



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

HANNAH BRAGA CAMURÇA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO SOLAR DA
SUPERFÍCIE NÃO PROTEGIDA NA ADESÃO DE TINTA PROTETORA EM
PÁS EÓLICAS**

FORTALEZA

2023

HANNAH BRAGA CAMURÇA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO SOLAR DA
SUPERFÍCIE NÃO PROTEGIDA NA ADESÃO DE TINTA PROTETORA EM
SUPERFÍCIE EXTERNA DE PÁS EÓLICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química. Orientador: Sebastião Mardônio Pereira de Lucena.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C17a Camurça, Hannah Braga.

Análise da influência do tempo de exposição solar da superfície não protegida na adesão de tinta protetora em pás eólicas / Hannah Braga Camurça. – 2023.

46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Química, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Sebastião Mardônio Pereira de Lucena.

1. Pás eólicas. 2. Pintura. 3. Adesão. 4. Exposição solar. 5. Pull off. I. Título.

CDD 660

HANNAH BRAGA CAMURÇA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO SOLAR DA
SUPERFÍCIE NÃO PROTEGIDA NA ADESÃO DE TINTA PROTETORA EM
SUPERFÍCIE EXTERNA DE PÁS EÓLICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química. Orientador: Sebastião Mardônio Pereira de Lucena.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Sebastião Mardônio Pereira de Lucena (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Daniel Vasconcelos Gonçalves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

André Casimiro de Macedo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

E nas inúmeras viagens de carro, eu perguntava amiúde: “estamos perto?”, e meu pai respondia: “já estivemos mais longe!”.

Ao meu pai †.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Iranice, que sempre se dedicou de todas as formas possíveis para que eu me formasse engenheira. Que foi muito guerreira perante as adversidades da vida e esteve presente nos momentos mais difíceis da minha trajetória, ensinando-me todo dia sobre amor próprio, coragem, empatia e perseverança.

Às minhas irmãs, Raïssa e Tainah, que comemoram cada vitória minha e têm um legado fundamental em quem eu sou. Eu sou “nós”. Agradeço pelo apoio, pelo amor e por serem mulheres e mães tão inspiradoras.

Ao meu namorado, Samir, que me apoiou e consolou em vários momentos durante a graduação, agradeço todo o cuidado e carinho.

Ao meu cunhado, Renan, que é para mim um exemplo de profissional que trabalha com ética e inteligência. A quem eu tenho um grande carinho e faz parte dessa conquista por ter estado presente e me aconselhado em vários momentos.

À minha psicóloga, Ludmila, que abraçou meus processos de dor e de autoconhecimento e me ajudou a ter confiança no que aprendi e em tudo que posso alcançar.

Agradeço às amigas mais que especiais do trabalho, que fazem eu me sentir querida e indispensável, da mesma forma que elas são para mim. Elas são exemplos de profissionais e me inspiram a fazer o melhor no dia a dia, seja dividindo as angústias ou celebrando as vitórias.

Aos meus colegas da Aeris Energy, que foram fundamentais na produção deste trabalho, compartilhando conhecimentos e me ajudando a realizar os testes.

RESUMO

O Brasil é uma potência em energias limpas, sendo a energia eólica a segunda fonte renovável no País que mais fornece energia elétrica. A eficiência e durabilidade das pás em campo está relacionada, além do projeto da pá, aos processos de acabamento durante a fabricação dela. A ocorrência de falhas e erosão na superfície reduzem o período de atividade da pá e geram um custo maior para reparar. Dentre os critérios de qualidade que conduzem a pá a atuar em condição segura e legal, está o tempo de exposição à radiação solar antes da aplicação de revestimento de proteção. Este trabalho estudou a influência do tempo de exposição à radiação UV na aderência da tinta à superfície externa da pá. Dessa forma, foram desenvolvidas amostras que simulassem a superfície da pá eólica, que foram submetidas a diferentes períodos de exposição. Após a preparação e pintura das amostras, foi utilizado o método de pull off para medir a aderência da tinta na superfície. Tal técnica consiste em colar um disco metálico na superfície, aplicar uma tensão perpendicular à face e medir a tensão necessária para causar ruptura da tinta com o laminado. Os resultados do teste foram satisfatórios e indicaram uma melhor aderência nas amostras que tiveram menos exposição direta à radiação UV. Entretanto, é válido ressaltar, que, para definir um critério de qualidade do tempo mínimo que a pá pode permanecer na condição a qual foi submetida, é importante reproduzir os testes, considerando períodos mais longos de exposição e outras variáveis de processo.

Palavras-chave: Pás eólicas, pintura, adesão, exposição solar e pull off.

ABSTRACT

Brazil stands as a prominent figure in clean energy, with wind energy emerging as the second most significant renewable source for generating electrical power within the country. The efficacy and resilience of wind turbine blades in practical applications are not solely reliant on blade design but also on the intricacies of finishing processes during their fabrication. The occurrence of defects and erosion significantly diminishes the operational longevity of these blades, consequently escalating the expenses associated with repairs. One of the pivotal quality parameters ensuring the safe and compliant operation of turbine blades is the duration of exposure to solar radiation preceding the application of a protective coating. This study delved into exploring the impact of UV radiation exposure duration on the adherence of paint to the external surface of the blade. To achieve this objective, samples mimicking the surface characteristics of wind turbine blades were formulated and subjected to varied exposure periods. Subsequent to the preparation and painting of these samples, the pull-off method was utilized to gauge paint adherence on the surface. This method entails securing a metal disk onto the surface, applying perpendicular tension, and measuring the force required to induce paint detachment from the laminate. The findings from the conducted tests revealed satisfactory results, indicating enhanced paint adherence in samples exposed to lesser direct UV radiation. Nevertheless, it is imperative to underscore that establishing a quality criterion regarding the minimum duration the blade can endure under the specified conditions necessitates test replication, encompassing extended exposure periods and accounting for additional process variables.

Keywords: Wind blades, coating, adhesion, sun exposure, pull off.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação de renováveis na matriz energética	15
Figura 2 - Oferta de energia 2013 – 2022	15
Figura 3 - Composição da Matriz Elétrica Brasileira em GWh	16
Figura 4 - Componente dos aerogeradores	19
Figura 5 - Esquema geral de funcionamento de um aerogerador	20
Figura 6 - Perfil da pá eólica	20
Figura 7 - Formação da resina epoxídica	23
Figura 8 - Grupo funcional presente nas resinas epóxi	24
Figura 9 - Anomalias no processo de pintura	26
Figura 10 - Forças de adesão e coesão	28
Figura 11 - Tipos de ruptura	28
Figura 12 - Infusão da placa laminada	31
Figura 13 - Placa laminada após desmoldagem e em preparação para corte	31
Figura 14 - Amostras cortadas e identificadas	31
Figura 15 - Amostras cortadas sem revestimento expostas ao sol	32
Figura 16 - Placas após exposição ao sol, 1 a 5 da esquerda para a direita ..	33
Figura 17 - Lixa P120 utilizada	34
Figura 18 - Lixamento da superfície	34
Figura 19 - Limpeza da face das amostras com álcool isopropílico	35
Figura 20 - Equipamento rugosímetro	35
Figura 21 - Equipamento termo-higrômetro	36
Figura 22 - Aplicação da tinta - 1ª e 2ª demãos	37
Figura 23 - Equipamento de pull off	38

Figura 24 - Discos metálicos colados no corpo de prova 1	39
Figura 25 - Serra copo	39
Figura 26 - Corpo de prova 5 após uso da serra copo	40
Figura 27 - Ensaio de pull off e disco metálico após ruptura	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificações quanto ao tipo de ruptura	28
Tabela 2 - Período de exposição solar por amostra	31
Tabela 3 - Materiais Utilizados para Preparação das Amostras	32
Tabela 4 - Condições ambientes pré-pintura	36
Tabela 5 - Especificações de cura da tinta	36
Tabela 6 - Rugosidade da face das amostras	35
Tabela 7 - Resultados dos ensaios de pull off	41
Tabela 8 - Parâmetros considerados para análise	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFC	Clorofluorcarbonetos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
MME	Ministério de Minas e Energia
UNCTAD	Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento
BEM	Balço Energético Nacional
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
UV	Radiação Ultravioleta
BA	Bordo de Ataque
BF	Bordo de Fuga
LE	<i>Leading Edge</i>
TE	<i>Trailing Edge</i>
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
NORSOK	<i>Standards Norway</i>
NBR	Norma Técnica Brasileira
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
BIAX	Tecido Biaxial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. JUSTIFICATIVA	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo Geral	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
4.1 Turbina eólica e seus componentes	19
4.2 Revestimento externo	21
4.3 Tinta de proteção	22
4.3.1 Resinas	22
4.3.2 Pigmentos	23
4.3.3 Solventes	23
4.3.4 Aditivos	23
4.3.5 Tinta epóxi	24
4.4 Pintura das pás eólicas	25
4.5 Não conformidade da pintura e seus efeitos	25
4.7 Ensaio de Aderência – Pull Off	27
5. METODOLOGIA	30
5.1 Obtenção das Amostras	30
5.1.1 Fabricação da placa laminada	30
5.1.2 Preparação dos Corpos de Prova	31
5.2 Exposição Solar Sem Proteção	32
5.3 Preparação dos Corpos de Prova Pré-Pintura	33
5.3.1 Materiais Utilizados	33
5.3.2 Lixamento e Ativação da Superfície	33
5.3.3 Limpeza da Superfície	35
5.4 Testes	35
5.4.1 Rugosidade	35
5.4.2 Condições Ambientais	36
5.5 Aplicação da Tinta	37
5.5.1 Pintura	37
5.5.2 Cura da Tinta – Tempo de Secagem	38
5.6 Ensaio de Adesão – Pull Off	38

5.6.1	Calibração do Equipamento.....	38
5.6.2	Colagem do Disco Metálico (Dolly).....	39
5.6.3	Corte com Serra Copo.....	39
5.6.4	Extração dos Discos Metálicos e Medição de Adesão.....	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
7	CONCLUSÃO	44
8	REFERÊNCIAS	46

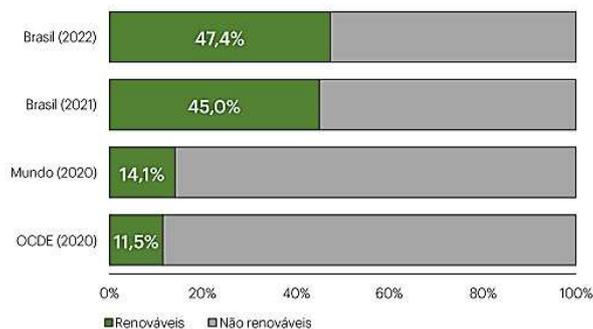
1. INTRODUÇÃO

A matriz energética representa todos as fontes empregadas na geração de energia, atendendo a demandas de combustível, eletricidade, aquecimento, entre outras. Já a matriz elétrica se refere aos recursos energéticos utilizados apenas para geração de energia elétrica. Isto é, a matriz elétrica faz parte da matriz energética. O gás natural, por exemplo, é utilizado tanto como matéria-prima para geração de energia elétrica em usinas termelétricas, quanto como combustível de fogões, ou seja, está representado na matriz energética sendo parte na matriz elétrica e parte atuando como combustível.

A partir da década de 80, com a assinatura do Protocolo de Montreal, que tinha como objetivo eliminar uso de substâncias que reduzem a camada de ozônio, o diálogo entre as nações sobre reduzir a emissão de gases CFC que intensificam as mudanças climáticas em curso ficou em evidência. Isso desencadeou a promoção de energias limpas e, conseqüentemente, o aperfeiçoamento das tecnologias relacionadas, incentivando investimentos em pesquisas no ramo. Desse modo, obter uma matriz energética composta somente por fontes renováveis é um grande desafio e um dos principais objetivos dos países no combate às mudanças climáticas (PORTAL SOLAR, 2022).

De acordo com os dados do relatório do Balanço Energético Nacional de 2023, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que presta serviço ao Ministério de Minas e Energia (MME), a matriz energética brasileira é composta por 47,4% de representação de energias renováveis, o que classifica o Brasil como uma potência em energias limpas. Diante disso, entre 2015 e 2022, segundo a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), o Brasil tornou-se líder em investimentos no ramo, superando outras economias em desenvolvimento.

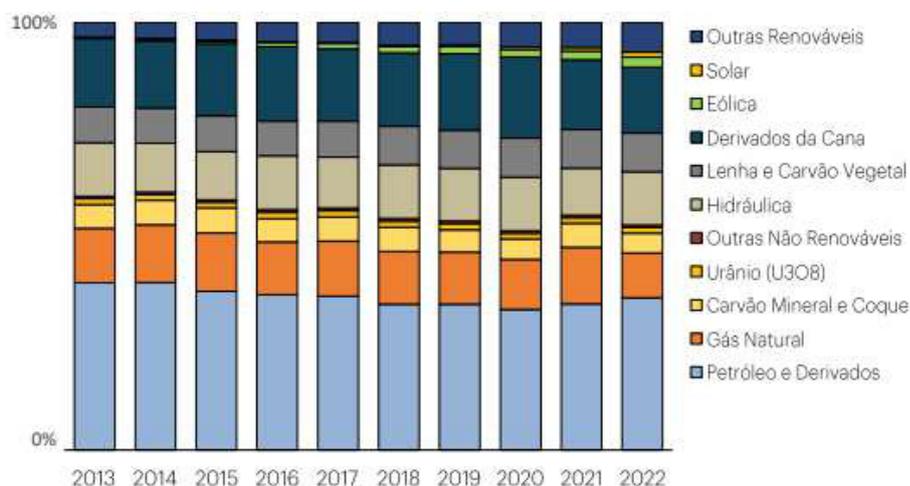
Figura 1 - Participação de renováveis na matriz energética



Fonte: BEN/2023.

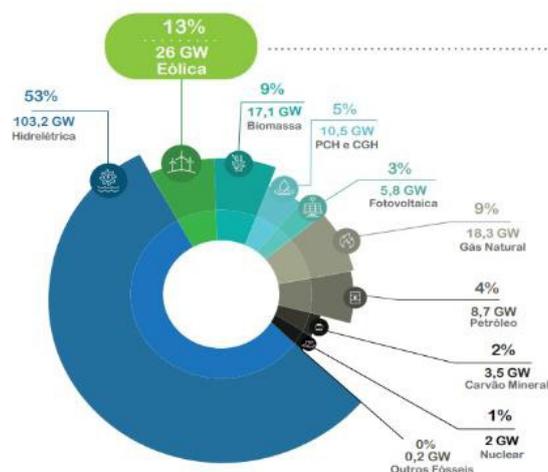
A presença de energias renováveis na matriz elétrica nacional se destaca no cenário mundial, corroborando para a posição do Brasil em segundo lugar no *ranking* mundial de produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis (ENERDATA, 2023). Dentre as fontes energéticas renováveis, destaca-se a energia eólica, que teve um crescimento de 12,9% do ano de 2021 para 2022, com uma representação de 2,3% da matriz energética nacional (BEN, 2023). Devido às condições climáticas e geológicas favoráveis, como a forte incidência de ventos e a topografia plana, o Brasil é um país com alto potencial de investimento em energia eólica.

Figura 2 - Oferta de energia 2013 - 2022



Fonte: BEN/2023.

Figura 3 - Composição da Matriz Elétrica Brasileira em GWh



Fonte: SIGA/ANEEL, 2023.

Em 2021, a energia eólica se consolidou como a segunda fonte com maior geração de eletricidade da matriz elétrica brasileira, atrás apenas da geração por hidrelétricas, e segue crescendo no mercado nacional e mundial. A busca pelo desenvolvimento sustentável resulta na relevância da geração de energia proveniente das turbinas eólicas para o País.

Tendo em vista que as torres eólicas estão, comumente, submetidas a condições de intemperismos, como forte incidência de luz solar, ação dos ventos e maresia, o trabalho de finalização e proteção da superfície desses materiais deve ser otimizado, reduzindo, assim, os custos de reparo, problemas de redução de eficiência e acidentes.

A ocorrência de falhas está relacionada à qualidade de fabricação das pás e ao tempo de operação. Então, quanto maior o período em atividade, mais as pás ficam sujeitas às intempéries já mencionadas (LOVRO, 2016). Assim, a crescente instalação de turbinas eólicas em parques nacionais, distribuídos, principalmente, nas regiões nordeste e sul, torna mais expressiva a necessidade de desenvolver métodos de produção das pás eólicas com foco em aumentar a durabilidade em campo.

2. JUSTIFICATIVA

A crescente demanda nacional de investimentos em energias renováveis corrobora os estudos e as inovações tecnológicas nas fontes já existentes e em novas fontes limpas de energia elétrica. As oportunidades de melhoria identificadas na instalação em larga escala das torres eólicas também impulsionam um mercado ativo e competitivo a sanar problemas existentes e desenvolver produtos aerodinamicamente mais favoráveis e com a maior eficiência energética, considerando o custo-benefício.

A vida útil dos aerogeradores está relacionada, entre outros fatores, à qualidade da proteção da superfície externa, pois ela representa a camada de contato com as intempéries as quais as pás estão sujeitas. Para garantir maior durabilidade, essa tinta deve estar bem aderida à superfície, a fim de resistir às condições ambientes e manter a integridade estrutural da pá.

Durante a fabricação das pás eólicas, há consenso entre os fabricantes de que as pás verdes, como são chamadas as hélices antes da aplicação do revestimento da pintura, devem estar em local protegido da incidência da luz solar. Por motivo de locomoção ou espaço limitado de armazenamento das pás com trabalhos em andamento pode ocorrer uma exposição excessiva à radiação UV que gere prejuízos à qualidade do produto, causando enrijecimento não desejado do material e reduzindo a aderência do revestimento na superfície a ser protegida. Tal situação não é incomum em indústrias que produzem pás eólicas por se tratar de um produto com grandes dimensões, que variam entre 50 e 170 metros de comprimento, aproximadamente.

Entre os fabricantes de pás eólicas, não há um consenso quanto ao tempo máximo que as pás podem ficar expostas à radiação solar sem revestimento de proteção. Esse critério varia de 7, 15, 20 e até 30 dias. A compreensão dos efeitos da luz solar em compósitos não protegidos no decorrer do tempo e as possíveis consequências na adesão da tinta a ser aplicada são fundamentais para definir critérios de aceitação e qualidade coerentes com o prejuízo à superfície laminada e, assim, garantir um tempo de exposição seguro para manter as propriedades de aderência da tinta protetora aplicada.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa estudar os impactos de diferentes períodos de exposição à radiação solar em superfície externa de pás verdes na aderência do revestimento e as variáveis de processo que podem influenciar a adesão da tinta.

3.2 Objetivos Específicos

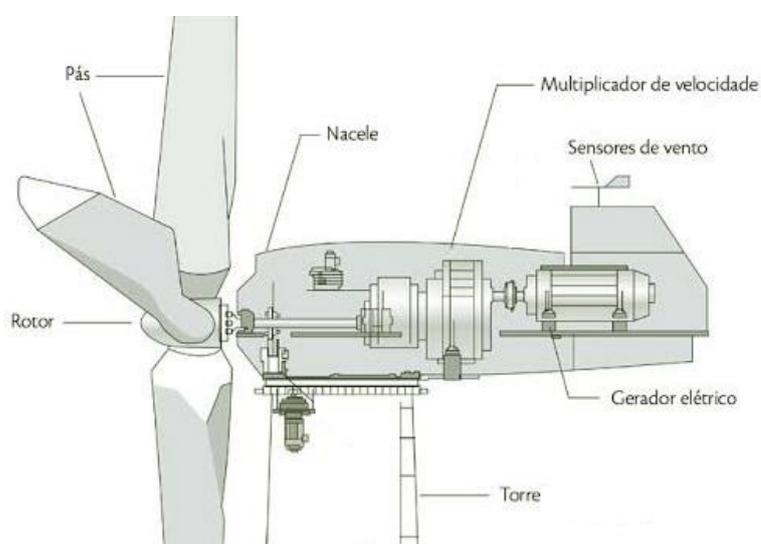
- Analisar o efeito do tempo de exposição à radiação solar na aderência da tinta;
- Identificar as variáveis de processo que podem reduzir a efetividade de proteção da tinta;
- Compreender um tempo de exposição seguro que garanta maior durabilidade da pá em campo com a redução de danos por corrosão ou deslocamento da tinta protetora.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Turbina eólica e seus componentes

Os principais componentes das torres eólicas são torre, rotor, nacele, caixa de transmissão, gerador, anemômetro, biruta e pás. Cada peça exige uma proteção da superfície externa diferente, pois estão submetidas a distintas condições que favorecem a erosão. A Figura 4 destaca onde são localizados cada componente das turbinas eólicas:

FIGURA 4 - Componente dos aerogeradores



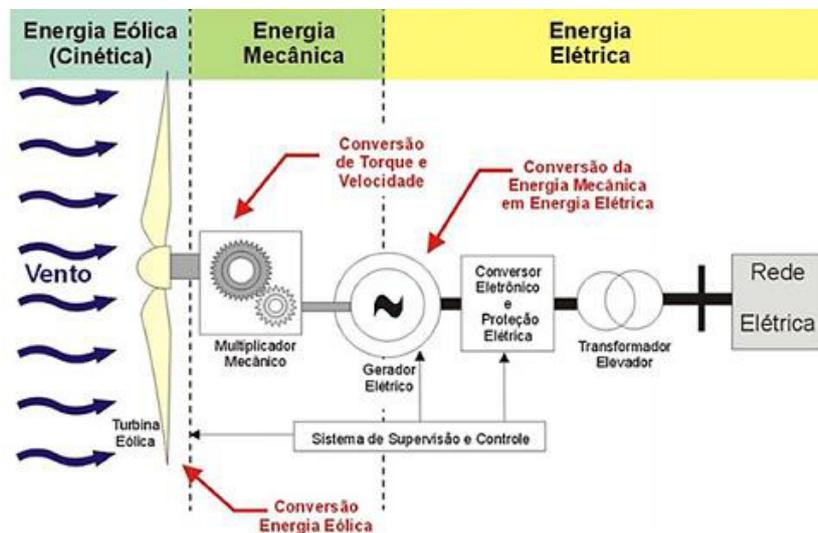
Fonte: Windbox, 2020.

Para favorecer a aerodinâmica e, assim, aumentar a eficiência da turbina, as pás devem ser leves, flexíveis e resistentes às condições climáticas. Dessa forma, os componentes comumente utilizados na fabricação desses dispositivos são carbono, espumas, madeira e compósitos de fibra de vidro, sendo este último o de maior composição da pá.

O funcionamento das torres eólicas se dá pela interação das pás com o vento, que provoca o movimento de rotação devido a forças de sustentação, que atua de forma perpendicular ao escoamento, e de arrasto, que atua na direção do escoamento, visualizado na Figura 5. A energia cinética das moléculas de ar em movimento, vento, é convertida em energia mecânica que rotaciona as pás.

O gerador da turbina transforma a energia mecânica dessa movimentação em energia elétrica.

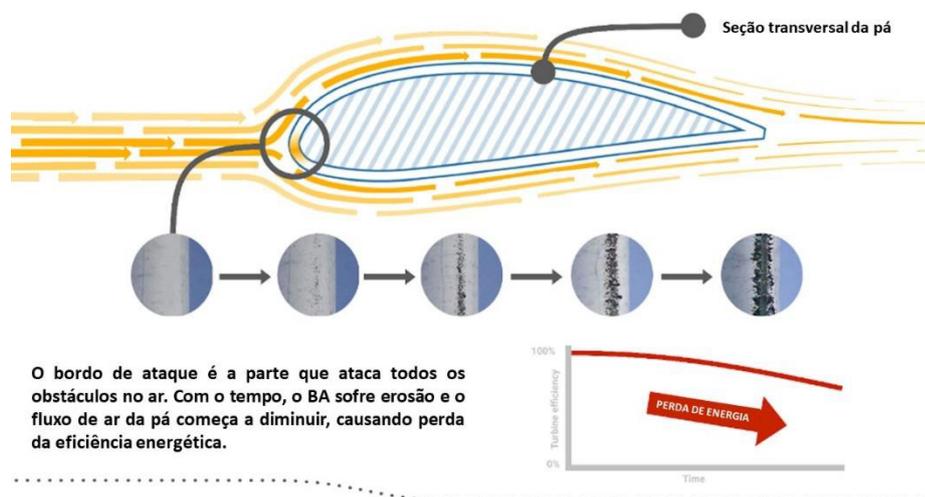
Figura 5 - Esquema geral de funcionamento de um aerogerador



Fonte: Pícolo, 2014.

A pá eólica possui um perfil onde o bordo de ataque é uma zona crítica, pois sofre maiores impactos durante o movimento rotacional da pá. Já o bordo de fuga é a região por onde o vento flui conforme a Figura 6. Dessa forma, o bordo de ataque está mais sujeito à erosão e, portanto, requer um padrão maior de qualidade na pintura de proteção.

Figura 6 - Perfil da pá eólica



Fonte: Aeronas, 2022.

A erosão no BA (bordo de ataque) provoca asperidade na superfície da pá que propicia uma transição precoce do fluxo do vento do regime laminar para o turbulento. Isso resulta em perda de eficiência energética do aerogerador, além de facilitar danos no laminado e nas estruturas internas da pá (HERRING, Robbie, 2019).

A taxa de erosão da pá é um parâmetro qualitativo, pois depende de alguns fatores, como modelo e dimensão da pá, clima no local de instalação da torre, velocidade de giro da ponta da pá e adesão da pintura no substrato. Dentre esses fatores, o que pode ser garantido durante a fabricação das pás é a qualidade da adesão do revestimento no substrato, garantindo as condições de pintura adequadas, superfície ativada e sem sujidades, e o tempo de exposição solar da pá verde, que deve ter os impactos mais bem esclarecidos ao final dos ensaios demonstrados na metodologia.

4.2 Revestimento externo

Todos os componentes da turbina eólica em contato com o ambiente externo exigem revestimento de proteção. As condições ao qual o componente está submetido e o material do qual ele é feito vão ser determinantes para a escolha da tinta mais apropriada. A nacele, por exemplo, é um componente feito de material compósito e que atua em condições operacionais sem grande exposição, assim, não exige um revestimento de proteção de alto desempenho, sendo, muitas vezes, apenas estético.

Em contrapartida, as pás eólicas atuam em ambiente agressivo e estão mais sujeitas à erosão, pois, além das condições ambientais, como salinidade do meio, exposição solar, impacto da força da chuva sobre a superfície, podem rotacionar a uma velocidade de 300 km/h, o que intensifica o impacto ao qual a tinta protetora deve resistir. Assim, o revestimento precisa ser altamente flexível e capaz de dissipar energia, em adição à condição esteticamente favorável que reduza a poluição visual na região onde a turbina está instalada.

O laminado compósito que compõe a maior parte estrutural da pá desenvolvido com tecido de fibra de vidro e resina epóxi, quando exposto à radiação solar, pode sofrer danos químicos que propiciam o desgaste mais rápido do material. Faz-se necessário proteger o laminado com uma tinta

adequada. Além disso, nas normas que regem a instalação de parques eólicos, há cláusulas específicas que exigem que o revestimento das pás cumpra uma série de requisitos, desde estéticos, a fim de gerar menor poluição visual possível, até de performance.

As principais normas que definem as características da tinta a ser utilizada nos revestimentos das pás eólicas são:

- ISO 12944 - Proteção Contra a Corrosão - Tintas e vernizes – Proteção anticorrosiva de estruturas de aço e superfícies propensas a sofrerem corrosão por sistemas de pintura anticorrosiva;
- ISO 20340 - Parâmetros Essenciais para a alta durabilidade - Número de demãos e a espessura total do sistema;
- NORSOK M-501 - Seleção de materiais para revestimento anticorrosivo, incluindo procedimentos de preparação de superfície, aplicação e inspeção;
- NBR 15156 – Pintura Industrial.

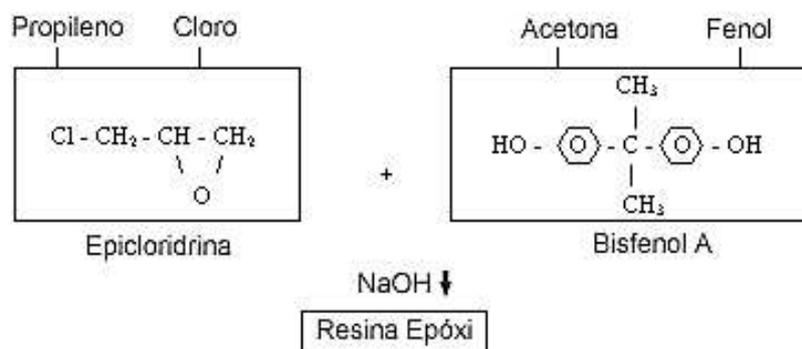
4.3 Tinta de proteção

As tintas são um composto líquido, pastoso ou em pó que podem ser utilizadas como película sobre uma superfície para fins estéticos, de sinalização, de proteção contra mofo ou corrosão, impermeabilizantes, entre outros. As tintas são compostas de quatro componentes básicos: resinas, pigmentos, solventes e aditivos.

4.3.1 Resinas

A resina é o componente da tinta não volátil que permite a formação da película na superfície. Podem ser classificadas como veículo não convertível, estabelecendo interações sem reação, ou como convertível, que permitem a adesão e a coesão da tinta. As resinas epoxídicas são obtidas pela condensação de polímeros, sendo os monômeros geralmente utilizados a epiclordinina e o bisfenol, conforme observado na Figura 7.

Figura 7 - Formação da resina epoxídica



Fonte: RESEPOX.

4.3.2 Pigmentos

Os pigmentos são responsáveis por propriedades como coloração, impermeabilidade, fosforescência, proteção anticorrosiva, entre outras. Podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos. Os pigmentos orgânicos não possuem propriedades de resistência à luz e ao calor tão eficientes quanto os inorgânicos, porém têm a vantagem de um tintorial mais expressivo e com mais brilho. Geralmente, são utilizados como agentes corantes.

Os pigmentos inorgânicos, por sua vez, podem ser naturais ou sintéticos. Os sintéticos são mais utilizados em processos industriais, pois oferecem maior cobertura, uniformidade na cor e melhor dispersão que os naturais.

4.3.3 Solventes

Os solventes têm a função de promover a mistura entre a resina e o pigmento, além de definir a consistência e viscosidade da tinta, sendo essencial para garantir a adesão ao substrato. Solventes são incolores, quimicamente neutros e voláteis.

4.3.4 Aditivos

Os aditivos são substâncias que podem ser integradas ou não à tinta de acordo com as propriedades que sejam agregadoras ao produto. Tais componentes podem ter função secante, atuando como catalisador no processo de secagem, plastificantes, fornecendo flexibilidade à película, umectantes,

possuindo agentes hidrofílicos que reduzem a sedimentação do pigmento, entre outras.

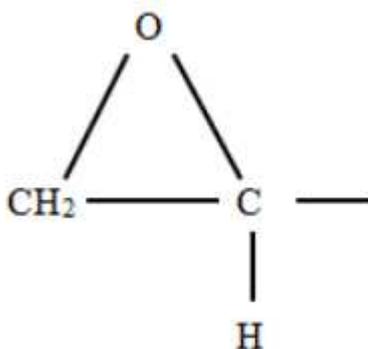
4.3.5 Tinta epóxi

As tintas epóxi são empregadas, geralmente, com a função de proteção por barreira pelo fato de serem resistentes e possuírem alta durabilidade. Comumente, essas tintas devem ser misturadas com um agente de cura para garantir a secagem após a aplicação. Tal agente pode ser de poliamida, que garante boa aderência, flexibilidade, resistência a impacto e à umidade; poliamina, que exerce boa resistência no contato com produtos químicos, como ácidos, bases e solventes; e acetimina, que desempenha elevada resistência à umidade.

O agente de cura à base de isocianato aromático é apropriado para tintas que não serão expostas ao ambiente externo, pois possuem pouca resistência aos raios UV. Assim, estes agentes não conservam bem a cor e o brilho quando expostos ao intemperismo natural, como forte incidência de luz solar, ação dos ventos e maresia. Em contrapartida, as tintas de poliuretano com agente de cura à base de isocianato alifático e cicloalifático possuem ótima resistência à radiação solar e são as que apresentam melhor retenção de cor e brilho quando expostas ao intemperismo natural. Essas resinas são obtidas da reação de um isocianato com um álcool (FAZENDA, 2009).

As tintas epoxídicas apresentam epóxidos na forma de polímeros do grupo glicídila em sua estrutura, que tem sua estrutura apresentada na Figura 8.

Figura 8 - Grupo funcional presente nas resinas epóxi



Fonte: SILAEX, 2018.

4.4 Pintura das pás eólicas

As pás eólicas terão a aplicação de tintas do tipo acabamento, que exercem função de proteção e coloração do material. A pintura industrial, na qual a das turbinas se classifica, desempenha relevante resistência à corrosão física e química da superfície exposta (ABRAFATI, 2023).

O procedimento de pintura requer uma preparação da superfície para garantir a melhor aderência da tinta no substrato e a não ocorrência de falhas. Desse modo, é crucial que o ambiente onde se encontra a pá esteja isento de poeira e contaminantes, além de ser necessário garantir que a temperatura e a umidade do ambiente estejam de acordo com a especificação. Tais parâmetros influenciam no tempo de secagem da tinta.

4.5 Não conformidade da pintura e seus efeitos

A existência de poros, escorrimentos, ranhuras, espessura da camada da tinta abaixo do especificado e contaminantes no revestimento da pá corroboram para a baixa durabilidade dele. Poros no revestimento, por exemplo, deixam a região desprotegida em relação à umidade, água da chuva, salinidade do meio, além de permitir o acúmulo/deposição de contaminantes no poro, que, com o tempo, vão degradando o laminado por meio do atrito gerado. Ademais, escorrimentos geram uma área com alto relevo mais propensa a sofrer delaminação, além disso ranhuras facilitam a propagação do defeito ao longo da pintura.

Tais anomalias, observadas na Figura 9, podem resultar em deslocamento da tinta na superfície e, com o movimento das hélices, a tendência é que a região sofra erosão. Vale ressaltar que a absorção de umidade e as possíveis infiltrações no laminado nessas regiões de falha do revestimento podem causar danos estruturais no material compósito.

Figura 9 - Anomalias no processo de pintura



a)



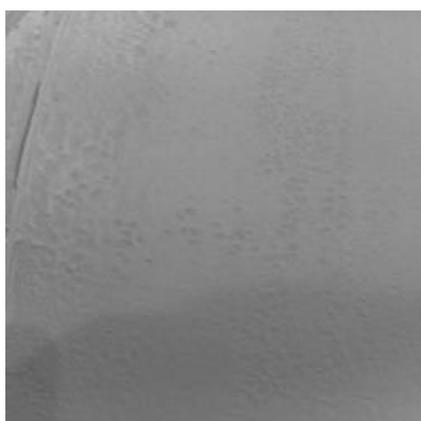
b)



c)



d)



e)



f)

a) poros, b) escorrimento, c) rachaduras, d) camada baixa e) olho de peixe f) bolhas

Fonte: Elaborado pela autora.

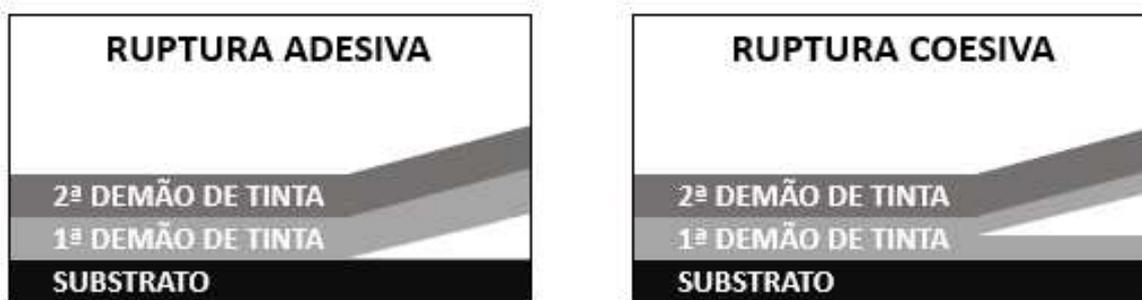
4.7 Ensaio de Aderência – Pull Off

O método de pull off é utilizado para medir a tensão de aderência entre uma película e seu substrato. A técnica consiste em colar um disco metálico na superfície que se quer medir a tensão adesiva e aplicar uma força axial nela até removê-la. O aumento gradual da força aplicada é medido no aparelho de pull off e, assim que o arrancamento da peça ocorre, o monitor mostra a tensão em MPa na qual se deu a ruptura. O resultado do teste se dá tanto pelo valor da tensão de ruptura, quando pelo tipo de falha observado no disco metálico. Assim, é necessário analisar a superfície do disco metálico após o arrancamento para verificar se a ruptura ocorreu dentro dos parâmetros aceitáveis.

A Norma que descreve o método de pull off é ASTM D 4541. Esse regulamento determina o uso do método em superfícies planas, nas quais qualquer alteração de parâmetro, como diâmetro do acessório de carga, tempo de cura do revestimento aplicado e mudança na composição do adesivo, pode afetar o resultado do teste. O primeiro protocolo contido na norma indica o valor medido no teste de fratura, que determina quanta tensão o revestimento suporta antes de sofrer ruptura e o segundo protocolo indica se o teste foi deferido ou não de acordo com a característica do tipo de ruptura, representado na Figura 11.

Para a compreensão do resultado do teste de pull off, é importante entender os conceitos de adesão e coesão. Adesão é a tendência de moléculas diferentes se unirem devido a forças atrativas. Isso ocorre quando os materiais adesivos preenchem os vazios ou poros das superfícies em contato e as mantém unidas através do intertravamento, corroborando para a adesão mecânica entre dois materiais (TAVORA, 2017). Já a coesão é a força que mantém unidas as moléculas de um mesmo constituinte, promovendo a integridade do componente e de suas propriedades mecânicas. As duas forças mencionadas estão exemplificadas na Figura 10.

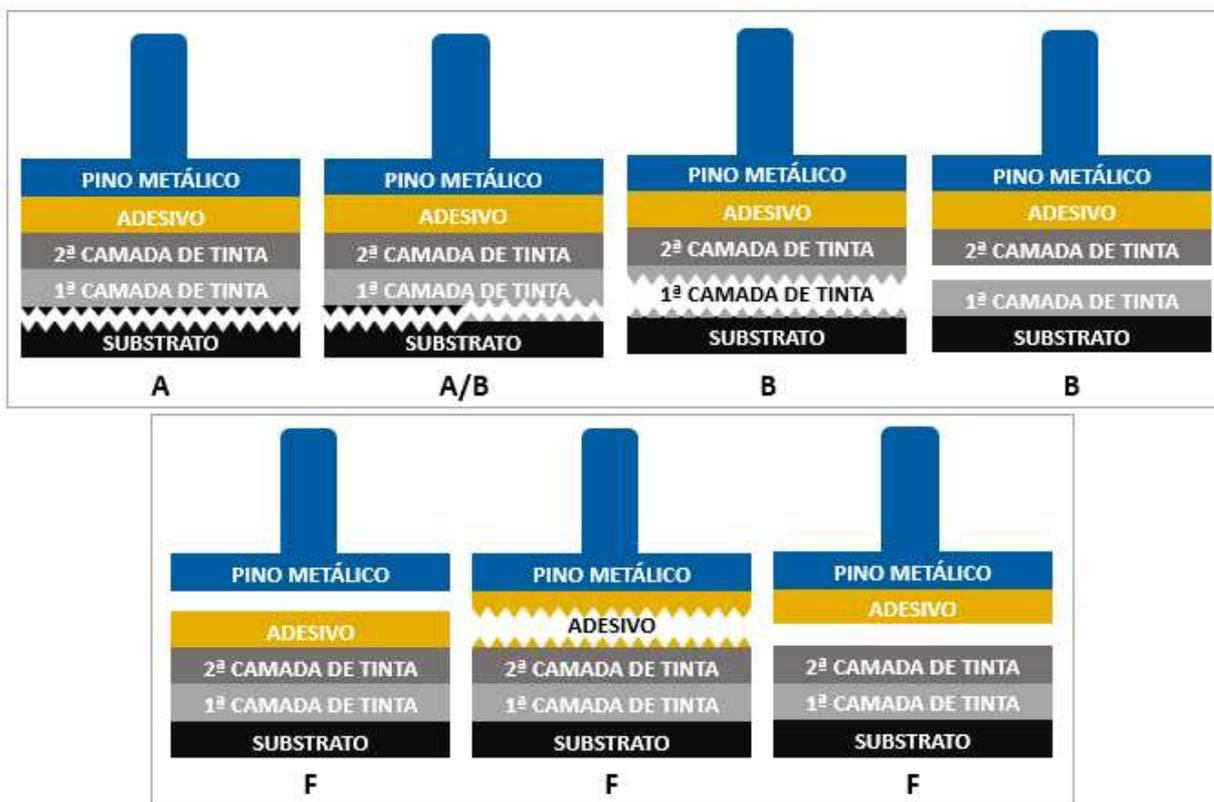
Figura 10 - Forças de adesão e coesão



Fonte: Elaborada pela autora.

Na Figura 11 e na Tabela 1 estão descritas as características de ruptura que definem o êxito ou não do teste:

Figura 11: Tipos de ruptura



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 1 - Classificações quanto ao tipo de ruptura

Ruptura	Descrição
A	Ruptura coesiva no substrato (laminado)
A/B	Ruptura adesiva entre substrato e tinta

B	Ruptura coesiva ou adesiva entre camadas de tinta
F	Ruptura coesiva ou adesiva envolvendo adesivo

Fonte: Elaborada pela autora.

5. METODOLOGIA

Os parâmetros de qualidade para tempo de exposição direta à radiação UV da superfície a ser pintada não são padronizados entre os fabricantes de pás eólicas, porém é compartilhada a ideia de que a exposição é prejudicial para o desempenho da pintura de proteção, podendo impactar em baixa adesão e gerar consequências como deslocamento da tinta e, assim, exposição do substrato que deveria ser protegido.

A finalidade deste trabalho é analisar, por meio de uma pesquisa experimental e quantitativa, o impacto do tempo de exposição solar de estruturas feitas de compósito de fibra de vidro que se encontram sem revestimento de proteção na adesão da tinta. A natureza da pesquisa é básica, pois visa esclarecer, dentro da condição relatada, se o efeito da exposição solar é significativo ou não na adesão e, conseqüentemente, na durabilidade da pintura dos aerogeradores.

5.1 Obtenção das Amostras

5.1.1 Fabricação da placa laminada

A placa de laminado foi obtida pelo método de infusão em um molde com aquecimento. O processo consiste em realizar a impregnação da resina com o tecido de fibra de vidro, utilizando uma linha de vácuo protegida com um plástico para garantir a formatação da peça e o aquecimento padrão do molde para acelerar o processo de cura. A região a ser laminada foi isolada com tecido de nylon, material que não adere à resina, para possibilitar a desmoldagem da placa e garantir a rugosidade da peça.

Os materiais que compõem a placa são 3 camadas de tecido de fibra de vidro do tipo BIAx 600 g/m² e resina epóxi. O BIAx é um tecido com duas orientações das fibras de vidro, podendo ter uma angulação de 90° ou 45°. O laminado utilizado nos ensaios foi com uma trama com característica 45°/- 45°.

O tempo total de preparo da amostra, considerando acomodação das camadas de tecido, posicionamento do plástico sobre o tecido, realização do

vácuo para garantir a conformidade da peça, infusão da resina e processo de cura durou, aproximadamente, 330 minutos.

Figura 12 - Infusão da placa laminada



Fonte: Elaborada pela autora.

5.1.2 Preparação dos Corpos de Prova

Após cura, desmoldagem e remoção do nylon da placa laminada, foram realizados os cortes no tamanho de 5 peças de laminado de dimensão 140 x 180 mm com o auxílio de uma máquina de corte (lixadeira), de acordo com as Figuras 13 e 14:

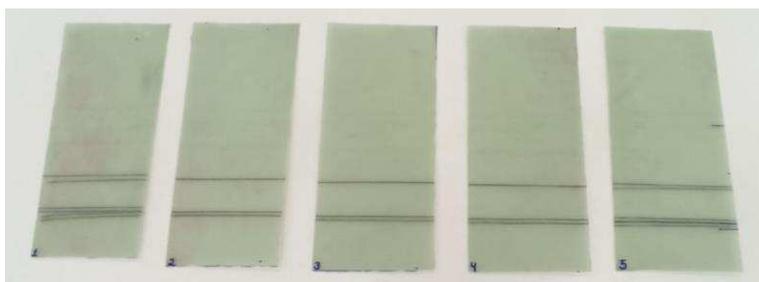
Figura 13 - Placa laminada após desmoldagem e em preparação para corte



Fonte: Elaborada pela autora.

A lixa utilizada para corte das amostras foi a lixa diamantada em tira 800 x 45 mm H10.

Figura 14 - Amostras cortadas e identificadas



Fonte: Elaborada pela autora.

5.2 Exposição Solar Sem Proteção

Após cortes e identificação, a amostra 1 foi armazenada em local sem exposição solar, enquanto as amostras de 2 a 5 foram armazenadas em local com alta exposição à radiação UV, conforme a Figura 15:

Figura 15 - Amostras cortadas sem revestimento expostas ao sol



Fonte: Elaborada pela autora.

As faces expostas ao sol foram as que não tinham a rugosidade inicial do nylon na produção. As amostras ficaram expostas por períodos diferentes conforme Tabela 2:

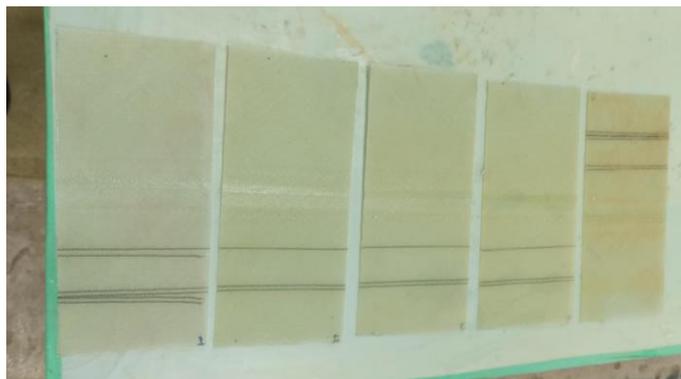
Tabela 2 - Período de exposição solar por amostra

Nº DA AMOSTRA	TEMPO DE EXPOSIÇÃO (dias)
1	0
2	5
3	10
4	15
5	20

Fonte: Elaborada pela autora.

Após o período de exposição, os corpos de prova apresentaram uma coloração distinta da inicial e entre si, sendo possível observar um gradiente de coloração, com a placa que ficou mais tempo ao sol apresentando um tom mais escura, conforme pode-se observar na imagem a seguir:

Figura 16 - Placas após exposição ao sol, 1 a 5 da esquerda para a direita



Fonte: Elaborada pela autora.

5.3 Preparação dos Corpos de Prova Pré-Pintura

A fim de que a única variável com influência na adesão da tinta protetora seja o tempo de exposição solar, as 5 amostras foram preparadas com os mesmos recursos de forma padronizada.

5.3.1 Materiais Utilizados

O pano pega pó é utilizado, pois possui uma espécie de cola, na qual até partículas bem pequenas de pó fino, muito presente no ambiente de fabricação de pás, são removidos da superfície.

Tabela 3 - Materiais Utilizados para Preparação das Amostras

MATERIAL	FUNÇÃO
Pano pega pó	Limpeza da superfície
Lixa P120	Ativação da área a ser pintada

Fonte: Elaborada pela autora.

5.3.2 Lixamento e Ativação da Superfície

Para garantir a adesão da tinta à superfície, é necessário que se tenha uma rugosidade ideal que permita que a tinta se adesive na região aplicada, porém que seja baixa o suficiente para não impactar a aerodinâmica da peça. A face de aplicação da tinta deve ser ativada, pois o atrito com qualquer superfície

de contato onde esteja armazenada durante a fabricação do laminado e o processo de pintura pode reduzir a rugosidade na peça.

A ativação consiste em lixar a superfície sem romper camadas de tecido, apenas para garantir a granulometria especificada em projeto que proporcione maior adesão do revestimento. A face lixada das amostras foi a mesma que ficou exposta ao sol.

A lixa utilizada foi a de granulação P120. Vale ressaltar que, quanto menor o número de granulção da lixa, mais grossa ela é. Dessa forma, não seria ideal utilizar uma lixa mais grossa, pois poderia romper camadas de tecido da peça.

Figura 17 - Lixa P120 utilizada



Fonte: Elaborada pela autora.

O lixamento foi feito utilizando uma lixadeira oscilante, conforme evidenciado na Figura 18:

Figura 18 - Lixamento da superfície



Fonte: Elaborada pela autora.

5.3.3 Limpeza da Superfície

A limpeza da superfície das amostras é necessária para remover quaisquer corpos estranhos, oleosidades e sujidades que possam ficar entre o laminado e a tinta, gerando defeitos que possam prejudicar a adesão das camadas de tinta. Dessa forma, a limpeza deve ser realizada antes de cada camada de tinta a ser aplicada.

As etapas para a limpeza adequada são:

- I. Remover sujidades com pano pega pó;
- II. Limpar região com álcool isopropílico;

Figura 19 - Limpeza da face das amostras com álcool isopropílico



Fonte: Elaborada pela autora.

5.4 Testes

5.4.1 Rugosidade

Figura 20 – Equipamento rugosímetro



Fonte: Elaborada pela autora.

A medição da rugosidade das amostras foi realizada para garantir um padrão entre elas e, assim, a pouca contribuição desse fator na comparação da adesão do revestimento nas peças.

O funcionamento do rugosímetro se dá pelo movimento de uma agulha na superfície, que oscila de acordo com profundidade e picos característicos da face do material estudado. O valor de Ra representa a rugosidade média e é calculado a partir do desvio médio de picos e vales em relação a um plano de referência. A medida de Ra não sofre alterações significativas quando se tem um pico ou vale atípico na superfície. Assim, o valor de Ra não é determinante para um perfil de irregularidades específico, desse modo, superfícies obtidas por diferentes processos de usinagem podem ter o mesmo valor de Ra.

Já Rz é a rugosidade total calculada pela distância média entre os 5 picos mais altos e 5 vales mais profundos e possui uma vantagem em relação à medição Ra por definir melhor a superfície, considerando em apenas 20% um ponto isolado proeminente, por exemplo, no valor da rugosidade total (CALLISTER, 2012).

5.4.2 Condições Ambientais

A fim de garantir que a temperatura e a umidade do meio estejam dentro dos critérios de projeto e não representem uma variável para a aderência da tinta, foi realizado o monitoramento desses parâmetros durante o processo de pintura e de cura da tinta.

5.4.2.1 Equipamento

Figura 21 – Equipamento termo-higrômetro



Fonte: Manual do equipamento.

5.4.2.2 Medição de temperatura e umidade durante a pintura dos corpos de prova

Tabela 4 - Condições ambientes pré-pintura

Temperatura	Umidade
24,8 °C	65%

Fonte: Elaborada pela autora.

5.5 Aplicação da Tinta

Para a cura da tinta, tanto entre demãos quanto após a aplicação da última demão, serão considerados dois tempos de secagem: estágio 1 e estágio 7. O estágio 1 considera a tinta seca ao toque e representa uma cura suficiente para a aplicação da segunda demão. Já o estágio 7 indica a secagem ao manuseio. A relação de interdependência da cura da tinta com as condições de temperatura e umidade estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações de cura da tinta

Relação T (°C)/RH (%)	20/20	20/50	30/50	30/80	40/50
Estágio de secagem 1 (min)	65	45	55	65	45
Estágio de secagem 7 (h:min)	07:30	06:30	04:50	04:15	03:20
Cura completa (h)	48	48	48	48	48

Fonte: Especificação do produto.

5.5.1 Pintura

Figura 22 - Aplicação da tinta - 1ª e 2ª demãos



Fonte: Elaborada pela autora.

5.5.2 Cura da Tinta – Tempo de Secagem

De acordo com os requisitos do material, o tempo de secagem obedeceu aos critérios contidos na Tabela Y.

Para os ensaios de aderência, foi considerada uma superfície pintada em condições que atendem aos critérios de cura da tinta, sem as falhas mencionadas na Figura 9, pois o excesso de defeitos desse tipo também impacta na adesão da tinta com a superfície de contato. A aderência da película ao substrato significa a resistência ao deslocamento e ao deslocamento.

5.6 Ensaio de Adesão – Pull Off

5.6.1 Calibração do Equipamento

Para garantir confiabilidade nos ensaios, é indispensável que o equipamento utilizado esteja dentro do prazo de calibração, que foi o caso do dispositivo utilizado na Figura 23.

Figura 23 - Equipamento de pull off

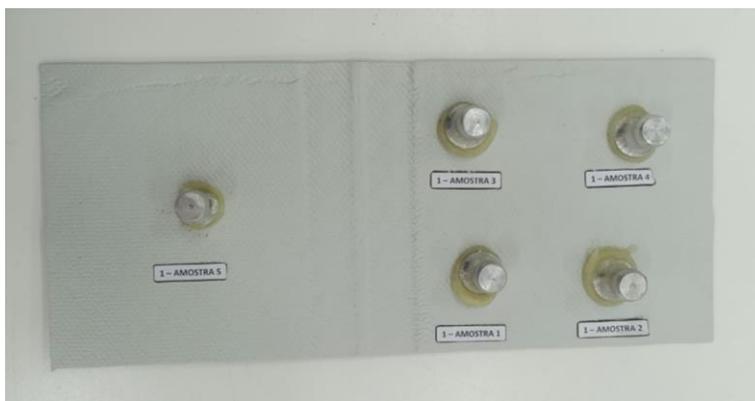


Fonte: Elaborada pela autora.

5.6.2 Colagem do Disco Metálico (Dolly)

Após a limpeza dos discos metálicos, de forma que estivessem isentos de pó, óleos e outros resíduos, foi realizada a colagem deles na superfície laminada com Plexus MA300. Foi necessário pressionar o pino para garantir uma espessura máxima de 1 mm do adesivo. Essa pressão provoca um excesso de adesivo nas bordas do dolly, observado na Figura 24, que devem ser removidos ou antes da cura do material ou após a cura, utilizando uma serra copo.

Figura 24 - Discos metálicos colados no corpo de prova 1



Fonte: Elaborada pela autora.

5.6.3 Corte com Serra Copo

Para a remoção das bordas de adesivo curado, que podem interferir no resultado do teste ao aumentar a tensão em uma área que não está submetida à mesma tensão de ruptura do equipamento, foi utilizada a serra copo como forma de remover o excesso de cola.

Figura 25 - Serra copo



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 26 - Corpo de prova 5 após uso da serra copo

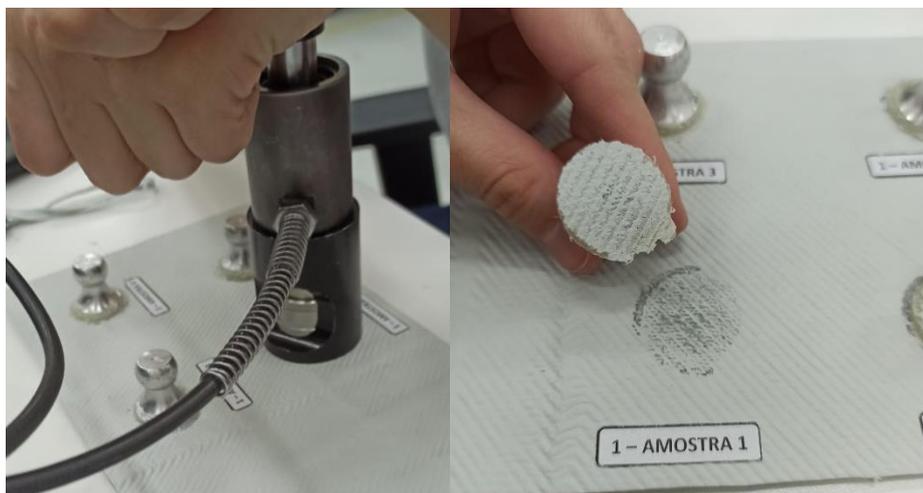


Fonte: Elaborada pela autora.

5.6.4 Extração dos Discos Metálicos e Medição de Adesão

Durante o ensaio, as faces permaneceram em posição horizontal, enquanto o equipamento se manteve perpendicular às superfícies. O aumento da tensão é gradual e, quando ocorre a ruptura, a tensão máxima é registrada no aparelho de pull off.

Figura 27 - Ensaio de pull off e disco metálico após ruptura



Fonte: Elaborada pela autora.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de rugosidade e pull off realizados nos corpos de prova deste estudo estão descritos a seguir. Com base neles, é possível analisar a correlação do tempo de exposição à radiação solar na adesão da tinta na superfície.

Tabela 6 – Rugosidade da face das amostras

CORPO DE PROVA	Ra (μm)	Rz (μm)
1	14,755	79,935
2	22,536	88,775
3	24,100	100,300
4	27,920	109,560
5	25,452	101,040

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de pull off

	CORPO DE PROVA 1		CORPO DE PROVA 2	
	MEDIÇÃO (MPa)	TIPO DE RUPTURA	MEDIÇÃO (MPa)	TIPO DE RUPTURA
RUPTURA 1	3,15	B	2,95	B
RUPTURA 2	2,80	B	2,82	B
RUPTURA 3	3,78	B	3,01	B
RUPTURA 4	3,48	B	3,73	B
RUPTURA 5	2,24	B	2,88	B

	CORPO DE PROVA 3		CORPO DE PROVA 4	
	MEDIÇÃO (MPa)	TIPO DE RUPTURA	MEDIÇÃO (MPa)	TIPO DE RUPTURA
RUPTURA 1	2,13	B	3,62	A/B
RUPTURA 2	2,68	B	2,27	B
RUPTURA 3	2,47	B	2,46	B
RUPTURA 4	2,76	B	2,40	B
RUPTURA 5	2,56	B	2,80	B

	CORPO DE PROVA 5	
	MEDIÇÃO (MPa)	TIPO DE RUPTURA
RUPTURA 1	3,14	B
RUPTURA 2	2,27	B
RUPTURA 3	2,45	B
RUPTURA 4	2,10	B
RUPTURA 5	2,79	B

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 8 - Parâmetros considerados para análise

	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
CORPO DE PROVA 1	3,09	0,5997	0,3596
CORPO DE PROVA 2	3,08	0,3714	0,1380
CORPO DE PROVA 3	2,52	0,2446	0,0599
CORPO DE PROVA 4	2,71	0,5451	0,2971
CORPO DE PROVA 5	2,55	0,4173	0,1741

Fonte: Elaborada pela autora.

Diante dos resultados obtidos, é válido ressaltar que o tipo de ruptura na maioria das amostras foi do tipo B, que representa o rompimento entre a primeira e a segunda demão de tinta ou o cisalhamento da própria camada de revestimento, não contemplando delaminação no substrato, que seria ruptura do tipo A. Também não houve falhas no processo de ruptura, que poderiam ser representadas pela ruptura coesiva ou adesiva envolvendo apenas a camada da cola. Desse modo, o ensaio de pull off se mostrou satisfatório quanto ao índice de sucesso na remoção dos discos metálicos.

Analisando os dados, é possível observar que as amostras 1 e 2 tiveram um desempenho melhor em relação à aderência do revestimento aplicado na superfície, por conta de uma maior média da tensão suportada pela tinta até o momento da ruptura. Porém, os resultados dos ensaios não foram conclusivos para definir um tempo máximo de exposição solar sem prejuízo à aderência da tinta no laminado, pois os resultados dos testes nos corpos de prova 3, 4 e 5, principalmente, foram muito semelhantes. Os corpos de prova 1 e 4 apresentaram um desvio padrão nos resultados de tensão de ruptura das amostras maiores, porém, ainda assim, tais desvios foram pouco expressivos, considerando os valores medidos de tensão máxima.

É importante destacar que a rugosidade média das faces submetidas ao mesmo processo de ativação da superfície apresentou uma variação entre 14,7 μm e 27,9 μm , apesar dos esforços de padronizar a superfície. Essa variante pode interferir no resultado do teste, influenciando a aderência da tinta protetora.

A vantagem da metodologia do pull off é identificar visualmente se houve falha. Por ser um teste destrutivo, quando realizado na pá, exige um reparo na região onde o dolly foi colado. Esse reparo vai depender do tipo de ruptura que

ocorreu, podendo ser apenas um retoque no revestimento ou, no caso da ruptura danificar o substrato, reposição de camada de tecido ou aplicação de massa niveladora de superfície.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho consistiu em correlacionar o tempo de exposição à radiação UV em pás verdes na adesão da tinta protetora, por meio do teste de pull off na tinta aplicada em placas laminadas, que representaram as condições das pás antes e depois da pintura. O projeto ressalta a importância de se estudar as consequências do tempo de exposição à radiação UV em pás verdes na eficiência e vida útil das turbinas eólicas.

Foi possível observar, por meio dos experimentos, um resultado mais favorável à aderência da tinta nas amostras que permaneceram 0 e 5 dias expostas sem revestimento. Porém, para se obter uma definição de critério de qualidade do tempo mínimo que a pá pode permanecer nas condições mencionadas sem impactar a aderência da tinta, deve-se realizar repetição dos testes, considerando períodos mais longos de exposição, a fim de contemplar uma gama maior de possibilidades de impacto na superfície do material.

Outra variável que poderia ter sido estudada durante o experimento é a espessura da camada seca. A película de tinta deve ter espessura mínima suficiente para revestir e proteger a superfície e máxima para não representar uma camada muito espessa e, conseqüentemente, mais sujeita ao deslocamento, uma vez que a turbina esteja em operação.

O trabalho apresentado considerou uma exposição solar natural das amostras, submetidas às mesmas incidências de radiação. Desse modo, não foram consideradas às medições de comprimento de onda atingindo a superfície a ser testada ou o isolamento dos raios infravermelhos e ultravioletas incididos. Tal relação indica dificuldade em reproduzir os experimentos.

Além da adesão da tinta, outras propriedades do material podem ser afetadas pela radiação solar direta. Uma delas é a coloração final do produto. Antes de realizar as demãos de tinta sobre as placas, foi observada um gradiente de coloração bem acentuado entre as amostras, evidenciado na figura 16. Para garantir a coloração final do produto de acordo com as normas mencionadas, pode-se fazer um teste de brilho e coloração, utilizando um brilhaômetro. Tal equipamento é calibrado considerando um padrão de cor pré-estabelecido no

projeto da pá. Ademais, para trabalhos futuros, é pertinente o estudo de outras propriedades mecânicas, tais como resistência à tração e maleabilidade do laminado.

Algumas condições operacionais foram limitantes durante a realização dos ensaios, como disponibilidade dos equipamentos de medição e do molde no qual ocorreu a laboração da placa laminada, além da utilização de sobra de material produtivo que fosse compatível com a metodologia abordada. Tais circunstâncias influenciaram a quantidade de amostras elaboradas e o tempo máximo de exposição à radiação solar, que poderia ter sido maior se não houvesse restrição nos recursos disponíveis para realização dos ensaios.

Assim, os estudos de tecnologias aplicadas ao ramo de pás eólicas estão em constante evolução para atender às demandas do mercado, com o propósito de melhorar a eficiência das torres e aumentar o tempo de vida das hélices. Tal investimento se sustenta na tendência para os próximos cinco anos de crescimento da quantidade de parques eólicos em território nacional.

8 REFERÊNCIAS

A importância da Pintura de Turbinas Eólicas e qual é a norma no Brasil. 2022. Disponível em: <<https://tornado.com.br/pintura-de-turbinas-eolicas/>>.. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

ABEEÓLICA. **Boletim anual 2022.** 2023.

ABRAFATI, Paulo Antonio Donadio. **Manual básico sobre tintas.** Disponível em: <<https://xdocz.com.br/doc/manual-basico-sobre-tintas-eqnj3ev67986>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

ACIOLY, Gabriel de Andrade Mello. **Sistemas de proteção dos compósitos FRP às exposições térmicas extremas.** Universidade do Porto (FEUP). Porto, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Sistema de Informações de Geração da ANEEL,** 2023.

BOUAZIZI, Nabil. **Desenvolvimento de novos compósitos de fibras com excelente proteção à radiação UV.** Universidade de Lille, 2020.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução.** LTC, v. 8ª Edição, 2012.

Componentes dos aerogeradores: conheça toda a sua estrutura. Windbox. Disponível em: <<https://windbox.com.br/blog/componentes-dos-aerogeradores/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

DUTRA, Ricardo. **Energia Eólica: Princípios e Tecnologia.** Eletrobrás, 2008.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Relatório Síntese 2023, ano base 2022. 2023.

Epóxi. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/epoxi.htm>>. Acesso em 10 de outubro de 2023.

FILHO, Antonio Carlos de Lima. **Considerações sobre o Avanço da Energia Eólica.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 10, Vol. 13, pp. 111-127. Outubro de 2019.

FAZENDA, J. M. R., **Tintas: ciência e tecnologia.** 4.ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher, 2009. xxii, 1124 p.

Formas de Energia. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <www.epe.gov.br/pt>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

GARCIA, Gabriel. CNN. **Brasil lidera investimentos internacionais em energia renovável**. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia>>. Acesso em 10 de outubro de 2023.

HERRING, Robbie. **A crescente importância da erosão no bordo de ataque e uma revisão das soluções de proteção existentes**. Universidade de Bristol, 2019.

ISO 12944 – A Norma para Proteção Contra a Corrosão. Disponível em: <<https://ctqff.org/pt/2022/04/22>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

LOVRO, Artur. **Panorama sobre defeitos e falhas frequentes em pás eólicas**. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2016.

Matriz energética brasileira e matriz elétrica brasileira. Portal Solar, 2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/matriz-energetica-brasileira-matriz-eletrica-brasileira>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

NORSOK STANDART. Preparação de superfície e revestimento protetor. Revisão 5, 2004.

Participação de energias renováveis na produção de eletricidade. Enerdata, 2023. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/renewables>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

Pintura Industrial – Terminologia. ABNT NBR 15156. 2004.

Histórico da resina epóxi. RESEPOX. Disponível em: <<http://resepox.com.br/historico.htm>>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

TAVORA, Mauro; OLIVEIRA, Isaac; MIRANDA, Dayane. MEDEIROS, Marcelo. **Utilização do ensaio de pull off na determinação da resistência à compressão de concretos comparando com outros ensaios não destrutivos**. Revista Técnico-Científica do Crea, Paraná, 2017.