

PROPOSTA PARA DISPOSIÇÃO ADEQUADA DOS RESÍDUOS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV) DAS PÁS DE TURBINA ÉOLICA NO RIO GRANDE DO NORTE

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.II-015>

Mário Joel Ramos Júnior (*), Diego Lima Medeiros, Joyce Batista Azevedo, Edna dos Santos Almeida

* Centro Universitário SENAI CIMATEC / ramosjuniorramosjoel@gmail.com

RESUMO

O Estado do Rio Grande do Norte (RN) ocupa a primeira posição em capacidade eólica instalada no Brasil. A qualidade do vento tem atraído investimentos para o crescimento de empreendimentos eólicos no Estado, bem como desafios relacionados à destinação de componentes, como as pás de turbina eólica, após o final da vida útil. A disposição em aterro industrial tem sido a principal rota para a destinação das pás de turbina eólica descomissionadas. Este estudo tem como objetivo avaliar o balanço de massa de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) dos parques eólicos em operação no RN para um cenário de disposição em aterro industrial. Os resultados indicam que a quantidade acumulada de PRFV das pás de turbina eólica a ser disposta em aterro industrial licenciado para resíduo classe II, desde a manufatura ao pós uso, é de 89 602 t e que o Estado do RN apresenta atualmente a maior concentração PRFV em operação da indústria eólica brasileira: 1,48 t PRFV / km². O RN conta com aterro industrial licenciado para disposição de resíduos classe II, entretanto políticas públicas podem ser desenvolvidas para incentivar outras formas de destinação ambientalmente adequada dos resíduos de PRFV das pás dos parques eólicos potiguares.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de resíduos sólidos, Pá de turbina eólica, Aterro industrial, Análise de fluxo de material, Disposição de resíduos.

INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Norte (RN), segundo dados de primeiro de agosto de 2023, possui um total de 255 parques eólicos em operação com capacidade de gerar até 8,2 GW de eletricidade, 50 empreendimentos em construção e 83 já contratados (ANEEL, 2023). Esses números colocam o Estado em posição de destaque nacional: 1º em potência outorgada e 2º em número de parques em operação (MAIS RN, 2022). Atualmente o RN representa 31% da potência eólica gerada nacional e detém 27% de parques eólicos instalados no Brasil (ANEEL, 2023). Ademais, a geração de energia eólica vem impactando positivamente os dados econômicos de municípios potiguares com parques eólicos em operação (MAIS RN, 2022).

O primeiro Parque Eólico a entrar em operação no RN está localizado no município de Macau, foi implantado pela Petrobras, inaugurado em 2004 e possui capacidade instalada de 1,8 MW a partir de três turbinas eólicas com capacidade de 600 kW cada uma (ANEEL, 2023). A partir de 2014, a expansão de parques eólicos se intensificou com o início da operação de 47 empreendimentos e o acumulado de 62 (ANEEL, 2023). Considerando que a vida útil de projeto de turbinas eólicas é de 20 anos (COOPERMAN; EBERLE; LANTZ, 2021), as primeiras turbinas eólicas instaladas no RN alcançarão o fim de vida projetado em 2024.

Os resíduos de Polímero Termofixo Reforçado Com Fibra de Vidro (PRFV) das pás de turbina eólica após o descomissionamento representam a maior fração de resíduos de materiais compósitos dos parques eólicos (JENSEN; SKELTON, 2018). No entanto, os resíduos de PRFV também surgem no processo de manufatura (cortes de fibras, cortes de materiais de PRFV curados, esmerilhamento durante o processo de acabamento, pás eólicas com defeito de fabricação ou utilizadas para teste), operação (serviço de rotina ou dano acidental) e transporte (tombamento) são outras fontes de desperdício (JENSEN; SKELTON, 2018).

Os materiais compósitos dos quais são feitas as pás eólicas são classificados pela Norma ABNT NBR 10004 como resíduos classe II A: resíduos não perigosos, porém não-inertes (possuem propriedade de combustibilidade) (GERMANO, 2022). Em todo mundo, a rota mais comum para dispor resíduos de polímeros termofixos e seus materiais derivados é o envio a aterro industrial licenciado para resíduo classe II. Aproximadamente 90% do material compósito de PRFV é aterrado (MARTINEZ-MARQUEZ et al., 2022).

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o balanço de massa de PRFV dos parques eólicos em operação no RN para disposição deste resíduo em aterro industrial licenciado para resíduo classe II, bem como analisar os desafios associados à disposição ambientalmente adequada dos mesmos.

METODOLOGIA

Este estudo considerou que o material compósito utilizado nas pás de turbina eólica é o PRFV e que, na perspectiva do ciclo de vida, 10% da massa total de PRFV é descartada na manufatura, 3% durante operação, e 5% ao longo do descomissionamento na forma de resíduo (JENSEN; SKELTON, 2018). Ademais, foi considerado que os resíduos de PRFV serão dispostos em aterro industrial licenciado para resíduo classe II.

A estimativa da massa das pás de turbina eólica considerou a capacidade eólica instalada (ANEEL, 2023) e que cada megawatt utiliza 9,57 toneladas de PRFV (ARIAS; BANK, 2016). A plataforma Google Maps foi utilizada para identificar a localização dos parques eólicos e aterro industrial licenciados para resíduo classe II em operação no RN. O método de Análise de Fluxo de Material (AFM) (BRUNNER; RECHBERGER, 2003) e o software STAN versão 2.7.101 foram utilizados neste estudo para avaliar o balanço de massa de PRFV dos parques eólicos em operação no RN. A identificação dos parques eólicos em operação foi na consulta ao Sistema de Informações de Geração (SIGA) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023).

Foi identificado que no RN a gerenciadora de resíduos Brasóleo Transporte e Tratamento de Resíduos Ltda conta com uma central de tratamento de resíduos (CTRC/RN) localizada no município de Carnaubais/RN com uma área de 21,5 hectares que disponibiliza, entre outros serviços, a coleta, transporte e disposição de resíduos classe II em aterro industrial.

RESULTADOS

A Figura 1 mostra a localização dos 255 parques eólicos e do aterro industrial licenciado para resíduo classe II no RN. O empreendimento Ventos de Vila Mato Grosso I está localizado a uma distância de 34 km do Aterro Industrial (mais próximo), enquanto Ventos do Brejo A-6 se encontra a uma distância de 270 km do Aterro Industrial (mais distante).

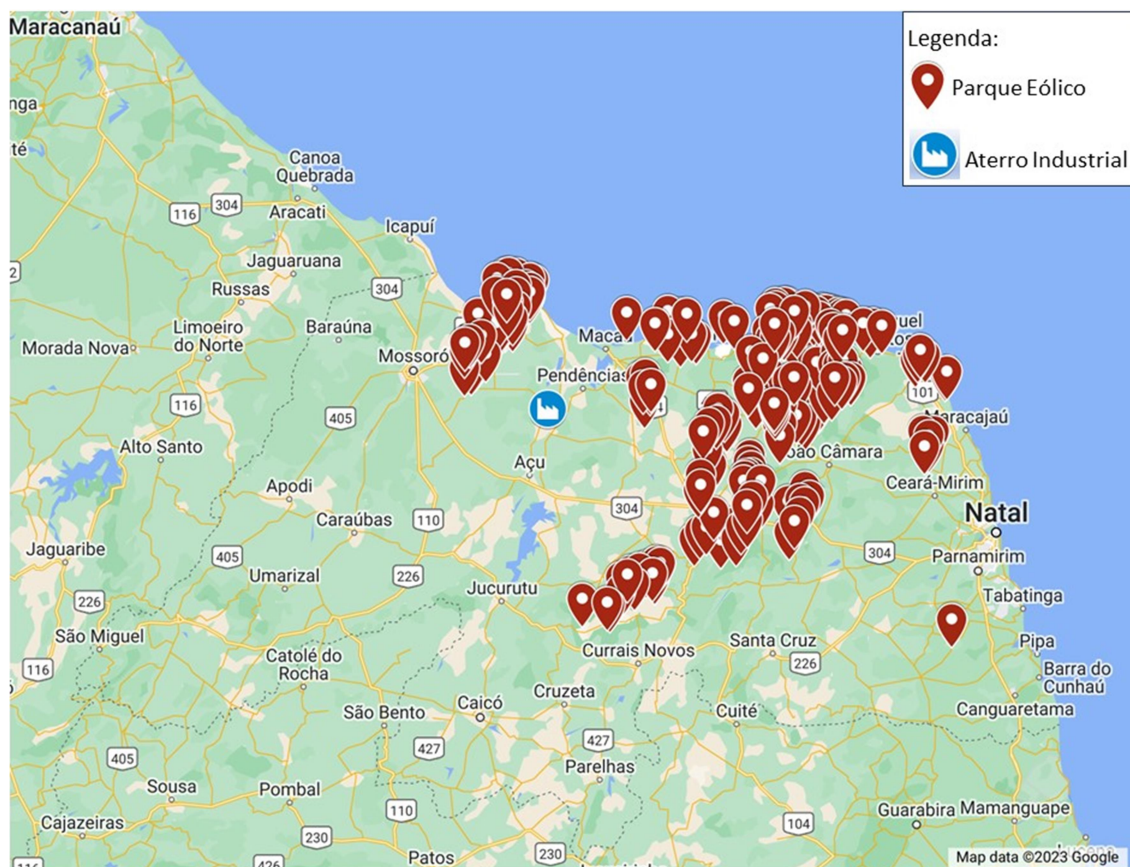


Figura 1: Localização dos Parques Eólicos no RN.

A Figura 2 mostra o fluxo de PRFV estimado das pás de turbina eólica do RN. No Estado não existe fábrica de pás, portanto os resíduos de manufatura foram destinados em outros estados ou país, a depender do local onde o componente foi fabricado. Em relação ao resíduo de PRFV – referentes à operação, descomissionamento e disposição final – esses se encontram em território potiguar e a gestão da disposição ambientalmente adequada é de responsabilidade local.

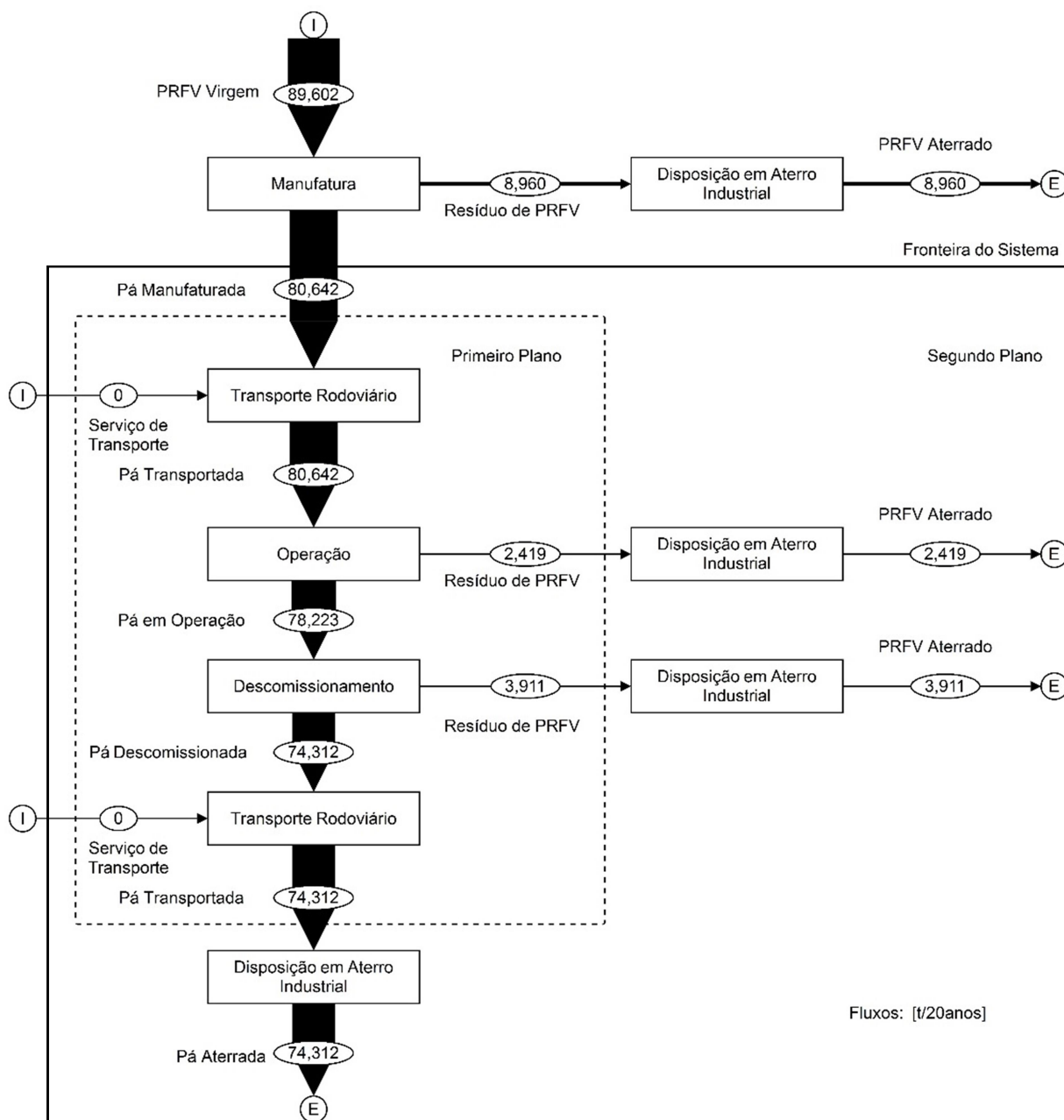


Figura 2: Análise de fluxo de material de Polímero Reforçado Com Fibras de Vidro (PRFV) das pás de turbina eólica do Rio Grande do Norte (RN) de 2023 até 2042. Os fluxos são classificados em importação (I) ou exportação (E).

Os dados da Figura 2 indicam que, considerando a vida útil de 20 anos das turbinas eólicas, a quantidade acumulada de PRFV das pás de turbina eólica a ser disposta em aterro industrial licenciado para resíduo classe II, desde a manufatura ao pós uso, é de 89 602 t. Considerando a quantidade de PRFV em operação equivalente a 78 223 t e a área territorial (52 810 km²), o Estado do RN apresenta atualmente a maior concentração PRFV em operação da indústria eólica brasileira: 1,48 t PRFV / km². A Bahia, que ocupa o segundo lugar em capacidade eólica instalada no Brasil, apresenta um índice de 0,13 t PRFV / km². Para os próximos 10 anos a contribuição de resíduos de PRFV, considerando os parques eólicos em operação, é de 4 050 t o que representa 5% do total acumulado previsto de PRFV

para o RN. A partir de 2034 o fluxo de resíduos de PRFV da indústria eólica potiguar se intensificará com uma geração acumulada prevista de 16 537 t.

Dados da Secretaria do Meio Ambiente e dos Resíduos Hídricos do Estado do RN indicam que os resíduos sólidos urbanos produzidos nas cidades do Rio Grande do Norte foram dispostos adequadamente por apenas 12 cidades, enquanto as outras 155 cidades (93% do território potiguar) dispuseram os resíduos sólidos urbanos de forma inadequada em 2021, levando o Estado a ocupar o último lugar da região Nordeste em termos de destinação correta de resíduos sólidos urbanos (SEMARH, 2021).

Apesar da disposição em aterro industrial licenciado para resíduo classe II ser a principal rota tecnológica para a disposição dos resíduos de PRFV no mundo (MARTINEZ-MARQUEZ et al., 2022), alguns países estão desenvolvendo outras alternativas que apresentam nível de maturidade tecnológica TRL-9, indicando soluções testadas e aprovadas (ETIPWIND, 2019): o coprocessamento de materiais residuais em fornos de cimento em substituição ao uso de combustíveis fósseis está disponível em forma comercial e em escala industrial, permite o aproveitamento de materiais para a recuperação energética, possível redução da pegada de carbono e viabilidade econômica (WEGMAN, 2019); a reciclagem mecânica está disponível em escala industrial, apresenta baixo custo operacional, baixo custo de energia e não utiliza insumos perigosos e pode ser utilizada como insumo na fabricação de painéis de isolamento acústico e a reciclagem química (pirólise) do polímero e reutilização da fibra de vidro está disponível em escala industrial, apresenta custo operacional médio e alta tolerância para material contaminado (KRAUKLIS et al., 2021). Para tal, as pás de turbinas eólicas precisam ser reduzidas em tamanho para facilitar o transporte e processadas antes de serem recuperadas ou recicladas. Essas alternativas são consideradas como melhor solução quando se refere à ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Outras iniciativas estão sendo desenvolvidas: leito fluidizado (TRL 5/6), Pirólise assistida por micro-ondas (TRL 4/5), solvólise (TRL 5/6) e fragmentação em alta voltagem (TRL 6), mas ainda estão em processo de validação e modelagem em laboratório ou demonstração de protótipo (ETPIWIND, 2019; MARTINEZ MARQUEZ ET AL., 2022; SELFRAG, 2023; ROUHOLAMIN et al., 2014).

Por ser o Estado com o maior fluxo de resíduos de PRFV provenientes de turbinas eólicas, o RN poderá se tornar referência nacional para o descarte ambientalmente correto desse tipo de resíduo, podendo inclusive receber resíduos de PRFV de empreendimentos eólicos de outros Estados, desde que sejam feitos investimentos em pesquisa tecnológica para viabilizar esta solução.

CONCLUSÕES

Apesar de que o crescimento da geração de energia eólica em território potiguar tem demonstrado benefícios econômicos para municípios onde estão instalados os parques eólicos, os PRFVs que acumulam 78 223 t em operação podem trazer impactos sociais negativos aos residentes. O envio de resíduos de PRFVs para disposição em aterro industrial licenciado para resíduo classe II é uma opção vigente no Estado do RN. Entretanto, é necessária uma avaliação frente às empresas prestadoras do serviço quanto a viabilidade de atendimento à demanda no decorrer dos próximos anos, bem como a necessidade de expansão da capacidade produtiva atual ou criação de outros aterros industriais descentralizados para atender à demanda dos parques eólicos visto que o custo de transporte, pode impactar na viabilidade desta solução.

Desta forma, se destaca a importância do diálogo entre diversos setores da sociedade com *stakeholders* do setor eólico para discutir a destinação do PRFV oriundo dos parques, bem como políticas públicas estaduais devem ser criadas para apoiar aos gestores municipais. Uma vez que os incentivos fiscais ofertados aos empreendedores para a implantação de parques eólicos não evidenciaram as responsabilidades para a destinação ambientalmente adequada dos resíduos de PRFV durante a operação, descomissionamento e final da vida útil e devido ao fato de que alguns parques chegarão ao final da vida útil em 2024, este assunto se torna tema prioritário. Da mesma forma que o governo do Rio Grande do Norte criou leis para incentivar a implantação parques eólicos e o crescimento da geração através desta fonte no Estado, este pode incentivar outras empresas que utilizem os resíduos das pás eólicas como matéria-prima dos seus processos, como a indústria de cimento, bem como viabilizar outras formas de destinação do PRFV: reciclagem mecânica, recuperação energética, pirólise, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANEEL. SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL – siga-empreendimentos-geracao.csv – Dados Abertos – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel/resource/11ec447d-698d-4ab8-977f-b424d5deec6a>. Acesso em: 12 ago. 2023

2. ARIAS, F.; BANK, L. **Assessment of Present/Future Decommissioned Wind Blade Fiber-Reinforced Composite Material in the United States**. City College of New York, p. 69, 2016.
3. BRASIL. Presidência da República. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 2 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 23 ago. 2023.
4. BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. **Practical Handbook of Material Flow Analysis**. 0 ed. [S. l.]: CRC Press, 2003. DOI 10.1201/9780203507209. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9780203507209>. Acesso em: 23 ago. 2022
5. COOPERMAN, A.; EBERLE, A.; LANTZ, E. **Wind turbine blade material in the United States: Quantities, costs, and end-of-life options**. Resources, Conservation and Recycling, v. 168, p. 105439, maio 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105439>
6. ETIPWIND. **How wind is going circular – Blade recycling**. [S. l.]: European Technology & Innovation Platform on Wind Energy, 2019. Disponível em: <https://etipwind.eu/publications/>. Acesso em: 13 fev. 2023.
7. GERMANO, B. de P. **Uso de resíduos de fibra de vidro da indústria eólica na produção de compósitos matriz poliéster**. 2022. Bachelor Thesis – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/48307>. Acesso em: 16 ago. 2023
8. JENSEN, J. P.; SKELTON, K. **Wind turbine blade recycling: Experiences, challenges and possibilities in a circular economy**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 97, p. 165–176, dez. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.041>
9. KRAUKLIS, A. E.; KARL, C. W.; GAGANI, A. I.; JØRGENSEN, J. K. **Composite Material Recycling Technology — State-of-the-Art and Sustainable Development for the 2020s**. Journal of Composites Science, v. 5, n. 1, p. 28, 15 jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/jcs5010028>.
10. MAIS RN. **Impactos Socioeconômicos da produção de energia eólica nos municípios do Rio Grande do Norte**. Natal: Núcleo de Gestão Estratégica da FIERN, maio 2022. Disponível em: https://www.fiern.org.br/wp-content/uploads/2022/11/Estudo_Eolicas.pdf. Acesso em: 12 ago. 2023.
11. MARTINEZ-MARQUEZ, D.; FLORIN, N.; HALL, W.; MAJEWSKI, P.; WANG, H.; STEWART, R. A. **State-of-the-art review of product stewardship strategies for large composite wind turbine blades**. Resources, Conservation & Recycling Advances, v. 15, p. 200109, nov. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200109>.
12. ROUHOLAMIN, D.; SHYNG, Y. T.; SAVAGE, L.; GHITA, O. **A COMPARATIVE STUDY INTO MECHANICAL PERFORMANCE OF GLASS FIBRES RECOVERED THROUGH MECHANICAL GRINDING AND HIGH VOLTAGE PULSE POWER FRAGMENTATION**. 2014.
13. SELFRAG. Machines | SELFRAG. 2023. Disponível em: <https://www.selfrag.com/machines>. Acesso em: 13 fev. 2023.
14. SEMARH. **Rio Grande do Norte está apto a aumentar para 75% a destinação correta do lixo. 2021**. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.semarh.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=269745&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=Materia>. Acesso em: 14 ago. 2023.
15. WEGMAN, T. **Recycling Composites: Integral Part of Wind Turbine Blade Life Cycle**. Bilbao: [s. n.], 2019. Disponível em: <https://static.aocresins.com/pictures-news/windeurope-2019/composites-recycling-april-3-2019-1562826156.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2023. O espaçamento entre parágrafos é de uma linha em branco, fonte Times New Roman, tamanho 10. O espaçamento entre o último parágrafo e um Título ou Subtítulo é de duas linhas em branco, fonte Times New Roman, tamanho 10. O espaçamento entre um Título ou Subtítulo e o parágrafo subsequente é de uma linha em branco.