

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**Departamento de Engenharia Química**

D  
E  
Q



**Trabalho de Conclusão de  
Curso**

**ESTUDO DA REAÇÃO DE RESINA POLIÉSTER E  
PERÓXIDO PARA FORMAÇÃO DE COMPÓSITO  
UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DE PÁS EÓLICAS**

***Ivana Rodrigues Silva***

***Orientador: Prof. Drº Luciano Costa Almeida***

**Recife/PE**

**2022**

**IVANA RODRIGUES SILVA**

**ESTUDO DA REAÇÃO DE RESINA POLIÉSTER E PERÓXIDO PARA  
FORMAÇÃO DE COMPÓSITO UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DE  
PÁS EÓLICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Química da Universidade Federal  
de Pernambuco, como requisito parcial à  
obtenção do grau Bacharel em Engenharia  
Química.

Orientador: Prof. Dr Luciano Costa Almeida

Recife  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Ivana Rodrigues.

Estudo da reação de resina poliéster e peróxido para formação de compósito  
utilizados na fabricação de pás eólicas / Ivana Rodrigues Silva. - Recife, 2022.  
44 : il., tab.

Orientador(a): Luciano Costa Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química -  
Bacharelado, 2022.

1. Energia. I. Almeida, Luciano Costa. (Orientação). II. Título.

660 CDD (22.ed.)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus e a minha família, especialmente sem o apoio dos meus pais eu não seria quem sou e não chegaria onde cheguei.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus, que abençoa a mim e toda a minha família.

Aos meus pais Ronaldo Rodrigues e Ivanise Rodrigues, que me incentivam e apoiam sempre, meu eterno amor e gratidão.

Ao meu irmão Ronaldo Rodrigues Júnior, pelo companheirismo e exemplo de perseverança e dedicação.

Ao meu orientador Professor Dr. Luciano Costa Almeida, por toda ajuda, dedicação e paciência comigo para a realização deste trabalho.

À minha amiga de coração Marcela Oliveira, por todo o companheirismo e suporte em tudo na minha vida.

Ao meu namorado Ricardo Fonseca, pela compreensão neste momento, suporte e incentivo em meus projetos.

À UFPE e a todos os docentes do Departamento de Engenharia Química, por todos os ensinamentos e o importante papel no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À LM Wind Power, por todo suporte de realização de testes e compilação de dados.

Aos engenheiros José Lucas Vasconcelos, Milton Fraga, Laís Alves e Lucas Barreto, pelo apoio, incentivo e suporte na construção deste trabalho.

## RESUMO

A energia é um subsídio fundamental para as atividades humanas sendo utilizada em diferentes territórios e espacialidades geográficas. Um tipo de energia sustentável relevante é a energia eólica, para obtê-la é necessário a fabricação de torres com pás eólicas. Este trabalho realizado na LM Wind Power, uma fábrica de pás eólicas, analisou o tempo de cura do compósito e a proporção de peróxido metiletil cetona ideal para o compósito utilizado na fabricação dessas pás. Tais compósitos são formados por fibras de vidro, núcleo tipo balsa e pela reação de resina poliéster insaturada com peróxido de metiletil cetona. As pás eólicas são mecanismos importantes para a produção de energia eólica e devem ser estruturalmente estáveis, qualquer tipo de comprometimento pode gerar um ponto de fraqueza, o que pode causar quebra do componente e possível acidente em parque eólica em pleno funcionamento. Com o objetivo de chegar a um compósito com menos defeitos em sua estrutura testes foram realizados a fim de diminuir o tempo de reparo e garantir a qualidade. Através do teste de reatividade foi possível entender o comportamento da resina de poliéster separando grupos de peças de compósito para interpretação do que afeta a utilização de uma resina com maior tempo de gelificação, maior tempo para atingir o pico exotérmico, menor e maior temperatura do pico exotérmico. Assim esses dados foram correlacionados com os defeitos formados e foi possível encontrar o ponto ótimo para obter um compósito de boa qualidade sem falhas na estrutura do material. A análise identificou a proporção de 2,5% de peróxido e tempo de cura de 4 horas como padrão para a produção adequada.

**Palavras-Chaves:** Energia. Proporção de Peróxido. Tempo de Cura. Defeito.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais partes de um aerogerador. ....	18
Figura 2- Classificação de compósitos de acordo com o tipo de reforço .....	22
Figura 3- Classificação dos Materiais Compósitos quanto à Matriz .....	23
Figura 4: Teste de Reatividade .....	26
Figura 5– Defeito na estrutura do compósito .....	27
Figura 6: Curvas de Reatividade da Resina GT150 .....	28
Figura 7: Curvas de Reatividade da Resina GT100 .....	29
Figura 8: Curvas de Reatividade da Resina GT80 .....	29
Figura 9: Análise de quantidade e metragem dos defeitos do grupo 1 por peça .....	31
Figura 10: Análise de quantidade e metragem dos defeitos do grupo 3 por peça .....	33
Figura 11: Análise de quantidade e metragem dos defeitos do grupo 4 por peça .....	36
Figura 12: Análise de quantidade e metragem dos defeitos do grupo 7 por peça .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Características dos grupos que utilizaram o fornecedor A de peróxido com tempos de cura diferentes e proporção diferente de peróxido .....	30
Tabela 2– Características e resultados dos grupos 1 e 3 de compósitos.....	31
Tabela 3– Resultados do teste de reatividade da resina e peróxido da peça 700 .....	32
Tabela 4– Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido das peças 701, 702 e 703 .....	32
Tabela 5– Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 3 de compósitos.....	33
Tabela 6- Características e resultados dos grupos 1 e 2 .....	34
Tabela 7– Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 2Tabela 7 – Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 2 .....	34
Tabela 8- Características e resultados dos grupos 2 e 4. ....	35
Tabela 9- Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 4.....	36
Tabela 10- Características e resultados dos grupos 6 e 7 .....	37
Tabela 11- Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 6 .....	38
Tabela 12 - Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 7, até a peça 792 .....	38
Tabela 13- Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 7, entre as peças 793 e 811.....	39
Tabela 14- Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 7, entre as peças 812 e 828.....	39



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>10</b>
1.1.1	Objetivos específicos .....	10
<b>2</b>	<b>ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>SUSTENTABILIDADE .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>ENERGIA EÓLICA.....</b>	<b>16</b>
2.2.1	Rotor .....	18
2.2.2	Gerador .....	19
2.2.3	Torre.....	19
2.2.4	Pás Eólicas .....	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO TESTE DE REATIVIDADE .....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>RESINAS .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>GRUPOS PARA ANÁLISE.....</b>	<b>30</b>
4.2.1	Mesmo tempo de cura e mesma proporção de peróxido (2.3%).....	31
4.2.2	Mesma proporção de peróxido e tempo de cura diferente .....	34
4.2.3	Mesmo tempo de cura e proporção de peróxido diferentes .....	35
4.2.4	Mesmo tempo de cura e mesma proporção de peróxido (2.5%).....	37
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Utilizada em diferentes territórios e espaços geográficos, a energia é algo fundamental para todas as atividades humanas. Cada país tem sua própria matriz energética, pois elas estão associadas aos recursos disponíveis de cada local. Esse potencial energético depende de quais recursos naturais estão disponíveis e acima disso, o país em questão deve monitorar sua disponibilidade, pois é preciso que exista aproveitamento e recuperação destes recursos evitando a escassez futura. (RAMPINELLI; ROSA JUNIOR, 2021).

Muitos pesquisadores de diferentes áreas tanto industriais, quanto aeronáuticas, automobilística e elétrica têm identificado problemas relacionados a questões ambientais, além do alto custo das matérias primas de origem fóssil, o que tem ocasionado a busca por materiais renováveis, biodegradáveis e mais econômicos (ARDANUY, ANTUNES, VELASCO, 2012). Nesse grupo se encaixam os compósitos verdes que são compostos de matrizes de origem vegetal e fibras naturais (PENJUMRAS et al., 2015).

De acordo como Relatório Brundtland (1988), o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforça o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações futuras. Enfim, é o que atende às necessidades do presente não comprometendo as possibilidades das gerações futuras (BAITELO; MOREIRA et al, 2012).

A necessidade de geração de energia de forma sustentável, seja por custo, seja por pensar nas gerações futuras é algo de muito significado e importância. É preciso pensar nas maneiras que se pode gerar energia, a hidrelétrica é agressiva ao meio ambiente, pois afeta diretamente a vazão dos rios e depende muito do clima da região. Vários estados brasileiros têm sofrido diretamente por conta da falta de chuva, o que tem gerado transtornos e racionamento de água (IAQUINTO, 2018). Um tipo de energia que preenche todos estes requisitos é a energia eólica. Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos (e moinhos) para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água. (GASCH; J. TWELE, 2002)

Dentre os principais benefícios ambientais da geração eólica, está a baixa emissão de gases de efeito estufa atrelada à cadeia energética do setor. A operação dos parques não apresenta emissão de gases e a produção e transporte de pás e torres implica em emissões de apenas 9 g de CO<sub>2</sub>-equivalente para cada kWh gerado, ou cerca de 100 vezes menos do que as emissões médias de uma térmica a carvão (BAITELO, 2012).

Diante do exposto, o estudo sobre a energia eólica abrange questões importantes como a geração de energia, fabricação das estruturas necessárias para as torres eólicas, o questionamento levantado gira em torno dessas questões, destacam-se dúvidas relacionadas aos compósitos usados nas pás eólicas (BAITELO, 2012).

Esse trabalho foi desenvolvido na LM Wind Power, fábrica de manufatura que produz pás eólicas. A motivação do estudo é o fato de que pás eólicas são feitas de compósitos que precisam de uma estrutura segura e defeitos podem gerar pontos de fragilidade no material.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o tempo de cura de compósito formado pela reação de resina poliéster com peróxido de metiletil cetona. Trata-se do estudo do comportamento químico entre resina e peróxido, diferentes resinas com diferentes concentrações de peróxido trazem um resultado diferente. Tempo de gelificação diferente, pico exotérmico diferente, além do resultado do compósito, suas propriedades.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar o tempo de cura e a proporção de peróxido de metiletil cetona para diminuir os defeitos na estrutura do compósito.
- Determinar uma relação entre os valores de tempo de gelificação, tempo e temperatura de pico exotérmico da resina de poliéster insaturada e do peróxido de metiletil cetona utilizados e os defeitos formados no compósito.

## 2 ESTADO DA ARTE

Trata-se da literatura envolvida no assunto, o estudo do compósito e suas características passa pela ideia de energia, sustentabilidade, energia eólica e seus componentes.

### 2.1 SUSTENTABILIDADE

Durante muitos anos, o homem foi aprimorando diferentes fontes de energia em benefício próprio, aconteceu com o uso do fogo, do armazenamento de alimentos e depois com a diversificação do trabalho, visando o aumento de seu conforto, foi obrigado a elaborar novas formas de energia (FARIAS; SELLITTO, 2011).

Sendo assim, o termo sustentabilidade vem ganhando destaque ao longo dos anos no cenário mundial, devido ao surgimento de vários problemas ambientais no planeta causados pelas consequências das ações agressivas do homem para com a natureza, que busca cada vez mais remover recursos do meio ambiente para satisfazer suas vontades, sem se preocupar com a escassez dos recursos necessários para a conservação humana e animal, criando uma verídica crise ambiental (IAQUINTO, 2018).

Segundo Sachs (2002), “o conceito de desenvolvimento isento em harmonia com a natureza deve permear todo nosso modo de pensar”, ou seja, refere-se a uma modernização do modo de pensar do ser humano em relação a si mesmo e ao próximo, além de toda a atmosfera do qual houver.

Como uma melhor forma de compreensão sobre a sustentabilidade, pode-se afirmar que:

[...] princípio constitucional que determina, com eficácia direta e imediata, a responsabilidade do Estado e da sociedade pela concretização solidária do desenvolvimento material e imaterial, socialmente inclusivo, durável e equânime, ambientalmente limpo, inovador, ético e eficiente, no intuito de assegurar, preferencialmente de modo preventivo e precavido, no presente e no futuro, o direito ao bem-estar (FREITAS, 2012).

Diante de tudo que foi apresentado relacionado a sustentabilidade na atualidade, chega-se à conclusão de que é inquestionável sua importância em todas as áreas da

sociedade, significando um autêntico convívio entre o homem e o meio ambiente, na busca incessante do equilíbrio ambiental e humano (IAQUINTO, 2018).

Com a globalização, o crescimento das cidades, a tecnologia, a qualidade de vida foi mudando, aconteceram mudanças nos padrões e nas relações de trabalho e na sociedade em geral. A degradação do meio ambiente colocou grandes empresas em posições desconfortáveis devido à falta de cuidado com a vida no planeta, a poluição desenfreada e o desperdício acabaram por induzir os governos a mobilizarem as grandes empresas a terem mais cuidado com os problemas causados por suas indústrias junto às questões ambientais. Diante disso, começaram a adotar políticas de prevenção e a disseminar a sustentabilidade, focando em reciclagem, reaproveitamento. Isso fez com que as empresas além de gerarem empregos, potencializassem os lucros e pagassem os impostos que deveriam cumprir todas as questões legais tanto no âmbito ambiental quanto no trabalhista. Imediatamente, o conceito de responsabilidade social passou a ser inserido almejando os anseios da sociedade de forma mais ampla no âmbito socioambiental. (LA ROVERE, 2001).

Diante do exposto, posteriormente, as empresas começaram a buscar formas de melhorar a atividade de controle ambiental em suas funções gerenciais para aperfeiçoar e acompanhar todos os processos produtivos afim de minimizarem os efeitos e prevenirem as práticas poluidoras e impactantes ao meio ambiente, desde a seleção da matéria-prima, fornecedores, produtos menos nocivos à saúde até a integração da empresa com o meio interno e externo a organização, aprimorando uma atitude empresarial mais ativa e criativa, surgindo assim a Gestão Ambiental. Uma área de grande importância que contribui para gerir os danos causados ao meio ambiente dentro ou fora de grandes empresas.

Nos últimos anos a responsabilidade socioambiental ganhou espaço no mundo corporativo, a busca desenfreada pela sustentabilidade em vários empreendimentos e insumos aponta diretamente sobre a importância de um comprometimento organizacional mais responsável com o meio ambiente e com o próximo, e exalta as vantagens competitivas adquiridas pelo cenário sustentável no contexto dos negócios socioambientais já existentes atualmente. (RIBEIRO; CORRÊA; PIEROT, 2012)

Diante do crescente panorama o mundo dos negócios mudou, e o conceito de uma organização de sucesso passou a conciliar responsabilidade socioambiental corporativa

para melhor atender a empresa e por outro lado à sociedade, impondo aos gestores maior responsabilidade na evolução, na criação e no oferecimento de produtos de qualidade, sem comprometer o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas (RIBEIRO; CORRÊA; PIEROT, 2012).

A energia é responsável pela produção de trabalho, ação ou movimento. Pode-se destacar diversos tipos de energia: energia cinética que está relacionada ao movimento, a energia mecânica que está ligada à força, a energia térmica associada à temperatura, a energia elétrica que se relaciona ao potencial elétrico, hidrelétrica que está ligada à água, além da energia química que se liga às reações químicas, solar que vem do sol, nuclear ou atômica que é aquela ligada à desintegração do núcleo da matéria e a energia eólica que deriva do vento.

Todos os seres humanos precisam de algo relacionado a este tipo de energia. A energia elétrica é produzida a partir da energia mecânica de rotação de um eixo de uma turbina que movimenta um gerador. Esta rotação é causada por diferentes fontes primárias, como por exemplo, a força da água que cai (hidráulica), a força do vapor (térmica) que pode ter origem na queima do carvão, óleo combustível ou, ainda, na fissão do urânio (nuclear). (BAITELO, 2012)

Com o intuito de produção de energia, são utilizados muitos recursos renováveis e não renováveis, a maior parte nas usinas sejam elas hidrelétricas, nucleares, ou termoelétricas que acabam adquirindo o produto diretamente da natureza e transformando na energia necessária aos seres humanos. (SIMONETTI, 2011)

Esse processo acaba por ser degradante, tanto para os homens quanto para o meio ambiente, as usinas lançam gases e resíduos tóxicos na atmosfera e isso ocasiona problemas sérios de contaminação hidrográfica, rios e mares, por exemplo, além de proliferar doenças com a poluição de terras.

Os locais de onde são extraídas a energia são chamadas de fontes, podem ser primárias quando se originam da própria natureza, riquezas naturais em estado bruto que podem ter aproveitamento econômico, como água, sol, vento, carvão, urânio e petróleo. As fontes são os locais de onde pode se extrair a energia. Essas fontes primárias acabam por se tornar secundárias nos centros de transformação de energia, citando por exemplo, as usinas, como dito anteriormente. (SIMONETTI, 2011)

Existem também as fontes de energia não renováveis e as renováveis. As que não se renovam, são as encontradas na natureza, em grande quantidade, mas que ao se esgotar não se regeneram. Possuem reservas finitas visto que demoram muito tempo para se

formar. Não podem ser chamadas de limpas pois causam poluição. Nesse caso pode-se encaixar os combustíveis fósseis: petróleo e carvão, além do xisto e do próprio gás natural. Além disso as matérias primas que são usadas na produção de energia nuclear como o urânio e o tório, prejudiciais também são chamadas de energias não renováveis. (SIMONETTI, 2011)

As energias renováveis se regeneram de forma espontânea ou por intervenção do homem e dessa forma podem ser chamadas de energias limpas:

- Hidrelétrica - obtida pela força da água dos rios;

É a energia da queda d'água que é convertida em eletricidade. Uma Usina Hidrelétrica, também chamada de Usina Hidroelétrica ou Central Hidroelétrica, é uma obra de engenharia que usa a força das águas para gerar energia.

Hidrelétrica é a instalação onde a energia potencial da gravidade d'água é transformada, primeiramente, em energia mecânica e depois elétrica. Pode ou não ter reservatório de acumulação, dependendo se a quantidade de água disponível sofre fortes variações ao longo do ano. Quando não tem reservatório ou este não é usado para acumulação ou regularização de fluxo, diz-se que a hidrelétrica opera a fio d'água. (MÜLLER, 1995, p.19).

O uso desse tipo de energia possui vantagens e desvantagens.

Esse tipo de modelo energético implantado no país, que leva à construção de grandes usinas hidrelétricas, causa sérios prejuízos ao meio ambiente e às populações atingidas. A formação dos reservatórios das usinas hidrelétricas atinge geralmente solos mais férteis e terras agricultáveis, desintegrando a população local que perde suas características históricas, identidade cultural e suas relações com o lugar, além da alteração nos ecossistemas aquáticos e a destruição da flora e da fauna.

Mesmo não emitindo poluentes acaba agredindo o meio ambiente de alguma forma, pois para a construção das Usinas para geração de energia ocorrem muitos impactos ambientais: alagamento de áreas, destruição de ecossistemas (fauna, flora, solo), extinção de espécies, destruição de comunidades ribeirinhas, quilombolas e indígenas. (MARTINS;GUARNIERI;PEREIRA, 2008).

O cenário brasileiro possui hidrelétricas como fonte principal de energia alternativa. No entanto, com o crescente aumento populacional, industrial e agrícola, o consumo de energia vem aumentando no país e, além disso, as frequentes estiagens

acarretam crises hídricas, que prejudicam a oferta de energia no país, bem como o consumidor final. Um dos principais motivos é que em períodos de seca há diminuição dos reservatórios nas usinas hidrelétricas, responsáveis pela maior parte da produção de energia elétrica no país. Com isso, a geração de energia elétrica fica prejudicada e as concessionárias precisam contratar energia mais cara, como as usinas termelétricas. Por consequência, os consumidores finais recebem cobranças adicionais na conta de luz e o valor é repassado para as companhias, a fim de se compensar os altos gastos nesses períodos. Nesta perspectiva, faz-se necessária uma melhor diversificação da matriz energética brasileira, a fim de que as concessionárias de energia elétrica possam oferecer um serviço mais acessivo e de melhor qualidade à população.

Neste contexto, entende-se que a importância de se amenizar a quantidade de poluentes no meio ambiente deve-se ao fato de que um dos principais riscos ambientais enfrentados até os dias atuais é o efeito estufa, que está associado à elevação do consumo de energia, ou seja, quando se utiliza fontes que emitem gases poluentes na atmosfera. Portanto, a relevância fundamental de se estudar os sistemas fotovoltaicos parte da preocupação com a presente utilização das fontes de energia, bem como com as futuras gerações. Outra grande preocupação é com a escassez do petróleo, tendo em vista que a reserva de combustíveis fósseis está se esgotando. A energia que movimenta a atividade econômica é fornecida pela queima de combustíveis fósseis, que produz o dióxido de carbono (PIVA, 2010).

- Solar - obtida da energia do sol;

A energia solar é uma energia renovável obtida pela luz do sol, utilizada para o aquecimento de água (energia térmica) ou como fonte de energia elétrica. Ela é proveniente da luz do sol e obtida por meio de placas solares, que têm como função captar a energia luminosa e transformá-la em energia térmica ou elétrica. Além disso, esse tipo de energia pode ser obtido nas usinas solares compostas por inúmeros painéis que captam a energia do sol. (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

Segundo o INPE (2017), a energia solar é uma fonte inesgotável, uma vez que a escala de tempo da vida no planeta Terra deve ser considerada. O sol é uma estrela média que irradia energia devido às reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênios para formar Hélio e, por este motivo, o sol é uma das possibilidades energéticas mais vantajosas para a humanidade



Suas vantagens são o fato de ser renovável, limpa e barata e exige pouca manutenção, mas os custos elevados das placas para sua utilização tornam isso uma desvantagem, além de exigir muita matéria prima para fabricar estas placas que gera demanda na exploração de recursos como o silício por exemplo.

A energia total que incide sobre a Terra - radiação solar - depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano) e, portanto, estão relacionados com o movimento de rotação e de translação. Muitas são as aplicações da fonte de energia solar provenientes dos raios solares. Pode-se destacar a geração direta (energia solar fotovoltaica) e indireta (energia heliotérmica, conversão de irradiação solar em calor para geração de energia elétrica) de eletricidade, além da energia solar térmica (geração de calor para aquecer fluidos, bem como secagem e aquecimento industrial). (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

- Geotérmica - provém do calor do interior da terra;
- Biomassa - obtida de matérias orgânicas;
- Oceanos - obtida pela força das ondas – Maré Motriz;
- Hidrogênio - provém da reação entre hidrogênio e oxigênio que libera energia;
- Eólica - obtida pela força dos ventos

## 2.2 ENERGIA EÓLICA

O meio ambiente constantemente passa por várias modificações ao longo do tempo resultante tanto dos fenômenos naturais quanto dos efeitos ocasionados pela ação humana. A enorme disparidade é que as mudanças naturais possuem um processo mais lento que as modificações provocadas pela ação do homem não possibilitando fácil recuperação da natureza, resultando no aumento significativo de áreas urbanas, demandando por mais energia (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

A forma mais antiga de utilização dos ventos para a obtenção de energia mecânica ainda é feita através de moinhos, cata-ventos e barcos a vela. Porém, atualmente, a energia eólica representa uma fonte alternativa e renovável para geração de energia elétrica. A conversão da energia cinética dos ventos em eletricidade é feita através de aerogeradores, que são constituídos, basicamente, por: turbina ou rotor eólico; sistemas integrados ou auxiliares, como o sistema de orientação, a caixa de multiplicação de velocidade, e o

sistema de segurança; e um gerador elétrico, o rotor, responsável por transformar a energia cinética em energia mecânica, é o primeiro estágio da conversão. Os outros dois são: transmissão mecânica e multiplicação de velocidade; e, por fim, o próprio gerador, responsável por converter a energia mecânica em energia elétrica. O sistema de segurança, composto basicamente por freios, é um sistema auxiliar necessário para controlar o giro da turbina em condições adversas de operação. O regime de ventos não é constante e a conexão da turbina à rede elétrica pode provocar oscilações e sobre tensões. A quantidade de eletricidade que pode ser gerada pelo vento depende de quatro fatores: da quantidade de vento que passa pela hélice, do diâmetro da hélice, da dimensão do gerador e do rendimento de todo o sistema. (PICOLO, 2014)

Entretanto, um dos empregos que tem se tornado cada vez mais importante em todos os países é o aproveitamento da energia eólica para geração, em razão desta fonte ser limpa e renovável, ou seja, que não gera nenhum tipo de poluição e não agride o meio ambiente. Este tipo de energia por ser utilizada em três diferentes aplicações como sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede e os três sistemas respeita uma configuração, exigindo uma unidade de controle de potência e em determinados casos de uma unidade de armazenamento (GONTIJO, 2013).

A energia eólica é a segunda maior matriz energética do Brasil, mesmo com questões de crise econômica derivadas da pandemia do Covid-19 segue sendo um setor em pleno crescimento (SAMPAIO; BATISTA, 2021).

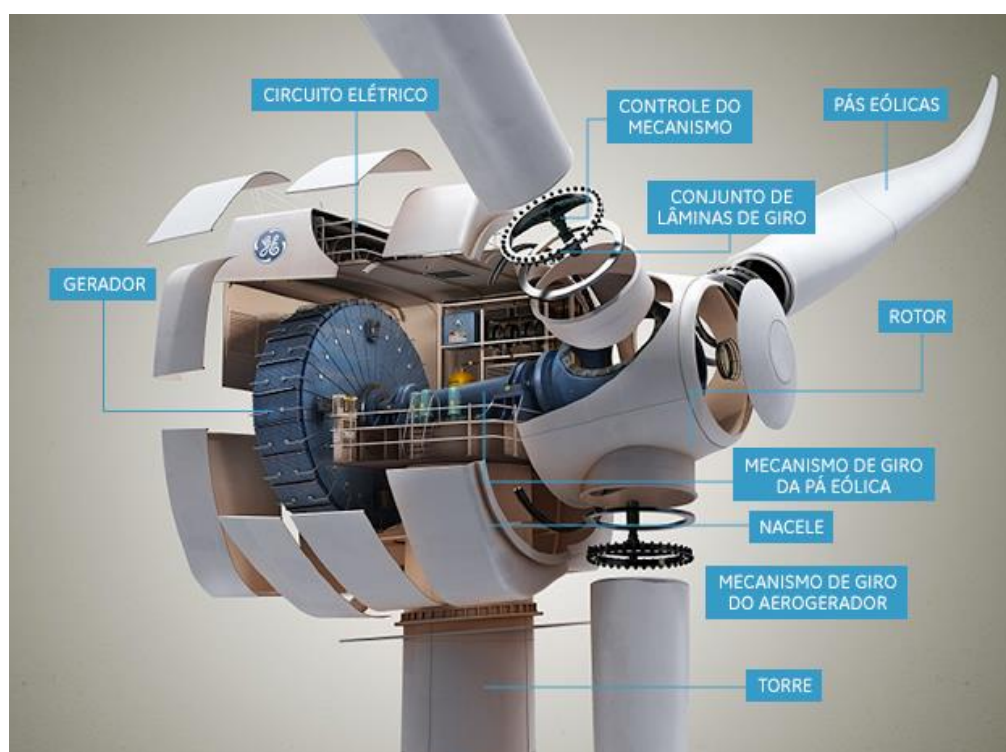
Os mecanismos de aproveitamento para a produção de energia eólica se dão por meio das grandes turbinas (aerogeradores) eólicos que tem destino principal maximizar o aproveitamento do vento para a produção de energia, respeitando os seguintes fatores como locais com muito e pouco vento, conexão aos sistemas elétricos locais, integração com o meio ambiente e impacto visual. Na atualidade existem diversos tipos de estruturas de turbinas eólicas, entretanto com o passar dos anos e o rápido desenvolvimento tecnológico constituiu-se a estruturação com os seguintes parâmetros: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não flexível. E referente a suas propriedades externas como altura e capacidade de geração, as turbinas são classificadas como pequenas, médias e grandes (GONTIJO, 2013; MACHADO, 2015).

A energia renovável é uma solução para o problema energético global. Além disso, tem impactos socioeconômicos benéficos, como a diversificação do fornecimento de energia, aumentando as oportunidades de desenvolvimento regional e rural e a criação e oportunidades de emprego. No entanto, a energia renovável pode criar problemas

ambientais em um habitat ou em uma comunidade, uma vez que o impacto ambiental das turbinas eólicas é ainda um assunto controverso, mas não deve ser ignorado. Pequenas questões hoje podem causar efeitos desastrosos no futuro, quando a energia eólica se torna uma das principais fontes de energia. Portanto, a energia eólica tem um futuro ainda mais promissor com a conscientização pública das suas vantagens como fonte renovável de energia e a progressiva competitividade econômica. As questões ambientais estão cada vez mais difundidas e atitudes em favor ao meio ambiente estão se tornando parte integrante dos processos.

Hoje, a energia eólica é a mais buscada entre as fontes de energia renováveis. Gerada com a movimentação de grandes turbinas conhecidas por aerogeradores, em formato de cata-vento ou de moinhos, utiliza as pás eólicas (Figura 1).

Figura 1 – Principais partes de um aerogerador.



Fonte: GE, 2017.

O aerogerador é composto pelos seguintes subconjuntos:

### 2.2.1 Rotor

É o componente que efetua a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação. No rotor são fixadas as pás da turbina. Todo o conjunto é

conectado a um eixo que transmite a rotação das pás para o gerador, muitas vezes através de uma caixa multiplicadora. (PICOLO, 2014)

### **2.2.2 Gerador**

É o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, o qual pode incluir: caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico, sistema hidráulico etc. (PICOLO, 2014).

### **2.2.3 Torre**

É o elemento que sustenta o rotor e a nacelle na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo inicial do sistema. Em geral, as torres são fabricadas de metal (treliçada ou tubular) ou de concreto. As torres de aerogeradores de pequeno porte são estaiadas (sustentadas por cabos tensores) enquanto as das turbinas de médio e grande porte são autoportantes. (PICOLO, 2014)

### **2.2.4 Pás Eólicas**

A energia eólica é uma fonte de energia oriunda do aproveitamento da força dos ventos. O aquecimento desigual da superfície da Terra pelo Sol é a maior responsável pelo surgimento dos ventos (TONG, 2010), pode-se afirmar então que a energia eólica é renovável e virtualmente inesgotável.

Atualmente, a energia mecânica dos ventos é convertida em energia elétrica através de turbinas eólicas. Essas máquinas convertem a força do vento através de pás que fazem girar um eixo acoplado a um gerador elétrico. As pás eólicas são um dos maiores e mais complexos componentes da turbina. Uma das formas de fabricação é a união de várias estruturas feitas em compósitos. Essa união se dá na forma de juntas adesivas, um método que apresenta muitas vantagens, tais como a uniformização da distribuição de tensões, a alta resistência dinâmica e a possibilidade de se unir grandes superfícies, como as encontradas na fabricação de pás (BROCKMANN et al, 2009). Por outro lado, as juntas adesivas apresentam desvantagens como a necessidade do cumprimento de requisitos específicos de produção e a quase obrigatoriedade do

tratamento superficial dos aderentes (BROCKMANN et al, 2009), tornando-as uma das causas mais comuns de falhas estruturais de pás.

Segundo SØRENSEN et al (2010) as pás de uma turbina eólica moderna são os maiores componentes em rotação da turbina e são projetadas para uma vida útil de 20 anos, o que corresponde a um número de rotações (RPM do rotor multiplicado pela quantidade de pás eólicas) na ordem de  $10^8$  a  $10^9$ . Esse elevado número de ciclos torna a fadiga uma das variáveis de maior relevância no projeto estrutural e escolha de materiais da pá.

Os materiais utilizados nas pás devem possuir baixa densidade, alta resistência, resistir à fadiga e ser tolerantes a danos (SØRENSEN et al, 2010). A maioria das grandes pás utiliza fibra de vidro tipo E ou fibras de carbono como reforços. As matrizes mais comuns são polímeros de poliéster, epóxi ou vinil-éster.

Madeira balsa ou espuma PVC são utilizadas como núcleo dos painéis sanduíche (SØRENSEN et al, 2010). O processo de fabricação predominante de pás eólicas é a infusão assistida a vácuo. Em uma primeira etapa, os reforços na forma de tecidos são acomodados em moldes com a geometria das cascas intra e extra. Para pás com configuração mesa/alma, as mesas pré-fabricadas são posicionadas ainda nesta etapa, juntamente com os núcleos de balsa ou PVC.

As turbinas são instaladas em regiões onde há os ventos chamados predominantes. Seu funcionamento é basicamente feito pela transformação da energia cinética, em energia mecânica ou energia elétrica. Esse movimento gera energia cinética que pode ser transformado em energia elétrica a partir da movimentação das turbinas. Como desvantagem pode-se citar que os equipamentos têm duas limitações: não funcionam sem vento, e este em excesso os danifica. (SØRENSEN et al, 2010)

Quando se menciona o assunto energia eólica muitas perguntas são feitas. São questionamentos relacionados a fabricação das pás, quais as estruturas necessárias ao funcionamento das torres e até mesmo sobre o processo de fabricação desses equipamentos.

#### *2.2.4.1 Resinas*

As resinas de poliéster são os polímeros termorrígidos mais utilizados industrialmente já que apresentam boas propriedades como boa aderência a diversos

substratos e estabilidade dimensional, baixa contração durante a cura (tensões residuais), boa resistência à tração e à compressão, resistência química, alta resistência elétrica, baixa viscosidade, cura a temperatura ambiente, custo razoável e facilidade de processamento. Apesar disso, estas resinas são frágeis após o processo de cura quando comparadas às termoplásticas, devido às tensões localizadas que geram micro trincas e podem causar fratura prematura e pequenas deformações (ASHRAFI et al., 2011; CHEN, JACOBS et al., 2007; FONTOURA, 2009; MARTINEZ, 2011; ZACHARUK et al., 2011).

A resina ajuda a prevenir a abrasão das fibras, mantendo suas posições e mantendo-as separadas. A maior parte das resinas utilizadas em compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras de vidro varia em termos de resistências mecânica, química e térmica. Adicionando e variando a concentração de aditivos como carga (filler), pigmento, sistema de catalisador, entre outros, a formulação obtida influenciará no desempenho da resina. (LIMA SOBRINHO, 2005)

As resinas poliéster curadas são conhecidas por sua fraca resistência química, principalmente à hidrólise. Já as resinas epóxi apresentam dificuldade de processamento, em virtude da alta viscosidade, longo ciclo de cura, e toxicidade de alguns de seus endurecedores. No período de cura, a resina polimérica sofre redução de volume devido ao rearranjo e reorientação das próprias moléculas. Nas resinas poliéster e vinil éster, que apresentam estruturas químicas semelhantes, a reação de cura é mais complexa porque muitos processos ocorrem simultaneamente e, desta forma, alguns sítios reativos podem não reagir durante o processo de cura (ALVES, 2006).

Dentre as resinas utilizadas como matrizes reforçadas com fibras de vidro têm-se: poliésteres, epóxi, vinil éster, fenólicas, acrílicas e algumas resinas termoplásticas, tais como: nylon, policarbonato, poliestireno, entre outras. No entanto, as resinas termorrígidas são as mais utilizadas em aplicações estruturais. Dentre elas, as resinas poliéster, vinil éster e epóxi respondem por cerca de 90% dos sistemas poliméricos de resinas termorrígidas usados em compósitos estruturais. (LIMA SOBRINHO, 2005)

Daí a necessidade do estudo da variação na concentração de peróxido e do tipo da resina para obter um compósito com as propriedades necessárias: robusto, flexível e que permita a maior eficiência em obtenção de energia.

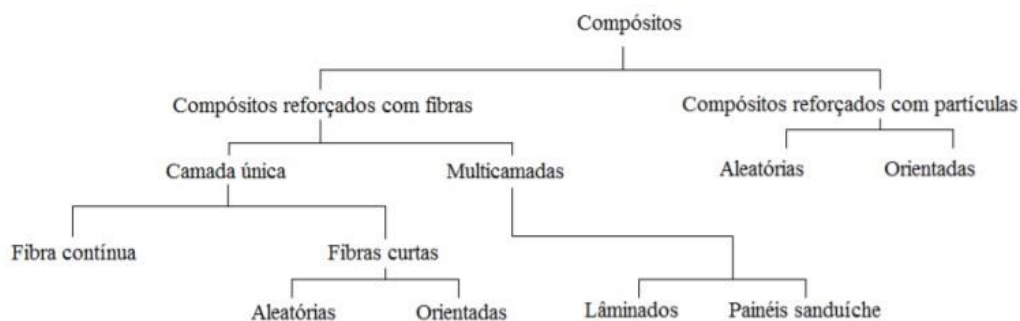
#### *2.2.4.2 Compósitos*

O compósito é qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Já de acordo com a norma ASTM D3878 (2007), os compósitos podem ser definidos como um sistema formado por duas ou mais fases constituintes de composições e estruturas distintas, insolúveis entre si e separados por uma interfase com propriedades superiores que não se encontram nos materiais isoladamente.

Uma das funções do reforço é melhorar as propriedades mecânicas da matriz, enquanto a matriz distribui as cargas mecânicas entre os reforços e os protege contra agentes externos (LEVY NETO; PARDINI, 2006). Uma das formas de classificação de compósitos considera o tipo de reforço empregado, como mostra a Figura 2.

Figura 2- Classificação de compósitos de acordo com o tipo de reforço



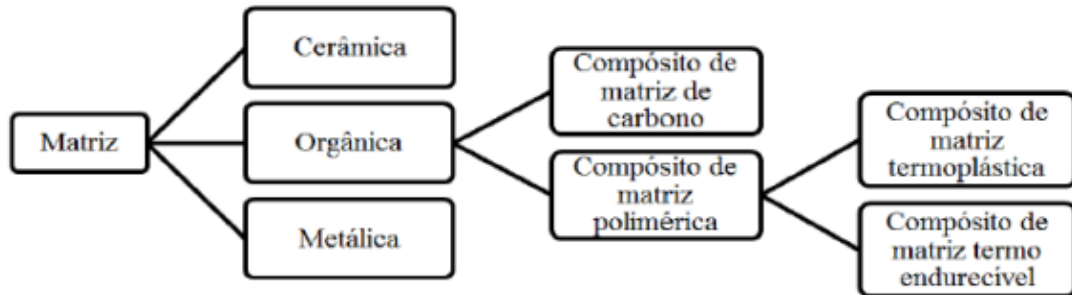
Fonte: (adaptado de LEVY NETO;PARDINI, 2006)

Muitos materiais compósitos são compostos por apenas duas fases; uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada frequentemente de fase dispersa. O compósito é constituído de resina epóxi, reforçado com fibras de vidro e revestido com poliuretano.

Compósitos reforçados com fibras oferecem propriedades mecânicas superiores. Quase todos os materiais altamente resistentes e rígidos falham por causa da propagação de defeitos. A fibra destes materiais é uma forma intrinsecamente mais forte, pois o tamanho do defeito está limitado ao pequeno diâmetro da fibra. Um volume do material no formato de fibras é mais resistente do que o mesmo volume do material na forma contínua, pois se um defeito provocar a falha de uma fibra essa falha não irá se propagar, ao contrário do que ocorre na forma contínua do material (REINHART, 1987).

Podendo ser classificados em três grupos baseados na matriz, os materiais compósitos podem ser divididos como mostra a Figura 3.

Figura 3- Classificação dos Materiais Compósitos quanto à Matriz



Fonte: YANGA et al., (2012)



### 3 METODOLOGIA

A metodologia escolhida para este trabalho foi do tipo experimental e abordagem qualitativa. Neste tipo de estudo, o pesquisador participa ativamente na condução do fenômeno, processo ou do fato avaliado, isto é, ele atua na causa, modificando-a, e avalia as mudanças no desfecho. Diante disso o investigador seleciona as variáveis que serão estudadas, define a forma de controle sobre elas e observa os efeitos sobre o objeto de estudo, em condições pré-estabelecidas. Assim, pelo fato das variáveis, ou da variável, poderem ser manipuladas pelo pesquisador, equívocos e vieses praticamente desaparecem, sendo, por esta razão, considerada como o melhor tipo de pesquisa científica, pois proporciona maior confiabilidade em seus resultados. (SEVERINO, 2016)

Com relação à abordagem qualitativa é apropriada para quem busca o entendimento de fenômenos complexos específicos, em profundidade, de natureza social e cultural, mediante descrições, interpretações e comparações, sem considerar os seus aspectos numéricos em termos de regras matemáticas e estatísticas. Diferente da quantitativa, a pesquisa qualitativa é mais participativa, porém menos controlável e, por esta razão, tem sido questionada quanto a sua validade e confiabilidade. (SEVERINO, 2016)

Será observado o método que foi utilizado para calcular tempo de cura, gel time, pico exotérmico foram as amostras de resina que foram recolhidas e colocadas para reagir com peróxido em um tubo de ensaio, neste ambiente é colocado um termopar conectado num datalogger para registrar a temperatura com o andamento do tempo. Depois esses dados foram repassados para um computador e com uso do aplicativo LabLog os resultados são calculados.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO TESTE DE REATIVIDADE

Seguindo norma interna para realização de teste de reatividade, temos o seguinte passo a passo: o processo de cura foi acompanhado pelo comportamento térmico nas peças, que ocorre em um banho maria a uma temperatura constante (25° C). São determinados os valores de tempo de gel, temperatura de pico exotérmico e tempo de pico. O teste é realizado como uma medição dupla. Os valores são determinados utilizando a curva de temperatura em função do tempo. A resina é levada a uma

temperatura de 25° C. Então o endurecedor é misturado. Uma quantidade especificada é colocada em um tubo de ensaio, que é então colocado dentro de um tubo de teste maior, que novamente é colocado em banho-maria. Um termopar é colocado no tubo de teste interno com o endurecedor/poliéster, de acordo com a Figura 4. Tempo de gel e tempo de pico são medidos a partir do momento que o endurecedor é adicionado.

Para o cálculo utiliza-se as fórmulas 1, 2 e 3:

$$\text{Tempo de gel} = t_{35^{\circ}\text{C}} - t_{25^{\circ}\text{C}} \quad (1)$$

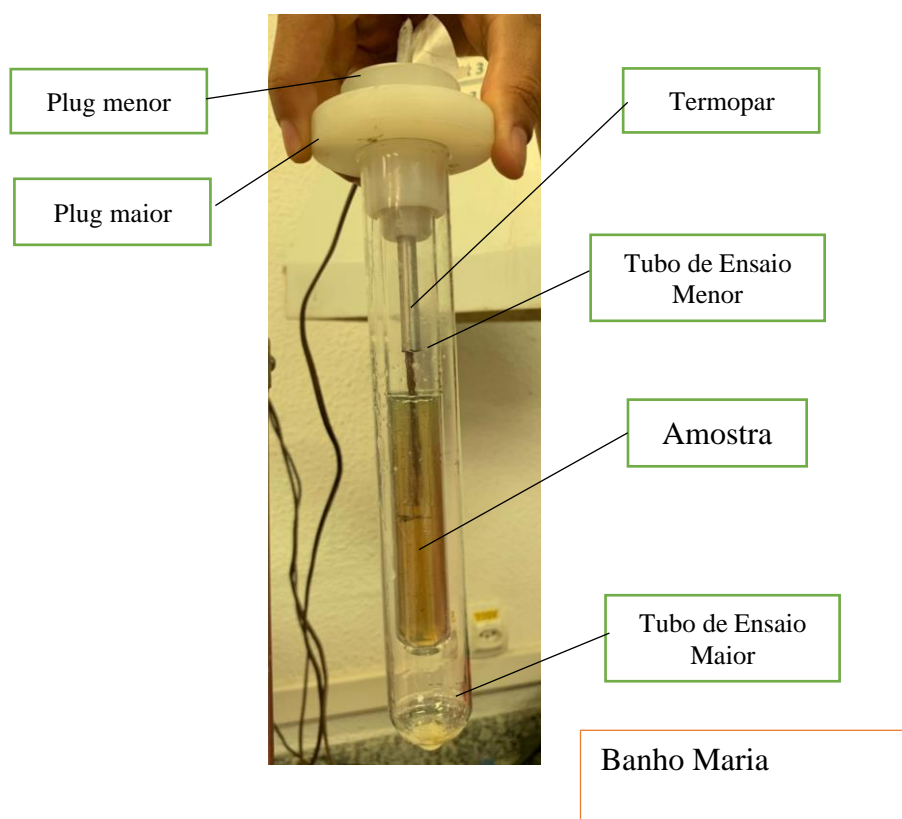
$$\text{Temperatura de pico exotérmico} = T_{\text{máx}} \quad (2)$$

$$\text{Tempo de pico} = t_{T_{\text{máx}}} - t_{25^{\circ}\text{C}} \quad (3)$$

Este procedimento mostra o método para determinação da reatividade de resina de poliéster insaturada quando iniciada com peróxido metil etil cetona ou determinar a reatividade do peróxido de específico em relação ao peróxido de referência. O método baseia-se na medição de calor gerado durante a fotopolimerização (reação de polimerização via radical livre) da resina de poliéster insaturada pré-acelerada com peróxido metil etil cetona e o tempo que leva para alcançar o pico exotérmico. Valores mensuráveis registrados são tempo de gel, o tempo de cura, tempo de pico, taxa exotérmica e o pico de temperatura exothermal.

Para cada amostra foram realizados dois testes e a média aritmética tida como resultado final a fim de reduzir erros associados, a norma interna especifica que em caso de mais de 10% de diferença entre os valores das amostras o teste deve ser repetido. Um termopar conectado a um logger de temperatura retém as informações de temperatura ao longo do tempo e assim os dados são transferidos para o computador que plota os gráficos em sistema interno confidencial.

Figura 4: Teste de Reatividade



Fonte: Autor, 2022

A norma interna indica que para iniciar o teste a resina deve atingir a temperatura de  $25 \pm 0,2$  ° C antes de iniciar o teste. Já o peróxido deve ter obtido uma temperatura de  $23 \pm 1$  ° C por no mínimo 2 horas antes de iniciar o teste.

O termopar deve ser conectado imediatamente ao data logger (nesse momento o termopar não está na mistura, mas como o termopar está conectado para o agente de log de dados, o tempo está registrado). Pressione o botão “REC” no data logger para registrar o horário atual e a temperatura do data logger

Ao executar o teste para o peróxido o mesmo deve ser efetuado como um teste comparativo onde a amostra é comparada com o peróxido de referência. Em seguida os dados registrados são enviados para o programa "LabLog", que calcula tempo de gel, temperatura de Pico exotérmico e tempo de pico (outro programa pode ser usado ou pode ser feito um cálculo manual).

Para as resinas tipo GT 150 (gel time 150 minutos) , GT 100 (gel time 100 minutos) e GT80 (gel time 80 minutos) foram utilizados 2% de peróxido metiletil cetona e a análise seguida de suas curvas de reatividade estarão discutidas a seguir. Assim como o estudo da variação da proporção de peróxido com a resina GT 100 para formação de um compósito sem defeitos em sua estrutura.

O defeito analisado é o de aparência de teia de aranha no laminado do compósito curado, geralmente é detectado em áreas de baixa densidade de fibras que implicam em uma temperatura de pico mais baixa e um tempo de cura maior. (Figura 5)

Figura 5– Defeito na estrutura do compósito



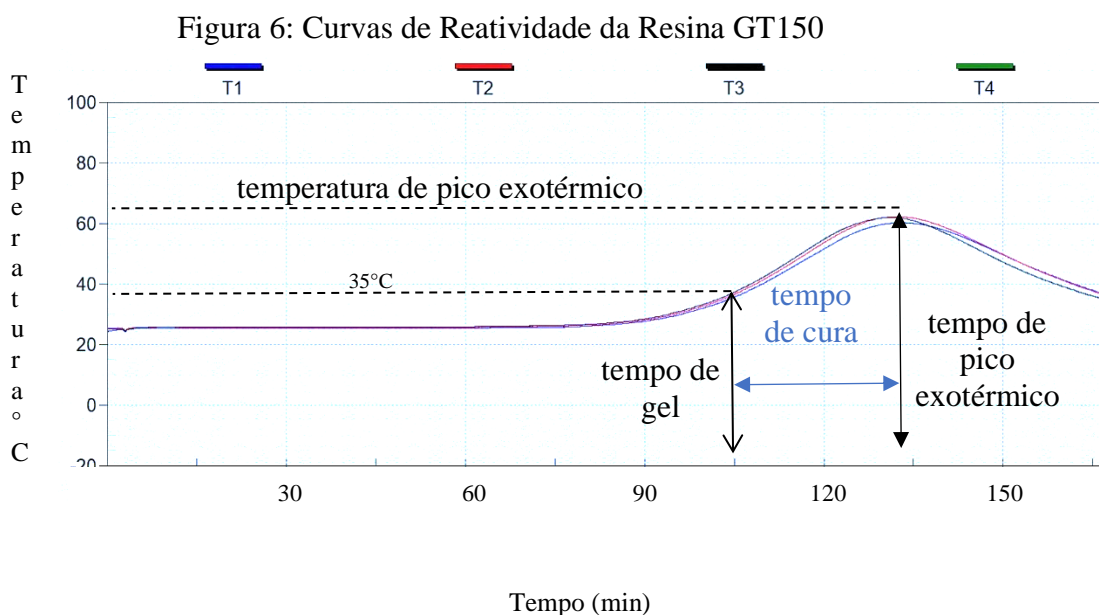
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESINAS

Para fins de entendimento da reatividade das resinas de poliéster foram realizados testes com resinas de gel time diferentes e observadas as propriedades de pico exotérmico, tempo de gelificação e tempo de cura.

Nas Figuras a seguir é possível verificar a temperatura ao decorrer do tempo, sendo as cores das curvas referentes aos dados recolhidos nos termopares utilizados no teste.

A resina GT150 foi analisada com proporção de 2% de peróxido e a partir de seus resultados foi construída uma curva de reatividade mostrada na Figura 6.

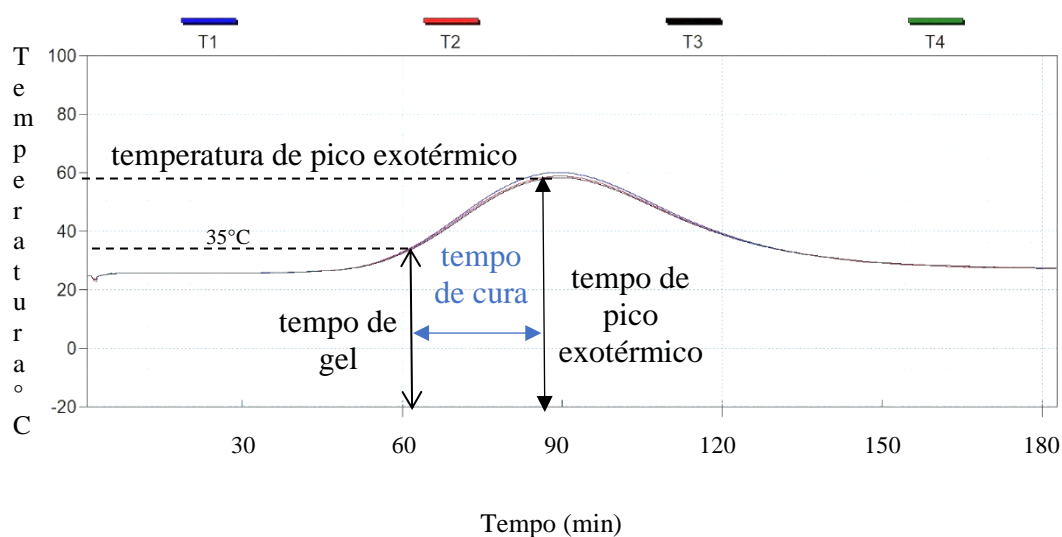


Fonte: Autor, 2022

A temperatura de pico exotérmico registrada de 60.3°C foi atingida em 128 minutos pós o início do teste de reatividade da Resina GT150. Com relação ao Gel, o tempo foi atingido em 101 minutos. O tempo de cura foi alcançado aos 27 minutos.

Na Figura 7 tem-se a curva de reatividade da GT100B obtida a partir do teste de reatividade feito com a resina e peróxido a 2% de concentração.

Figura 7: Curvas de Reatividade da Resina GT100

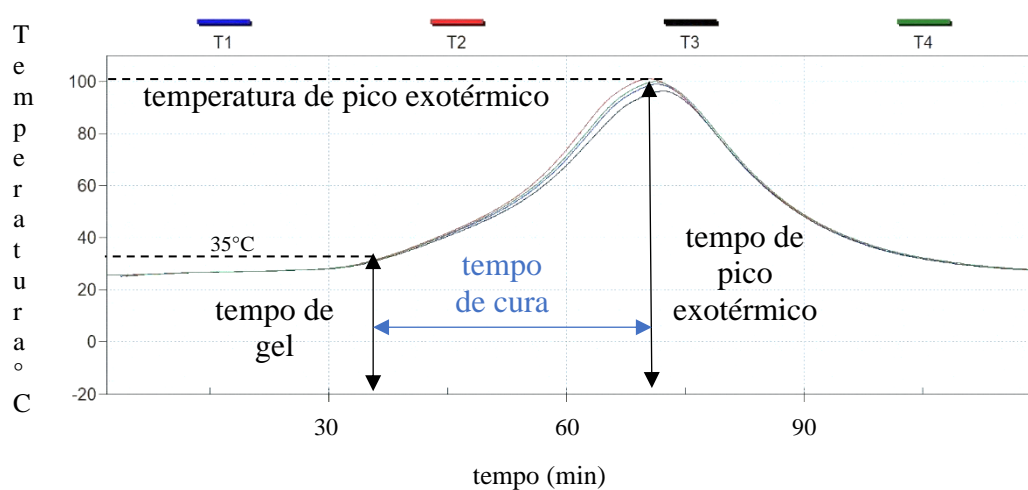


Fonte: Autor, 2022

A temperatura de pico exotérmico registrada de 58.2°C foi atingida aos 86 minutos após o início do teste de reatividade da Resina GT100. Com relação ao Gel, o tempo foi atingido aos 61 minutos. O tempo de cura foi alcançado aos 25 minutos.

E a resina com menor *gel time* analisada foi a GT80, para essa análise também foi utilizado 2% de peróxido em sua proporção e a curva de reatividade pode ser observada na Figura 8.

Figura 8: Curvas de Reatividade da Resina GT80



Fonte: Autor, 2022.

A temperatura de pico exotérmico registrada de 99.8°C foi atingida aos 66 minutos após o início do teste de reatividade da Resina GT80. Com relação ao Gel, o tempo foi atingido aos 35 minutos. O tempo de cura foi alcançado aos 31 minutos.

## 4.2 GRUPOS PARA ANÁLISE

Utilizando a Resina GT100B foram reunidos 7 grupos de peças de compósitos e analisados os efeitos de diferentes proporções e diferentes tempos de cura.

Como parâmetros para a formação do compósito levou-se em conta falhas conhecidas como teias de aranha na estrutura do material. As teias de aranha serão analisadas por média do comprimento total e quantidade de falhas presentes por peça.

Do fornecedor A tem-se 7 grupos com 2 concentrações diferentes descritos na Tabela 1.

Os testes somam um espaço amostral de 128 peças de compósitos, sendo a primeira peça de número 700 e a última de número 828.

Tabela 1– Características dos grupos que utilizaram o fornecedor A de peróxido com tempos de cura diferentes e proporção diferente de peróxido

Peça nº	700-703	704-708	709-730	731-739	740-766	767-771	772-828
Grupo	1	2	3	4	5	6	7
Tempo de Cura (h)	3:45h	3:30h	3:45h	3:30h	3:45h	4h	4h
Proporção de peróxido	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5
Fornecedor do peróxido	A	A	A	A	A	A	A
Média do comprimento defeito	6.9	12.2	8.9	8.4	9	3.3	3.3
Desvio Padrão	6.7	10.1	9.3	8.7	10.2	5.5	5.7

### 4.2.1 Mesmo tempo de cura e mesma proporção de peróxido (2.3%)

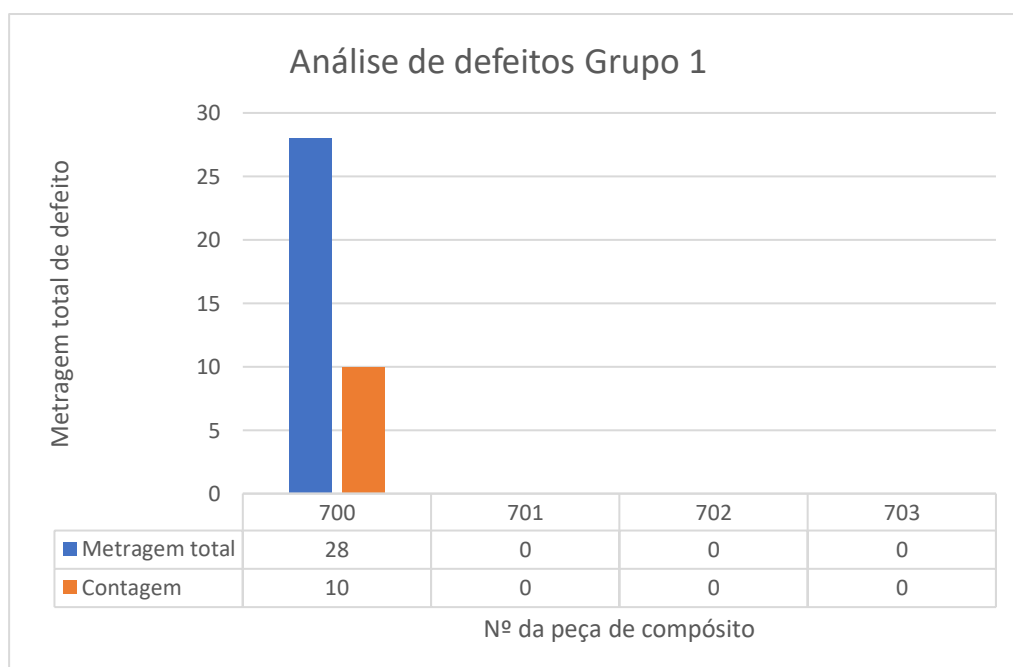
Nas análises de peças que usaram o peróxido do fornecedor A o tempo de cura e a proporção de peróxido se manteve igual para os grupos 1 e 3. Na Tabela 2 observa-se as características de formação dos compósitos e os resultados de defeitos obtidos.

Tabela 2– Características e resultados dos grupos 1 e 3 de compósitos

Peça nº	700-703	709-730
Grupo	1	3
Tempo de Cura	3:45h	3:45h
Proporção de peróxido	2.3	2.3
Fornecedor do peróxido	A	A
Média do comprimento do defeito	6.9	8.9
Desvio Padrão	6.7	9.3

Para melhor análise dos defeitos encontrados na estrutura de cada peça a Figura 9 ilustra a incidência de defeitos e a metragem total de cada um deles no grupo 1 e a Figura 10 ilustra o mesmo do grupo 3.

Figura 9: Análise de quantidade e metragem dos defeitos do grupo 1 por peça





#### 4.2.1.1 Mesmo grupo com lotes diferentes de resina e peróxido

Analisando o grupo 1 percebe-se uma mudança de comportamento dentro dele, onde uma peça apresentou defeito e as demais não. Na Tabela 3 estão as características dos reagentes utilizados que deram origem à um compósito (peça 700) com 10 defeitos evidenciados na Figura 9.

Tabela 3– Resultados do teste de reatividade da resina e peróxido da peça 700

<b>Característica</b>	<b>Lote de Resina da peça 700, grupo 1</b>	<b>Lote de Peróxido da peça 700, grupo 1</b>
<b>Gel time (min)</b>	107.1	114
<b>Tempo de Pico (min)</b>	87	149
<b>Temperatura de Pico Exotérmico (°C)</b>	70.6	53.8
<b>Tempo de Cura (min)</b>	23	-

Na Tabela 4 tem-se os resultados das demais peças sem defeitos.

Tabela 4– Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido das peças 701, 702 e 703

<b>Característica</b>	<b>Lote de Resina das peças 701,702 e 703, grupo 1</b>	<b>Lote de Peróxido das peças 701,702 e 703, grupo 1</b>
<b>Gel time (min)</b>	107.2	98
<b>Tempo de Pico (min)</b>	88	122
<b>Temperatura de Pico Exotérmico (°C)</b>	68	52.2
<b>Tempo de Cura (min)</b>	24	-

Nota-se que no mesmo grupo com mesma proporção de peróxido, porém de lotes diferentes já houve uma mudança no resultado das peças de compósito.

Apesar de lotes diferentes da resina as características deles são bem similares, portanto, não deveria haver diferença entre as peças 700, 702 e 703, mas os lotes de peróxido apontam um maior tempo de gelificação (acima de 16%), maior tempo para atingir o pico exotérmico (acima de 20% ) e uma maior temperatura de pico exotérmico (8% a mais), o que explica o fato das peças 702 e 703 não apresentarem defeitos estruturais no material.

Figura 10: Análise de quantidade e metragem dos defeitos do grupo 3 por peça

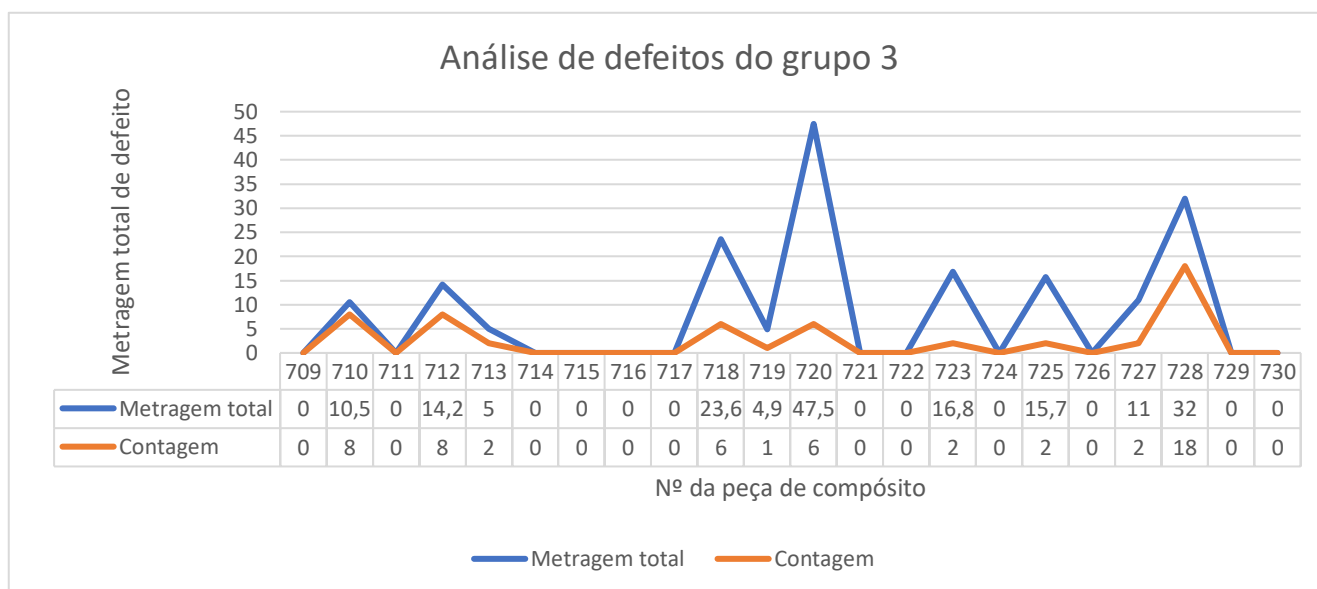


Tabela 5– Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 3 de compósitos

Característica	Lote de Resina do grupo 3	Lote de Peróxido do grupo 3
Gel time (min)	115	98
Tempo de Pico (min)	88	121
Temperatura de Pico Exotérmico (°C)	68	52.2
Tempo de Cura (min)	30	-

Já comparando o grupo 3 com o grupo 1 observa-se na Tabela 5 que os dados de Gel time e tempo de pico são maiores o que indica que esse lote de resina leva mais tempo para completar a reação, além da temperatura de pico exotérmico menor que indica baixa

reatividade da mistura, justificando assim o maior aparecimento de falhas nos compósitos do grupo 3.

#### 4.2.2 Mesma proporção de peróxido e tempo de cura diferente

Na Tabela 6 a análise do grupo 1 com o grupo 2 permite observar que, com a mesma proporção de peróxido, um tempo de cura menor do grupo 2 acarreta um aumento de defeitos no compósito referentes a cura não completa do material.

Tabela 6- Características e resultados dos grupos 1 e 2

Peça nº	700-703	704-708
Grupo	1	2
Tempo de Cura	3:45h	3:30h
Proporção de peróxido	2.3	2.3
Fornecedor do peróxido	A	A
Média do comprimento do defeito	6.9	12.2
Desvio Padrão	6.7	10.1

Analisando o grupo 2, tem-se os dados de lote de resina e peróxido utilizados descritos na Tabela 7, sendo o lote de Resina o mesmo utilizado nas peças 701,702 e 703 do grupo 1 que não apresentaram defeito. E o lote de peróxido o mesmo utilizado na peça 700 do grupo 1.

Tabela 7– Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 2Tabela 7 – Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 2

Característica	Lote de Resina do grupo 2	Lote de Peróxido do grupo 2
Gel time (min)	107.1	98
Tempo de Pico (min)	87	122
Temperatura de Pico Exotérmico (°C)	70.6	58.2
Tempo de Cura (min)	23	-

Essa tentativa de reutilização de lotes do grupo anterior mostrou que mesmo o lote de resina com as melhores características para a formação do compósito pode resultar em defeitos se diminuído o tempo de cura.

### 4.2.3 Mesmo tempo de cura e proporção de peróxido diferentes

Em contrapartida comparando o grupo 2 com o grupo 4, com seus resultados apresentados na Tabela 8, com mesmo tempo de cura e proporção diferente observa-se uma baixa na média da metragem devido ao aumento da concentração de peróxido, pois assim o compósito cura mais rápido exigindo menos tempo de cura no processo.

Tabela 8- Características e resultados dos grupos 2 e 4.

<b>Peça nº</b>	<b>704-708</b>	<b>731-739</b>
<b>Grupo</b>	2	4
<b>Tempo de Cura</b>	3:30h	3:30h
<b>Proporção de peróxido</b>	2.3	2.5
<b>Fornecedor do peróxido</b>	A	A
<b>Média do comprimento do defeito</b>	12.2	8.4
<b>Desvio Padrão</b>	10.1	8.7

Sabendo que no grupo 4, metade das peças utilizou um lote de resina diferente da outra metade das peças, porém mesmo peróxido, e avaliando os atributos dos lotes do grupo 4 na Tabela 9, tem-se:

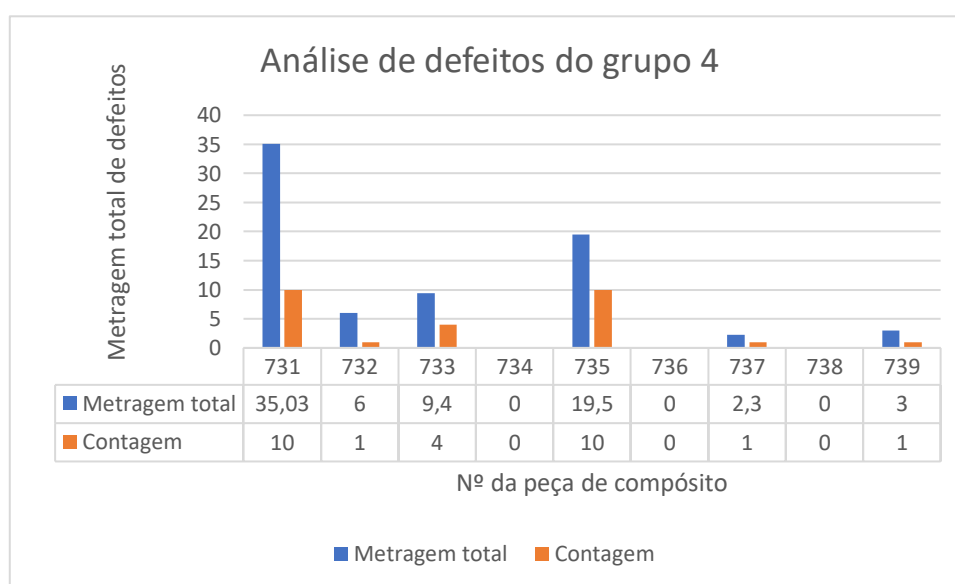
#### 4.2.3.1 Mesmo grupo com mesmo lote de peróxido e lotes diferentes de resina

Tabela 9- Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 4

Característica	Lote de Resina grupo 4, peças 731-735	Lote de Resina do grupo 4, peças 736-739	Lote de Peróxido do grupo 4
<b>Gel time (min)</b>	115	107.3	98
<b>Tempo de Pico (min)</b>	88	82	122
<b>Temperatura de Pico Exotérmico (°C)</b>	62.7	67	53.8
<b>Tempo de Cura (min)</b>	30	23	-

Neste caso comparou-se também dentro do grupo 4 que com mesmo lote de peróxido e lotes diferentes de resina obteve-se diferença na metragem total de defeitos como observado na Figura 11, nas peças 736 – 739.

Figura 11: Análise de quantidade e metragem dos defeitos do grupo 4 por peça



Ao analisar os lotes de resina percebe-se que os das últimas peças do lote tem tempo de cura mais rápido e tempo de gelificação menor.

#### 4.2.4 Mesmo tempo de cura e mesma proporção de peróxido (2.5%)

A seguir o estudo dos grupos 6 e 7, ambos com mais tempo de cura que os demais, permite mostrar que no comparativo com os outros grupos apresentam uma menor média de defeito no material pois foi dado ao compósito tempo para sua formação.

Além de ambos terem utilizado mesma proporção e apresentarem inclusive desvio padrão similar e pequeno.

Tabela 10- Características e resultados dos grupos 6 e 7

<b>Peça nº</b>	<b>767-771</b>	<b>772-828</b>
<b>Grupo</b>	6	7
<b>Tempo de Cura</b>	4:00h	4:00h
<b>Proporção de peróxido</b>	2.5	2.5
<b>Fornecedor do peróxido</b>	A	A
<b>Média do comprimento do defeito</b>	3.3	3.3
<b>Desvio Padrão</b>	5.5	5.7

Assim pode-se verificar pontualmente os dados dos lotes de resina e peróxido do grupo 6 na Tabela 11 e do grupo 7 na Tabela 12, referente às peças 772 até 792, Tabela 13, referente às peças 793 até 811 e Tabela 14, referente às peças 812 até 828.

Essa divisão dentro do grupo 7 foi necessária devido ao grande número de peças e proporcional uso dos reagentes para moldagem do compósito, um lote não seria suficiente para todos.

Tabela 11- Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 6

<b>Característica</b>	<b>Lote de Resina do grupo 6</b>	<b>Lote de Peróxido do grupo 6</b>
<b>Gel time (min)</b>	108	69
<b>Tempo de Pico (min)</b>	83	94
<b>Temperatura de Pico Exotérmico (°C)</b>	59.9	53.9
<b>Tempo de Cura (min)</b>	23	-

*4.2.4.1 Mesmo grupo com lote de peróxido e resina diferentes*

Tabela 12 - Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 7, até a peça 792

<b>Característica</b>	<b>Lote de Resina do grupo 7, até a peça 792</b>	<b>Lote de Peróxido do grupo 7, até a peça 792</b>
<b>Gel time (min)</b>	112.8	64
<b>Tempo de Pico (min)</b>	102	87
<b>Temperatura de Pico Exotérmico (°C)</b>	53.2	50.8
<b>Tempo de Cura (min)</b>	26	-

Tabela 13- Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 7, entre as peças 793 e 811

<b>Característica</b>	<b>Lote de Resina do grupo 7, peça 793 - 811</b>	<b>Lote de Peróxido do grupo, grupo 7, peça 793 -811</b>
<b>Gel time (min)</b>	96.4	64
<b>Tempo de Pico (min)</b>	87	90
<b>Temperatura de Pico Exotérmico (°C)</b>	54.1	51.3
<b>Tempo de Cura (min)</b>	28	-

Tabela 14- Resultados do teste de reatividade de resina e peróxido do grupo 7, entre as peças 812 e 828

<b>Característica</b>	<b>Lote de Resina do grupo 7, peça 812 - 828</b>	<b>Lote de Peróxido do grupo, grupo 7, peça 812 - 828</b>
<b>Gel time (min)</b>	99	107
<b>Tempo de Pico (min)</b>	88	133
<b>Temperatura de Pico Exotérmico (°C)</b>	58	50
<b>Tempo de Cura (min)</b>	25	-

Graças ao grande número de peças do grupo 7 foi utilizado 3 lotes diferentes de resina e 3 lotes diferentes de peróxido.

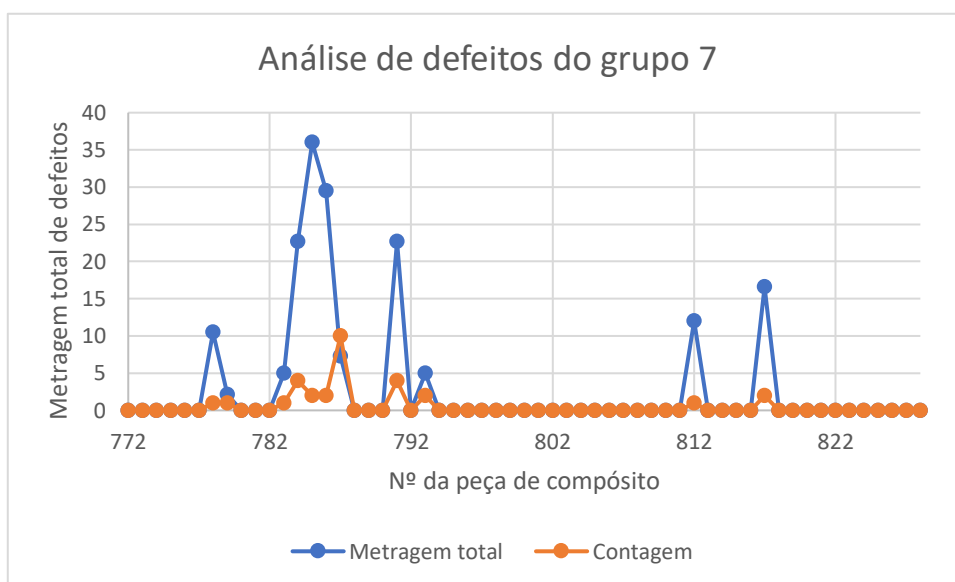
A primeira parte do grupo teve resina com tempo de gelificação e tempo de pico maior que as demais e a última parte teve um peróxido com tempo de gelificação e tempo



de pico também maior que os demais, isso reflete na análise de defeitos encontrados nos compósitos que usaram esses lotes.

Da mesma forma que as peças centrais da Figura 12 não apresentaram defeitos pois os reagentes utilizados continham propriedades mais próximas ao valor ótimo esperado para a formação e cura completa do material.

Figura 12: Análise de quantidade e metragem dos defeitos do grupo 7 por peça



## 5 CONCLUSÃO

Diante do exposto e dos experimentos realizados foi possível compreender o comportamento da formação de um compósito com diferentes concentrações de peróxido, diferentes tempos de cura e como a variação da temperatura de pico exotérmico, e o tempo para atingi-lo, e o tempo de gelificação tanto da resina quanto do peróxido causam efeitos na estrutura do material.

Mais especificamente foi possível observar:

- O comportamento de cada Resina a depender do seu *gel time* específico através das curvas de reatividade;
- Compósitos com menos tempo de cura e mesma proporção de Peróxido formam mais defeitos: grupo 2 com 15 minutos a menos de cura que o grupo 1 e 2.3% de proporção de peróxido apresentou 77% a mais de defeito;
- Compósitos com mesmo tempo de cura e maior proporção de Peróxido formam menos defeitos: ambos com 3:30h de cura, sendo grupo 4 com 2.5% de peróxido apresentou 45% a menos de defeitos que o grupo 2 com 2.3% de peróxido;
- Maior proporção de Peróxido e maior tempo de cura proporcionam uma melhora na estrutura do compósito: grupo 6 e 7 com 4h de cura, o maior tempo testado, e 2.5% de proporção de peróxido, a maior proporção utilizada, apresentaram cerca de 270% menos defeitos que o pior cenário (3:30h com 2.3% de proporção);
- Compósitos formados com Peróxidos e Resinas com maior gel time e maior tempo de pico facilitam a formação de defeitos na estrutura do peróxido, pois indicam maior tempo para esgotar a reação entre eles;
- Compósitos formados com Peróxidos e Resinas com temperatura de pico exotérmico mais baixa indicam possível formação de defeito por ser um sinal de baixa reatividade da mistura.

Nesse sentido, o desenvolvimento deste trabalho chegou ao dado de padronização de tempo de cura de 4 horas e proporção de peróxido de 2.5% a fim de minimizar defeitos.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALVES, A. L. S. **Processamento de placas compósitas pela técnica de moldagem por infusão de resina Seemann (SCRIMP)**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- ARDANUY, M., ANTUNES, M., VELASCO, J. I. 2012. Vegetable fibres from agricultural residues as thermo-mechanical reinforcement in recycled polypropylene-based green foams. **Waste Management**, v. 32, p. 256-263, 2012.
- ASHRAFI, B., GUAN, J., MIRJALILI, V., ZHANG, Y., CHUN, L., HUBERT, P., SIMARD, B., KINGSTON, C.T., BOUME, O., JOHNSTON, A. Enhancement of mechanical performance of epoxy/carbon fiber laminate composites using single-walled carbon nanotubes. **Composites Science and Technology**. 2011.
- ASTM – American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Shelling : D 882 –95a. New York, 1995.
- BAITELO, R. Fontes alternativas de geração de energia. In: MOREIRA, P. F. et al. **O setor elétrico Brasileiro e a sustentabilidade no século 21**: Oportunidades e desafios. Brasília: Rios Internacionais, 2012.
- BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial**: Conceito, Modelos e Instrumentos, 1ª Edição. São Paulo: Editora Saraiva, 2004.
- BARRADAS, R. V. **Impactos Socioambientais nas Aplicações de Energia Eólica para Geração de Eletricidade**. Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia. Lavras, Minas Gerais, 2014.
- BROCKMANN, W., GEIß, P.L, KLINGEN, J., Klingen, SCHRÖDER, K.B, MIKHAIL, B. **Adhesive Bonding**. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.
- FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. F. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.
- FREITAS, J. **Sustentabilidade**: Direito ao Futuro. Belo Horizonte: Fórum, 2012.

GASCH, R., TWELE, J. **Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation**. Solarpraxis AG, Alemanha. 2002.

GONTIJO, T.S. **Potencial de geração de energia eólica no Brasil: análise de municípios na região Sul e Nordeste do Brasil**. [Dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2013

IAQUINTO, B. O. A Sustentabilidade e as suas dimensões. **Revista da Esmesc**, [S.L.], v. 25, n. 31, p. 157-178, 19 dez. 2018.

INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 6a . ed. São José dos Campos, 2017.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Técnicas de Pesquisa**. São Paulo, SP: Atlas, 1991.

LA ROVERE, E. L. **Manual de Auditoria Ambiental**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001

LIMA SOBRINHO, L. **Desenvolvimento de Matriz Polimérica para Material Compósito Visando o Reforço de Dutos de Aços**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. (COPPE/UFRJ), 2005.

MACHADO, C. P et al. **Energia Eólica no Brasil: aspectos de desenvolvimento**. ANAIS DA XI MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CESUCA. n. 9, p. 244-254, 2015

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 1304.1-1304.13, 2008.

NETO, L.F; PARDINI, L.C. **Compósitos Estruturais**. São Paulo: Edgar Blucher, 2006

PENJUMRAS, P., RAHMAN, R. A., TALIB, R. A., e ABDAN, K. (2015). Mechanical Properties and Water Absorption Behaviour of Durian Rind Cellulose Reinforced Poly ( lactic acid ) Biocomposites. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, 5(5), 343–349, 2015.

PICOLO, A. P.; RUHLER, A.J.; RAMPINELLI, G.A Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. [S. l.], 25 nov. 2014. Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172014000400007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172014000400007).

Acesso em: 25 mar. 2022.

PIVA, R. B. **Economia ambiental sustentável: Os combustíveis fósseis e as alternativas energéticas**. [s.n.], 2010.

RAMPINELLI, G. A.; ROSA JUNIOR, C. G. Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol.14, n.º 2, Jul/Dez 2012.

REINHART, T.J. **Engineered Materials Handbook - Composites**. Ohio: ASM International, 1987.

RIBEIRO, H. C. M.; PIEROT, R. M.; CORRÊA, R. Projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo: um estudo de caso na empresa de energia eólica do estado do piauí. Reunir: **Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 61- 75, 10 ago. 2012.

SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SAMPAIO, K.R.; BATISTA, V.R. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, 2021.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 24.ed. São Paulo: Cortez, 2016.

SIMONETTI, M. C. L. A **(In) sustentabilidade do desenvolvimento: meio ambiente, agronegócio e movimentos sociais**. Marília: Oficina Universitária, 2011.

SØRENSEN, B.F., HOLMES, J.W., BRØNDSTED, P., BRANNER, K. Blade materials, testing methods and structural design. In: TONG, W. **Wind Power Generation and Wind Turbine Design**. Boston: WIT Press, 2010. p.417- 418.

TENÓRIO, F. G. **Responsabilidade social empresarial: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fgv, 2011.

YANG, H.; WANG, X.; YU, B.; SONG, L.; HU, Y.; YUEN, R. K. K. **Effect of borates on thermal degradation and flame retardancy of epoxy resins using polyhedral oligomeric silsesquioxane as a curing agent**. 2012.