

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 01/05/2024.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

NATASHA MARTINS RODRIGUES DE JESUS

Concepção e *desing* de pás eólicas com materiais poliméricos em impressora 3D

Guaratinguetá - SP
2023

Natasha Martins Rodrigues de Jesus

Concepção e *desing* de pás eólicas com materiais poliméricos em impressora 3D

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
Co-orientadora: Prof^ª. Thais Santos Castro

Guaratinguetá - SP
2023

J58c	<p>Jesus, Natasha Martins Rodrigues de Concepção e <i>desing</i> de pás eólicas com materiais poliméricos em impressora 3D / Natasha Martins Rodrigues de Jesus - Guaratinguetá, 2023.</p>
	<p>129 f : il. Bibliografia: f. 86-93</p>
	<p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023.</p>
	<p>Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza Coorientador: Prof^a. Dr^a Thais Santos Castro</p>
	<p>1. Energia eólica. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Impressão tridimensional. I. Título</p>
	<p>CDU 658.56 (043)</p>

Luciana Máximo
 Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Este trabalho engloba os quatro itens dos objetivos de desenvolvimentos sustentáveis, que são energias renováveis de forma acessível e mais limpa, inovação e infraestrutura, cidades e comunidades sustentáveis e consumo responsável. Ela oferece pesquisas inovadoras no setor de fontes alternativas de energia, especificamente com uma turbina tripá.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH


This work encompasses the four items of the sustainable development objectives, which are renewable energy in an accessible and cleaner way, innovation and infrastructure, sustainable cities and communities and responsible consumption. It offers innovative research in the alternative energy sources sector, specifically with a tripod turbine.

Natasha Martins Rodrigues de Jesus

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA
CURSO: MESTRADO**


APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Documento assinado digitalmente
 **MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES**
Data: 21/11/2023 10:11:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
Orientador / UNESP/FEG
participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **TEOFILO MIGUEL DE SOUZA**
Data: 04/11/2023 12:40:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Luiz Reis Rangel
UNESP/FEG
participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE LUIZ REIS RANGEL**
Data: 17/11/2023 16:43:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Osiris Canciglieri
Júnior PUC/PR
participou por videoconferência

Documento assinado digitalmente
 **OSIRIS CANCELIERI JUNIOR**
Data: 09/11/2023 13:27:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Novembro de 2023

DADOS CURRICULARES
NATASHA MARTINS RODRIGUES DE JESUS

NASCIMENTO: 04.07.1996 – São José dos Campos / SP

FILIAÇÃO: Antônio Luiz de Jesus
Marta Martins Rodrigues de Jesus

2021/2023 - Curso de Pós-Graduação em Engenharia – Área de Materiais
Mestrado – UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

2021/2025 - Curso de Graduação em Engenharia – Mecânica
UNESP – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

2019/2021 - Projetos de Estruturas Aeronáuticas, Tecnólogo
Fatec – Faculdade de Tecnologia de São José do Campos – Prof. Jessen Vidal.

2015/2018 - Automação e Manufatura Digital, Tecnólogo
Fatec – Faculdade de Tecnologia de São José do Campos – Prof. Jessen Vidal.

2012/2014 - Mecânica Industrial, Técnico
Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo / Campus São José dos Campos.

Dedico primeiramente a Deus, ao qual sou muito grata por todas as graças e bençãos que recebo em cada dia de vida. Dedico de modo especial, à minha família por me apoiarem e serem fonte de inspiração em minha vida, para que pudesse realizar esse projeto e tantos outros. Dedico também a minha Mãe, que sempre se esforçou, sacrificou e se dedicou muito em todos os âmbitos, para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar, capacitar e fortalecer para realizar a conclusão do meu projeto de mestrado.

Agradeço a minha família por sempre acreditar em mim e fornecer apoio durante toda minha vida.

Agradeço ao meu noivo Rafael por me proporcionar apoio e auxílio em todos os momentos de dificuldades

Agradeço em especial ao meu tio e professor orientador Teófilo e a professora coorientadora Thais por auxiliarem e instruir sempre que foi necessário para o progresso desta pesquisa.

Agradeço à banca composta pelo Prof^a Dr. André Luiz Reis Rangel, pelo Prof. Dr. Osiris Canciglieri Junior, e as professoras que fizeram parte da banca de qualificação Prof. Dra. Isabel Cristina de Barros Trannin, e Prof. Dra. Raphaela Carvalho Machado, que com suas sábias colocações permitiram este trabalho ficar melhor ainda.

Agradeço aos técnicos da UNESP– FEG, Rodolfo dos Santos e Antonio Augusto Moretti Rizzato por terem auxiliado na construção dos suportes do aerogerador, do variador de ângulo das pás e demais ajustes dos experimentos, e todos as nossas conversas de muita torcida e conselhos, que me acompanharam sempre.

Agradeço ao professor Marcelo Sampaio, pela liberação e auxílio no Laboratório de Prototipagem Rápida na UNESP – FEG, para a impressão das pás eólicas.

Agradeço aos funcionários da biblioteca da UNESP – FEG, por toda assistência e disponibilidade prestada.

Agradeço aos funcionários da pós-graduação da UNESP – FEG, por todo auxílio e disponibilidade oferecidos.

E por último agradecer a comunidade da UNESP– FEG de modo geral pela oportunidade de contribuir com o meio científico e por disponibilizarem os recursos necessários para a realização de meu trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – número do processo 155832/2021-2.

“Muitos são os planos no coração do homem,
mas é sempre a vontade de Deus que se realiza.”
(Provérbios 19:20)

RESUMO

A sociedade vem intensificando o foco na preservação ambiental ao longo dos anos devido ao cenário crítico atual do aquecimento global por emissões dos gases de efeito estufa. Uma das soluções adotadas é utilizar energias renováveis, sendo a eólica uma das principais. Seu funcionamento principal é por meio de aeromotores, onde permite a captação da energia do vento. Com base nisso, essa dissertação visa trazer a proposta de projetar e fabricar pás eólicas por meio da impressão 3D. Os materiais poliméricos utilizados foram o ABS, PETG, PLA e Tritan. Os modelos projetados foram de formato reta, curvada e ponta curva para o Tritan e formato reta para os demais materiais. Após a impressão, estas pás eólicas foram submetidas a testes de desempenho utilizando um aerogerador acoplado de um alternador constituído por uma turbina tripá, disponível no Centro de Energias Renováveis da UNESP, campus de Guaratinguetá. Os conjuntos das pás eólicas foram submetidas a experimentos nos quais foram variados o material de construção, o formato e o ângulo de ataque em função da velocidade linear do vento gerado por um túnel de vento. Os dados obtidos foram comparados para determinar quais as melhores combinações de material, formato e ângulo de ataque. Após a realização da pesquisa, concluiu-se que os conjuntos das pás impressas podem ser aplicados nas condições de baixa, média e altas velocidades do vento, pois além de apresentar bom desempenho das rotações, eles possuem as melhores propriedades mecânicas, como resistência e melhor desempenho no processo de impressão 3D em todos os formatos de pás em comparação com os outros materiais estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Turbina tripá; Energia eólica; Catia V5; Modelagem 3D CAD, Impressão 3D.

ABSTRACT

Society has intensified its focus on environmental preservation over the years due to the current critical scenario of global warming due to greenhouse gas emissions. One of the solutions adopted is to use renewable energy, wind power being one of the main ones. Its main operation is through aeromotors, which allow the capture of wind energy. Based on this, this dissertation aims to bring the proposal of designing and manufacturing wind blades through 3D printing. The polymeric materials used were ABS, PETG, PLA and Tritan. The models designed were straight, curved and curved for Tritan and straight for the other materials. After printing, these wind blades were subjected to performance tests using a wind turbine coupled to an alternator consisting of a tripod turbine, available at the UNESP Renewable Energy Center, Guaratinguetá campus. The wind blade sets were subjected to experiments in which the construction material, shape and angle of attack were varied depending on the linear wind speed generated by a wind tunnel. The data obtained was compared to determine the best combinations of material, shape and angle of attack. After carrying out the research, it was concluded that the printed blade sets can be applied in conditions of low, medium and high wind speeds, as in addition to presenting good rotational performance, they have the best mechanical properties, such as resistance and better performance in the 3D printing process in all blade shapes compared to the other materials studied.

KEYWORDS: Three-piece turbine; Wind energy; Catia V5; 3D CAD modeling; 3D printing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aerogerador de pequeno porte utilizado no estudo	21
Figura 2. Tipos energias renováveis no mundo	25
Figura 3. Imagem ilustra a projeção da capacidade até 2024	30
Figura 4. Projeção da capacidade instalada até 2023	31
Figura 5. Principais componentes do aerogerador.....	32
Figura 6. Rotores de eixo vertical.....	33
Figura 7. Rotores de eixo horizontal.....	34
Figura 8. Modelo de pá eólica reta.	35
Figura 9. Modelo de pá curvada.	35
Figura 10. Modelo de pá eólica ponta curva.....	35
Figura 11. Exemplos de aplicação de polímeros termoplásticos	38
Figura 12. Representações esquemáticas dos copolímeros	38
Figura 13. Monômero constituído na composição química de ABS	39
Figura 14. Monômeros constituído na composição química do PETG	42
Figura 15. Cadeia polimérica do PETG após o processo de copolimerização	42
Figura 16. Exemplos de aplicação do PETG	43
Figura 17. A cadeia polimérica do PLA.....	44
Figura 18. Exemplo de aplicação do PLA	45
Figura 19. Comparativo entre os processos de manufatura subtrativa A) e aditiva B)	46
Figura 20. Processo de manufatura aditiva	48
Figura 21. Processo de impressão 3D	48
Figura 22. Processo de impressão 3D.....	49
Figura 23. Fluxograma da pesquisa	53
Figura 24. Perfil aerofólio NACA 2412	54
Figura 25. Vista isométrica da pá de formato reta	55
Figura 26. Vista isométrica da pá de formato curvada	56
Figura 27. Vista isométrica da pá de formato com ponta curva	57
Figura 28. Projeção da primeira parte dos encaixes da pá eólica.	58
Figura 29. Desenho 3D da primeira parte dos encaixes das pás eólicas.....	58
Figura 30. Desenho 3D da primeira parte dos encaixes das pás eólicas.....	59
Figura 31. Desenho 3D da segunda parte dos encaixes das pás eólicas.	59
Figura 32. Desenho 3D dos pinos para o encaixe das partes pás eólicas.	60

Figura 33. Túnel de vento para obtenção da velocidade linear do vento	60
Figura 34. Anemômetro para velocidade linear do vento em m/s	61
Figura 35. Termômetro digital	61
Figura 36. Tacômetro digital.....	62
Figura 37. Amperímetro digital	62
Figura 38. Multímetro digital	63
Figura 39. Conjunto de <i>Coolers</i> 21W/12V	63
Figura 40. Inclinômetro digital	64
Figura 41. Diagrama elétrico e o conjunto de <i>coolers</i>	64
Figura 42. Turbina tripás com alternador Delco-Arno	65
Figura 43. Impressora 3D 400x400x500mm.	66
Figura 44. Óleo <i>Singer</i>	68
Figura 45. Óleo <i>spray</i> Karina 400 ml	68
Figura 46. Massa plástica Ultra Light 495 g.....	69
Figura 47. Cola superbonder utilizada para colagem das partes das pás eólicas.	69
Figura 48. Gráfico de documentos relacionado ao tema publicados por ano	72
Figura 49. Gráfico dos tipos de documentos encontrados na base de dados <i>Scopus</i>	72
Figura 50. Pá de formato reta em ABS	74
Figura 51. Pá de formato curvada em Tritan	74
Figura 52. Pá de formato ponta curva em ABS	74
Figura 53. Gráfico da frequência do ventilador do túnel de vento versus velocidade linear do vento incidente no centro da turbina tripás	76
Figura 54. Gráfico da relação entre as rotações por minuto e o ângulo de ataque com a velocidade linear do vento em 3,6 m/s	77
Figura 55. Gráfico das rotações por minuto e o ângulo de ataque com a velocidade linear do vento em 6,6 m/s	78
Figura 56. Gráfico das rotações por minuto e o ângulo de ataque com a velocidade linear do vento em 11,7 m/s	79
Figura 57. Gráfico das rotações por minuto e o ângulo de ataque com a velocidade linear do vento em 3,6 m/s para o material Tritan	80
Figura 58. Gráfico das rotações por minuto e o ângulo de ataque com a velocidade linear do vento em 6,6 m/s para o material Tritan	81
Figura 59. Gráfico das rotações por minuto e o ângulo de ataque com a velocidade linear do vento em 11,7 m/s para o material Tritan	82

Figura 60. Mapa das regiões do Brasil com as variações velocidades do vento83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Vantagens e desvantagens das impressões 3D com os materiais poliméricos	67
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variação percentual de monômeros do ABS.....	40
Tabela 2. Base de dados <i>Scopus</i>	71
Tabela 3. Base de dados <i>Web of Science</i>	73
Tabela 4. Base de dados Periódicos Capes.....	73
Tabela 5. Pás de melhor desempenho à vazio e com carga.....	83
Tabela 6. Custos para a fabricação das pás eólicas.....	84
Tabela 7. Preço estimado das impressões 3D.....	85
Tabela 8. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material ABS com ângulo de ataque de 5°.....	97
Tabela 9. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PETG com ângulo de ataque de 5°.....	98
Tabela 10. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PLA com ângulo de ataque de 5°.....	99
Tabela 11. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material Tritan com ângulo de ataque de 5°.....	100
Tabela 12. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material ABS com ângulo de ataque de 10°.....	101
Tabela 13. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PETG com ângulo de ataque de 10°.....	102
Tabela 14. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PLA com ângulo de ataque de 10°.....	103
Tabela 15. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material Tritan com ângulo de ataque de 10°.....	104
Tabela 16. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material ABS com ângulo de ataque de 15°.....	105
Tabela 17. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PETG com ângulo de ataque de 15°.....	106
Tabela 18. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PLA com ângulo de ataque de 15°.....	107
Tabela 19. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material Tritan com ângulo de ataque de 15°.....	108
Tabela 20. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material ABS com ângulo de	

ataque de 20°.....	109
Tabela 21. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PETG com ângulo de ataque de 20°.....	110
Tabela 22. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PLA com ângulo de ataque de 20°.....	111
Tabela 23. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material Tritan com ângulo de ataque de 20°.....	112
Tabela 24. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material ABS com ângulo de ataque de 25°.....	113
Tabela 25. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PETG com ângulo de ataque de 25°.....	114
Tabela 26. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material PLA com ângulo de ataque de 25°.....	115
Tabela 27. Valores médios das pás eólicas no formato reta no material Tritan com ângulo de ataque de 25°.....	116
Tabela 28. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato curvada e ângulo de ataque de 5°.....	117
Tabela 29. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato curvada e ângulo de ataque de 10°.....	118
Tabela 30. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato ponta curva 1 e ângulo de ataque de 10°.....	119
Tabela 31. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato ponta curva 2 e ângulo de ataque de 10°.....	120
Tabela 32. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato curvada e ângulo de ataque de 15°.....	121
Tabela 33. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato ponta curva 1 e ângulo de ataque de 15°.....	122
Tabela 34. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato ponta curva 2 e ângulo de ataque de 15°.....	123
Tabela 35. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato curvada e ângulo de ataque de 20°.....	124
Tabela 36. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato ponta curva 1 e ângulo de ataque de 20°.....	125
Tabela 37. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato ponta curva 2 e	

ângulo de ataque de 20°	126
Tabela 38. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato curvada e ângulo de ataque de 25°	127
Tabela 39. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato ponta curva 1 e ângulo de ataque de 25°	128
Tabela 40. Valores médios das pás eólicas no material Tritan com formato ponta curva 2 e ângulo de ataque de 25°	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
ANEEL	Agência nacional de energia elétrica
CAD	Computer aided design
CHDM	Ciclohexanodimetanol
DMT	Dimetiltereftalato
FDM	Fused Deposition Modeling
NACA	<i>National Advisory Committee for Aeronautics</i>
ONU	Organização das nações unidas
PETG	Polietileno Tereftalato + Glicol
PET	Polietilenotereftalato
PLA	Poli(ácido lático)
SIGA	Sistema de informações de geração da ANEEL
TMCD	Tetrametilciclobutanadiol
Tritan	Dimetiltereftalato, ciclohexanodimetanol, tetrametilciclobutanadiol
3D	Tree dimension

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	20
2.	OBJETIVOS	22
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	22
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
2.3.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1.	HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DE MATRIZES ENERGÉTICAS....	24
3.2.	ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	25
3.3.	GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA.....	26
3.4.	PANORAMA ATUAL DOS AEROGERADORES DISPONÍVEIS NO MERCADO.....	29
3.5.	AEROGERADORES.....	31
3.6.	PÁS EÓLICAS.....	34
3.7.	MATERIAIS POLIMÉRICOS.....	36
3.8.	A IMPRESSÃO 3D.....	45
3.9.	ESTUDOS CORRELATOS.....	50
4.	METODOLOGIA	52
4.1.	MATERIAIS.....	52
4.2.	MÉTODOS.....	52
4.3.	ETAPAS DO PROJETO.....	52
4.4.	OS EXPERIMENTOS.....	53
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
5.1.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	71
5.2.	RESULTADOS DOS PROJETOS DAS PÁS EÓLICAS.....	73
5.3.	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS COM TRÊS FORMATOS DAS PÁS EÓLICAS.....	75
5.4.	CUSTOS DOS MATERIAIS E IMPRESSÃO.....	84
6.	CONCLUSÕES	86
7.	TRABALHOS FUTUROS	88
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE 1	97
	TRABALHOS DESENVOLVIDOS E APRESENTADOS DURANTE O MESTRADO	

SOLICITAÇÃO DE PATENTE 131

1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento do consumo e à dependência mundial de energia gerada por meio de recursos não renováveis, o conceito de energia sustentável é evidenciado na sociedade atual e destaca-se a necessidade de sistemas alternativos de energia (ALMEIDA et al., 2021).

Um dos maiores desafios e preocupação mundial é a emissão dos gases de efeito estufa devido as mudanças climáticas, em especial ao dano causado na camada de ozônio que por consequência resulta no aumento de temperatura ambiente. Neste aspecto, o Brasil apresentou reduzidos índices de emissão em 2018 e emitiu cerca de 85% menos que a China, 76% menos que os Estados Unidos e 69% menos que a União Europeia para gerar cada MWh, segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2021 (EPE, 2021).

Diante disso, segundo a ONU (2018), no Brasil, a importância da preservação ambiental incluiu em suas metas de sustentabilidade de energia viável, sustentável, renovável e moderna para todos. Para isso, as fontes de energia implicam o uso de elementos mais limpos e renováveis (BARBOSA et al., 2022). Segundo Carr e Thomson (2022), a eficiência energética é a maneira mais efetiva de ao mesmo tempo reduzir os custos e os impactos ambientais locais e globais. O uso das fontes renováveis de energia possui grandes benefícios como a redução das emissões atmosféricas de gases do efeito estufa, oferta de meios de diversificação de suprimento energético e de combustíveis e, além de reduzir as contas mensais dos consumidores.

A energia eólica é uma energia renovável e sustentável, uma das mais avançadas em termos de tecnologia e aplicação, pois além de não emitir gases poluentes, utiliza de uma inesgotável fonte de combustível, o vento (FREIRE; FONTGALLAND, 2022). Atualmente, é uma das opções responsável por aumentar o fornecimento a novas fontes de energia e como consequência dessa produção constata-se o baixo custo em comparação com outras fontes de energia renováveis (AZEVEDO, 2022). Sendo assim, o Brasil tem apostado e investido intensamente nessa nova opção de energia, embora ainda a população brasileira tenha pouco conhecimento sobre suas características (ALMEIDA et al., 2022). Em vista disso, a utilização dos aerogeradores contribui para a redução do aumento do efeito estufa (SILVA et al., 2021).

Para a construção de um aerogerador são necessários os seguintes componentes: as pás, o rotor, a *nacelle* e a torre (SILVEIRA, 2021). Os aeromotores podem ser classificados em três grupos devido à variedade de tamanhos existentes, essa divisão é realizada a partir da potência de cada um (SANTOS, 2018):

- Pequeno porte: Potência de 0,1 kW até 100 kW;
- Médio porte: Potência de 101 kW até 300 kW;

- Grande porte: Potência acima de 300 kW.

Além disso, existem dois tipos básicos de turbinas eólicas, as de eixo vertical e eixo horizontal (BARACAT, 2021). Essa divisão dos dois grupos, é definida de acordo com a orientação do eixo de rotação do rotor.

As pás eólicas que compõem o conjunto, são compostas em sua fabricação por materiais compósitos como resina epóxi e fibra de vidro (MORAIS, 2018; FERNANDES, 2019), fibra de carbono (XU, 2021) e composições metálicas (MANHÃES et al., 2022). Com isso, a fabricação das pás acaba por gerar muitos resíduos e o processo de fabricação delas dificulta o acesso e o custo encarece, a impressão 3D pode otimizar e facilitar o processo de fabricação.

Com isso, uma das áreas que tem apresentado uma exponencial evolução, é o processo de impressão 3D e com ela surge novos processos, cada vez mais específicos (CABREIRA, 2018). A atual forma de manufatura, é composta por um conjunto de processos de fabricação aditiva que proporcionam a produção de protótipos, peças e dispositivos, por meio da extrusão e deposição de vários materiais, como, polímero na geometria desejada (GONZAGA, 2021).

Visando esses conteúdos e entendendo a importância do crescimento do setor de manufatura aditiva para as indústrias, este trabalho tem por objetivo apresentar um processo inovador de fabricação de pás eólicas para sistemas de aerogeradores de pequeno porte horizontal, utilizando materiais poliméricos e para a fabricação delas o processo de impressão 3D. A Figura 1, mostra um modelo utilizado com o formato de pá reta.

Figura 1. Aerogerador de pequeno porte utilizado no estudo



Fonte: Autor (2023).

6. CONCLUSÕES

Em relação ao processo de impressão 3D, foi possível concluir que o material que obteve melhor facilidade de impressão foi no formato de pá reta em PLA, pois, no processo, a impressão não exigiu da máquina temperaturas muito elevadas. Além disso, foi o conjunto de peças que teve o melhor acabamento com o menor tempo de impressão.

O outro material que também se destacou durante as impressões foi o Tritan, um material flexível e bastante fluído, que não apresentou muitas complicações durante as impressões. Inclusive, foi o filamento que mais teve rendimento de impressão e apresentou características mecânicas melhores em comparação ao PLA, por não ser um material em sua peça final quebradiço segundo apresentado em literatura, dando mais estabilidade e firmeza estrutural as pás.

Já o material ABS, foi a impressão que teve maior complexidade. Ele é um material que exige condições específicas de impressão como câmara fechada, controle da temperatura e umidade do ambiente. Além do material liberar toxidade durante o processo, ele também apresenta descolamento de camadas o que faz com que as impressões tenham um desafio muito maior.

E o material PETG, que em muitos momentos das impressões se apresentou na forma de um material pegajoso, entupindo tanto o bico da extrusora como a mangueira. Isso faz com que seja necessário um controle maior das condições de impressão.

Destacam-se entre os resultados da pesquisa que existe viabilidade técnica da fabricação das pás eólicas por meio da impressão 3D e dentre todos os conjuntos, os que se destacaram foram com os materiais PLA e Tritan.

Com o PLA foi possível a fabricação com o formato de pá reta. Em relação aos resultados obtidos com o PLA, pode-se concluir que para velocidades do vento abaixo de 5 m/s, a pá reta teve o melhor desempenho foi no material PLA, com velocidade de partida 3,6 m/s com ângulo de ataque 25° atingindo uma rotação de 87,8 rpm e com carga 84,9 rpm. No Brasil isso corresponderia mais de 81,8% de utilização.

Para velocidades médias do vento de 6,6 m/s, a pá reta apresentou o melhor desempenho no material PLA, com velocidade de partida 6,6 m/s com ângulo de ataque 15° atingindo uma rotação 298,7 rpm à vazio e com carga de 294,6 rpm. No Brasil isso corresponderia mais de 13,1% de utilização.

Para velocidades do vento de 11,7 m/s, a pá reta apresentou o melhor desempenho no material PLA, com velocidade de partida 11,7 m/s com ângulo de ataque 10° atingindo uma

rotação 698,8 rpm à vazio e com carga de 689,7 rpm. No Brasil isso corresponderia mais de 5,1% de utilização.

Com o material Tritan foi possível fabricar as pás em três formatos diferentes, que são o reto, curvado e de ponta curva, pois ele apresentou melhor resistência mecânica, mostrou não ser um material quebradiço na peça final e demonstrou alcançar temperaturas elevadas de impressão.

Para todas as condições de velocidade do vento, baixa, média e alta, que as pás eólicas em Tritan foram submetidas, o formato que apresentou melhor desempenho foi a curvada com variação dos ângulos.

Para a velocidade do vento abaixo de 3,6 m/s, a pá em Tritan que apresentou melhor desempenho foi a de formato curvada com rotação de 84,3 rpm à vazio e com carga de 77,6 rpm com ângulo de ataque de 20°.

Para a velocidade do vento abaixo de 6,6 m/s, a pá em Tritan apresentou melhor desempenho foi também a de formato curvada com rotação de 297,4 rpm à vazio e com carga de 290,9 rpm com ângulo de ataque de 15°.

E para a velocidade do vento abaixo de 11,7 m/s, novamente a que apresentou melhor desempenho foi a de formato curvada com rotação de 666,6 rpm à vazio e com carga de 648,1 rpm com ângulo de ataque de 15°.

Para a escolha do melhor material para a fabricação de pás eólicas em impressão 3D, o material recomendado é o Tritan, em quaisquer condições de velocidade do vento, devido ele apresentar as melhores propriedades mecânicas, maiores rotações comparadas com outros materiais e permitir imprimir diversos formatos das pás com melhor desempenho.

7. TRABALHOS FUTUROS

Finalmente sugere-se para trabalhos futuros:

- o acoplamento de um multiplicador de velocidade, para ter maior aproveitamento das rotações das pás para locais com baixa velocidade do vento;
- realizar a pintura nas pás eólicas, para melhorar o acabamento das peças; estudos sobre a rugosidade na superfície das pás e, analisar se há influência e como as peças se comportam;
- aprimorar o projeto das pás (modelagens em que as peças tenham área mais largas e com mais área de impressão), desenvolver a impressão das pás que tiveram o melhor desempenho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Associação brasileira de energia eólica**: Boletim de geração eólica 2018. Bela Vista: ABEEólica, 2018.

AGENCIA BRASIL. **Produção de energia eólica no país atinge marca de 14 gigawatts**. Brasília: EBD, 2018. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-11/pr-oducacao-de-energia-eolica-no-pais-atinge-marca-de-14-gigawatts>. Acesso em: 08 de nov. de 2018.

ALCALDE, E; WILTGEN, F. **Estudo das tecnologias em prototipagem rápida**: passado, presente e futuro. Revista Ciências Exatas, v. 24, n. 2, p 12-20, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/view/2757>. Acesso em: 01 out. 2022.

ALCALDE, E. G. **Prototipagem rápida aditiva**: aplicação em dispositivo funcional de auxílio humano para membros superiores. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

ALMEIDA, J. R. *et al.* Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente: avanços, retrocessos e novas perspectivas. In: ALMEIDA, J. R. de; BAHÉ, J. M. C. de F.; PEREIRA, R. do C. **Fontes de energia alternativas**. São Paulo, 2022. p. 276 –288. Disponível em:<http://www.editoracientifica.com.br/articles/code/211206874>. Acesso em: 15 abr. 2023.

ALMEIDA, E. de C. V. de, **Potencialidade da energia fotovoltaica no semiárido nordestino e sua relação com o desenvolvimento sustentável**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Estadual da Paraíba, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ELÉTRICA. **Energia Eólica**, Brasília: ANP. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ELÉTRICA. **ANEEL bate meta de expansão da matriz elétrica em 2021, três meses antes do previsto**. Brasília: Sala de Imprensa, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ELÉTRICA. **Brasil supera em 2022 os 8 GW de expansão na capacidade instalada**. Brasília: Sala de Imprensa, 2023.

ARANGDAD, K. *et al.* Influence of UV stabilizers on the weathering of PETG and PCTT films. **Journal of Applied Polymer Science**, Raleigh, v. 136, n. 47, p. 48198, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez87.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/app.48198>. Acesso em: 30 mar. 2022.

AIRFOIL TOOLS. **NACA 1412 (naca1412-il)**. [Estados Unidos], 2023. Disponível em: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca1412-il>. Acesso em: 1 out. 2023.

ASSIS, C. L. F. *et al.* Influência da orientação de deposição e do tipo de material polimérico na resistência mecânica de peças produzidas por impressão 3D. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência do Materiais**, Foz do Iguaçu, v. 23, p. 1–13, 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/144060349-Influencia-da-orientacao-de-deposicao-e-do-tipo-de-material-polimerico-na-resistencia-mecanica-de-pecas-produzidas-por-impressao-3d.html>. Acesso em: 1 out. 2023.

AZEVEDO, T. S. P. de. **Dimensionamento de Gerador Síncrono de Ímãs Permanentes para Energia Eólica**. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a Universidade da Coruña, 2022.

BARACAT, P. A. A. **Metodologia de baixo custo computacional para análise de turbinas eólicas de eixo vertical com pás retas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2021.

BARBOSA, M. dos S. *et al.* **Interações entre meio ambiente, desenvolvimento sustentável e economia circular: Mudanças climáticas e cidades resilientes: de desafios a soluções**. Ponta Grossa: AYA, 2022. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/wp-content/uploads/2022/01/L105.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2023.

BRISEÑO, H.; ROJAS, O. Factors associated with electricity theft in Mexico. **International Journal of Energy Economics and Policy**, México, v. 10, n. 3, p. 250–254, 2020. Disponível em: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeeep/article/view/9002>. Acesso em: 10 nov. 2023.

CABREIRA, V. **Avaliação dos parâmetros de processamento em impressão 3D nas propriedades do poliácido láctico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CALLISTER, W. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. *In*: CALLISTER, W. **Estruturas Poliméricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2018. v. 9, cap. 15, p. 309-327.

CAMARGO, G. R. R. *et al.* Impressão 3D na manutenção industrial e a redução de custos. **Revista ABCustos**, São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, v. 16, n. 1, p. 118–143, 2021. Disponível em: <https://revista.abcustos.org.br/abcustos/article/view/593> 2021. Acesso em: 10 nov. 2023.

CAMPOS, D. R. de O.; RODRIGUES, K. S. Impactos e consequências ambientais causados pela instituição de mecanismos geradores de energia. **Ânima Educação**, Minas Gerais, v. 12, p. 1-31, 2022.

CARR, D.; THOMSON, M. Non-Technical Electricity Losses. **MDPI: Energies**, Loughborough, v. 15, n. 6, p. 2218, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/6/2218>. Acesso em: 12 nov. 2023.

CARDOSO, P. H. M. **Caracterização de peças à base de nanocompósitos híbridos de poli(ácido láctico) / alumina / negro de fumo fabricadas utilizando tecnologia de impressão 3D**. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais.) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.

CASTRO, F. F. A. de. **Análise da influência da pigmentação na qualidade de peças impressas por FFF em PLA e PETG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2021.

CARVALHO, D. P. *et al.* Estudo sobre as alternativas de geração de energia e seu impacto ambiental. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, Londrina, v. 38, p. 1-14, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/Natasha/Downloads/2696-1-7512-1-10->

20221108.pdf. Acesso em: 14 abr. 2023.

CARVALHO, A. P. M. Certificação ambiental. *In*: CARVALHO, A. P. M. de **Contribuições para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: relatos e práticas**. Ponta Grossa: AYA, v. 2, p. 121–132, 2023. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/Livro/22897>. Acesso em: 14 nov. 2023.

CHAVES, G. C. B. **Estudo do sistema eólico para bombeamento de água na zona rural de limoeiro do norte**. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2017.

DAVID, T. M. *et al.* Análise abrangente de sistema hidrostático e de turbina eólica com base bibliométrica, 1983 - 2019. **Revista SODEBRAS, Web Conference**, v. 15, n. 174, p. 111–117, 2020. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N174.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2023.

DECARLI, N. O. **Síntese e caracterização de derivados acilados do polímero poli (éter imida) (Ultem 1000)**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021**. Brasília: EPE, 2021.

ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Balço energético nacional 2022**. Brasília: EPE, 2022.

FERNANDES, A. P. **Potencial de utilização de resíduos de filmes poliméricos e de fibras de vidro provenientes do processo de fabricação de pás eólicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, 2019.

FERNANDES, R. G. G. **Melhoria da gestão da informação aplicando princípios Lean Thinking no Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade de Minho, 2022.

FILAMENT2PRINT. **Que é o PETG?** Pontevedra: Filament2print, 2023. Disponível em: https://filament2print.com/pt/blog/49_petg.html. Acesso em: 1 out. 2023.

FILLAMENTUM. **Filamento | polímeros adictivos**. Hulin: Fillamentum, 2023. Disponível em: <https://fillamentum.com/>. Acesso em: 1 out. 2023.

SIMAN FILHO, A. J.; SANFELICE, R. C. Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Uberaba, v. 3, n. 2, p. 131-148, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18554/rbcti.v3i2.3347>. Acesso em: 2 out. 2023.

FRANCISZCZAK, P. *et al.* Manufacturing and properties of r-PETG/PET fibre composite – Novel approach for recycling of PETG plastic scrap into engineering compound for injection moulding. **Composites Part B: Engineering**, Latvia, v. 154, p. 430–438, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359836818312368>. Acesso em: 30 mar. 2022.

FREIRE, A. Í.; FONTGALLAND, I. L. Perspectivas e desafios econômicos da geração de energia eólica na região Nordeste do Brasil. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 1, p. e58911125429, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25429>. Acesso em: 10 ago. 2022.

FREITAS, R. C. M. de. **Sistema de gerenciamento de carga de baterias para bancada solar eólica**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) - Universidade de Brasília, 2019.

FORTES, A. G.; ELIAS, C. B. Importância das energias renováveis no cotidiano: percepções dos alunos da escola secundária de ancuabe – sede. **Revista de Extensão**, Criciúma, v. 4, n. 1, p. 1, 2021. Disponível em: <http://periodicos.unec.c.net/revistaextensao/article/view/5312>. Acesso em: 10 ago. 2022.

GONZAGA, G. L. **Comportamento da biodegradação de amostras de PLA natural e pigmentado obtidas por impressão 3D**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário FEI, 2021.

GONÇALVES, M. I. M. **Impressão 3D na Direção de Abastecimento Viabilidade da sua aplicação na produção de sobressalentes para as Unidades Navais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Militares Navais) – Escola Naval Alfeite, Alfeite, 2022.

GLOBAL WIND REPORT. **GWEC: Global wind report 2021**. Belgium: GWEC, 2021.

HATJE, A. E. **Desenvolvimento de molde para pás de turbina eólica de pequenas proporções**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Tres Passos, 2018.

HUANG, L. *et al.* Performance of waste-paper / PETG wood–plastic composites. **AIP Advances**, Melville, v. 8, n. 5, p. 055204, 2018. Disponível em: <https://aip-scitation-org.ez87.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1063/1.5026265>. Acesso em: 30 mar. 2022.

HSUEH, M. H. *et al.* Effect of Printing Parameters on the Thermal and Mechanical Properties of 3D-Printed PLA and PETG, Using Fused Deposition Modeling. **MDPI: Polymers**, Loughborough, v. 13, n. 11, p. 1758, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/11/1758/htm>. Acesso em: 31 mar. 2022.

KIM, H. S.; HUANG, S. S-N Curve Characterisation for Composite Materials and Prediction of Remaining Fatigue Life Using Damage Function. **Journal of Composites Science**, Loughborough, v. 5, n. 3, p. 76, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-477X/5/3/76/htm>. Acesso em: 31 mar. 2022.

KOSLINSKI, D. M. **Análise de um Gerador Síncrono de Ímãs Permanentes através do Método dos Elementos Finitos para Sistemas de Conversão de Energia Eólica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Tecnológica Federal Paraná e Escola de Tecnologia e Gestão de Bragança, Bragança, 2022.

LIU, A. *et al.* Impactos negativos para a saúde humana ocasionados pelo ruído dos geradores

eólicos. **JORNACITEC**, Botucatu, v. 9, p. 1-8, 2020. Disponível em: <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/IXJTC/IXJTC/paper/viewFile/2385/2836>. Acesso em: 31 mar. 2022.

LUCENA, P. F. *et al.* Desenvolvimento de materiais compósitos híbridos a partir do reaproveitamento de fibra de vidro proveniente da indústria eólica. **International Journal of Energy Economics and Policy**, CONTEXMOD, São Paulo, v. 1, n. 5, p. 162–170, 2017. Disponível em: <http://contexmod.net.br/index.php/quinto/article/view/733>. Acesso em: 30 set. 2021.

LLOYD, P. J. The role of energy in development. **Journal of Energy in Southern Africa**. Bellville, v. 28, n. 1, p. 54–62, 2017. Disponível em: https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-447X2017000100006. Acesso em: 27 set. 2021.

MACIEL, D. R. **Estudo de eficiência de estrutura móvel de rastreamento solar com variação de temperatura e pressão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021.

MANHÃES, R. R. *et al.* Uma breve revisão sobre energia eólica, sustentabilidade, reciclagem e suas relações. **CETEM**, [Rio de Janeiro], v. 6, n. 3, p. 1-5, 2022. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2614/1/Renan%20Rodrigues%20Manh%C3%A3es.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2023.

MARTINEZ, A. C. P. *et al.* Avaliação do comportamento mecânico dos polímeros ABS e PLA em impressão 3D visando simulação de desempenho estrutural. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 125–141, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/148289>. Acesso em: 30 set. 2021.

MARTINS, A. P. **Influência da modelação numérica na avaliação da fadiga em torres de geradores eólicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Porto, 2021.

MATMATCH. **PETG vs PLA**. Lechbruck: Matmatch, 2021. Disponível em: <https://matmatch.com/learn/material/petg-vs-pla>. Acesso em: 30 set. 2022.

MORAES, L. F. B. de. **Modelagem e Análise de um Aerogerador de Eixo Horizontal Sujeito à Ação de Ventos Turbulentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2019.

MORAIS, G. L. **Projeto aerodinâmico de pás de uma turbina eólica**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Caraúbas, 2018.

MORAIS, M. de O. *et al.* A Utilização das Impressoras 3D nos Principais Segmentos Setoriais. **Journal of Technology & Information 1 Journal of Technology & Information**, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 1-49, 2022. Disponível em: <https://jttni.com.br/index.php/JTnI/article/view/63>. Acesso em: 3 out. 2022.

NOBRE, S. N. da S. **O efeito de geradores de vorticidade numa asa de perfil NACA 2412**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade NOVA Lisboa, 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Nações Unidas no Brasil: Investimentos em energias renováveis supera o de combustíveis fósseis em 2018 no Mundo.** Brasília: ONU, 2018. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83454-investimento-em-energias-renovaveis-supera-o-de-combustiveis-fosseis-em-2018-no-mundo>. Acesso em: 21 ago. 2023.

OKITA, W. **Simulação Numérica do Desempenho Aerodinâmico de Aerogeradores de Eixo Horizontal.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2017.

PARISI, G. C. **Reciclagem enzimática do PET para reuso de monômeros.** Monográfica (Graduação em Engenharia Química Tecnológica) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2021.

PEIXOTO, D. L. **Tipos de materiais compósitos.** Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.

PIACINI, Í. **Estudo de alternativas de solvente para o poli (tereftalato de etileno) através do modelo termodinâmico.** Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

PIFFERO, E. de L. F. *et al.* Proposta de unidades de ensino potencialmente significativa para estudo de fontes de energia. **Research, Society and Development**, Pampa, v. 9, n. 7, p. e17973631, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/issue/archive>. Acesso em: 15 ago. 2023.

PRIMUS WIND POWER. **Owner's manual Installation.** Operation: Maintenance: Air Max Marine. Lakewood: Pimus Wind Power, 2023.

RABELLO, M. S. **Estrutura e propriedades de polímeros.** 2º ed. Campina Grande: Ed. Do Autor, 2023. 341p.

RIGID. **PETG.** Data sheet Mechanical Properties (Injection Molded), São Paulo: ATSM Method: Data sheet Petg, 2020. Catálogo de exposição.

RENEWABLES NOW. **Global Status Report. REN21, 2020.** Paris: REN21, 2021.

RIBEIRO, G. P. **Caracterização Mecânica de Estruturas Manufaturadas por Adição de Material Termoplástico com diferentes níveis e formas de preenchimento.** Monografia (Graduação em Engenharia Aeroespacial) – Universidade de Brasília, 2019.

ROMÃO, W. *et al.* Poli (tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, Vila Clementino, v. 19, n. 2, p. 121–132, 2022. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/po/a/M977rShFktsw4DpHbqk6KYN/?lang=pt>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SANCHEZ JUNIOR, M. **Construção de equipamento para obtenção de filamentos para impressão 3d: um estudo com copolímero ABS e microcompósitos com fibras de**

celulose. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulos, 2021. Disponível em: <https://adelpha-api.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/8029cc77-6a30-4c1d-a724-3fcc3ff273e4/content>. Acesso em: 21 set. 2023.

SANTANA, L. *et al.* A comparative study between PETG and PLA for 3D printing through thermal, chemical and mechanical characterization. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/dpWDvBJzSXYtzbKnJdDqHVg/?lang=pt>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SANTOS, A. U. **Análise de aerogeradores de sistemas de energia eólica.** Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) – Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2018. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/1896/1/ANÁLISE%20DE%20AEROGERADORES%20DE%20SISTEMAS%20DE%20ENERGIA%20EÓLICA.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.

SANTOS, F. A. *et al.* Low velocity impact response of 3D printed structures formed by cellular metamaterials and stiffening plates: PLA vs. PETg. **Composite Structures**, Italia, v. 256, p. 113128, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263822320330543>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SAMPAIO, T. B. **Metodologia da pesquisa.** Universidade Federal de Santa Maria, 1 ed., Santa Maria, RS: UFSM, CTE, UAB, 2022.

SIMPLIFY3D. **Guia definitivo de materiais:** dicas para impressão 3D com PLA. [Estados Unidos]: Simplify3D, 2023. Disponível em: <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/pla/>. Acesso em: 1 out. 2023.

SIQUEIRA, R. da S. **Sistema híbrido de fontes de energia renovável em barragem de abastecimento de água.** Dissertação (Mestrado em Energia e Sustentabilidade) – Universidade Federal de Santa Catarina Campus Araranguá, 2021.

SILVA, B. M. M. *et al.* Protótipo de sistema direcionador de vento automatizado para aerogeradores de eixo horizontal. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, Mossoró, v. 2, n. 1, p. 13–21, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/r4em>. Acesso em: 1 out. 2023.

SILVA, P. A. P. *et al.* Self-healing polymer blend based on PETG and EMAA. **Journal of Applied Polymer Science**, Pampulha, v. 138, n. 14, p. 50148, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez87.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/app.50148>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SILVEIRA, A. D. S. **Análise técnica e econômica para a implantação de gerador eólico residencial.** Monografia (Graduação em Tecnólogo em Sistemas de Energia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2021.

SKELTON, J.; RAJAGOPALAN, K. Improving Manufacturability Through Part and Mold Design for Eastman Tritan™ Copolyester Jeffrey Skelton and Krish Rajagopalan Eastman Specialty Plastics. *In: International Conference & Exhibits, 27, 2017, Web Conference.* Disponível em: <https://slideplayer.com /slide/16493923/>. Acesso em: 2 fev. 2023.

SOUZA, G. B. de et al. Energias renováveis e as alternativas das matrizes energéticas sustentáveis. In: JESUS, E. S.; PEREIRA JÚNIOR, A.; RIBEIRO, J. M. F. (Org.). *As múltiplas visões do meio ambiente e os impactos ambientais*. Paragominas: Editora Uniedusul, 2020. v. 3, p. 7–23. Disponível em: <https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2020/11/AS-MULTIPLAS-VISOES-DO-MEIO-AMBIENTE-E-OS-IMPACTOS.pdf>.

SOUZA, N. S. de *et al.* Resíduos sólidos industriais: compósito com resíduos de plástico reforçado com fibra de vidro. **Research, Society and Development**. Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 9, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7136>. Acesso em: 3 out. 2021.

SOUZA, T. A. de; NOGUEIRA, F. J. Fontes Alternativas de energia no Brasil: Biomassa, Eólica e Solar. **Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica**, [Juiz de Fora], v. 4, n. 1, 2022. Disponível em: <http://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/view/3252>. Acesso em: 14 mar. 2023.

TORQUATO, F. C. R. **Sustentabilidade no reaproveitamento de rejeitos de mineração: uma revisão sistemática sobre as diferentes técnicas**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/16714>. Acesso em: 23 ago. 2023.

VALVEZ, S. *et al.* Compressive Behaviour of 3D-Printed PETG Composites. **Aerospace**. Coimbra, v. 9, n. 3, p. 124, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2226-4310/9/3/124/htm>. Acesso em: 31 mar. 2022.

VIEIRA, A. C. F. Energias renováveis e sua eficiência na nova economia energética no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. Mamanguapé, v. 8, n. 18, p. 211–223, 2021. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v8n18/v08n18a13a.html>. Acesso em: 2 fev. 2023.

VITAL, R. M. *et al.* Análise do uso e potencial da produção de energia solar, eólica e de biomassa no estado do maranhão. **Revista SODEBRAS**, [São Paulo], v. 15, n. 171, p. 6–11, 2020. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N146.pdf>. Acesso em: 30 set. 2021.

VOLPATO, N. *et al.* An optimal algorithm for 3D triangle mesh slicing. **Computer-Aided Design**, [Nova York], v. 92, p. 1–10, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010448517301215>. Acesso em: 7 maio. 2023.

XU, J. **Estudo de compósitos estruturais no processo de produção de pás eólicas**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra., 2021.

WANG, K. *et al.* Preparation and Properties of Poly (ethylene glycol-co-cyclohexane-1,4-dimethanol terephthalate) / Polyglycolic Acid (PETG/PGA) Blends. **MDPI: Polymers**, Loughborough, 2021, v. 13, n. 3, p. 452, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/3/452/htm>. Acesso em: 30 mar. 2022.