeção, como o Ultrassom, capazes de avaliar propriedades de materiais sem causar danos nos mesmos. Assim, são consideradas técnicas valiosas por não alterarem o material, por

economizar tempo e dinheiro nas avaliações e por serem eficientes na resolução de problemas e na prevenção de falhas dos produtos.

2.2 Simulação computacional

Segundo Banks (1998), simulação de eventos discretos é a imitação de uma operação de um processo do mundo real, envolvendo a geração de um sistema artificial e a observação desse para inferir características operacionais do sistema real representado. Silva *et al.* (2011) descrevem a simulação como uma metodologia experimental capaz de descrever o comportamento de um determinado sistema, através da quantificação do comportamento analisado, prevendo comportamentos futuros.

Banks (1998) descreve uma metodologia para estudo de simulação, conforme apresentado na Figura 2, que foi base para o desenvolvimento do método utilizado no presente estudo. A primeira fase trata-se da formulação do problema que se pretende resolver e, após essa clara definição, define-se os objetivos da pesquisa e o plano de projeto para que esses objetivos sejam alcançados. Com isso, paralelamente ao início da coleta de dados, desenha-se o modelo conceitual com auxílio de alguma ferramenta específica e traduz-se o modelo para validação. Uma vez verificado o modelo conceitual, é feito o desenho experimental que servirá como base para produção de réplicas e análise do modelo a ser simulado. Depois de replicar o modelo, formaliza-se a documentação e implementa-se o modelo do ambiente de estudo.

Há diversas ferramentas de simulação que, segundo Pontes (2012), podem ser categorizadas em: linguagens de programação de propósito geral, linguagem de simulação e ambientes de simulação. Alguns exemplos desta última categoria são *MicroSaint*, *VSE*, *Arena*, *ProModel* e *Flexsim*.

O *FlexSim* é um software de simulação em 3D que modela, simula, prediz e visualiza sistemas em manufatura, manuseio de materiais, assistência médica, armazenamento, mineração, logística, dentre outros (Punna Rao et al., 2019). Ele possibilita analisar a situação

atual de um sistema e mensurar sua produtividade, além de viabilizar a análise de diferentes cenários (Carreira et al., 2014).

Segundo *FlexSim* (2020), o *software* torna possível a replicação do sistema em análise com a manutenção de todos os detalhes necessários para um estudo preciso. Este *software* permite arrastar e soltar recursos diretamente no ambiente 3D criado, o que simplifica o processo de modelagem.

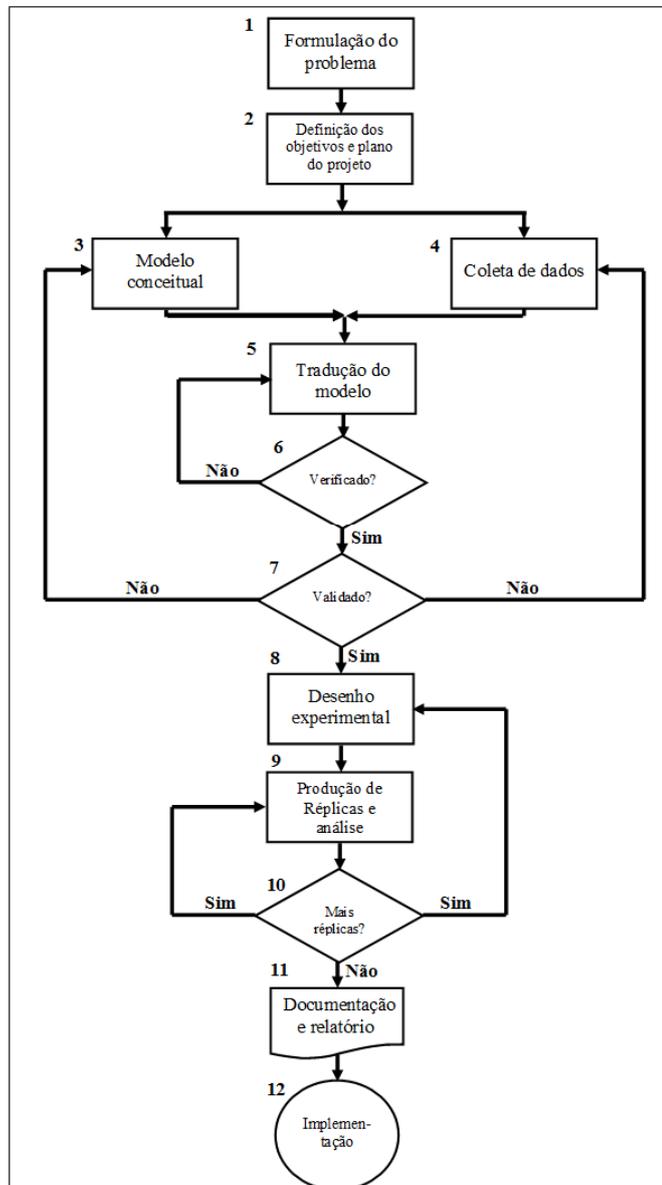


Figura 2. Fases de um estudo de simulação

Fonte: BANKS, J. Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice. New York: John Wiley & Sons, 1998.

Segundo Nordgren (2003), a construção de um modelo de simulação no *Flexsim* envolve cinco passos principais, sendo eles: (1) desenvolver um *layout*; (2) conectar os objetos, (3) detalhar os objetos; (4) executar o modelo; e (5) revisar a saída. Todos esses resultados podem ser exportados para softwares externos.

2.3 IDEF-SIM

Para Correia e Nascimento (2016), a metodologia *Integrated Definition Methods – Simulation* (IDEF-SIM) se adequa ao detalhamento necessário em mapeamentos utilizados em simulações computacionais e a melhorias em processos de forma geral. Sua modelagem (ver Figura 3), utiliza técnicas nas versões IDEF0 e IDEF3 na construção de modelos conceituais direcionados a projetos de simulação. No IDEF0, a sintaxe é composta de caixas, regras e diagramas que se relacionam com as funções de entrada, saída, mecanismo e controle. O IDEF3 se caracteriza por ser realista na ordem dos eventos, considerando precedente temporal (Leal et al., 2008).

Segundo Costa (2018), a técnica IDEF-SIM caracteriza-se pela forte aplicação em simulação a eventos discretos, uma vez que contempla elementos essenciais na modelagem computacional e é composta por IDEF0, IDEF3 e fluxograma. Dentre as aplicações pode-se citar na modelagem conceitual de um processo *flow-shop* para análise de variáveis inerentes ao processo (Correia & Rodrigues, 2016) e na identificação dos sete desperdícios em uma empresa de construção civil, comprovando que é aplicável para movimentação e processamento devido a fácil visualização (Mussolini & Gaudêncio, 2019).

Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 Regra E	IDEF3
	 Regra OU	
	 Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Figura 3. Simbologia IDEF-SIM

Fonte: Leal, F.; Almeida, D. A. de; Montevechi, J. A. B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de Elementos do IDEF. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 40, 2008, João Pessoa, p. 2503–2514, 2008.

3. METODOLOGIA

Segundo Andrade, Stefano e Zampier (2017), no desenvolvimento de uma pesquisa deve-se utilizar um método, ou seja, um plano de ação estruturado por técnicas de realização de uma atividade, responsável por nortear a um determinado fim, a uma resposta do problema proposto.

A metodologia traçada nesse estudo, representada na Figura 4, foi dividida em quatro fases.

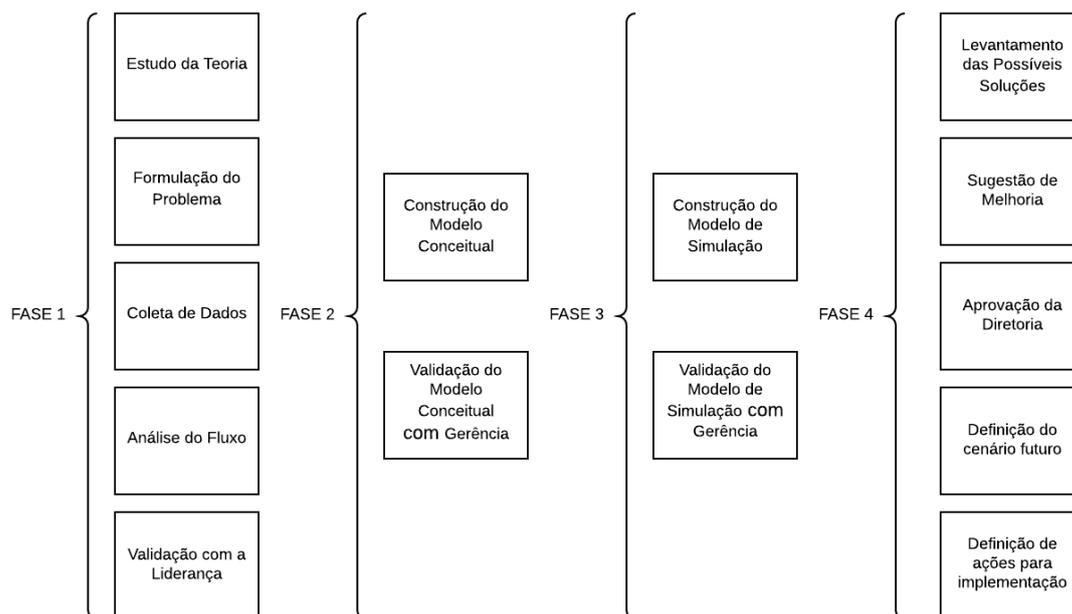


Figura 4. Método proposto

Fonte: elaborado pelos autores.

Fase 1. Iniciou-se com o estudo da teoria e das ferramentas utilizadas no trabalho a partir de uma revisão bibliográfica. Em seguida, foi realizada a formulação do problema e consequente levantamento das necessidades do estudo. Na sequência foi realizada a coleta de dados abrangendo os tempos de atividades e a análise do fluxo do processo de produção de uma pá eólica, contando com o posterior auxílio da ferramenta IDEF-SIM para identificação dos desvios no processo e das primeiras oportunidades de melhorias no processo.

Fase 2. Projetou-se um modelo conceitual que serviu como base para o desenvolvimento do modelo computacional, representando, assim, a situação atual do Ultrassom da empresa em análise. Em seguida, foi realizada a validação do modelo construído e a posterior definição dos cenários futuros com as alterações que seriam projetadas, visando a ampliação da capacidade de atendimento do que seriam projetadas, visando a ampliação da capacidade de atendimento do Ultrassom. Para a validação do modelo conceitual foi apresentado o fluxo para os líderes e verificado a equivalência com a situação atual da área.

Fase 3. Construiu-se o modelo de simulação que retratava a situação atual da área de Ultrassom e foi validado o modelo por meio da conferência do resultado computacional com o resultado dos apontamentos dos meses anteriores no que se refere a número de pás processadas no mês. **Fase 4.** Analisou-se os resultados, definiu-se o cenário futuro, formalizou-se os resultados e definições de ações para implementações das mudanças na área de Ultrassom.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização da Empresa

O estudo foi realizado em uma empresa fabricante de pás eólicas e prestadora de serviços de manutenção em parques eólicos. Fundada em 2010, na região Nordeste do Brasil, perto da cidade de Fortaleza, a localização da fábrica em análise viabiliza o atendimento a parques eólicos do mundo todo. Os valores declarados que sustentam a cultura da empresa são o protagonismo, a perenidade e a excelência operacional.

A empresa, em termos de etapas produtivas, se divide em: produção de pré-fabricados, processo de *lay-up*, processo de infusão, processo de colagem e fechamento, e processos de acabamento, conforme resumido na Figura 5. Enquanto, na divisão física, a empresa divide-se em dois galpões – Laminação e Acabamento - e uma área aberta, para Ultrassom.



Figura 5. Processo produtivo de uma pá eólica

Fonte: elaborado pelos autores.

Na Laminação são produzidos todos os componentes macro que compõem a pá e são montadas as duas cascas, utilizando como base os moldes. Após esses processos, com ajuda de pontes rolantes (interna) e *Dolly* (externa), a pá é movimentada da Laminação até a área de Ultrassom para ser escaneada e avaliada para detecção de defeitos nas regiões críticas. Depois a pá segue para o Acabamento, onde passará por rebarbação, ajuste dos bordos, laminação dos bordos, lixamento das cascas, pintura, fresagem da raiz, pesagem e balanceamento. O fluxo de processos e galpões em que a pá é submetida pode ser resumida na Figura 6.

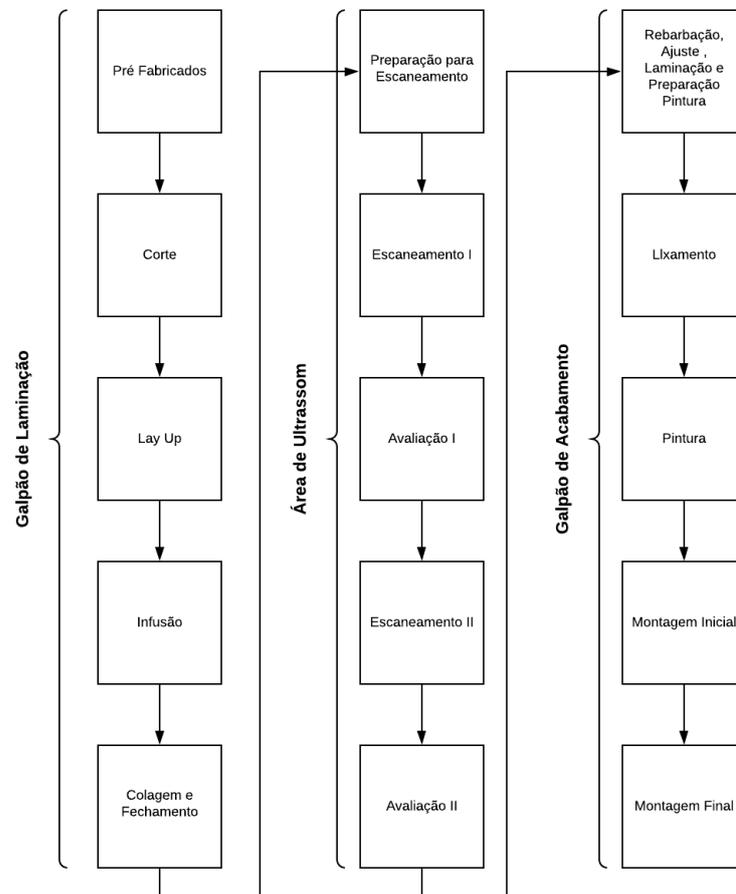


Figura 6. Macrofluxo de produção de pás

Fonte: elaborado pelos autores.

No setor de Ultrassom - em análise – a pá é submetida a duas atividades principais: escaneamentos e avaliações das imagens ultrassom. Assim, há dois grupos de funcionários: (a) os que escaneiam as pás no pátio de Ultrassom, com o auxílio de máquinas e (b) os que avaliam as imagens à procura de defeitos das pás, por meio de computadores.

Inicialmente a pá é submetida a um escaneamento geral, em todos os raios, para avaliação completa com objetivo de identificar necessidades de reparo. Depois é realizada uma avaliação das imagens e sua categorização em:

- (a) raios inconclusivos, ou seja, onde o escaneamento não foi eficiente;

(b) raio com defeito, onde é necessário um novo escaneamento para confirmar a presença de defeito e necessidade de reparar no Acabamento e;

(c) raio aprovado, o que representa que a região está livre de defeitos.

Nos casos de raios inconclusivos ou com defeito, realiza-se um novo escaneamento, com uma máquina mais precisa e compacta, e um nova avaliação de imagens. O resultado é repassado ao Acabamento, com o direcionamento de quais regiões da pá que precisarão ser reparadas.

A área de Ultrassom comporta duas pás simultaneamente, paralelo a isso a área conta com uma sala dedicada para as avaliações de imagens.

No Ultrassom conta com uma máquina, semelhante a um robô, que é responsável por auxiliar a execução do primeiro escaneamento. Além dela, existem três máquinas que são responsáveis por auxiliar a execução do segundo escaneamento. A sala de avaliação, em média, conta com três avaliadores focados em um escaneamento específico de uma pá.

No Ultrassom, espera-se que a pá saia da área apenas após a última avaliação de imagens. Contudo, pelo alto tempo de movimentação do Ultrassom até o Acabamento, permite-se que ela saia após o segundo tipo de escaneamento, uma vez que até a chegada dela no Acabamento é finalizada a última avaliação de imagens.

O setor de Ultrassom da empresa em questão precisou, no ano de 2020, quase duplicar o processamento diário de pás. Isto demandou uma análise mais profunda do fluxo atual e tempos de processamento, análise de oportunidades de melhorias e uso de ferramenta de simulação que permitisse a construção de diferentes cenários sem grandes custos e mudanças envolvidas.

O processo de simulação computacional foi iniciado em abril de 2020, quando o setor começou a possuir uma base de dados confiável, e, desde então, eram realizadas reuniões semanais para apresentação e alinhamento, tornando sempre o cenário o mais próximo possível da realidade.

Com a análise do fluxo se tornou perceptível informações importantes a serem consideradas na simulação, como mão de obra e maquinário ociosos em horas, direcionando, dessa forma, o cenário de simulação que melhor atendia aos seguintes objetivos do setor:

- Minimização de MO e maquinário ociosos;
- Atendimento a especificações ambientais do cliente (temperatura e umidade);

- Minimização de filas para o processo de Ultrassom.

4.2 Modelo Conceitual

Uma vez detectado a necessidade de simulação para área de Ultrassom, um modelo conceitual foi construído utilizando-se a técnica IDEF-SIM, apresentado na Figura 7. Este modelo foi apresentado para o time o que tornou possível a percepção dos ajustes necessários para tornar o modelo de simulação mais próximo da realidade.

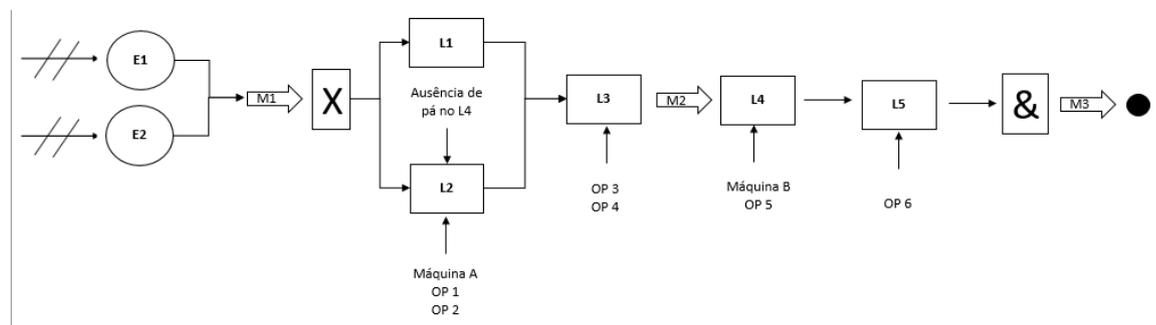


Figura 7. Modelo conceitual do setor de Ultrassom

Fonte: elaborado pelos autores.

As pás eólicas (E1 e E2) se direcionam (M1) ao buffer (L1), no qual irão esperar até que um dos postos da área de Ultrassom esteja disponível. Em seguida, cada pá desloca-se (M1) para o posto 1 (L2) e é processada por um ultrassonista auxiliado de uma máquina de escaneamento. Uma vez passando pelo escaneamento 1 a pá segue para a segunda etapa do processo (L3), avaliação de imagens, apesar de o sistema considerar separadamente os processos L2 e L3, na prática a pá fica no mesmo posto de trabalho. Após isso, a peça segue (M2) para o terceiro processo (L4) é um escaneamento mais preciso realizado por um ultrassonista auxiliado de um equipamento portátil de menor tamanho. O sistema considera que quando entra uma peça nesse processo (L4) o L2 deve fechar a entrada de peças, acumulando-as no buffer. Isso decorre do fato de que, fisicamente, a área comporta apenas duas pás. Por fim, a pá segue para a última etapa de avaliação, liberando a entrada de novas peças no processo L2, e, paralelamente a isso, é direcionada (M4) para o Acabamento.

Não existe um padrão no uso de recursos em cada uma dessas atividades. Há momentos que a atividade L3 é realizada por 2 operadores e em outros casos esse número pode ser maior

ou menor. Para fins de análise considerou o tempo retornado pelos apontamentos, para maior detalhamento no desenho do fluxo. Quanto a mão de obra, considerou-se a disponibilidade teórica com base no número de contratados por turno e de máquinas disponíveis.

4.3 Coleta de Dados

Após teste de quatro formas de coleta de dados – planilha eletrônica, lousa no pátio, livro de apontamentos nos postos de trabalho e aplicativo -, os operadores concluíram que a melhor forma seria, para os que trabalhavam no pátio, realizar o apontamento na lousa e, para os que trabalhavam na sala com avaliações, realizar o apontamento em planilha eletrônica.

No período de fevereiro e março de 2020, foi realizada a coleta do tempo de duração, em horas, de cada etapa do processo, e verificada a distribuição deles por meio de gráficos *boxplot* (ver Figura 8). Foram medidos os tempos do:

- Scan I Blade 1: Primeiro escaneamento ao qual a pá do modelo 1 é submetida ao entrar na área, feito em todos os raios da pá;
- Evaluation I Blade 1: Avaliação das imagens geradas pelo primeiro escaneamento no modelo 1 de pá;
- Scan II Blade 1: Segundo escaneamento ao qual a pá do modelo 1 é submetida na área de Ultrassom, específico para os pontos inconclusivos ou com defeitos;
- Evaluation II Blade 1: Avaliação das imagens geradas pelo segundo escaneamento no modelo 1 de pá;
- Scan I Blade 2: Primeiro escaneamento ao qual a pá do modelo 2 é submetida ao entrar na área, feito em todos os raios da pá;
- Evaluation I Blade 2: Avaliação das imagens geradas pelo primeiro escaneamento no modelo 2 de pá;
- Scan II Blade 2: Segundo escaneamento ao qual a pá do modelo 2 é submetida na área de Ultrassom, específico para os pontos inconclusivos ou com defeitos;
- Evaluation II Blade 2: Avaliação das imagens geradas pelo segundo escaneamento no modelo 2 de pá;

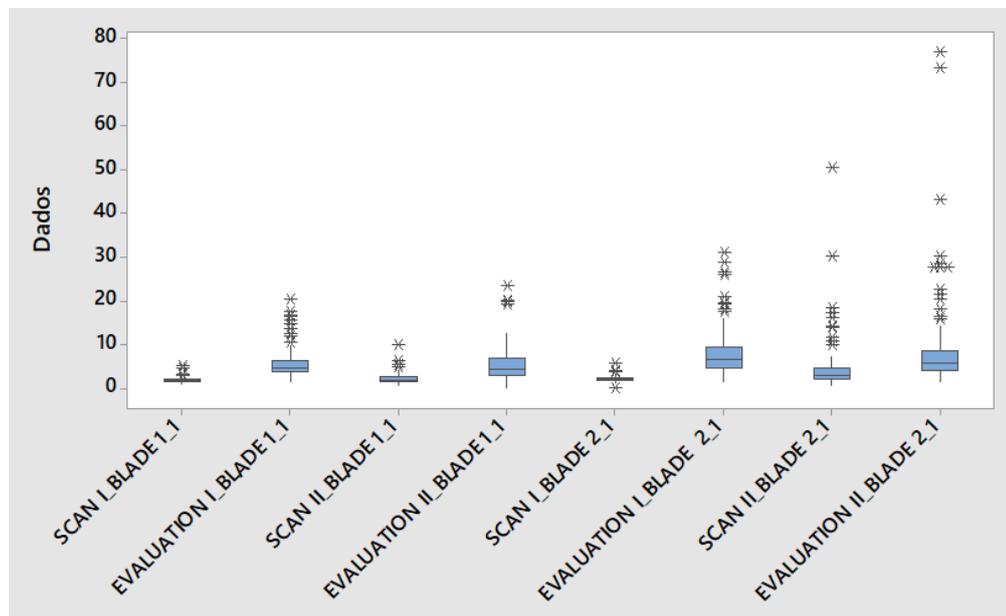


Figura 8. *Boxplot* da coleta dos meses

Fonte: elaborado pelos autores.

Verificou-se a presença de *outliers* - marcados com asterisco no gráfico - que, após avaliação conjunta com os líderes e coordenador da área, foram classificados quanto a confiáveis ou não. Os valores não confiáveis foram descartados. Os dados foram novamente analisados no aplicativo *Minitab*, onde verificou-se que seguem uma distribuição Normal e foram identificadas a média e o desvio padrão da amostra (ver Figura 9).

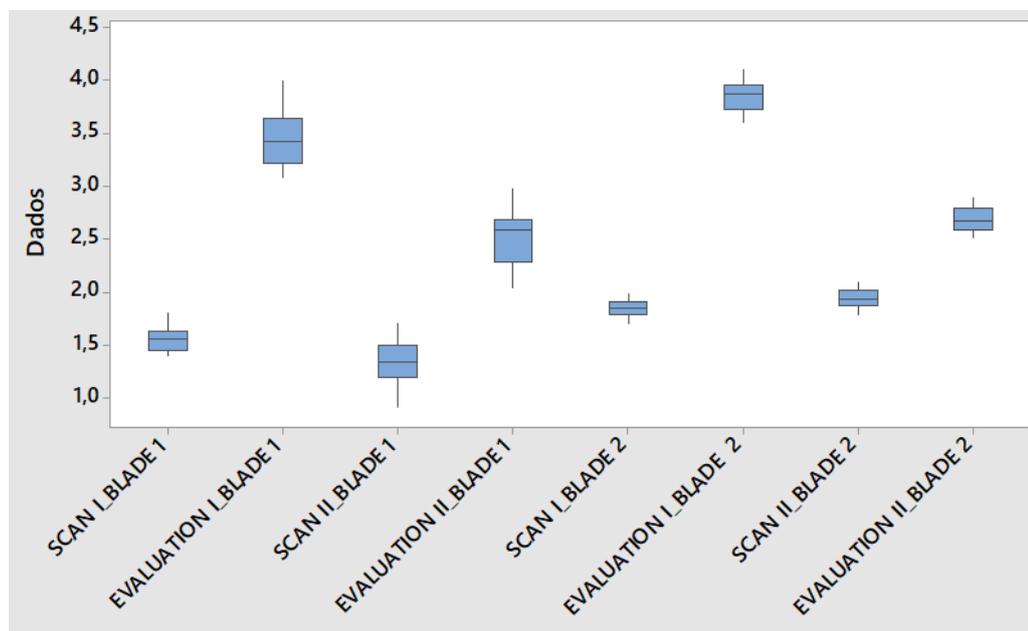


Figura 9. Boxplot após validação dos líderes e coordenador da área
 Fonte: elaborado pelos autores.

4.4 Modelo Computacional

Antes da construção de cenários futuros, foi projetado no *Flexsim* a situação atual da área com base nos tempos de atividades apontados. Cada modelo foi replicado 100 vezes, considerando um horizonte de tempo de aproximadamente um mês, 672 horas, e um tempo de *warm up* de uma semana, 168 horas.

Para a construção do modelo no *Flexsim* foram utilizadas as funcionalidades *source*, *queue*, *processor* e *sinks*. O modelo é apresentado na Figura 10.

As *sources* ‘Laminacao2’ e ‘Laminacao5’ são responsáveis por gerar os dois modelos distintos de pás. Foi necessário configurá-las para que enviassem as pás de cada modelos distintos em intervalos de tempos específicos, utilizando *trigger*, onde cada tipo de item (*label*) gerado será processado em tempos diferentes nos processos seguintes.

A *queue* ‘Buffer para UT’ tem a função de acumular as pás que saiam dos galpões de Laminacão, mas que não podiam entrar na área de Ultrassom por falta de disponibilidade de máquina ou mão de obra. A *queue* ‘Row Evaluation Scan’ formavam fila para a avaliação de escaneamento 2, fora da área física de Ultrassom. Como a área para armazenar pás em espera

na empresa é extensa, não foi definido limite máximo para a quantidade de itens na fila simultaneamente.

Os *processors* 'Scan I', 'Evaluation Scan I', 'Scan II' e 'Evaluation Scan II' estão presentes no Ultrassom, com tempos diferentes para cada modelo de pá e com capacidade limitada de acordo com a área física. Como os quatro processos não podem simultaneamente estarem com item, foi utilizada a função *trigger* para bloquear a entrada de certos processos enquanto outros estivessem rodando. Isto delimitou que a área estivesse com apenas duas pás simultâneas no pátio (dois postos).

A *sink* 'Acabamento' tem o objetivo de contabilizar as pás que saem da área de Ultrassom e se encaminham para o galpão de Acabamento.

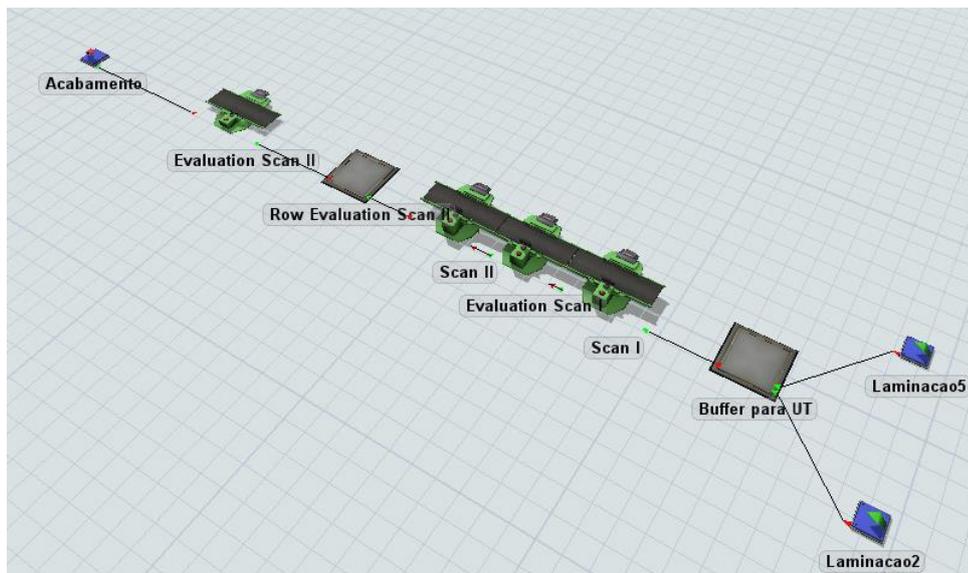


Figura 10. Modelo de simulação atual para validação

Fonte: elaborado pelos autores.

A simulação da situação atual da área retornou um *output* mensal máximo de 133 pás, ou seja 33 a 34 pás semanais. Outro resultado da simulação foi que a quantidade de pás simultâneas em fila para entrar na área de Ultrassom chegaria a um máximo de 10 pás. Estes resultados conferem com a realidade.

4.5 Definição e Análise de Cenários Futuros

Os cenários simulados foram decididos em conjunto com a gerência da área, colocando como prioridade o aumento no número de pás processadas no mês e a redução do número de fila de pás para a área. Com isso, ficou definido três cenários:

- Cenário 1: adicionar um posto na área de Ultrassom;
- Cenário 2: adicionar outra máquina de escaneamento tipo I;
- Cenário 3: duplicar o posto de escaneamento II.

Para análise e escolha dos cenários, utilizou-se duas medidas de performance como referência:

- Quantidade de pás que saiam da área de Ultrassom e;
- Quantidade de pás simultâneas esperando para entrar na área.
- Para a simulação do cenário 1, foi retirado o bloqueio trigger para que a área de Ultrassom chegasse a uma capacidade de processamento simultâneo de três pás. Assim, após o escaneamento I a pá é movimentada para outro posto, enquanto é feita a avaliação de imagens, e torna se viável a entrada de outra pá para iniciar o escaneamento I. O modelo visual permaneceu idêntico a Figura 10, pois apenas mudaram as regras dentro dos processos. Neste cenário, o número de pás processadas mensalmente passou de 133 para 138 e a fila de entrada para área o Ultrassom passou de 10, para 7 simultâneas.

No cenário 2, demonstrada no modelo conceitual na Figura 11, foi adicionada uma máquina de escaneamento 1 (L7). Adicionou-se a condição para L2 processar apenas quando a L4 estivesse ociosa, para garantir que a área física de Ultrassom não ultrapasse o máximo de três pás simultaneamente. Enquanto, no modelo de simulação da Figura 12, foi adicionado um *process Scan I*, representando um novo posto de escaneamento I.

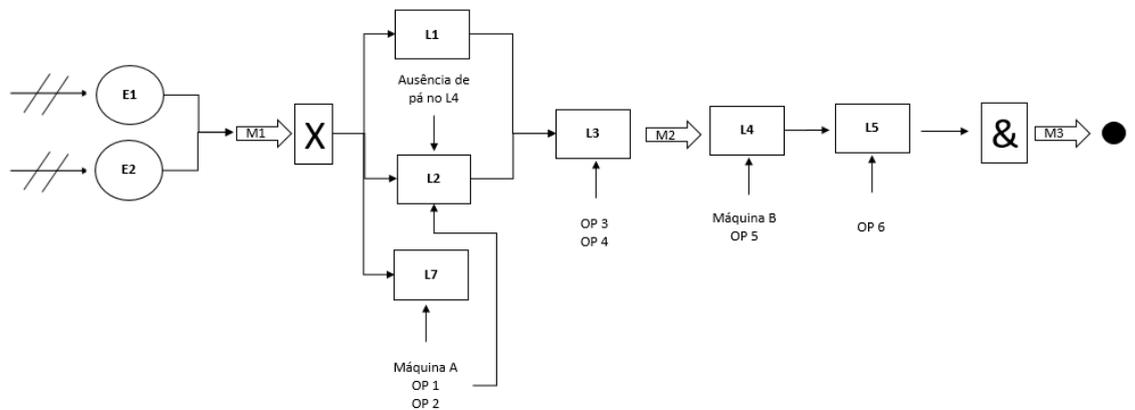


Figura 11. Modelo conceitual no Cenário 2

Fonte: elaborado pelos autores.

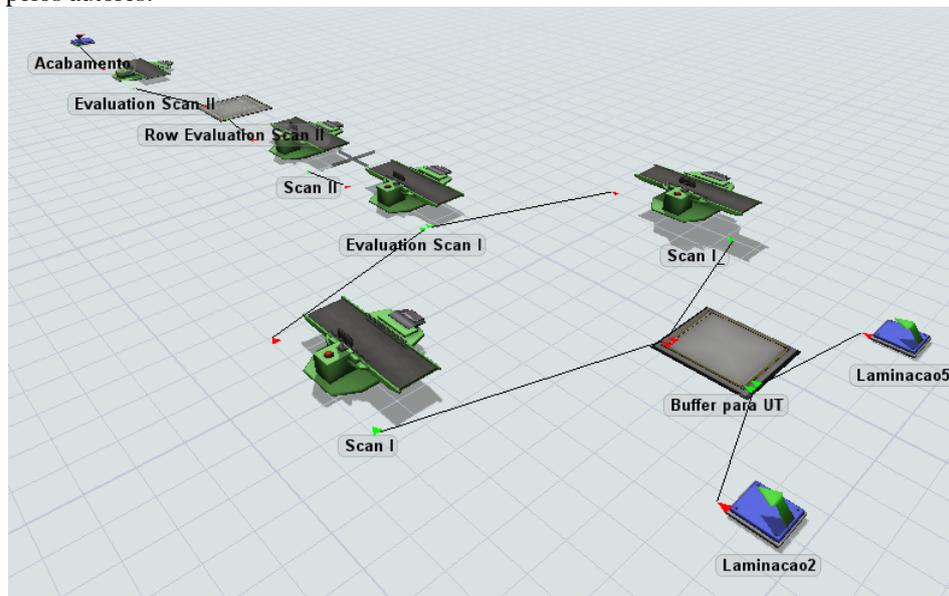


Figura 12. Modelo de simulação no Cenário 2

Fonte: elaborado pelos autores.

Este cenário também atingiu os dois objetivos: redução de fila de entrada e número de pás processadas no mês. A capacidade mensal de processamento passará a um máximo de 139 pás e a fila de entrada seria de no máximo 5 pás simultâneas.

No cenário 3, foi adicionado um posto de escaneamento tipo II (L6) no modelo conceitual da Figura 13 e foi criado mais um *process Scan II* no modelo de simulação da Figura 14. Na

simulação foi identificado que o número de pás processadas será de 138 e o número de pás em fila para entrar na área será de 7. Este cenário apresenta resultado pior que o cenário 2.

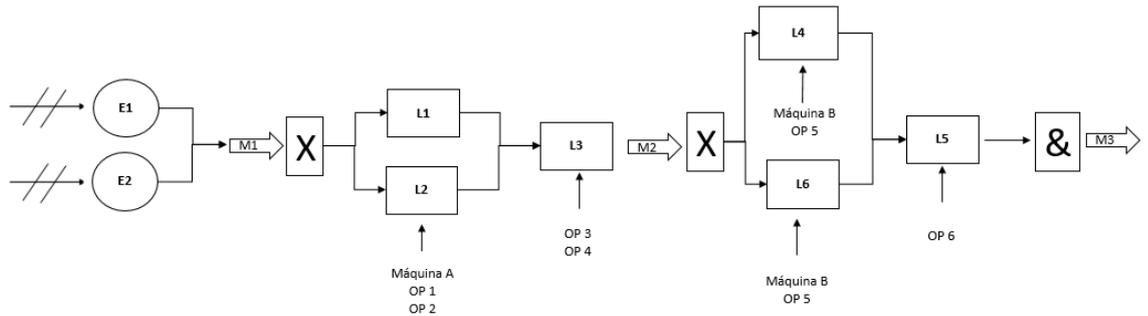


Figura 13. Modelo conceitual do Cenário 3

Fonte: elaborado pelos autores.

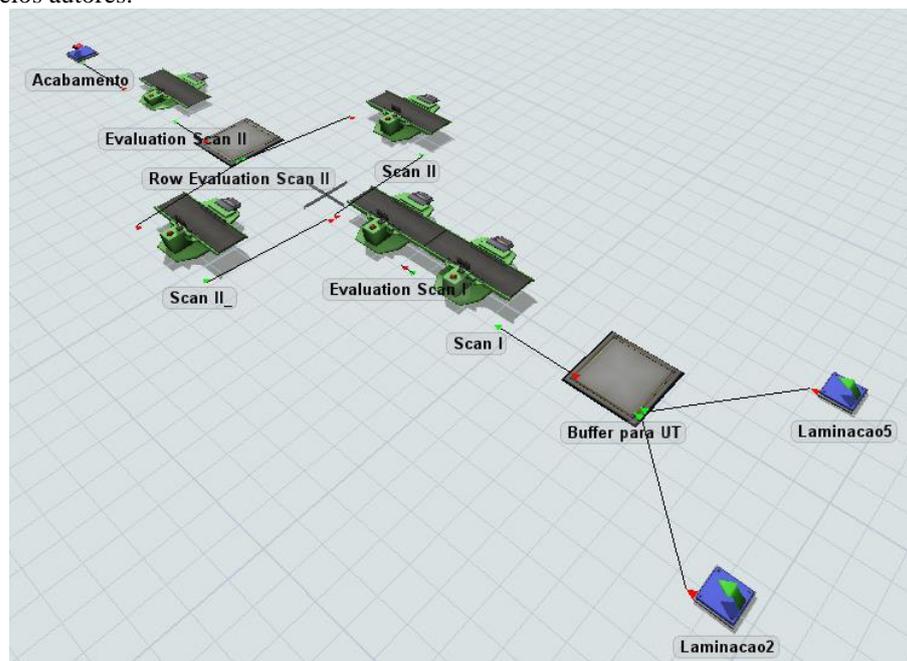


Figura 14. Modelo de simulação no Cenário 3

Fonte: elaborado pelos autores.

Os resultados obtidos em cada cenário são apresentados no Tabela 1. A diretoria e a gerência escolheram cenário 2, onde há compra de uma máquina para o escaneamento tipo I. Com isso, reduz-se o número de pás em espera para entrar na área de Ultrassom de 10 pás para 5 pás e aumenta-se a capacidade da área, de 133 pás no mês para 139 pás. Adicionalmente, a gerência optou pela expansão física de mais um posto do escaneamento do tipo II, o que equivale ao cenário 3.

Tabela 1
Comparativo dos Resultados dos Cenários Avaliados

Cenários Avaliados	Fila de entrada para Área de Ultrassom	Quantidade de Pás Processadas por Mês
Atual	10	133
Cenário 1	7	138
Cenário 2	5	139
Cenário 3	7	138

Fonte: elaborado pelos autores.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve por objetivo geral melhorar o fluxo na área de Ultrassom por meio do mapeamento do fluxo do processo e da projeção do fluxo no *Flexsim* como forma de aumentar a capacidade para atendimento ao plano de produção. Para alcançar o objetivo, utilizou-se duas frentes de análise: (i) aplicação do IDEF-SIM que se mostrou uma ferramenta adequada para analisar o fluxo do processo que será simulado e (ii) simulação com *Flexsim* que auxiliou na definição do cenário capaz de atender ao plano de produção.

Para atender o objetivo de levantar as entradas necessárias para aplicação da ferramenta IDEF-SIM e Simulação Computacional no *Flexsim* foi necessário implementar diferentes formas de coleta de dados. Após isto, foi necessário definir o padrão de apontamentos a ser inserido na rotina da equipe.

O objetivo de mapear e simular o processo atual foi validado: a simulação no *Flexsim* apresentou quantidade de pás processadas semanalmente equivalente a quantidade real apontada pelos funcionários nas planilhas. A partir daí, foi possível simular cenários que viabilizassem o aumento da capacidade atual da área de Ultrassom. Também foi possível sugerir o melhor cenário.

Como fator limitante para a elaboração do presente trabalho temos o pequeno intervalo de tempo considerado na base de dados que serviu de *input* para a simulação, bem como a ausência de dados sobre o ritmo de chegada de pás na área. Na empresa em questão ainda não havia uma sistemática de coleta desses dados

Esta pesquisa contribuiu para a empresa iniciar uma rotina de controle de tempos de processamento que auxiliam a análise diária da área, das máquinas e dos funcionários. Além disso, inseriu na empresa a tomada de decisões embasada na simulação computacional.

REFERÊNCIAS

- Andrade, S. M. de, Stefano, S. R., & Zampier, M. (2017). *Metodologia da Pesquisa*. <http://www2.unicentro.br/lmqqa/files/2017/03/ANDRADE2c-STEPANO-ZAMPIER-Metodologia-de-Pesquisa-1-1.pdf>
- Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice*. John Wiley & Sons.
- Carreira, M. F., Borghi, F. L., & Silva, M. C. (2014). Aplicação de modelo de simulação dinâmica utilizando o software FlexSim em uma indústria metalúrgica. *Revista Produção Industrial e Serviços, 1*(2), 87–98.
- Chiminelli, C., Pereira, R., & Hatakeyama, K. (2017). Implementação de melhorias no setor têxtil empregando metodologia lean manufacturing e simulação no software Flexsim. *Revista Espacios, 38*(19). <https://www.revistaespacios.com/a17v38n19/a17v38n19p36.pdf>
- Correia, E. G., & Rodrigues, F. do N. (2016). IDEF-SIM como metodologia de auxílio na simulação de um ambiente flow-shop: Uma proposta de melhoria da capacidade produtiva de uma pequena empresa. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 36, 2016, João Pessoa, 15*.
- Costa, A. P. R. (2018). *Proposta da revisão da técnica de modelagem conceitual IDEF-SIM para projetos de simulação*. Universidade Federal de Itajubá.
- Dai, J., Yang, X., & Wen, L. (2018). Development of wind power industry in China: A comprehensive assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 97*, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.044>
- Eólica, A. B. de E. (2020). *Energia Eólica. Os bons ventos do Brasil*. http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/02/Infovento%0A14_PT.pdf
- FlexSim Software Products. (2020). *Flexsim*. <https://www.flexsim.com/pt/flexsim/>
- Jeong, H., & Lee, J.-R. (2015). Investitation of mobile ultrasonic propagation imager as a tool for composite wind blade quality control. *Composite Structures, 133*, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.07.091>
- Leal, F., Almeida, D. A. de, & Montevechi, J. A. B. (2008). Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de Elementos do IDEF. *In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 40, 2008, João Pessoa, 2503–2514*.
- Lucena, F., Oliveira, R., Steffens, & Ladchumananandasivam. (2017). Desenvolvimento de materiais compósitos híbrido s a partir do reaproveitamento de fibra de vidro proveniente da indústria eólica. *5º CONTEXMOD, 1*(5).
- Magalhães, J. V. M., Góes, M. de F. B., Silva, M. S., & Andrade, J. C. S. (2019). Análise estratégica do setor de energia eólica no Brasil. *Revista Eletronica De Estrategia E Negocios-Reen, 12*(1), 3–25.
- Manwell, J., MCGowan, J., & Rogers, A. (2009). *Wind Energy Explained: Teory, Design and Application* (Wiley (ed.); 2nd ed.).

- Mussolini, T. P., & Gaudêncio, J. H. D. (2019). Aplicação da Técnica de Mapeamento IDEF-SIM para Identificação e Análise de Desperdícios em Uma Empresa do Setor de Construção Civil. *Revista Gestão Da Produção Operações e Sistemas*, 14(3), 14. <https://doi.org/10.15675/gepros.v14i3.2599>
- Nordgren, W. B. (2003). Flexsim simulation environment. In and D. J. M. S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin (Ed.), *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*.
- Pontes, H. L. J. (2012). *Desenvolvimento de um ambiente para simulação da manufatura baseado em features e realidade virtual*. Universidade de São Paulo.
- Pontes, H. L. J., Neto, N. J. S., Moreira, B. M. de L., & Albertin, M. R. (2017, November 15). Simulação de Sistemas de Fabricação a partir de Features da Peça: Um estudo de caso. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. https://doi.org/10.14488/ENEGEP2017_TN_STO_238_382_33909
- Punna Rao, G. V., Nallusamy, S., & Raman, P. (2019). Enhancement of Production in Subassembly Line of a Medium Scale Industry Using Different Lean Tools and Flexsim Simulation Software. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 44, 229–239. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.44.229>
- Sequeira, C. D. (2012). *A Análise de Bibrações Como Ferramenta para a Melhoria da Manutenção em Aerogeradores*. Universidade Nova de Lisboa.
- Silva, F. W. B. da. (2017). *A Implementação da Energia Eólica na Matriz Energética Brasileira. Estudo de Caso: Indicadores de Desempenho Contábil/Econômico e Socioambiental no Setor de Geração Eólica, no Período de 2013-2016* [Universidade Federal do Ceará]. http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/30547/1/2017_tcc_fwbsilva.pdf
- Silva, M. V. L. da, Medeiros, C. P., Freire, A., & Monteiro, R. R. (2011). Utilização da modelagem e simulação como ferramenta para análise de proposições de otimizações em processos industriais : o caso de uma indústria de computadores. *XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 1–17.
- Soares, J. C. A. (2018). *Estudo e Aplicação do Ensaio não Destrutivo por Ultrassom com a Tecnologia Phased Array* [Instituto Politécnico de Bragança]. <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/18499/1/pauta-relatorio-3.pdf>
- Yang, R., He, Y., & Zhang, H. (2016). Progress and trends in nondestructive testing and evaluation for wind turbine composite blade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1225–1250. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.026>