



**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAMETRO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**JOÃO VICTOR BARBOSA MILITÃO
TIAGO SOUSA ROCHA**

**REDUÇÃO DE CUSTOS NO SETOR DE CORTE DE FIBRAS EM UMA FÁBRICA
DE PÁS EÓLICAS**

**FORTALEZA
2023**

JOÃO VICTOR BARBOSA MILITÃO
TIAGO SOUSA ROCHA

REDUÇÃO DE CUSTOS NO SETOR DE CORTE DE FIBRAS EM UMA FÁBRICA
DE PÁS EÓLICAS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Fametro – UNIFAMETRO – como requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação da Prof. Dr^a. Danielle Kely Saraiva de Lima

FORTALEZA
2023

M644r Militão, João victor Barbosa.
Redução de custos no setor de corte de fibras em uma fábrica de pás eólicas. / João Victor Barbosa Militão; Tiago Sousa Rocha. – Fortaleza, 2023.
33 f.; il. ; color. ; 30 cm.

Monografia - Curso de Graduação em Engenharia de Produção, Centro Universitário Fametro - Unifametro, Fortaleza, 2023.
Orientador: Prof^a Dra. Danielle Kely Saraiva de Lima.

1. Redução de custos – Engenharia de produção. 2. Fabricação de pás eólicas. 3. Engenharia de produção. I. Título.

CDD 658.5

JOÃO VICTOR BARBOSA MILITÃO
TIAGO SOUSA ROCHA

REDUÇÃO DE CUSTO NO SETOR DE CORTE DE FIBRAS EM UMA FÁBRICA DE
PÁS EÓLICAS

Esta monografia foi apresentada como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção do Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO tendo sido aprovado pela banca examinadora composta pelos professores abaixo:

Dr^a Danielle Kely Saraiva de Lima
Orientadora - Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO

Esp. Renan Torquato Almeida
Membro - Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO

Dr Jefferson Pereira Ribeiro
Membro - Centro Universitário Fametro - UNIFAMETRO

FORTALEZA
2023

RESUMO

A energia eólica representa uma fonte alternativa de geração de energia que tem ganhado bastante importância nos últimos anos. A busca por fontes renováveis tem sido uma oportunidade para o Brasil mostrar seu potencial no setor. Com relação à energia eólica, a grande oferta de ventos no Brasil, especialmente no litoral, faz com que o país tenha destaque internacionalmente, mesmo que ainda não tenha explorado todo o potencial eólico que possui. No Ceará, a energia eólica responde por quase metade da sua matriz energética e ainda assim não chega a consumir tudo o que produz nas usinas eólicas. Embora sejam energias renováveis e que se encaixem na perspectiva voltada para o cuidado com o meio ambiente e com a preocupação em relação ao aquecimento global, as usinas eólicas necessitam de um investimento significativo no que se refere aos materiais que compõem a turbina eólica, especialmente as pás. Esses materiais, denominados compósitos, possuem um custo elevado, o que faz com que o processo de fabricação das pás passe por todo um controle que ajude a promover a eficiência, diminuindo o desperdício e maiores custos. Nesse sentido, o presente trabalho possui o seguinte problema de pesquisa: de que forma o custo da matéria-prima de fabricação de pás eólicas pode ser reduzido durante o corte do tecido? O objetivo geral é demonstrar de que forma o custo da matéria-prima de fabricação de pás eólicas pode ser reduzido durante o corte do tecido. O processo de corte das fibras que compõem as pás eólicas é todo feito de forma automatizada, mas ainda assim ocorrem desperdícios que chegam a 13,5% do tecido. Uma das formas de melhorar o consumo e reduzir esse desperdício é por meio do redimensionamento dos rolos de tecido, sendo possível adequar o melhor comprimento e largura de rolos para o processo de corte. Dessa forma, o desperdício é diminuído de 13,5% para apenas 2%, sem qualquer comprometimento para o limite de segurança para possíveis alterações nas camadas. A redução dos resíduos refletiu também na diminuição do tempo que se usava para retirada dos rolos ao fim da batelada de produção. Conclui-se que a melhoria nos processos de produção das pás eólicas favorece a redução dos custos no uso de materiais, reduzindo a quantidade de resíduos e melhorando a relação custo-benefício da produção das pás eólicas.

Palavras-chave: Usinas eólicas. Fabricação de pás eólicas. Redução de custos.

ABSTRACT

Wind energy represents an alternative source of energy generation that has gained a lot of importance in the last few years. The search for renewable sources is an opportunity for Brazil to show its potential in the sector. Concerning wind energy, the great offer of winds in Brazil, especially on the coast, makes the country stand out internationally, even though it has not yet explored all its wind energy potential. In Ceará, wind energy accounts for almost half of its energy matrix, and even so, it does not consume all that it produces in the wind power plants. Although they are renewable energies and fit into the perspective of caring for the environment and the concern about global warming, wind power plants require a significant investment regarding the materials that compose the wind turbine, especially the blades. These materials, called composites, have a high cost, which makes the manufacturing process of the blades go through control that helps to promote efficiency, reducing waste and higher costs. In this sense, the present work has the following research problem: how can the cost of raw materials for the manufacturing of wind blades be reduced during fabric cutting? The general objective is to demonstrate how the cost of raw materials for the manufacture of wind turbine blades can be reduced during the cutting of the fabric. The process of cutting the fibers that make up the wind turbine blades is entirely automated, but even so, there is still waste that reaches 13.5% of the fabric. One of the ways to improve consumption and reduce this waste is by resizing the fabric rolls, making it possible to adjust the best length and width of the rolls to the cutting process. This way, the waste is reduced from 13.5% to only 2%, without any compromise to the safety limit for possible alterations in the layers. The reduction of waste was also reflected in the reduction of the time used to remove the rolls at the end of the production batch. It is concluded that the improvement in the production processes of wind turbine blades favors the reduction of costs in the use of materials, reducing the amount of waste, and improving the cost-benefit ratio of the production of wind turbine blades.

Keywords: Wind power stations. Production of wind turbine blades. Cost reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Parques eólicos <i>onshore</i> e <i>offshore</i> no litoral do Ceará	6
Figura 2 – Empreendimentos <i>offshore</i> planejados no litoral do Ceará	7
Figura 3 – Velocidade média anual do vento no Brasil.....	10
Figura 4 – Oferta interna de energia elétrica, por fonte	11
Figura 5 – Matriz energética cearense	12
Figura 6 – Desenho esquemático da estrutura de uma turbina eólica.....	13
Figura 7 – Componentes de uma pá eólica.....	15
Figura 8 – Classificação dos compósitos	16
Figura 9 – Peças de uma pá eólica	18
Figura 10 – Fluxo do processo de fabricação das pás eólicas	19
Figura 11 – Fabricação de pás	21
Figura 12 – Máquina de corte Eastman C-135	23
Figura 13 – Acompanhamento de consumo por semana em kg	24
Figura 14 – Acompanhamento de consumo por semana em kg	26
Figura 15 – Redução do consumo (Kg/pá)	27
Figura 16 – Acompanhamento financeiro (R\$)	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Formulação do problema	6
1.2	Justificativa	8
1.3	Objetivos	9
1.3.1	<i>Geral</i>	9
1.3.2	<i>Específicos</i>	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Energia eólica e aerogeradores.....	10
2.2	Compósitos utilizados na fabricação de pás eólicas	15
2.3	Processo de fabricação de pás eólicas	18
3	METODOLOGIA	22
3.1	Corte de fibras.....	22
3.2	Máquina de corte	22
3.3	Desenvolvimento de receitas.....	23
3.4	Acompanhamento de consumo.....	24
3.5	Melhoria de processo	24
4	RESULTADOS	26
4.1	Acompanhamento de consumo.....	26
4.2	Redução do consumo	27
5	CONCLUSÕES	28
	REFERÊNCIAS	29

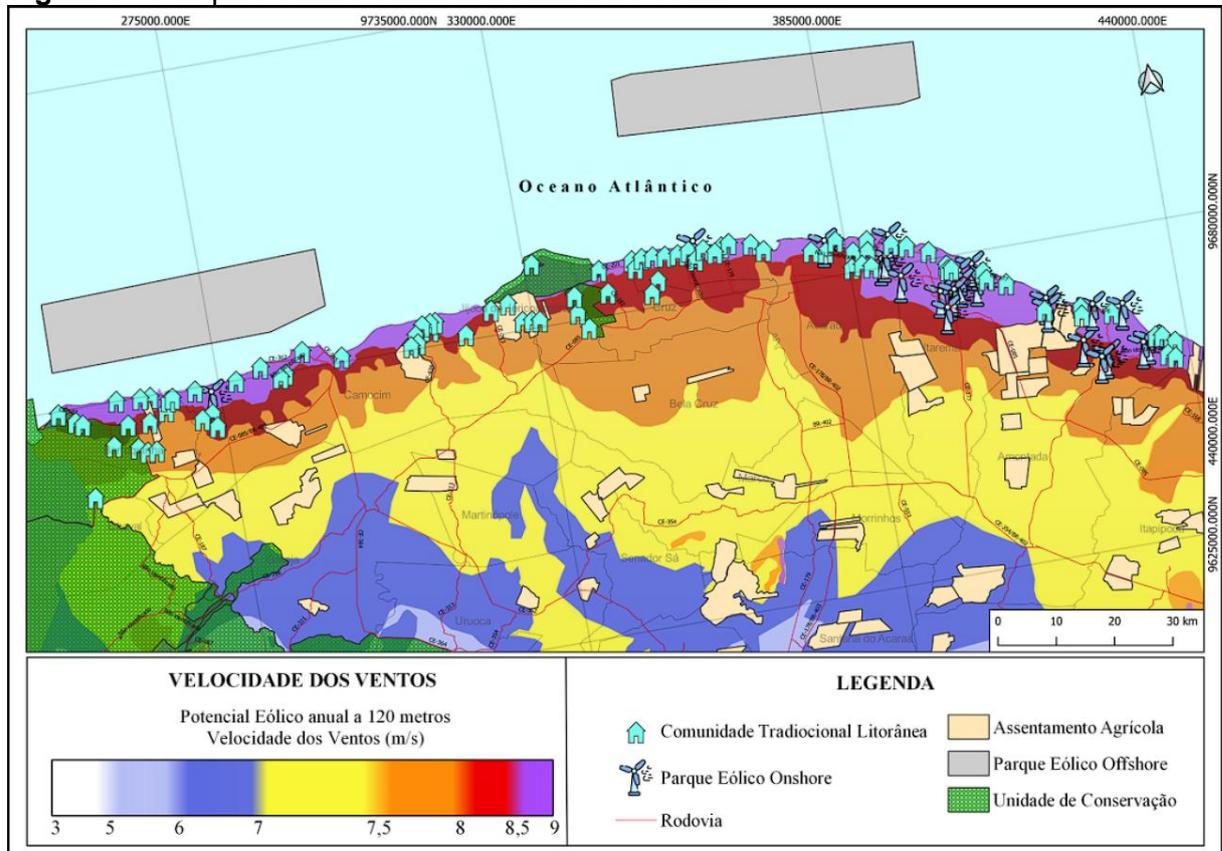
1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do problema

Durante a realização da 27ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 27), 196 países se reuniram para debater a questão climática mundial. Tendo sido assinado o Acordo de Paris, que prevê metas para redução dos gases que causam o efeito estufa, todos os países participantes devem desenvolver estratégias que promovam o uso de energias “limpas”. Para o Brasil, o evento representou mais uma oportunidade de marcar presença, mostrando seu potencial para o desenvolvimento da energia sustentável.

Quando instaladas em terra firme, as usinas eólicas são denominadas como *onshore* e, embora exista uma tendência aos empreendimentos eólicos serem instalados em estruturas *offshore*, estima-se que o potencial *onshore* das usinas eólicas no Brasil seja próximo aos 880 Gigawatts (FREIRE, 2016).

Figura 1 – Parques eólicos *onshore* no litoral do Ceará



Fonte: Gorayeb *et al.* (2022).

É oportuno acrescentar que a energia eólica *onshore* tem se mostrado mais escasso em virtude das restrições ambientais à sua implantação, por conta da concorrência sobre a ocupação da terra ou pelas velocidades mais baixas em determinadas regiões do país como resultados das mudanças globais (SHAEFFER *et al.* (2008).

Um dos principais destaques que o país possui diz respeito ao potencial ainda inexplorado de energia eólica *offshore*, ou seja, com turbinas montadas no mar. Com 25 gigawatts de capacidade instalada, o Brasil possui 85% da sua matriz energética oriunda de fontes renováveis, sendo que o mundo possui, em média, 28% (BRASIL, 2022).

Graças ao seu potencial de geração de energia, somado aos baixos impactos ambientais em comparação com as fontes não-renováveis, a energia eólica se mostra como uma fonte alternativa importante, colocando o Brasil como destaque no cenário de geração de energia limpa e de combate ao aquecimento global (BRASIL, 2022).

Até março de 2023, havia 74 projetos de complexos eólicos offshore submetidos ao licenciamento ambiental abertos no Ibama, com cerca de 180 Gigawatts de potência acumulada (IBAMA, 2023). Na Figura 2, observa-se os complexos eólicos *offshore* planejados no litoral do Ceará, totalizando 23 empreendimentos. A potência acumulada somente no estado alcança a soma de 56.585 Gigawatts (IBAMA, 2023).

Figura 2 – Empreendimentos *offshore* planejados no litoral do Ceará



Fonte: IBAMA (2023).

Deve-se ressaltar, no entanto, que a implantação de turbinas geradoras de energia eólica requer um custo elevado, principalmente por conta dos materiais empregados, que são bastante caros. Nesse sentido, acrescenta-se que a permanência das indústrias voltadas para a produção de materiais para a implantação de usinas eólicas em um cenário global e competitivo exige uma atenção especial aos seus principais indicadores, entre eles estão a produtividade e o custo de fabricação, o que impacta diretamente no lucro.

Dessa forma, uma das alternativas encontradas pelas empresas do segmento energético, voltado para as fontes renováveis, diz respeito à redução do custo de matéria-prima, seja ela por meio de otimização do processo, fornecedores com melhor preço e até mesmo redução do custo de transporte. Assim, o desafio atual enfrentado pelas indústrias de energia eólica é o aproveitamento dessa fonte, sem que os custos com as tecnologias e materiais sejam muito altas, trazendo prejuízo para o setor (AREIAS; MELOTTI; SILVA, 2012).

Nessa perspectiva, o presente trabalho busca responder à seguinte questão: De que forma o custo de matéria-prima de fabricação de pás eólicas pode ser reduzido durante o corte do tecido? Para responder a essa pergunta, traçou-se o seguinte objetivo geral: Demonstrar de que forma o custo de matéria-prima na fabricação de pás eólicas pode ser reduzido durante o corte do tecido. Para alcançar esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos: analisar a importância da energia eólica no cenário energético brasileiro; explicitar os componentes e o funcionamento de uma turbina eólica; explicar o processo de fabricação de pás eólicas e os compósitos empregados.

1.2 Justificativa

Para manter a competitividade no mercado é necessário entregar qualidade e custo. Visando entregar um menor custo de produção com uma pá com valor abaixo da concorrência nacional e manter uma boa lucratividade o presente trabalho busca reduzir o custo de matéria prima durante o processo de corte de tecido na fabricação de pás eólicas, desenvolver um processo mais sustentável, ergonômico e seguro para operação.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Demonstrar de que forma o custo de matéria-prima na fabricação de pás eólicas pode ser reduzido durante o corte do tecido.

1.3.2 Específicos

- Analisar a importância da energia eólica no cenário energético brasileiro;
- Explicitar os componentes e o funcionamento de uma turbina eólica;
- Explicar o processo de fabricação de pás eólicas e os compósitos empregados.
- Apresentar ações que reduzam o custo da fabricação das pás eólicas.

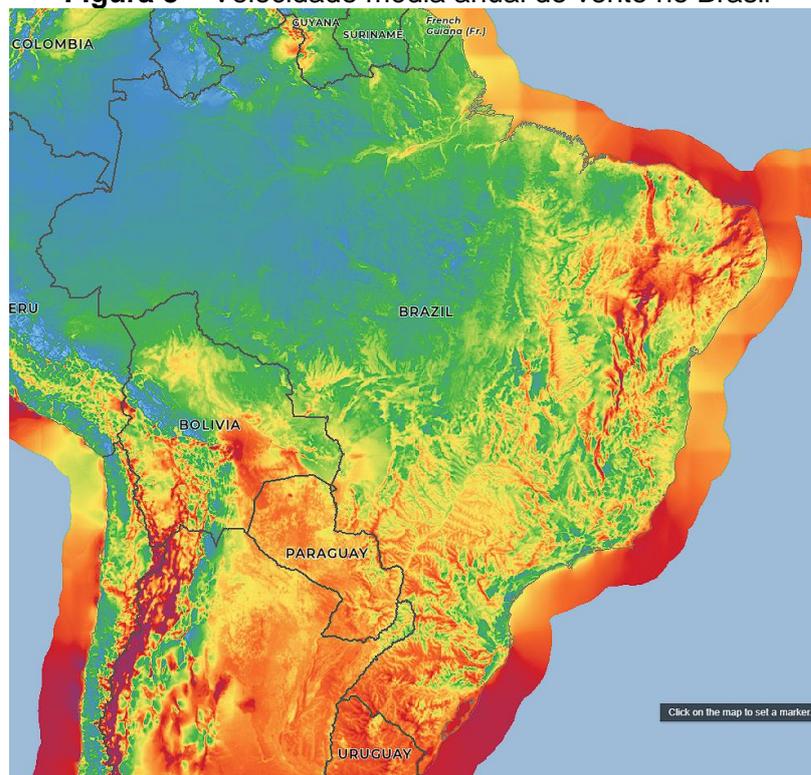
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia eólica e aerogeradores

A energia eólica é, atualmente, uma das fontes de energia renovável mais promissoras de que a humanidade dispõe. Em virtude da preocupação com a preservação do meio ambiente, da segurança na produção de energia e das seguidas crises de petróleo, a energia eólica se mostra como uma alternativa importante no fornecimento de energia, apresentando uma evolução notável (CASTRO, 2009).

No Brasil, algumas regiões possuem bastante potencial para a implantação de usinas para produção de energia eólica. No total, conforme estudo do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica estima-se que o potencial eólico brasileiro é da ordem de 143 GW. Na Figura 3 é mostrada a velocidade do vento no Brasil.

Figura 3 – Velocidade média anual do vento no Brasil



Fonte: Global Wind Atlas (2021, *online*).

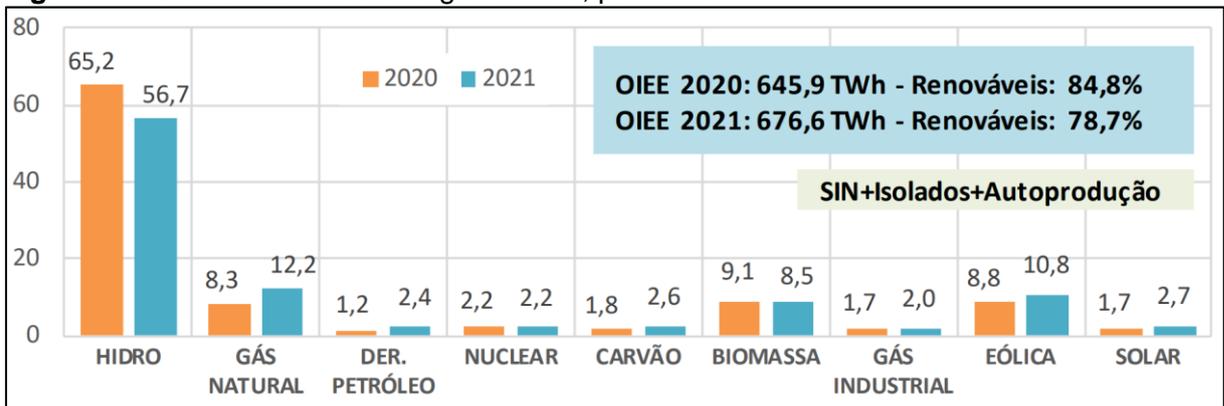
Com base no mapa, é possível observar que as regiões litorâneas possuem boa quantidade de vento, sendo os locais mais indicados para a implantação das usinas eólicas. Nas regiões marítimas mostradas pelo mapa em laranja escuro ou

vermelho é possível observar as regiões offshore com maior potencial eólico. Vale ressaltar, no entanto, que o mapa não mostra as condições geográficas dos terrenos, que podem ser mata, campo aberto, zona costeira, morro ou montanha. As regiões de mata, mesmo que possuam ventos com alta velocidade média, apresentam poucas condições para as turbinas eólicas, por conta da vegetação.

No ano de 2021, houve uma expansão de 3 mil megawatts (MW) na capacidade instalada de energia elétrica originada da energia eólica, sendo que 40% dos empreendimentos voltados para a produção de energia foram destinados à energia eólica. Ainda assim, as usinas eólicas correspondem a apenas 11,11% de toda a matriz energética do país. No mundo todo, a previsão é que em 2026 a energia eólica responda por 95% do aumento da capacidade total de energia (MACHADO, 2021).

No Brasil, conforme é mostrado na Figura 4, as usinas hidrelétricas respondem pela maior parte da oferta de energia elétrica do país. O gás natural, a biomassa e a energia eólica são as fontes nas posições seguintes, com porcentagem bem menor. Referente à energia eólica, a participação no total da oferta interna foi de 8,8% em 2020 para 10,8% em 2021, até o mês de outubro.

Figura 4 – Oferta interna de energia elétrica, por fonte



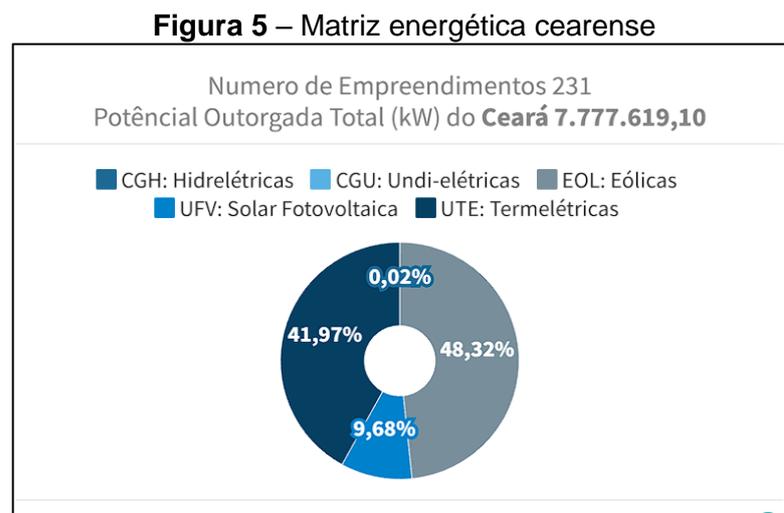
Fonte: Ministério de Minas e Energia (2021).

Ainda assim, embora se tenha a ideia de que a energia eólica seja viável, trazendo vantagens como a questão ambiental, existe a necessidade de que se faça uma investigação mais aprofundada sobre a qualidade e a velocidade dos ventos para o estabelecimento de novas usinas ou para melhorar o conhecimento sobre as já existentes (KASPARY; JUNG, 2015). Nessa perspectiva de análise da implantação

ou manutenção das usinas eólicas, a questão dos materiais também se apresenta como um aspecto imprescindível.

[...] o grande desafio no campo da energia eólica é o aproveitamento dessa energia com um custo que não torne a tecnologia fora de mão, e é nesse meio que o estudo de aperfeiçoamento dos materiais de construção está inserido. Quanto mais desenvolvido for esse aspecto, mais compensará a implantação dessa energia limpa e renovável (AREIAS; MELOTTI; SILVA, 2012, p. 12270).

No estado do Ceará e na região Nordeste, a energia eólica é uma alternativa válida para a geração de energia. Sendo responsável, atualmente, por quase metade da matriz energética cearense, conforme pode ser observado na Figura 5.



Fonte: Mesquita (2022).

De acordo com a Figura 5, pode-se observar que quase metade da matriz energética cearense advém de energia produzida por fonte eólica, o que a coloca com a principal fonte do estado. Os 102 projetos existentes no Ceará somam 2,48 gigawatts de potência, sendo que o estado consome somente 2 gigawatts, com o restante sendo negociado aos estados vizinhos. Vale ressaltar que o estado possui ainda 5,14 gigawatts de energia fiscalizada e ainda 7,77 gigawatts outorgados (MESQUITA, 2022).

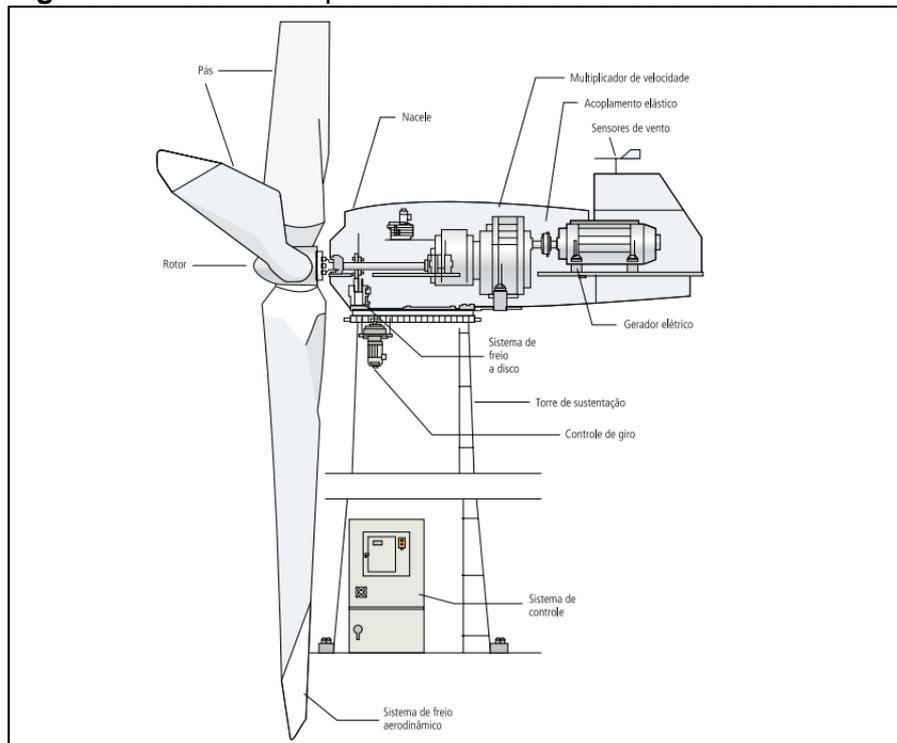
Nessa região, grande parte da energia utilizada na irrigação advém das usinas hidrelétricas, o que pode ser tornar um empecilho, na medida em que existem poucos rios perenes, necessários para este tipo de usina. Com isso, os poucos rios

que possuem essa característica ficam longe de algumas localidades, causando um aumento nos custos, que precisam cobrir também a rede de transmissão que transportarão a energia por grandes distâncias. A energia eólica, portanto, poderia ser usada como alternativa ou como forma de complementar a energia produzida pelas hidrelétricas (FEITOSA *et al.*, 2014).

De um ponto de vista mais técnico, a energia eólica é produzida pela energia cinética do vento que movimenta uma turbina, ligada direta ou indiretamente a um gerador elétrico. Os sistemas desse tipo de energia podem ser instalados em terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*), havendo vantagens e desvantagem em cada um. Ao serem construídas no mar, as estruturas podem ser acionadas por ventos mais favoráveis, no entanto, os projetos são mais dispendiosos e arriscados (UCZAI, 2012).

Existem dois modelos de turbinas eólicas para geração de energia. Os de eixo vertical e os de eixo horizontal. O modelo com a turbina eólica mais comumente utilizada atualmente é o que possui rotores de eixo horizontal, pois são mais eficientes, compensando também seu maior custo. As turbinas eólicas mais comuns no Brasil caracterizam-se por possuírem três pás, alinhamento ativo, geração de indução e estrutura não flexível (IZUMI, 2015).

Figura 6 – Desenho esquemático da estrutura de uma turbina eólica



Fonte: IBICT (2010).

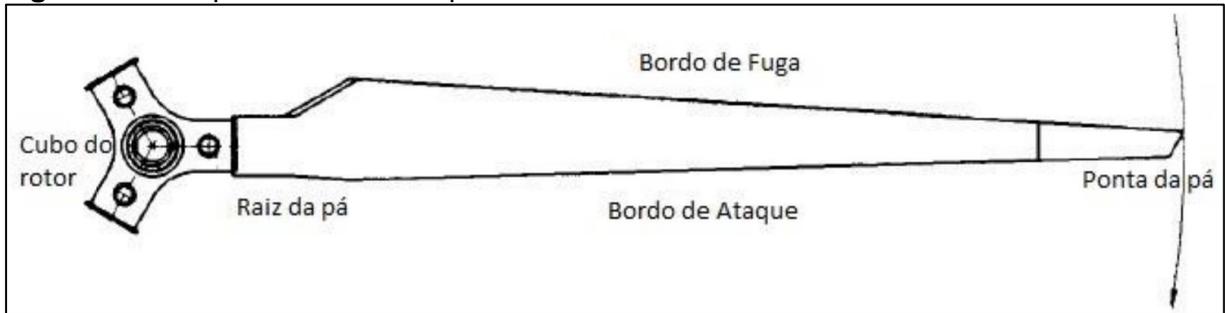
Conforme o esquema da Figura 6, observa-se que a turbina é formada por diversas partes, sendo que cada uma possui uma função importante para a geração de energia, com base em Marques (2004) e Portal Solar (2020):

- a) Pás: sobre elas incidem o vento, que irá mover o rotor. Podem ultrapassar os 100 metros de comprimento;
- b) Rotor: parte em que são conectadas as pás, popularmente chamada de “nariz” e cuja função é transferir o movimento das pás para o eixo central;
- c) Torre: estrutura feita de aço tubular, treliças ou concreto que sustenta a turbina e o rotor numa altura ideal para a captação dos ventos. Ultrapassa facilmente os 200 metros de altura;
- d) Sistema de freios a disco: sistema auxiliar que permite parar a turbina em condições adversas. Pode ser mecânico, elétrico ou hidráulico;
- e) Nacele ou casa de máquinas: estrutura que protege todos os componentes internos da turbina;
- f) Gerador elétrico: converte a força mecânica do eixo em energia elétrica;
- g) Sensores de vento ou anemômetro: dispositivo que mede a intensidade e a velocidade dos ventos;
- h) Multiplicador de velocidade ou caixa multiplicadora ou caixa de engrenagem: responsável por conectar o eixo de baixa velocidade ou eixo primário com o eixo de alta velocidade ou secundário, aumentando a velocidade de 15-60 rpm para 1000-3000 rpm;
- i) Controle de giro ou biruta: a partir dos dados dos ventos coletados pelos sensores de vento, o controle de giro pode alterar a posição do rotor e para que as pás estejam na posição ideal de captação dos ventos;

O rotor é o conjunto formado junto com as pás precisam ser fabricados com um material que seja sólido para que se permita uma boa quantidade de giro, para transferir a energia mecânica para o gerador. Visto que as pás estão em contato direto com o vento, seu desenho necessita de um formato que permita maximizar essa transferência de energia. Dessa forma, para a fabricação das pás, alguns aspectos são importantes para a questão do aspecto aerodinâmico: diâmetro do rotor, geometria do perfil aerodinâmico, parâmetros aerodinâmicos (ângulo de passo, velocidade) e a geometria do perfil longitudinal da pá (corda e *twist*) (PIRES; OLIVEIRA, 2010).

Na Figura 7 são apresentados os principais componentes de uma pá eólica.

Figura 7 – Componentes de uma pá eólica



Fonte: Stiesdal (1999) *apud* Campos (2013).

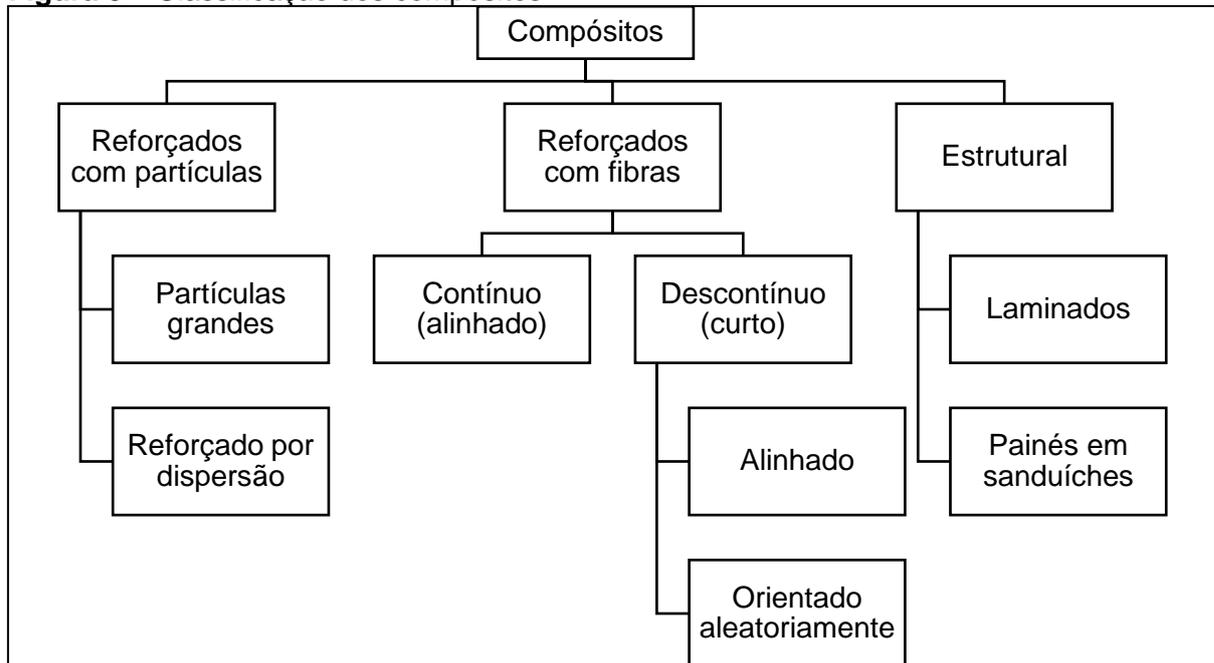
Como visto pela imagem, as pás eólicas utilizadas nos aerogeradores modernos são compostas pelo cubo do rotor, que vai manter as três pás unidas pela raiz e ligadas à torre e ao gerador no interior da nacelle. O bordo de ataque é a região em que o vento fará o primeiro contato com a pá. O bordo de fuga é por onde o ar escapa. Essas partes são projetadas com a definição do ângulo de ataque, ou seja, do ângulo que é formado entre a velocidade do vento e o perfil da pá, sendo possível estabelecer valores relativos às forças de sustentação e de arrasto do perfil aerodinâmico (CAMPOS, 2013).

2.2 Compósitos utilizados na fabricação de pás eólicas

Para Callister (2000), os compósitos são materiais multifásicos e que guardam as propriedades das fases que o constituem, de modo que se tenha uma melhora nessas propriedades com a combinação desses materiais. Os materiais são então combinados de modo a melhorarem suas características mecânicas.

No compósito, o reforço é adicionado à matriz obtendo então um novo material com propriedades superiores. Na mistura, tanto a matriz quanto o reforço mantêm suas características físicas e químicas originais, porém adquirem uma combinação de propriedades que não seriam adquiridas pelos constituintes atuando isoladamente. Essas propriedades são controladas por vários fatores, dentre eles as propriedades de seus constituintes, método de mistura, teores dos constituintes, distribuição dos constituintes e geometria dos reforços (GOMES, 2015, p. 20).

Os compósitos podem ser classificados das seguintes formas (Figura 8).

Figura 8 – Classificação dos compósitos

Fonte: Callister (2000).

Dentre os materiais mais comuns para fabricação das pás eólicas, os compósitos reforçados com a fibra de vidro são os mais eficientes, em virtude da sua resistência e rigidez (CALLISTER, 2000). Atualmente, a fibra de vidro pode ser utilizada junto a outros materiais como o poliéster, as resinas epóxi e, mais recentemente, os termoplásticos, na produção dos compósitos, havendo diferenças significativas de custo, fabricação e propriedades mecânicas na utilização de cada matriz (GOMES, 2015).

Segundo Izumi (2015), as outras opções de materiais para a fabricação de das pás eólica são aço, madeira, alumínio e fibra de carbono e/ou Kevlar. As características de cada material e a forma como são empregados são apresentados a seguir:

Quadro 1 – Materiais mais utilizados para a fabricação de pás eólicas

Material	Descrição
Fibra de vidro	Componentes fabricados com este material possuem boa resistência específica e resistência à fadiga, além de um custo competitivo melhor. Pás em materiais compostos desse tipo permitem uma geometria aerodinâmica lisa, contínua e precisa.

Aço	Aços estruturais são acessíveis e possuem baixo custo, havendo bastante experiência ao empregar este tipo de material em estruturas aeronáuticas de todos os tamanhos. A desvantagem é que as pás costumam ter um peso maior, afetando toda a estrutura de suporte. Existe também o problema da corrosão.
Madeira	Em virtude da própria natureza de fibras naturais, a madeira tem evoluído ao longo dos anos para suportar as cargas induzidas pelo vento na natureza. É utilizada normalmente para pás de rotores pequenos, abaixo de dez metros de diâmetro. Possui baixo peso, mas deve-se ter cuidado com a variação da umidade interna.
Alumínio	Utilizadas na maior parte aerogeradores do tipo Darrieus, sendo extrudada na forma de perfil aerodinâmico. A desvantagem é a questão da tensão da fadiga, o que pode piorar à medida que os ciclos de carregamento são aumentados, deixando dúvidas sobre a durabilidade dos rotores de alumínio.
Fibra de carbono e/ou Kevlar	De composição mais avançada, podem ser utilizadas em áreas específicas críticas a fim de melhorar a rigidez de toda a estrutura. Possui alto custo se comparado com os outros tipos de aerogeradores. Tem sido utilizada de forma experimental.

Fonte: Izumi (2015).

Como visto no Quadro 1, existem vantagens e desvantagens na utilização dos materiais para a fabricação das pás eólicas. A escolha será feita dependendo do tamanho e do tipo de aerogerador que será produzido. No caso da definição da fibra de vidro na fabricação dos compósitos, objeto desta pesquisa, as principais razões para essa escolha são:

É facilmente estirado na forma de fibras de alta resistência a partir do seu estado fundido.

É um material amplamente disponível e pode ser fabricado economicamente para formar um plástico reforçado com vidro, empregando-se uma ampla variedade de técnicas de fabricação de materiais compósitos.

Como uma fibra, ele é relativamente forte, e quando se encontra no interior de uma matriz de plástico produz um compósito que possui resistência específica muito alta.

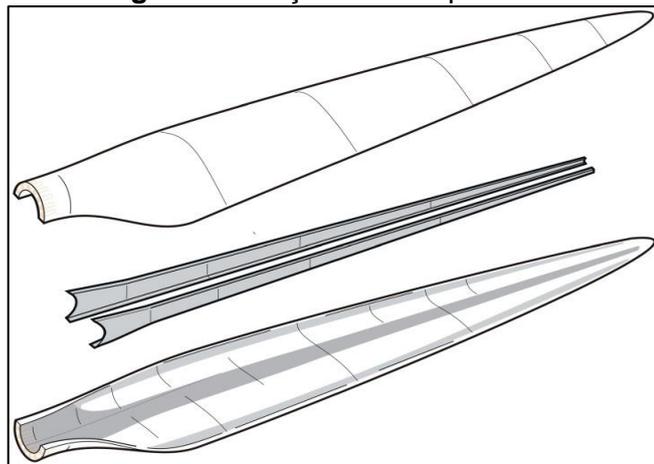
Quando associado com diferentes plásticos, ele possui uma inércia química que torna o compósito útil para aplicação em meio a uma variedade de ambientes corrosivos (CALLISTER, 2002, p. 371).

Ainda que exista essa diversidade de materiais, para Lucena *et al.* (2017), alguns dos componentes utilizados para a fabricação das pás, principalmente os ligados ao corte do tecido, ainda não possuem nível tecnológico satisfatório. Além disso, a sua produção provoca a geração de grandes quantidades de resíduos e, conseqüentemente, mais gastos para as empresas.

2.3 Processo de fabricação de pás eólicas

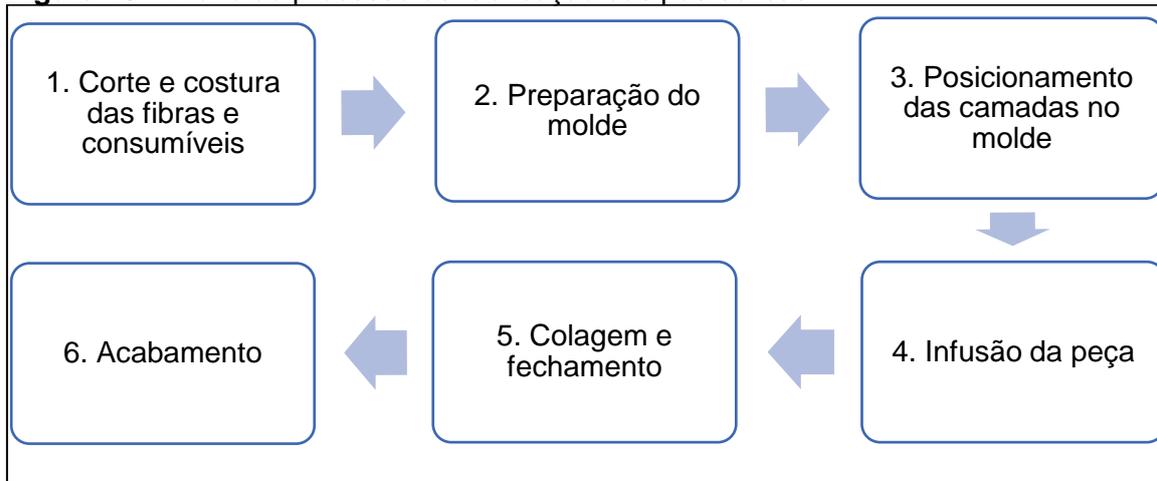
Uma pá eólica é composta por duas cascas uma chamada de casca pressão e a outra chamada de casca sucção, entre elas se tem duas peças pré-fabricadas chamadas de almas, em alguns modelos podem se encontrar até três almas.

Figura 9 – Peças de uma pá eólica



Fonte: Mishnaevsky *et al.* (2017).

O processo de fabricação de pás se inicia no corte das fibras e materiais consumíveis, que é o foco desta pesquisa, após o corte e preparação dos materiais se inicia a preparação de moldes, seguida do posicionamento das camadas no molde, finalizado o posicionamento de todas as camadas é fechado o plástico com auxílio de vácuo e se inicia a infusão, se finaliza o processo de laminação com a colagem e fechamento da peça.

Figura 10 – Fluxo do processo de fabricação das pás eólicas

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Corte e costura das fibras e consumíveis: O corte é o primeiro processo para fabricação de uma pá eólica, nele acontece o recebimento e inspeção da matéria prima e ela é transformada em camadas de tecido e matérias consumíveis como o plano de infusão.

Preparação do molde: Após a fabricação de uma peça, o molde é aberto e passa por um processo de limpeza. São removidos todos os resíduos e sujeiras da pá anterior e é realizada a aplicação de desmoldante, para remover a peça pronta.

Posicionamento das camadas: O processo é dividido em três etapas, a primeira etapa é chamada de posicionamento 1 ou Under, onde vão as primeiras fibras (Camadas de tecido) que ficam na parte externa da pá, na segunda etapa é posicionado o núcleo (Madeira de balsa e espuma de PET) junto ao reforço da pá que pode ser uma peça Pré-fabricada já infundida ou um bloco de carbono, a terceira etapa é chamada de posicionamento 2 ou Over é semelhante a primeira etapa, tendo as mesmas camadas que foram utilizadas.

Infusão: O processo de infusão tem início com o posicionamento do plano de infusão que é composto por materiais consumíveis (Plástico perfurado, transfer de infusão, canaletas e mangueiras) que tem o objetivo de auxiliar o fluxo da resina, dando velocidade e movimentos corretos para que a peça tenha um bom resultado, após o plano a peça é fechada por um plástico com auxílio de fita selante e bombas de vácuo e por meio de mangueiras se dá início ao processo de transferência de resina para a peça.

Uma das vantagens da infusão a vácuo é a redução no custo ferramental do processo, sendo indicado, portanto, para a produção de compósitos de grandes estruturas, como aeronáuticas, navais ou para a fabricação de pás eólicas. O vácuo permite também que se incremente as propriedades mecânicas, visto que se evita o surgimento de espaços vazios ou de bolhas na resina que compõe a peça. Por outro lado, entre as principais desvantagens se destaca o fato de o processo ser relativamente complexo para ser feito diversas vezes, além de haver necessidade de se reparar o material em algumas partes em caso de não ocorrer a devida impregnação (COLARES, 2021).

Colagem e fechamento: O processo de colar e fechar a pá acontece logo após a cura da infusão, são removidos os materiais consumíveis e é realizar uma inspeção nas duas cascas, com a liberação da qualidade a colagem das almas pode ser realizada, iniciando pela aplicação da massa nas zonas onde as almas vão ser posicionadas, com a cura da colagem das almas se inicia o processo de fechamento da pá, onde acontece a aplicação de massa nos bordos e a casca móvel vai de encontro a casca fixa, garantindo a união entre elas com a massa, após isso o molde é aquecido para garantir a cura do fechamento.

Acabamento: Antes de iniciar esse processo a peça passa por diversas inspeções, incluindo a de ultrassom para verificar as linhas de colagem, após aprovada a peça segue para o lixamento e preenchimento das irregularidades da superfície, com a superfície áspera são as aplicadas duas camadas de tinta em toda a pá que protegem a pá dos raios solares e chuvas, garantindo uma vida útil mais longa, no bordo de ataque onde sofre o maior impacto com a força do vento são aplicadas cinco camadas de tinta, com cores diferentes que auxiliam na identificação de desgaste dando sinal para manutenção atuar.

A fabricação das pás eólicas, conforme a Figura 11, superior à esquerda, a partir do molde com acomodação do tecido. Superior, à direita, observa-se a colocação do plástico, sendo possível observar algumas mangueiras através das quais a resina será inserida no molde. Na imagem inferior, à esquerda, é possível visualizar a aplicação da massa de colagem com o processo de infusão já finalizado. Na imagem inferior à direita é possível observar o processo de corte de fibras, com o tecido passando pela esteira da máquina.

Figura 11 – Fabricação de pás



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3 METODOLOGIA

Para analisar a importância da energia eólica no cenário energético brasileiro foi feita uma pesquisa bibliográfica por artigos, livros, teses e dissertações, além de publicações de órgãos públicos do setor de energia. Por meio dessa pesquisa inicial, foi possível compreender o impacto que o uso da energia eólica possui na geração de energia no país e no Ceará, havendo ainda o potencial acumulado que pode incrementar a geração de energia eólica.

Para explicitar os componentes e o funcionamento de uma turbina eólica e explicar o processo de fabricação de pás eólicas e os compósitos empregados foram consultados artigos, dissertações, teses e manuais.

Para apresentar as ações que reduzam o custo da fabricação das pás eólicas foi necessário entender o processo de corte de fibras na fabricação de uma pá eólica, conhecer o processo de funcionamento de uma máquina de corte, como é o desenvolvimento de receita e a melhoria de processo, também foram realizadas buscas nas publicações. O trabalho contou ainda com o conhecimento adquirido pelo autor durante seu trabalho em uma indústria que fabrica pás eólicas, vindo daí também a motivação para a realização do trabalho.

3.1 Corte de fibras

O processo de corte das fibras tem início com o recebimento e inspeção da matéria prima, os rolos de tecido seguem larguras padrões de 1270 mm e 2540 mm e comprimentos de tamanhos variados, as fibras da indústria eólica são divididas em três tipos unidirecional, biaxial e triaxial, variando também na orientação (0° , 45° e 90°) e gramatura, que é selecionada de acordo com o projeto de cada pá.

Após aprovação da matéria prima acontece o abastecimento da máquina e seleção do plano de corte, onde é inserido na máquina a receita com as informações das camadas (Tamanho e formas), a máquina segue os comandos de corte e se tem as camadas na sua forma para uso, elas são enroladas e armazenadas em tubetes de papelão de forma manual.

3.2 Máquina de corte

O corte da fibra é realizado por um equipamento de corte com Controle Numérico Computadorizado (CNC) e a máquina utilizada neste processo é uma Eastman C-135 (Figura 10), que conta com um sistema de corte e transporte de camadas. Ela é dividida em três partes: abastecimento, onde são posicionados os rolos de tecido; mesa de corte que possui o cabeçote com uma lâmina; e esteira auxiliar, que é utilizada para enrolar as camadas pós corte.

Figura 12 – Máquina de corte Eastman C-135



Fonte: Eastman (2022).

Na imagem se tem a principal parte da máquina em azul, a mesa de corte. Essa máquina utiliza uma lâmina de aço reforçada, que garante precisão e qualidade do corte.

3.3 Desenvolvimento de receitas

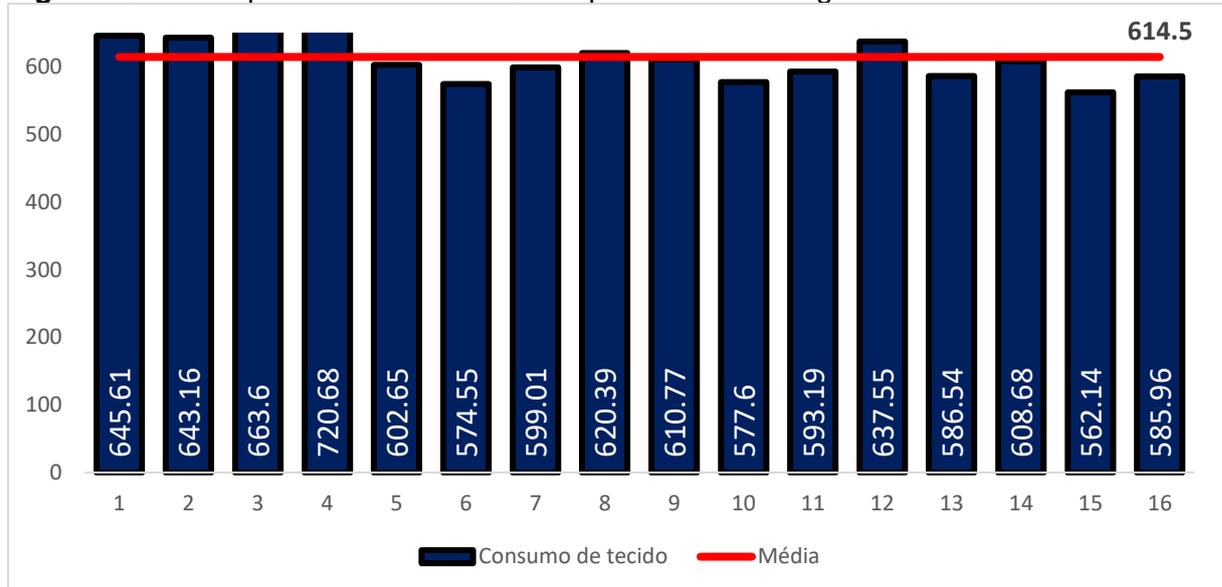
A máquina utiliza o software cutPRO que segue comandos a partir da receita inserida, com formato Drawing Exchange Format (DXF), vindo do AutoCad. As informações contidas nas receitas são desenvolvidas a partir do desenho da pá, que é planejado e dividido em camadas de acordo com cada projeto. Após a divisão das camadas, elas são desenhadas separadamente e inseridas dentro do plano seguindo as limitações de largura e comprimento do rolo.

3.4 Acompanhamento de consumo

No cenário atual do consumo de tecido UD1200 são utilizados dois rolos de 200 metros para fabricação de uma pá com 74 metros de comprimento, tendo uma área útil do encaixe das camadas de 176 e 173 metros gerando duas sobras de 24 e 27 metros que não são reutilizadas.

No acompanhamento de consumo por semana se tem um consumo médio de 614,5 quilos por pá, em uma produção de 27 pás por semana. Todo o tecido é comprado e acompanhado em quilos, realizando um cálculo de comprimento x largura x gramatura para se encontrar o peso total do rolo.

Figura 13 – Acompanhamento de consumo por semana em kg



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A cada pá cortada são desperdiçados 13,5% de tecido. O padrão do mercado e dos fornecedores das indústrias eólicas é a utilização de 200 metros de comprimento em todos os rolos.

3.5 Melhoria de processo

Com foco na redução do desperdício de matéria prima foi realizado um redimensionamento de rolos para adequar o melhor comprimento e largura de rolos para o processo de corte.

O processo de melhoria se inicia pela validação das camadas do plano de

corde, realizando a confirmação que não passaram por alteração consegue se encontrar o tamanho real do plano de corte, após a validação inicial o fornecedor precisa adequar seu processo para os novos comprimentos de rolo e enviar as amostras para teste.

O primeiro teste foi realizado para ajustar as máquinas para o novo processo, após todo o processo ajustado e o teste concluído com sucesso se iniciou a produção em série com os novos rolos de tecido.

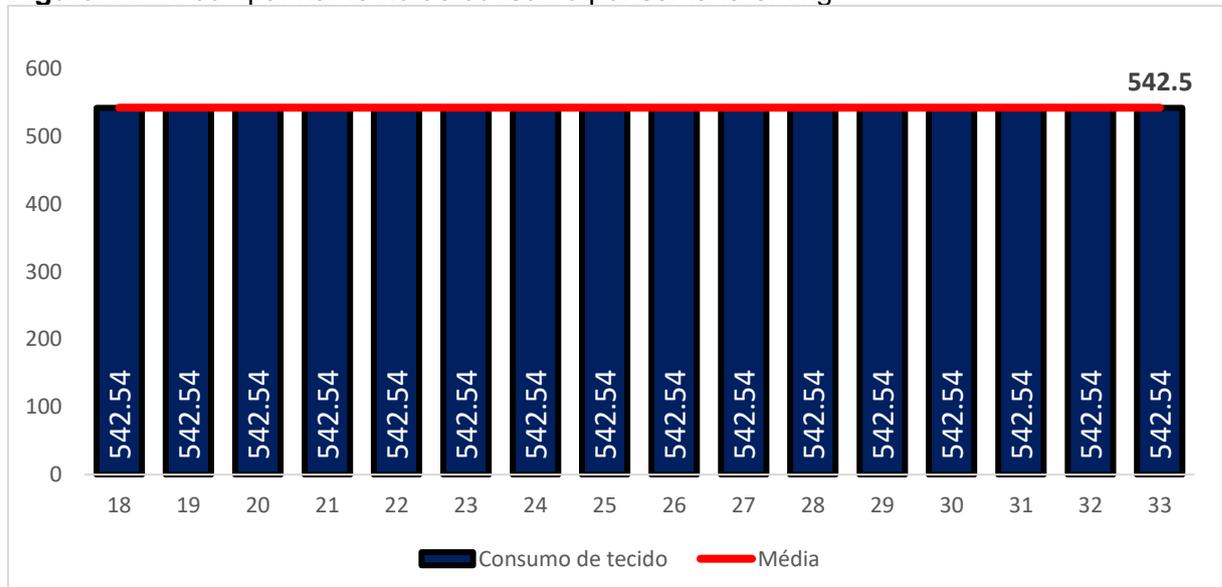
4 RESULTADOS

4.1 Acompanhamento de consumo

O tamanho ideal encontrado para o rolo é de 178 metros de comprimentos, atendendo os dois planos de corte que são de 176 e 173 metros, reduzindo o desperdício de 13,5% para 2%, mantendo o limite de segurança de dois metros para possíveis alterações de camadas.

No acompanhamento de consumo semanal o gráfico mostrar estabilidade no consumo pós melhoria, garantindo um ganho de forma perene.

Figura 14 – Acompanhamento de consumo por semana em kg



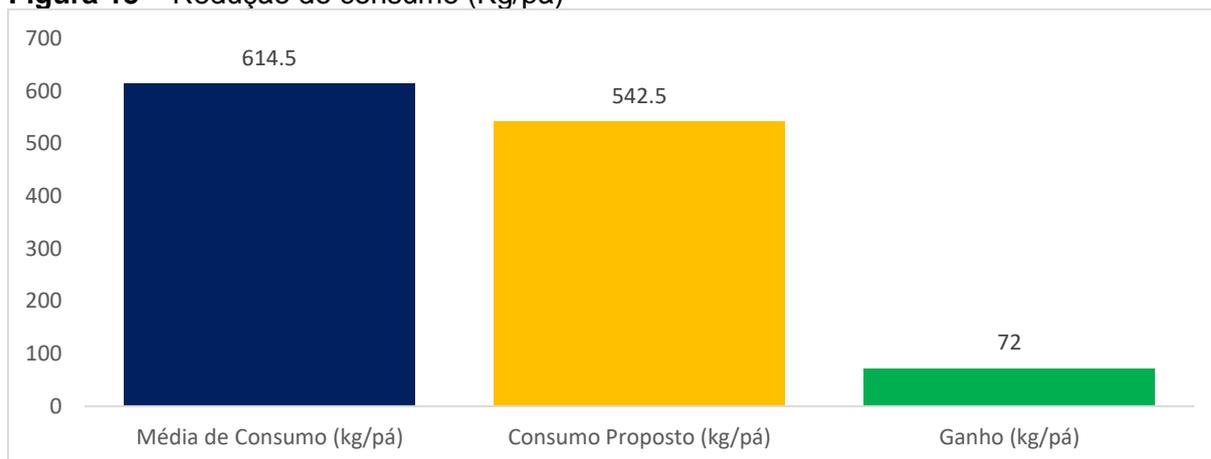
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Com a redução das sobras de 24 e 27 metros o processo teve ganhos ergonômicos, não sendo mais necessário retirar as sobras que tinham em média 41 quilos de forma manual da máquina de corte para o descarte, e ganhos em tempo de setup eliminando a retirada de rolos ao fim da batelada de produção, que chegavam a durar três minutos.

4.2 Redução do consumo

Com o novo valor de consumo médio por pá foi possível calcular o ganho da melhoria em quilos/pá, tendo uma redução de 72 quilos, tendo um ganho semanal de 1944 quilos (com base na produção de 27 pás por semana).

Figura 15 – Redução do consumo (Kg/pá)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A redução contribui na redução de geração de resíduos, contribuindo diretamente em uma produção de pás mais sustentável.

Com o preço do quilo do tecido de R\$ 14.34 alcançamos um ganho semanal de R\$ 27.869,90 e um ganho anual de R\$ 1.449.234,82.

Figura 16 – Acompanhamento financeiro (R\$)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5 CONCLUSÕES

Com relação a importância da energia eólica no cenário energético brasileiro conclui-se que existe uma tendência no aumento das energias renováveis por conta da preocupação ambiental. Assim, a energia eólica ganha um espaço cada vez maior como fonte alternativa para geração de energia, colocando o Brasil numa posição de destaque no cenário internacional.

Os componentes e o funcionamento de uma turbina eólica precisam passar por constantes melhorias a fim de manter a eficiência na produção de energia, uma vez que apesar de ser uma fonte de energia limpa, realiza um investimento significativo para a construção das usinas eólicas, tanto as *onshore* como as *offshore*.

No processo de fabricação de pás eólicas e os compósitos empregados observa-se que ainda pode ser melhorado o processo de corte e o gerenciamento dos resíduos. Nesse sentido, a otimização nos processos, por meio de um corte mais eficiente dos tecidos que são utilizados para a fabricação das pás eólicas pode ser uma alternativa viável para reduzir o desperdício e melhorar o custo-benefício da produção.

Pode-se afirmar que a energia eólica é uma forma de se utilizar uma fonte renovável de energia, fazendo com o Brasil seja um dos principais produtores de energia eólica do mundo. No Nordeste, a grande oferta de ventos se destaca demonstrando o grande potencial que a região possui na geração eólica.

Para reduzir o custo da produção das pás eólicas, existe a alternativa na melhoria do processo de produção a partir do redimensionamento dos rolos, para adequar o melhor comprimento e largura dos rolos para o corte. Pode ser reduzir o desperdício de 13,5% para 2%, mesmo mantendo uma margem de segurança. Ao reduzir as sobras, gasta-se menos tempo com a retirada dos rolos, sendo possível economizar até três minutos com essa operação.

Conclui-se que a melhoria nos processos de produção das pás eólicas favorece a redução dos custos e do uso de materiais, melhorando a relação custo-benefício e contribuindo para a redução de resíduos na fabricação. Fazendo com que não apenas a geração da energia eólica seja sustentável, mas também o processo de fabricação das pás eólicas.

REFERÊNCIAS

AREIAS, Lorenzo Castro; MELOTTI, Gledson; SILVA, Flávio Lopes da. Materiais para a produção de energia eólica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS (CBECIMAT). 20., 2012, Joinville. **Anais** [...]. Joinville: Metallum, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328513835_MATERIAIS_PARA_A_PRODUCAO_DE_ENERGIA_EOLICA. Acesso em: 6 abr. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA BOLETIM mensal de energia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/eolica-e-solar-somadas-tem-a-segunda-maior-participacao-na-oferta-interna-de-energia-eletrica-de-2021/1BoletimMensaldeEnergiaOutubro2021Portugus3.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2021.

BRASIL. Brasil ocupa posição de destaque na geração de energia eólica offshore. *In*: **Portal gov.br**, Brasília, 10 de novembro de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2022/11/brasil-ocupa-posicao-de-destaque-na-geracao-de-energia-eolica-offshore>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CALLISTER Jr., William D. **Ciências e engenharia de materiais**: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CAMPOS, Maxdavid Oliveira. **Estudo comparativo de pás para aerogeradores de grande porte fabricadas em materiais compósitos reforçadas com fibra de carbono ou fibra de vidro**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/12818/1/EstudoComparativoP%C3%A1s_Campos_2013.pdf. Acesso em: 4 abr. 2022.

CASTRO, Rui M. G. **Introdução à energia eólica**. Lisboa: Instituto Superior Técnico; Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

COLARES, Bruno Henrique Sampaio. **Modelagem e simulação numérica do processo de moldagem por transferências de resina assistida a vácuo na indústria eólica**. 2021. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58421>. Acesso em 5 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Energia eólica**. [Brasília]: [Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia], [2010]. Disponível em:

<https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/582/7/06%20-%20Energia%20E%C2%BElica%283%29.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2022.

FEITOSA, Erialdo *et al.* Energia eólica como alternativa energética para convivência com semiárido no perímetro irrigado Tabuleiros de Russas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 3, p. 199-209, 2014. Disponível em: https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/202/pdf_174. Acesso em: 6 abr. 2022.

FREIRE, Wagner. Potencial eólico onshore brasileiro pode ser de 880 GW, indica estudo. *In: Canal Energia*, São Paulo, 25 de outubro de 2016. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/31738562/potencial-eolico-onshore-brasileiro-pode-ser-de-880-gw-indica-estudo>. Acesso em: 25 maio 2023.

GLOBAL WIND ATLAS. Velocidade dos ventos no Brasil. *In: Portal Global Wind Atlas*, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://globalwindatlas.info/en>. Acesso em: 17 maio 2023.

GOMES, Maurício Miranda. **Análise dinâmica via elementos finitos de uma pá de turbina eólica**. 2015. 68 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília, 2015. Disponível em: https://fga.unb.br/articles/0001/0162/TCC_1_-_Maur_cio_Miranda.pdf. Acesso em: 3 abr. 2022.

GORAYEB, Adryane *et al.* Análise multicritério de parques eólicos onshore e offshore no Ceará: em foco as comunidades tradicionais litorâneas. **Revista Mutirão**, Recife, v. 3, n. 2, p. 32-60, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/mutiro/article/viewFile/253079/42056>. Acesso em: 25 maio 2023.

INFUSÃO por vácuo. [S. l.: s. n.], 2017. 1 vídeo. (2 min). Publicado pelo canal Fibrenamics. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IGy7rThZ-ZM&t=3s>. Acesso em: 5 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Complexos eólicos offshore**: projetos com processos de licenciamento ambiental abertos no IBAMA. [S. l.]: IBAMA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/arquivos/20230328_Usinas_Eolicas_Offshore_reduzido.pdf. Acesso em: 17 maio 2023.

IZUMI, Juliano Yudi. Energia eólica: aerogeradores e materiais empregados. *In: Materiais elétricos*: Compêndio de Trabalhos vol. 3 – UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu/PR, 2015. Disponível em: <http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downcompendio/compendiov3.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2022.

KASPARY, Rosane Maria; JUNG, Carlos Fernando. Energia eólica no Brasil: uma análise das vantagens e desvantagens. *In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO*, 11., 2015, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: CNEG, 2015. Disponível em: https://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_430.pdf. Acesso em: 29 mar. 2021.

LEITE, Laura Maria Martins. **Reciclagem de pás de rotor de aerogeradores eólicos: desafios e oportunidades**. 2020. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Beira Interior, Covilhã, 2020. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/11600/1/7951_17121.pdf. Acesso em: 6 abr. 2022.

LOPES, Inês Abreu Freire. **Estudo do processo de infusão a vácuo em materiais compósitos: produção de tampa de bagageira para autocarro**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2009. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58809/1/000136169.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2022.

LUCENA, Joseclebio da Fonseca; OLIVEIRA, Fernando Ribeiro; STEFFENS, Fernanda; LADCHUMANANANDASIVAM, Rasiah. Desenvolvimento de materiais compósitos híbridos a partir do reaproveitamento de fibra de vidro proveniente da indústria eólica. *In: CONGRESSO CIENTÍFICO TÊXTIL E MODA*, 5., 2017, São Paulo. **Anais** [...] São Paulo: Centro Universitário FEI, 2017. p. 162-170. Disponível em: http://www.contextmod.net.br/index.php/quinto/article/view/733/pdf_22. Acesso em: 30 mar. 2022.

MACHADO, Nayara. Eólica tem expansão recorde no Brasil em 2021. *In: epbr*, [s. l.], 6 dez. 2021. Disponível em: <https://epbr.com.br/eolica-tem-recorde-de-expansao-no-brasil-em-2021/>. Acesso em: 28 mar. 2022.

MARQUES, Jeferson. **Turbinas eólicas: modelo, análise e controle do gerador de indução com dupla alimentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8442/JEFERSON%20MARQUES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MESQUITA, Carolina. Mais da metade da energia produzida no Ceará é de fontes renováveis: veja gráfico. *In: Diário do Nordeste*, Fortaleza, 6 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/mais-da-metade-da-energia-produzida-no-ceara-e-de-fontes-renovaveis-veja-grafico-1.3187818>. Acesso em: 18 maio 2023.

MISHNAEVSKY, Leon *et al.* Materials for wind turbine blades: an overview. **Materials**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. 1285-1309, 2017. Disponível em: doi:10.3390/ma10111285. Acesso em: 17 nov. 2022.

PIRES, J. C.; OLIVEIRA, B. F. Modelagem e simulação virtual de pá para aerogerador de pequeno porte. **Design & Tecnologia**, v. 2, p. 69-76, 2010. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/43/30>. Acesso em: 30 mar. 2022.

PORTAL SOLAR. Energia eólica: o que é, como funciona, vantagens e desvantagens. In: **Portal Solar**, [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-x-energia-eolica-precos.html#ancora6>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SCHAEFFER, Roberto *et al.* **Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil**. Rio de Janeiro: COPPE, 2008. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA_E_SEGURANCA-EnERGETICA_FINAL.pdf. Acesso em: 25 mar. 2023.

UCZAI, Pedro (rel.). **Energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. Brasília: Centro de Documentação e Informação; Edições Câmara, 2012. Disponível em: http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/714/1/energias_renovaveis.pdf. Acesso em: 30 mar. 2022.