



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA**

**LÍVIA RODRIGUES BARRETO**

**MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO COMPORTAMENTO DE  
ESTRUTURAS COMPÓSITAS AGRUPADAS POR COLAGEM SUBMETIDAS À  
COLISÃO COM BASE EM INDICADORES**

**FORTALEZA**

**2014**

LÍVIA RODRIGUES BARRETO

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO COMPORTAMENTO DE  
ESTRUTURAS COMPÓSITAS AGRUPADAS POR COLAGEM SUBMETIDAS À  
COLISÃO COM BASE EM INDICADORES

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Maxweel Veras Rodrigues.

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B263m Barreto, Lívia Rodrigues.

Método de avaliação de desempenho do comportamento de estruturas compósitas agrupadas por colagem submetidas à colisão com base em indicadores / Lívia Rodrigues Barreto. – 2011.  
64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Fortaleza, 2011.

Orientação: Prof. Dr. Maxweel Veras Rodrigues.

1. Análise de desempenho. 2. Indicadores. 3. Estruturas compósitas. I. Título.

CDD 658.5

---

LÍVIA RODRIGUES BARRETO

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO COMPORTAMENTO DE  
ESTRUTURAS COMPÓSITAS AGRUPADAS POR COLAGEM SUBMETIDAS À  
COLISÃO COM BASE EM INDICADORES

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Maxweel Veras Rodrigues (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Abraão Freires Saraiva Júnior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a minha família, que através do amor e da união me abasteceram dos nutrientes necessários e imprescindíveis para construção dos meus ideais.

## AGRADECIMENTOS

Inspiro-me no sentimento da gratidão nascida do amor e do respeito que permeiam a minha convivência com vocês. Ao longo da minha trajetória, nesta grande escola que é a vida, fui agraciada por Deus, com pessoas muito especiais e que se fizeram significativas para mim. Ensinarão-me conteúdos, importantes para a minha profissão e orientaram-me sobre os verdadeiros sentimentos e valores morais que edificam o ser no caminho do bem. Diante de todos me curvo respeitosamente e pronuncio o meu sincero agradecimento.

A Deus, criador do universo, que me presenteou com o dom da vida e que me nutre de fé nesta caminhada.

Aos meus pais, Celso e Elisa, por me conceberem como filha e me doarem suas próprias essências, pelo amor incondicional e os responsáveis pela pessoa que me tornei.

Aos meus irmãos, Pedro e Davi, pela convivência alegre e afetuosa e através desta interação diária de amor e partilha terem aguçado a minha sensibilidade diante da vida.

Aos meus avós, Antônio e Livramento, Almir e Ester (*in memoriam*), por todos os momentos de ternura e aconchego, renovadores do meu aprendizado de amor e generosidade. Pela atenção e carinho dispensados de forma tão especial e que só os avós conhecem.

Ao meu Orientador, Professor Dr. Maxweel Veras, pelos valiosos ensinamentos, por ser esse brilhante professor e que me desperta o desejo de copiá-lo como exemplo profissional. Além de orientador, tornou-se um amigo merecedor da minha admiração.

Aos meus professores, Anselmo Pitombeira, Fernando Heineck, Francisco Osterne, Heráclito Jaguaribe, João Vitor Moccellin, José Belo, Marcos Albertin, Rogério Mâsih e Sérgio Elias Barbosa, por todos os conhecimentos teóricos transmitidos, pela paciência e por contribuírem com a ampliação da minha visão crítica e humana diante desta profissão.

Ao Davi Benevides, essa pessoa especial que chegou de mansinho em minha vida e hoje representa para mim a essência da palavra amor. Que me incentiva na concretização dos meus sonhos e acompanha com o seu olhar cuidadoso o meu movimento diante da vida.

A Analia, Gabriela, Glênia, Mariana, Paulla e Silvia, mais que colegas somos amigas e irmãs pelas necessidades e circunstâncias. O laço afetivo que nos envolve, nos fez companheiras na incansável busca pelo saber, reavivou a alegria nos momentos de descontração e propiciou um rico crescimento interior que fortalece a cada dia essa amizade.

E a todos que de forma direta ou indireta me incentivaram nesta jornada e em mim depositaram a sua confiança, me impulsionando para a vida.

Os ganhos ou danos dependem da perspectiva e possibilidades de quem vai tecendo a sua história. O mundo em si não tem sentido sem o nosso olhar que lhe atribui identidade, sem o nosso pensamento que lhe oferece alguma ordem. E que o mínimo que a gente faça seja, a cada momento, o melhor que afinal se conseguiu fazer (Lya Luft).

## RESUMO

As estatísticas mais recentes mostram um crescimento do número de acidentes de carro no Brasil. Dessa forma, a preocupação com a segurança dos usuários de automóvel torna-se cada vez mais necessária. Além disso, os carros de entrada no Brasil ainda têm muito o que se desenvolver em relação aos padrões de segurança norte-americano e europeu. Percebe-se, um alto lucro dos fornecedores, em contrapartida a substituição por peças mais frágeis e de baixa qualidade e, ainda, a escassez de dispositivos de segurança. Este estudo objetivou a análise de desempenho através de indicadores do processo de dimensionamento, fabricação e teste de colisão de amostras compósitas reforçadas por fibra de carbono, agrupadas por colagem, as quais fazem parte da carroceria de automóveis fabricados pela maior fornecedora de equipamentos automobilísticos da França. Esse trabalho utilizou-se de métodos de análise de desempenho que pudessem avaliar através dos indicadores determinados o comportamento das estruturas compósitas, levando-se em consideração os processos desde o recebimento do material pelo fornecedor até a realização dos testes na máquina de tração. Adicionalmente, este método permitiu verificar qual a espessura de cola é mais resistente a uma colisão, fornecendo maior segurança aos usuários. Através da análise de desempenho, concluiu-se a eficiência do método para a indústria automobilística e para os usuários de automóvel. O presente estudo permitiu a constatação que o método pode ser utilizado para diversos tipos de materiais e para outras empresas do ramo de carroceria de automóvel.

**Palavras-chave:** Análise de desempenho. Indicadores. Estruturas compósitas.



## ABSTRACT

The recent statistics show a raise in the number of car accidents in Brazil. This way, the concern about the driver's safety began to be each time more necessary. Besides, Brazilian cars have a lot to develop compared to the American and European safety standards. Is possible to find that the suppliers have a high profit, in the other hand there are replacements that use fragile components, with low quality and have a lack of safety devices. This study aimed the performance analysis using process indicators of measurement, manufacturing, and the collision test of samples enhanced by carbon fiber, grouped using glue, whose are part of cars structure manufactured by the biggest supplier of automotive components in France. This project used analysis methods of performance that could evaluate the course of composite structures using the determined indicators, considering the receiving process of material by the supplier until the execution of the tests in the traction machine. Additionally this method allows verifying the most resistant thickness of glues in a collision, providing more safety for the users. Through the performance analysis was possible to conclude the efficiency of the method for the automobile industry and car users. The present study was able to prove that the method can be used in different kinds of material and for others companies in the automotive business.

**Key words:** Performance analysis. Indicators. Composite structures.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de classificação para os vários tipos de compósitos.....	16
Figura 2 – Síntese do náilon feita por Julien Hill em 1946.....	18
Figura 3 – Exemplo de aplicação pioneira de um polímero de engenharia.....	19
Figura 4 – Árvore química do náilon 66 .....	20
Figura 5 – Típica estrutura de fibra de carbono.....	21
Figura 6 – Representação dos modos de movimentação das superfícies das fendas (a) abertura (modo I), (b) cisalhamento plano (modo II), (c) cisalhamento anti-plano (modo III) .....	22
Figura 7 – Modo de falha .....	22
Figura 8 – Representação esquemática dos modos de falha de juntas coladas. A: Ruptura coesiva no adesivo; B: Ruptura coesiva no substrato; C:Ruptura adesiva.....	23
Figura 9 – Variáveis do Método de Martindell .....	27
Figura 10 – Perspectivas do BSC .....	29
Figura 11 – Esquema de etapas do método proposto .....	33
Figura 12 – Organização operacional global e descentralizada .....	40
Figura 13 – Cola BETAMATE 7000/7050 .....	41
Figura 14 – Dados técnicos dos dois tipos de cola.....	41
Figura 15 – A: Lixamento das placas compósitas; B: Lixamento das placas de alumínio.....	42
Figura 16 – Balança hidrostática .....	43
Figura 17 – Representação esquemática das duas sondas na medição de $V_o$ .....	44
Figura 18 – Representação esquemática das duas sondas na análise do trajeto do som .....	44
Figura 19 – Esquema de montagem para $V_{ol}$ .....	45
Figura 20 – Esquema de montagem para $V_{ot}$ .....	46
Figura 21 – Representação esquemática das duas sondas com o osciloscópio .....	46
Figura 22 – Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas, e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente. ....	47
Figura 23 – Princípio da montagem colada.....	48
Figura 24 – Dimensionamento da montagem colada .....	48
Figura 25 – Montagem colada no CATIA.....	49
Figura 26 – Dimensionamento da montagem colada no CATIA .....	49
Figura 27 – Corte das placas de compósito .....	50

Figura 28 – Sistema de fabricação da montagem colada.....	50
Figura 29 – A: Placa devidamente montada e colada; B: Vista lateral da placa.....	51
Figura 30 – A: Amostras da montagem colada para a espessura de 0,5mm de cola; B: Vista lateral da amostra colada.....	52
Figura 31 – Máquina de ensaio de tração em alta velocidade.....	53
Figura 32 – Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 0,05m/s) visualizada na câmera.....	54
Figura 33 – Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 0,05m/s).....	54
Figura 34 – Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 0,5m/s) visualizada na câmera.....	54
Figura 35 – Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 0,5m/s).....	55
Figura 36 – Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 2,5m/s) visualizada pela câmera.....	55
Figura 37 – Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 2,5m/s).....	55
Figura 38 – Indicadores de desempenho do método estudado.....	57
Figura 39 – Classificação do modo de falha pela espessura da cola.....	58
Figura 40 – Classificação do nível de desgaste pela espessura da cola.....	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1 Definição do problema</b> .....	13
<b>1.2 Objetivos</b> .....	14
<i>1.2.1 Objetivo geral</i> .....	14
<i>1.2.2 Objetivos específicos</i> .....	15
<b>1.3 Estrutura do trabalho</b> .....	15
<b>2 ESTRUTURAS COMPÓSITAS NO SETOR AUTOMOBILÍSTICO</b> .....	16
<b>2.1 Materiais compósitos e o F3P</b> .....	16
<i>2.1.1 Apresentação do material</i> .....	17
<i>2.1.2 Processos e microestruturas</i> .....	19
<i>2.1.3 Reforço com fibra de carbono</i> .....	20
<b>2.2 Mecanismos de deformação</b> .....	21
<b>2.3 Considerações</b> .....	23
<b>3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO BASEADO EM INDICADORES</b> .....	24
<b>3.1 Desempenho empresarial</b> .....	24
<i>3.1.1 Indicadores de desempenho</i> .....	25
<b>3.2 Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional</b> .....	26
<b>3.3 Considerações</b> .....	29
<b>4 METODOLOGIA DO ESTUDO</b> .....	30
<b>4.1 Metodologia da Pesquisa</b> .....	30
<b>4.2 Método proposto</b> .....	32
<i>4.2.1 Etapa 1: Descrever a organização e o processo produtivo organizacional</i> .....	33
<i>4.2.2 Etapa 2: Estudo e análise da cola para a montagem da placa</i> .....	34
<i>4.2.3 Etapa 3: Análise do material F3P por meio da máquina de ultra-som</i> .....	35
<i>4.2.4 Etapa 4: Dimensionamento da placa e da amostra</i> .....	35
<i>4.2.5 Etapa 5: Fabricação das placas e das amostras de teste</i> .....	36
<i>4.2.6 Etapa 6: Realização do ensaio de cisalhamento e análise dos resultados</i> .....	36
<i>4.2.7 Etapa 7: A Pontos de melhoria do princípio de teste</i> .....	36
<i>4.2.8 Etapa 8: Determinação dos indicadores de desempenho</i> .....	37
<i>4.2.9 Etapa 9: Análise de desempenho do método proposto</i> .....	37
<b>4.3 Considerações</b> .....	38
<b>5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO</b> .....	39

<b>5.1 Etapa 1: Descrever a organização e o processo produtivo organizacional</b> .....	39
<b>5.2 Etapa 2: Estudo e análise da cola para a montagem da placa</b> .....	40
<b>5.3 Etapa 3: Análise do material F3P por meio da máquina de ultra-som</b> .....	43
<i>5.3.1 Determinação da densidade</i> .....	43
<i>5.3.2 Determinação da velocidade longitudinal (Vol)</i> .....	44
<i>5.3.3 Determinação da velocidade transversal (Vot)</i> .....	45
<i>5.3.4 Determinação da orientação das fibras</i> .....	47
<b>5.4 Etapa 4: Dimensionamento da placa e da amostra</b> .....	48
<b>5.5 Etapa 5: Fabricação das placas e das amostras de teste</b> .....	49
<i>5.5.1 Fabricação das placas</i> .....	50
<i>5.5.2 Fabricação das amostras de teste</i> .....	51
<b>5.6 Etapa 6: Realização do ensaio de cisalhamento e análise dos resultados</b> .....	52
<i>5.6.1 Princípio do ensaio</i> .....	53
<i>5.6.2 Resultado do ensaio de cisalhamento das montagens coladas</i> .....	53
<b>5.7 Etapa 7: Pontos de melhoria do princípio de teste</b> .....	56
<b>5.8 Etapa 8: Determinação dos indicadores de desempenho</b> .....	57
<b>5.9 Etapa 9: Análise de desempenho do método proposto</b> .....	59
<b>5.10 Considerações</b> .....	59
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	61
<b>6.1 Análise de resultados</b> .....	61
<b>6.2 Conclusão</b> .....	62
<b>6.3 Considerações Finais</b> .....	63
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Definição do problema

Segundo dados do Ministério da Saúde (2010), 9.059 pessoas morreram em acidentes de carro no Brasil, enquanto no mesmo ano os Estados Unidos registraram 12.435 mortes por colisões de carro. No entanto, a frota de automóveis americana é cinco vezes maior que a brasileira.

De acordo com a matéria publicada na revista Auto Esporte (2013), os motivos para esses altos índices são atribuídos a baixa qualidade dos carros brasileiros, considerados mais frágeis se comparados aos vendidos em outros países, além das más condições das vias. Os carros que serão comercializados no Brasil são extremamente perigosos, isso não pode ser negado.

A matéria da revista Veja Abril (2012) afirma que, os carros vendidos por aqui, que não passam nos padrões de segurança europeus, são verdadeiras armadilhas letais sobre rodas. Testes de veículos vendidos no Brasil realizados recentemente mostram notas baixas para a segurança. Além disso, as colisões mostraram diferenças entre os mesmos modelos em outros países.

A revista Auto Esporte (2013) refere que os fabricantes fazem isso porque os carros se tornam mais baratos em sua produção e as exigências dos consumidores brasileiros são inferiores, pois seus conhecimentos dos problemas de segurança são menores do que na Europa e nos Estados Unidos.

Essa matéria aponta ainda que as empresas fabricantes têm 10% de lucro sobre carros fabricados no Brasil, enquanto nos Estados Unidos este número é de 3% e a média global de 5%. A revista relaciona que estas fragilidades dos carros brasileiros são ocasionadas por soldas fracas na estrutura, dispositivos de segurança escassos e materiais de qualidade inferior, em comparação com modelos similares fabricados para os EUA e Europa.

O Jornal da Globo (2012) apresenta que o Brasil fez um pacto com a Organização das Nações Unidas para reduzir em 50% o número de mortes no trânsito até 2020. Assim, para que esse índice seja alcançado com sucesso, devem-se planejar muitas melhorias que vão desde treinamentos de educação no trânsito até um maior rigor na fabricação e testes dos veículos de entrada no Brasil.

Quando ocorre um acidente de automóvel, as peças são sujeitas a grandes velocidades de *stress*. No entanto, os materiais são muito sensíveis à alta velocidade, de modo que o compósito da carroceria sofre diversos tipos de deformações.

As ferramentas de simulação de testes têm de ser capazes de descrever de um lado, a sensibilidade de materiais compósitos e suas respectivas articulações e de outro a taxa de deformação notadamente através da descrição do comportamento dinâmico, com medições em todo o conjunto.

A cada ano é notável o crescimento de projetos de inovação em matéria de segurança, conforto, interior de gerenciamento de espaço, desempenho ambiental, qualidade percebida e otimização de custos.

Dessa forma, perceber as expectativas dos fabricantes e pilotos para desenvolver soluções técnicas do carro do amanhã é, cada vez mais, um desafio para as empresas produtoras de peças de carroceria e componentes estruturais para montadoras em geral.

Nesse contexto, surge o seguinte questionamento: “Como definir um método de avaliação de desempenho, fundamentado em uma gestão de indicadores, de um processo de dimensionamento de peças compósitas capazes de sofrerem uma pequena deformação em uma colisão?”.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo geral***

Elaborar um método, através de ferramentas de avaliação de desempenho baseado em indicadores, que contribua para a determinação do dimensionamento de uma estrutura compósita que seja mais resistente e sofra menor deformação diante de uma colisão, aumentando a durabilidade do material e a segurança dos usuários de automóvel.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Caracterizar a fabricação das peças compósitas a partir de um método padronizado de dimensionamento do material e da junta adesiva;
- b) Avaliar a capacidade de absorção de energia durante uma colisão de automóvel;
- c) Identificar uma lei de comportamento comum e de um critério de falha, dependendo da nível de deformação do material e da espessura de cola;
- d) Analisar os indicadores de desempenho do método, visando à investigação de sua eficiência para a indústria automobilística.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho foi dividido em seis capítulos. O primeiro se refere à introdução do estudo, enquanto o segundo e o terceiro apresentam conceitos teóricos relativos à metodologia de estruturas compósitas no setor automobilístico e avaliação de desempenho baseado em indicadores, respectivamente. O quarto e o quinto abordam a descrição e aplicação do método proposto. E o último capítulo explicita os resultados e apresenta a conclusão.

O capítulo inicial introduz o tema e contextualiza o estudo. Em seguida, são discutidos os objetivos geral e específicos.

No segundo capítulo, será abordado o funcionamento do ramo automobilístico no que concerne às estruturas compósitas, assim como um aprofundamento dos materiais utilizados na produção da carroceria do automóvel.

O terceiro capítulo traz o referencial teórico, que visa nortear um alinhamento conceitual acerca dos tipos de sistemas de medição de desempenho organizacional com base em indicadores.

Já o quarto capítulo objetiva o desenvolvimento do método que será aplicado.

No quinto capítulo, este método será aplicado e analisado.

No sexto e último capítulo, serão apresentados os resultados do estudo e suas conclusões.



## 2 ESTRUTURAS COMPÓSITAS NO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

Este capítulo trará uma abordagem sobre estruturas compósitas no setor automobilístico e um alinhamento conceitual acerca do estudo em questão, abordando o material F3P, seus processos e microestruturas, o reforço com fibra de carbono e os mecanismos de dano, objetivando esclarecer quaisquer dúvidas resultantes da complexidade do método de composição das amostras do material.

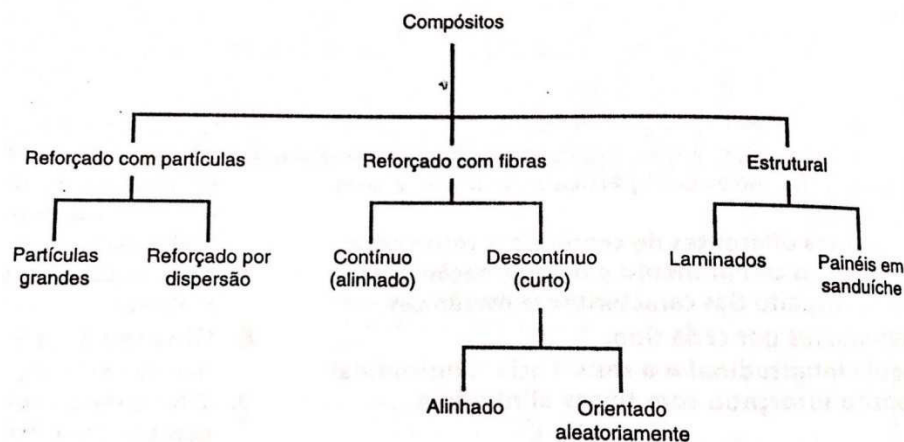
### 2.1 Materiais compósitos e o F3P

Nesta seção, serão apresentadas as características do material em estudo. Os F3P são materiais do tipo compósitos com fibras curtas projetadas (para controlar a orientação) e depois prensado a quente.

Callister (2006) conceitua compósito como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades.

De acordo com esse princípio da ação combinada, melhores combinações de propriedades são criadas através de uma combinação prudente de dois ou mais materiais distintos. A Figura 1 mostra a classificação para os diversos tipos de compósitos.

Figura1 - Esquema de classificação para os vários tipos de compósitos



Fonte: CALLISTER (2006, p. 472).

A maioria dos compósitos foi criada para melhorar combinações de características mecânicas, tais como rigidez, tenacidade e resistência nas condições ambientes e de altas temperaturas.

Kendall (2004) acrescenta ainda que o F3P oferece baixo custo e alta velocidade, confiabilidade, qualidade e flexibilidade. Essas economias são ainda maiores quando se trata do pequeno desperdício. Os resíduos da moldagem do F3P foram mensuráveis em muito menos de 1%.

“Muitos materiais compósitos são compostos por apenas duas fases; uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada com frequência de fase dispersa”. (CALLISTER, 2006).

As duas fases do material F3P são uma matriz constituída geralmente de polímero termoplástico e o reforço compreende fibras de carbono.

### **2.1.1 Apresentação do material**

Os materiais que serão estudados são do tipo F3P. Especificamente, os materiais compósitos são os PA66 e as fibras de carbono.

Hoje, as aplicações de fibra de poliamida 66 (PA66) superam enormemente o mercado têxtil. Eles oferecem desempenho e tecnologia crescente. Por esta razão a fibra PA66 é utilizada em diversas indústrias, tais como de produção de automóvel, utensílios médicos, papel, serigrafia, etc.

Marcellan (2009, p.23) caracteriza a composição da fibra PA66:

Sendo formado de material termoplástico semicristalino, a fibra de poliamida 66 tem uma arquitetura multi-nível complexa. Em geral, o método para formar, por extrusão, permite que o material obtenha excelentes propriedades. E as aplicações técnicas destas fibras são múltiplas.

Segundo Van Vlack (1984), os polímeros termoplásticos são lineares e podem ser injetados num molde quando quentes, vistos serem moles a altas temperaturas. Os materiais termoplásticos têm que ser resfriados depois de deixar o molde, ou perderão a forma.

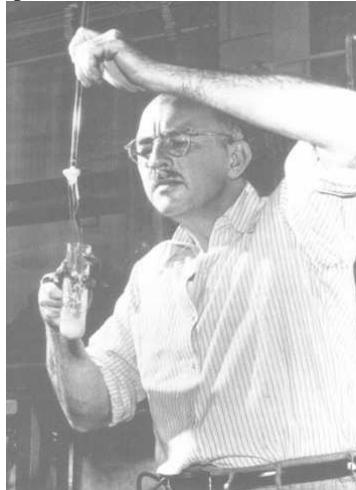
A produção industrial de polímeros tem uma história centenária. Na vida cotidiana, os polímeros acompanham esses materiais "regenerados". Os derivados da celulose são os primeiros a serem estudados. Um pouco mais tarde, a primeira borracha sintética (neoprene) e a baquelite foram desenvolvidas.

É no período entre as duas grandes guerras que o nascimento da fibra de náilon ocorre.

Marcellan (2009) apresenta a invenção e desenvolvimento do primeiro polímero sintético, o náilon, ou mais precisamente a Poliamida 66: “é o resultado do trabalho dos químicos norte-americanos Du Pont do início dos anos 30 (1938-1939). Através de brochuras e outros documentos publicados pela Du Pont a empresa já tinha a consciência de que o náilon seria um sucesso técnico e comercial”.

Em 1946, o departamento de relações públicas da Du Pont exigiu que os mesmos químicos que descobriram náilon doze anos antes reproduzissem os experimentos na frente de um fotógrafo para imortalizar o grande feito, como é representado pela Figura 2.

Figura 2 - Síntese do náilon feita por Julien Hill em 1946



Fonte: MARCELLAN (2009, p. 23).

Além disso, a morte prematura e trágica, em 1937, de Wallace Carothers, o grande químico inventor do náilon (ele pôs fim a sua vida depois de anos de depressão), acrescentou uma dimensão dramática e memorável ao caso e ao seu feito inventivo.

Marcellan (2009, p.24) explica o desenvolvimento da fibra PA66:

Em 1935, por meio da policondensação, a poliamida 66 (PA66) foi desenvolvida. Inspirado no processo de desenvolvimento da fibra de celulose, a técnica é adaptada para fiação derretida sob alta pressão. Em 1937, os engenheiros da Du Pont tornaram-se capazes de produzir um fio contínuo. Foi em 1938 que a empresa dos EUA comercializou sua invenção e deu essa nova fibra o nome de náilon.

Sedoso, brilhante, leve, rugas resistentes, elástico, o náilon revolucionou a indústria têxtil e pavimentou o caminho para as fibras sintéticas de alto desempenho.

Hoje em dia, os polímeros representam um mercado considerável. De acordo com a Sociedade Francesa de Química, 4 % da matéria-prima do petróleo são para a síntese de

plásticos. A produção de fibras sintéticas e de celulose é cerca de 20 % da produção mundial total de plásticos. Shackelford (2008) estima que a indústria tenha desenvolvido mais de meio milhão de projetos de peças de polímero de engenharia especificando o náilon.

Apesar de suas limitações, os polímeros são materiais altamente versáteis e úteis. Shackelford (2008, p.7) relaciona essas características: “Tem havido um progresso substancial na última década no desenvolvimento de polímeros projetados com resistência ou rigidez suficientemente altas para permitir seu uso como substitutos dos metais estruturais tradicionais”. A Figura 3 apresenta o painel traseiro de um carro esportivo, sendo esse uma aplicação pioneira de um polímero de engenharia em uma aplicação metálica estrutural tradicional. O polímero é um náilon moldado por injeção.

Figura 3 – Exemplo de aplicação pioneira de um polímero de engenharia



Fonte: SHACKELFORD (2008, p. 8).

A fibra de PA66 técnica é um produto com alto valor agregado. O melhor desempenho está relacionado à combinação de alta resiliência e resistência a impacto. Outras características atrativas incluem resistência ao calor, à rigidez, a estabilidade dimensional e a resistência à abrasão. O custo do produto de náilon é comparável ao de alumínio, mas é aproximadamente um terço mais barato do que o de aço.

### 2.1.2 Processos e microestruturas

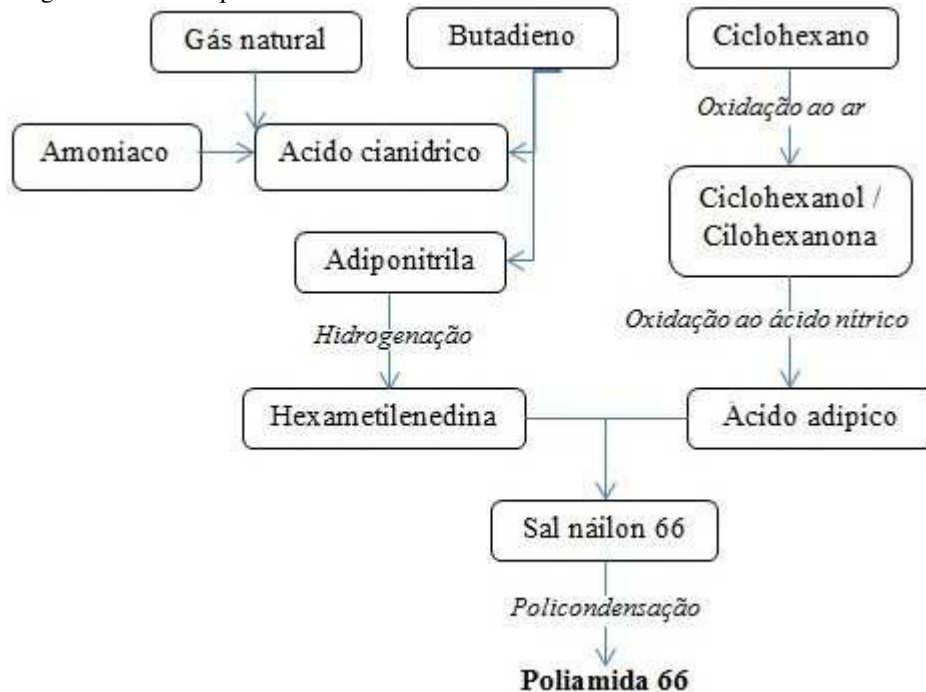
A síntese de poliamida 66 ou poli (hexametileno-adipamida) é frequentemente descrita em duas etapas: em primeiro lugar a síntese de intermediários, os monômeros, e, em seguida, a própria fase de polimerização.

De acordo com Mollard (2009), esquematicamente a poliamida 66 é o resultado da policondensação de uma diamina e de um diácido:  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH} + \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2 \rightarrow \text{HN}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}$  (ácido adípico hexametileno diamina hexametileno adipamida).

Os dois números “6-6” correspondem ao número de átomos de carbono que contêm, respectivamente, os componentes básicos: a diamina e o diácido.

A árvore da química do náilon 66, exposta na Figura 4, é construída a partir de produtos de origem petrolífera (butadieno, ciclo-hexano), gás natural, amoníaco e ácido nítrico.

Figura 4 - Árvore química do náilon 66



Fonte: Adaptado de Marcellan (2009, p.25) *apud* Mollard (1997).

### 2.1.3 Reforço com fibra de carbono

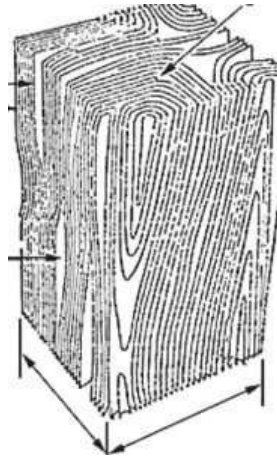
O carbono é um material de fibra de alto desempenho, e é o material de reforço mais comumente utilizado em compósitos avançados com matriz polimérica. As razões para tal segundo Callister (2006) são as seguintes:

- As fibras de carbono possuem os maiores módulos específicos e as maiores resistências específicas dentre todos os materiais de reforço como fibra.

- b) Eles retêm os seus elevados módulos de tração e as suas grandes resistências mesmo em temperaturas elevadas.
- c) Na temperatura ambiente, as fibras de carbono não são afetadas pela umidade ou por uma grande variedade de solventes, ácidos e bases.
- d) Essas fibras exibem uma diversidade de características físicas e mecânicas, o que permitem que os compósitos que incorporam essas fibras possuam propriedades especificamente engenheiradas.
- e) Foram desenvolvidos processos de fabricação para as fibras e os compósitos que são relativamente baratos e de boa relação custo-benefício.

Na Figura 5, pode-se verificar a típica estrutura da fibra de carbono.

Figura 5 - Típica estrutura de fibra de carbono



Fonte: Vaidya (2011).

Atualmente, os compósitos poliméricos reforçados com carbono estão sendo empregados largamente em equipamentos esportivos e de recreação, em carcaças de motores de foguete, em vasos de pressão e em componentes estruturais de aeronaves.

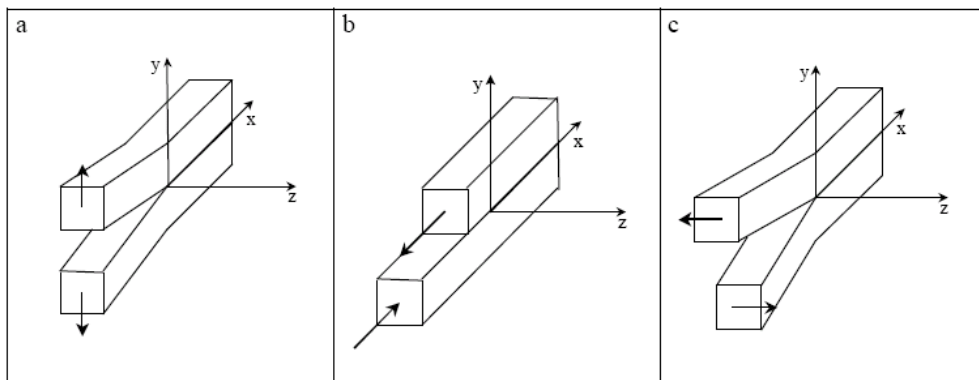
## 2.2 Mecanismos de deformação

Geralmente, a ruptura corresponde à separação de dois corpos inicialmente integrados. A fissura é mais frequentemente iniciada a partir de um entalhe ou um defeito pré-existente. A velocidade de propagação e sua aparência depende das propriedades do material, das restrições internas do sistema e das exercidas pelo meio externo (temperatura, forças aplicadas), na geometria do sólido.

Cognard (2004) identifica que os possíveis movimentos dos lábios da fissura são combinações de três métodos independentes, os quais podem ser verificados na Figura 6.

- a) O modo I, ou o modo por abertura, que corresponde a uma distância relativa entre as duas superfícies da fenda por abertura angular.
- b) O modo II, que se refere a um plano de cisalhamento.
- c) O modo III, ou modo de cisalhamento anti-plano, que corresponde a um deslizamento transversal das duas superfícies da fenda em sentidos opostos, mas desta vez numa direção paralela à parte da frente da fenda de corte.

Figura 6 - Representação dos modos de movimentação das superfícies das fendas (a) abertura (modo I), (b) cisalhamento plano (modo II), (c) cisalhamento anti-plano (modo III)

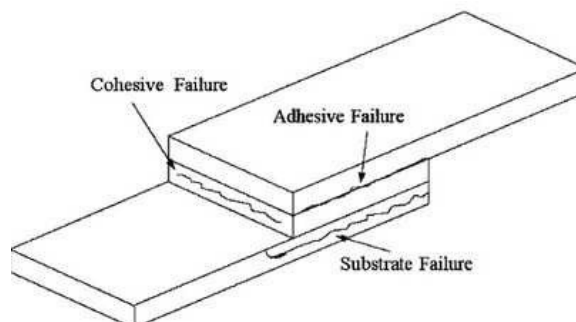


Fonte: COGNARD (2004).

Shackelford (2008) define que o desgaste adesivo ocorre quando duas superfícies lisas deslizam uma sobre a outra e fragmentos são retirados de uma superfície e se aderem à outra.

No caso do adesivo, também pode-se distinguir diferentes modos de falha, de acordo com o local da ruptura. A Figura 7 mostra o local da amostra onde ocorre a falha coesiva, a falha adesiva e a falha no substrato.

Figura 7 - Modo de falha



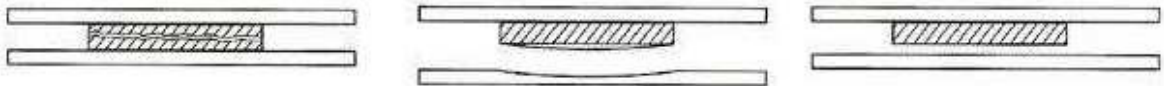
Fonte: BORSELLINO (2007).

Cognard (2004) em sua literatura diferencia em três tipos:

- a) A falha pode ser contida em um dos dois substratos ou no adesivo, o que significa que a coesão destes materiais é menor do que a adesão entre os componentes. Isto é chamado de falha coesiva.
- b) A ruptura pode ocorrer na interface, a qual é chamada de falha interfacial ou adesiva.
- c) A ruptura também pode ser mista, se é coesivo em um local e adesivo em outro local.

Na Figura 8, pode-se perceber os três tipos de modos de falha de juntas coladas.

Figura 8 - Representação esquemática dos modos de falha de juntas coladas. A: Ruptura coesiva no adesivo; B: Ruptura coesiva no substrato; C: Ruptura adesiva



Fonte: COGNARD (2004).

### 2.3 Considerações

Este capítulo objetivou um alinhamento conceitual acerca dos fundamentos da engenharia de materiais, salientando o estudo das estruturas compósitas que fazem parte da produção e fornecimento de peças para o mercado automobilístico. Foi realizada uma explanação acerca do surgimento do náilon, da sua microestrutura e processos, do reforço de fibra de carbono e, por fim, dos possíveis mecanismos de dano que os materiais podem sofrer.

Em seguida, será realizada uma abordagem acerca da análise de desempenho baseado em indicadores, que trará os métodos mais utilizados, bem como sua importância para a gestão organizacional.



### 3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO BASEADO EM INDICADORES

Neste capítulo, serão abordados aspectos teóricos acerca dos mais relevantes métodos de avaliação de desempenho de uma organização com base em indicadores.

#### 3.1 Desempenho empresarial

A manutenção da competitividade depende do alinhamento da organização com a estratégia escolhida. De acordo com Muller (2014, p. 81), “o sistema de avaliação de desempenho deve induzir nos processos da empresa seus objetivos e estratégias, constituindo elos entre os objetivos e a execução prática das atividades nas organizações.”. Ou seja, não basta escolher a rota, é preciso medir se a empresa está nela.

Segundo Niven (2005, p. 140), “as medidas de desempenho são as ferramentas que usamos para determinar se estamos cumprindo nossos objetivos e nos movendo em direção à implementação bem-sucedida de nossa estratégia.”.

Pode-se dizer que as medidas são padrões quantificáveis usados para avaliar e comunicar o desempenho em relação aos resultados esperados.

Niven (2005, p. 140) acrescenta ainda que:

Elas agem como uma ferramenta para conduzir à ação desejada, oferecem diretrizes a todos os funcionários, mostrando-lhes como podem ajudar a empresa a atingir suas metas globais, além de fornecer a gerência uma ferramenta para determinar o avanço geral em direção às metas estratégicas.

Segundo Miranda e Miranda (2006, p. 1) a partir de uma “melhor estruturação e formatação da medição de desempenho, a empresa é capaz de obter informações mais acuradas para planejar, executar e controlar suas atividades.”.

Harrington (1993 *apud* Muller 2014) caracteriza que “Se não puder medir, não pode controlar; se não pode controlar não pode gerenciar; se não gerenciar, não pode melhorar.”.

### 3.1.1 Indicadores de desempenho

Os principais indicadores do desempenho da empresa não se limitam apenas aos dados financeiros. Segundo Eccles (1991), a qualidade, satisfação dos clientes, inovação e participação do mercado geralmente refletem a situação econômica e as perspectivas de crescimento da empresa melhor do que o lucro dos relatórios financeiros.

De forma geral, os direcionadores não-financeiros estão associados à eficiência operacional da empresa e são necessários para complementar as informações financeiras. As informações não-financeiras vêm promovendo significativas alterações na forma como as empresas determinam e avaliam seus resultados. Contudo, uma dificuldade dos direcionadores não-financeiros é sua difícil mensuração (CASELANI; CASELANI, 2006).

Muller (2014, p. 82) constata que “A avaliação de desempenho parte do pressuposto de que os objetivos organizacionais devem ser traduzidos em sistemas de controle e operacionalizados através de indicadores, isto é, fórmulas ou regras que permitem a quantificação do desempenho.”.

Figueiredo (2002 *apud* Schwarz 2000) afirma que o grande desafio na definição dos indicadores-chave é estimular e desenvolver a cultura de avaliação do desempenho estratégico, através de um número limitado de métricas, evitando o risco de definir um conjunto incontrolável de variáveis que não poderão ser implementadas.

De acordo com Meyer (1994), o desenvolvimento de indicadores de processos envolve quatro passos básicos:

- a) Definição dos fatores críticos para a satisfação dos clientes, como tempo, custo, qualidade e desempenho do produto;
- b) Mapeamento dos processos interfuncionais utilizados na produção de resultados;
- c) Identificação das tarefas e capacidades críticas imprescindíveis à conclusão bem-sucedida do processo;
- d) Desenvolvimento de indicadores que monitorem as tarefas e capacidades críticas.

Para uma correta avaliação do desempenho de um projeto, é importante que este seja abordado de modo claro e consistente. Para tornar possível a medição e, posteriormente, a avaliação do desempenho, utiliza-se os indicadores de desempenho cujo conjunto destes formam os Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional (SMDO). Em seguida, podem ser visualizados, os principais métodos de avaliação de desempenho.

### 3.2 Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional

Segundo Muller (2014, p. 88), “A avaliação de desempenho é mais que uma ferramenta gerencial: é uma medida estratégica de sobrevivência da organização”. Destaca ainda que, as principais razões para as organizações investirem em sistemas de medição de desempenho são:

- a) Controlar as atividades operacionais da empresa.
- b) Alimentar os sistemas de incentivo dos funcionários.
- c) Controlar o planejamento.
- d) Criar, implantar e conduzir estratégias competitivas.
- e) Identificar problemas que necessitem da intervenção dos gestores.
- f) Verificar se a missão da empresa está sendo atingida.

Assim, é importante contextualizar alguns Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional que são fundamentais para a análise de desempenho empresarial.

O Tableau de Bord é o pioneiro dos métodos de avaliação de desempenho organizacional. Foi criado na França, no início do século XX, quando engenheiros de processos procuravam novas formas de melhorar a produção, desenvolvendo um melhor entendimento das relações de causa e efeito (FAGUNNDES; FELIU, 2007).

Para Carvalho e Fonseca (2007) o processo de implementação do Tableau de Bord tem que seguir cinco etapas:

- a) Etapa 1: Seleção das linhas orientadoras de progresso;  
Nesta etapa são selecionados os eixos mais proveitosos em conformidade com as características da empresa, do mercado onde atua, e dos meios disponíveis. Também é fundamental para localizar e identificar os clientes e os produtos mais rentáveis.
- b) Etapa 2: Determinar os pontos de intervenção;  
Nesta etapa ocorre a identificação das atividades e processos críticos de acordo com os eixos de progresso selecionados na etapa anterior. Também são determinados os pontos alvo ou potenciais alvos de intervenção. Para tanto, identifica-se as atividades e procedimentos implicados dentro da gama de valores que sejam determinantes para o crescimento da empresa.
- c) Etapa 3: Seleção dos objetivos;  
Para selecionar os melhores objetivos ou táticas, os responsáveis ou grupos de responsáveis pelas decisões, tem de estar preocupados com a consecução das linhas de progresso pretendidas.
- d) Etapa 4: Seleção dos indicadores;  
O objetivo desta etapa é selecionar os indicadores mais adequados, de forma a manter o objetivo, em função do contexto e dos hábitos de trabalho do decisor.
- e) Etapa 5: Estruturar o quadro de comando.  
Um quadro de comandos não passa de um conjunto de indicadores agrupados. No entanto, é necessário ter o mínimo de bom senso para idealizar e construir o *layout*. Portanto, um quadro de comandos eficaz apenas apresenta as informações essenciais, não se limita a sinalizar as disfunções, deve ser uma ajuda à tomada de decisão e deve sempre se manter atualizado.

O modelo denominado de Método de Martindell surgiu, em 1950, em homenagem ao seu criador, Jackson Martindell, que na época era presidente do American Institute of Management. Este modelo é formado por 10 variáveis, que possuem uma determinada pontuação máxima e a soma geral de todas as variáveis pode chegar a, no máximo, 10.000 pontos, conforme a Figura 9 (HOURNEAUX JUNIOR; CORREA; RUIZ, 2005).

Figura 9 - Variáveis do Método de Martindell

ITEM	ÍNDICE MÁXIMO ATINGÍVEL
Função econômica	400
Estrutura organizacional	500
Saúde da rentabilidade	600
Justiça para com os acionistas	700
Pesquisa e desenvolvimento	700
Análise da direção	900
Políticas fiscais	1.100
Eficiência na produção	1.300
Vigor das vendas	1.400
Avaliação dos executivos	2.400
<b>TOTAL</b>	<b>10.000</b>

Fonte: Hourneaux Junior, Correa e Ruiz (2005).

Através da sua tese de doutoramento, Corrêa (1986, *apud* Lopes Junior, 2010) propõe, baseado na pesquisa empírica que realizou e na literatura existente, um método de avaliação que consiste nos seguintes pontos:

- a) Descrição da empresa: seus objetivos e missões;
- b) Definição dos módulos (áreas em que a organização será dividida): o autor sugere considerar os seguintes módulos:
  - Econômico-financeiro: mede o desempenho financeiro;
  - Operacional: mede a produtividade da empresa;
  - Recursos humanos: avalia o desempenho dos recursos humanos;
  - Satisfação dos usuários/clientes: mede o nível de satisfação dos usuários;
  - Inovação tecnológica: mede o grau de inovação gerada internamente;
  - Adaptação/ambiente: mede a capacidade da empresa de se adaptar ao ambiente presente e futuro;
  - Avaliação técnica: mede o nível de qualidade dos equipamentos, máquinas e tecnologia da empresa;

- Clima organizacional: mede a qualidade da interação entre as pessoas e setores e as consequências geradas por estas interações;
  - Benefícios sociais: mede os benefícios sociais gerados pelas empresas;
  - Potencialidade gerencial: mede a capacidade e potencialidade dos gerentes da empresa.
- c) Definição dos indicadores de cada módulo: identificação, seleção, hierarquização e metodologia de levantamento de dados;
  - d) Definição dos padrões de desempenho: definidos através da realização de *benchmarking* interno e externo, além de considerar as contingências próprias da organização e ambientais;
  - e) Avaliação e feedback: identificação do desempenho de cada fator, sua comparação com o padrão estabelecido e, possivelmente, revisão dos indicadores e sua hierarquização;
  - f) Verificação das causas do desempenho: consiste em estabelecer as relações de causa e efeito para as variáveis de desempenho e análise das causas para possíveis correções ou melhorias.

Segundo Kaplan e Norton (1992), o BSC tem como finalidade medir o desempenho com medidas estratégicas, operacionais e financeiras e procura responder quatro questões básicas: i) Como nossos clientes nos veem? ii) Em que processos devemos alcançar a excelência? iii) Nós podemos continuar melhorando e criando valor? iv) Como nós olhamos nossos acionistas?

Para responder estas perguntas o Balanced Scorecard apresenta quatro perspectivas diferentes que “equilibram os objetivos de curto e longo prazos, os resultados desejados e os vetores de desempenho desses resultados, as medidas concretas e as medidas subjetivas mais imprecisas” (KAPLAN; NORTON, 1997, p. 26).

Estas perspectivas são: financeira: estratégia para crescimento, lucro e risco percebido pela perspectiva dos acionistas; clientes: estratégia para criação de valor e diferenciação pela perspectiva do cliente; processos de negócios internos: prioridades estratégicas para vários processos de negócios que levam à satisfação do cliente e do acionista; e, finalmente, aprendizado e crescimento: prioridades para criar uma atmosfera que dê apoio ao crescimento, à inovação e às mudanças organizacionais. Pode-se visualizar essas perspectivas na Figura 10.

Figura 10 - Perspectivas do BSC



Fonte: Adaptado de Kaplan e Norton (1997, p. 10).

### 3.3 Considerações

Neste capítulo, procurou-se mostrar a importância da medição do desempenho nas organizações, expondo com profundidade a sua caracterização e diversidade dentro das diversas abordagens clássicas da teoria a ela associada.

Ressalta-se a grande necessidade das organizações trabalharem esses ambientes de avaliação de desempenho com base em indicadores. Podendo assim, estabilizar-se cada vez mais diante do cenário competitivo de mercado.

Procurou-se, ainda, mostrar a evolução quando as medidas de desempenho eram essencialmente financeiras e de resultados para as novas medidas de desempenho que, ao revelar as tendências e funcionar como vetores do desempenho, assumiram papel de importância vital na gestão das novas organizações.

A análise comparativa dos modelos de avaliação de desempenho mostra que não há um deles que seja hegemônico, mas a combinação crítica dos mesmos pode resultar numa estrutura adequada de medição de desempenho para as organizações.

## **4 METODOLOGIA DO ESTUDO**

Este capítulo abordará a metodologia do estudo em duas partes distintas. Primeiramente, será explicitada a metodologia da pesquisa, onde o estudo será definido e as etapas necessárias para o desenvolvimento do mesmo serão descritas. Em seguida, será dado um detalhamento de todas as etapas do método proposto.

### **4.1 Metodologia da Pesquisa**

Marconi e Lakatos (2010) definem método científico como o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

Ganga (2012) acrescenta que a missão do pesquisador é transformar conhecimentos existentes usando equipamentos e recursos (financeiros, humanos, tempo, etc.) em novos conhecimentos que tenham valor para a sociedade como um todo.

Pode-se classificar esta pesquisa segundo a sua finalidade como pesquisa aplicada. Gil (2010, p.26) denomina que a pesquisa aplicada “abrange estudos elaborados com a finalidade de resolver problemas identificados no âmbito das sociedades em que os pesquisadores vivem.”.

De acordo com a divisão de técnicas de pesquisa propostas por Marconi e Lakatos (2010, p. 173) a pesquisa em questão classifica-se como pesquisa de laboratório: “é um procedimento de investigação mais difícil, porém mais exato. Ela descreve e analisa o que será ou ocorrerá em situações controladas. Exige instrumental específico, preciso e ambientes adequados.”.

Segundo os objetivos mais gerais este estudo é definido como uma pesquisa exploratória. Gil (2010, p.27) afirma que a pesquisa exploratória tem o propósito de “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.”.

Os métodos de pesquisa mais apropriados, segundo Ganga (2012), para se conduzir uma pesquisa qualitativa na área de Engenharia de Produção são o estudo de caso e a pesquisa-ação.

Esta pesquisa é considerada um estudo de caso, pois de acordo com Gil (2010, p. 37) o estudo de caso é classificado como um “[...] estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento [...]”.

Ganga (2012) *apud* Yin, R. K. (2010) define estudo de caso como: “uma pesquisa empírica, baseada em evidências qualitativas e quantitativas que investigam um fenômeno contemporâneo inserido no contexto da vida real [...]”.

Cauchick et al (2012) ressalta que essa análise possibilita amplo e detalhado conhecimento sobre o fenômeno, possibilitando, inclusive, a geração de teoria.

Para realização deste estudo foi necessário que algumas etapas fossem seguidas. A conclusão de cada uma destas etapas foi de fundamental importância para a consistência do estudo, sendo estas citadas abaixo:

- a) entendimento da empresa e do processo produtivo: no primeiro momento mostrou-se de extrema importância que um pleno entendimento da empresa fosse realizado. Nesse contexto, foi necessário um alinhamento conceitual acerca do ramo de dimensionamento e fabricação de peças de compósitos além de estudo amplo acerca do seu método de teste e análise dos dados;
- b) mapeamento do processo produtivo de fabricação das amostras: as amostras representam em uma forma de teste a carroceria automotiva fabricada pela empresa. Foi de fundamental importância a validação deste processo de fabricação pelos responsáveis;
- c) definição do método a ser utilizado: após o mapeamento do processo, foi determinado o método a ser trabalhado a fim de alinhar as próximas etapas ao objetivo geral do estudo.
- d) aplicação do método: após definição do método, o mesmo foi aplicado com intuito de alcançar os objetivos propostos inicialmente.
- e) redação: após concluir a aplicação do método, este trabalho foi redigido.



## 4.2 Método proposto

O método proposto foi dividido em nove grandes etapas a fim de facilitar sua aplicação. Na primeira etapa, o processo produtivo da empresa será estudado e analisado, destacando-se suas peculiaridades através de uma ampla explanação acerca do método de fabricação e montagem de compósitos com reforço de fibra de carbono por colagem. Na segunda etapa será estudada a cola ser utilizada na fabricação das estruturas de materiais compósitos constituídos por meio de colagem e ainda o acompanhamento da sequência de preparação do material e de colagem determinada pela empresa estudada.

Na terceira etapa, será analisado o material F3P por meio da máquina de ultrassom, podendo assim determinar sua densidade, velocidade longitudinal e velocidade transversal. Esse estudo é essencial para se conhecer a orientação das fibras do material utilizado no teste. Já na quarta etapa, dar-se-á início ao dimensionamento da placa bem como da amostra a ser testada na máquina de tração.

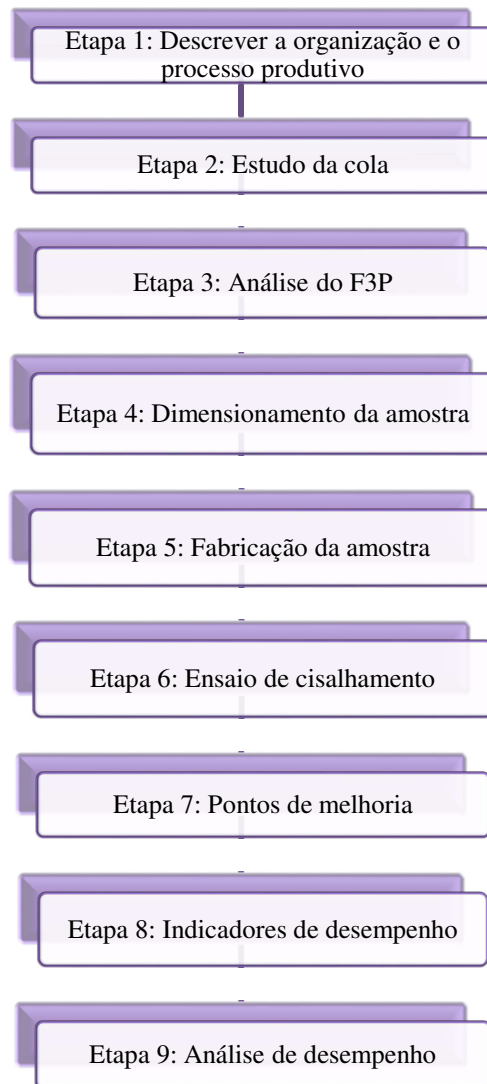
A quinta etapa traz a fabricação das placas utilizando os materiais determinados bem como seguido do processo de montagem estabelecido. Apresenta ainda a fabricação das amostras de peças que serão testadas na máquina de tração em conformidade com o dimensionamento estabelecido anteriormente. Já na sexta etapa é realizado o ensaio de cisalhamento sobre a montagem colada, bem como são apresentados o princípio do ensaio e a máquina presente no laboratório. Serão verificados os resultados da campanha de ensaio realizada e serão analisadas as curvas que configuram a representação dos valores apresentados no ensaio.

Na sétima etapa, serão analisados os principais pontos de melhoria desse princípio de teste realizado com as peças de amostra. Já na oitava etapa serão estabelecidos os indicadores de desempenho em relação ao método de fabricação, montagem e teste do material que compõe a carroceria automotiva.

Na nona e última etapa, serão verificados se, à partir dos indicadores de desempenho estabelecidos, o método adaptado de um já existente apresenta uma boa análise de desempenho ou não.

Um esquema mostrando as precedências de cada etapa pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 - Esquema de etapas do método proposto



Fonte: Autoria própria.

É de imprescindível importância que cada etapa seja concluída, avaliada e validada pelos responsáveis pelo processo produtivo da empresa. Abaixo pode ser verificado o detalhamento de cada uma das etapas anteriormente descritas.

#### ***4.2.1 Etapa 1: Descrever a organização e o processo produtivo organizacional***

A primeira etapa do método proposto é a descrição do processo produtivo. É necessário que o ciclo de produção dos materiais que compõem a carroceria do automóvel esteja claro e bem definido. Uma percepção equivocada do processo produtivo ou de uma

etapa do mesmo pode prejudicar consideravelmente a consistência do modelo assim como gerar resultados desastrosos que podem comprometê-lo.

Com esse intuito, deve-se realizar a fabricação conforme as normas e determinações da empresa. Isso é um fator determinante para a garantia da qualidade do produto bem como a aprovação perante os testes dos veículos de entrada na Europa, que é bastante rigoroso. É de fundamental importância a validação desta fabricação pelos responsáveis pelo processo produtivo a fim de evitar suposições errôneas na concepção das amostras e retrabalhos.

Após a conclusão desta etapa, a equipe responsável pelo estudo terá alcançado:

- a) um bom entendimento do funcionamento e objetivos da organização;
- b) uma compreensão da fabricação de materiais para o setor automobilístico.

#### ***4.2.2 Etapa 2: Estudo e análise da cola para a montagem da placa***

Para início desta segunda etapa, é necessária a conclusão e validação do processo de fabricação desejado pela organização.

Após isso, deve ser estudada e analisada a preparação dos materiais. Juntamente com a cola foi enviado pela empresa o procedimento de preparação dos materiais para a aplicação da cola a fim de que a placa seja montada corretamente.

Após a conclusão da preparação dos materiais deve-se aplicar a cola, respeitando a proporção entre os dois tipos de cola, a quantidade, bem como prensagem e a total secagem.

A análise e o estudo dos materiais assim como dos procedimentos a serem seguidos são fundamentais para que, ao final do processo de fabricação, as amostras estejam em perfeitas condições de análise. Isso contribuirá para um resultado mais próximo e coerente com as exigências do setor automobilístico.

A equipe responsável pelo estudo, ao fim desta etapa terá alcançado:

- a) propriedades da cola a ser utilizada;
- b) procedimentos de preparação do material;
- c) lista de etapas do processo de colagem e secagem.

### ***4.2.3 Etapa 3: Análise do material F3P por meio da máquina de ultrassom***

Para iniciar a terceira etapa, é importante a consolidação da compreensão dos procedimentos de fabricação e das propriedades da cola a ser utilizada para a montagem das placas.

Nessa etapa, o material de compósito reforçado com fibra de carbono será analisado detalhadamente através de uma máquina de ultrassom. Através desse estudo é possível determinar a densidade do material, pois este fica imerso na água.

Além disso, através da velocidade longitudinal e a velocidade transversal das ondas sonoras é possível conhecer a orientação das fibras.

O arranjo ou a orientação das fibras umas em relação às outras, a concentração das fibras e sua distribuição exercem uma influência significativa sobre a resistência e sobre outras propriedades dos compósitos reforçados com fibra. Dessa forma, essa análise é essencial para que se possa testar o material de acordo com as suas propriedades.

Com esta etapa concluída, a equipe responsável pelo estudo terá alcançado:

- a) densidade do material;
- b) concentração e orientação das fibras.

### ***4.2.4 Etapa 4: Dimensionamento da placa e da amostra***

Para início da quarta etapa, é necessário o conhecimento profundo do material F3P, assim como a concentração e orientação das fibras que o compõe.

Após a análise do material F3P, deve ser realizado o dimensionamento da placa e das amostras a serem testadas. Assim, como dos materiais que serão utilizados para assegurar a geometria determinada, nesse caso serão o alumínio e o teflon.

Uma dificuldade particular diz respeito ao dimensionamento da junta adesiva, que, na falta de uma ferramenta adequada, está sendo feita de forma empírica, em especial quando se trata do comportamento à uma colisão.

Após a conclusão desta etapa, terá sido alcançado pela equipe responsável:

- a) o dimensionamento da placa montada;
- b) a geometria da peça de amostra que será testada.

#### ***4.2.5 Etapa 5: Fabricação das placas e das amostras de teste***

Para realização desta etapa, é fundamental que o dimensionamento da placa e da amostra tenham sido validados pelos responsáveis, a fim de que a fabricação possa ser efetuada de forma correta.

Além disso, é importante que todas as etapas de fabricação tenham sido definidas e sejam seguidas, assegurando a qualidade da amostra produzida.

Em consequência da conclusão da quinta etapa, os responsáveis pelo estudo terão alcançado:

- a) fabricação das placas a partir do processo de montagem estabelecido;
- b) produção das amostras de peças que serão testadas na máquina de tração.

#### ***4.2.6 Etapa 6: Realização do ensaio de cisalhamento e análise dos resultados***

Para realização da sexta etapa, é necessário que a produção das amostras tenha sido concluída para então colocá-las em teste.

Dessa forma, são explicados o princípio do ensaio e a máquina utilizada para os testes. Assim, as amostras são testadas e os seus resultados são analisados a partir das curvas geradas. É fundamental que cada amostra seja estudada detalhadamente, observando em qual estrutura (compósito ou adesivo) ocorreu a ruptura.

Para iniciar a próxima etapa, é necessário que os responsáveis pelo estudo tenham em mãos:

- a) os resultados das amostras que foram testadas;
- b) as curvas que determinam a relação entre os fatores analisados.

#### ***4.2.7 Etapa 7: Pontos de melhoria do princípio de teste***

Para realização desta etapa, é imprescindível que os ensaios tenham sido concluídos para que seja feita a avaliação do teste. A partir desta fase, será analisado o método aplicado, bem como os possíveis pontos de melhoria.

Estes fatores encontrados são importantes para impulsionar a análise dos testes realizados, projetando um princípio de teste ideal para basear os estudos futuros.

Após a conclusão desta sétima etapa, a equipe responsável pelo estudo terá em mãos:

- a) percepção dos pontos de melhoria a serem aplicados em estudos futuros;
- b) procedimento padrão do método aplicado.

#### ***4.2.8 Etapa 8: Determinação dos indicadores de desempenho***

Para a realização desta etapa, é necessário que o método tenha sido analisado de uma forma geral para depois determinar os indicadores que serão utilizados para a análise de desempenho de uma forma mais específica.

Assim sendo, serão estabelecidos indicadores em relação ao método de fabricação das placas e das amostras, montagem e teste do compósito que compõe a carroceria automotiva.

Com esta etapa concluída, terá sido alcançado pela equipe responsável:

- a) fatores a serem relacionados pelos indicadores desempenho;
- b) tabela de indicadores de desempenho a serem analisados.

#### ***4.2.9 Etapa 9: Análise de desempenho do método proposto***

Para a realização desta etapa, é necessário que os indicadores de desempenho tenham sido estabelecidos de forma coerente.

Em seguida, pode-se conceber a análise de desempenho do método em questão. Dessa forma, através de cada fator relacionado nos indicadores de desempenho pode-se fazer uma análise criteriosa e qualitativa a respeito do método proposto.

Em consequência da conclusão da última etapa do método, os responsáveis pelo estudo terão em mãos:

- a) análise de desempenho, através de cada indicador estabelecido;
- b) percepção de como a análise desses indicadores pode gerar um método padrão mais eficiente.

### 4.3 Considerações

Neste capítulo, o trabalho foi definido como um estudo de caso com características de uma pesquisa exploratória. De acordo com sua finalidade, este estudo foi considerado uma pesquisa aplicada e qualitativa.

O estudo também pode ser classificado como uma pesquisa de laboratório e as etapas para realização do trabalho foram explicitadas.

Em seguida foram descritas as nove etapas do método proposto, onde, dentre elas, devem abordar: definição da empresa e o método de fabricação das amostras que serão testadas, o ensaio de cisalhamento e os seus resultados, a definição dos indicadores e a análise de desempenho.

No próximo capítulo, o método proposto será aplicado.

## **5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO**

O presente capítulo traz a aplicação do método propriamente dito, com base nas características da Faurecia, empresa líder francesa que atua no ramo de produção de equipamentos automobilísticos. Através das características da empresa, foi possível aplicar consistentemente o método proposto e alcançar bons resultados.

### **5.1 Etapa 1: Descrever a organização e o processo produtivo organizacional**

Como sugerido na descrição do método a ser utilizado, a primeira etapa do estudo foi a descrição da organização e do processo produtivo. Um estudo detalhado do funcionamento da empresa e do ramo de mercado foi necessário a fim de tornar mais clara a percepção quanto ao funcionamento da empresa.

A sociedade ECIA (Equipamentos e Componentes para a Indústria Automobilística) nasceu em 1997 a partir da fusão da Ciclos Peugeot e Peugeot Aços e Ferramentas. Com vendas de 11 bilhões de euros e 60.000 funcionários em 34 países, inclusive no Brasil, a Faurecia é o maior fornecedor no mundo inteiro.

O objetivo da empresa Faurecia é perceber as expectativas dos fabricantes e pilotos para desenvolver soluções técnicas e os produtos tecnológicos do carro do amanhã. Atualmente, o carro está cada vez mais personalizado, mais ainda adaptado para a utilização de cada um, no respeito crescente ao meio ambiente.

O grupo produz peças de carroceria e componentes estruturais para os fabricantes automotivos em geral (Renault e PSA Peugeot Citroën) e "premium" (Aston Martin, Audi, Lotus e McLaren Automotive).

A empresa Faurecia implanta suas atividades de inovação, engenharia e produção em quatro aspectos principais do automóvel, representados pela Figura 12: assentos automotivos, sistemas de interiores, exteriores automotivos e tecnologias de controle de emissões. Em cada um, o grupo contribui para o estilo, conforto, segurança, qualidade e desempenho ambiental dos veículos.



Figura 12 - Organização operacional global e descentralizada



Fonte: Autoria própria.

O grupo de pesquisa e desenvolvimento realiza anualmente 200 projetos de inovação em matéria de segurança, conforto, interior de gerenciamento de espaço, desempenho ambiental, qualidade percebida e otimização de custos. Cerca de 460 patentes são arquivadas todos os anos pela Faurecia.

## 5.2 Etapa 2: Estudo e análise da cola para a montagem da placa

A segunda etapa da pesquisa foi o estudo e a análise da cola utilizada para a fabricação das placas de onde resultarão as amostras, que serão o objeto de estudo.

Para realizar esta etapa, foi enviada pela Faurecia Automotive Composites a cola do tipo BETAMATE 7000/7050L, apresentada na Figura 13, para trabalhar na caracterização do substrato de cola na amostra da placa.

Figura 13 - Cola BETAMATE 7000/7500



Fonte: A autoria própria.

Estes dois tipos de cola se caracterizam por componentes de temperaturas ambiente endurecidos rapidamente de poliuretano adesivo estrutural com um elevado módulo de elasticidade. Sob encomenda BETAMATE 7000/7050L está disponível em versões mais rápidas ou mais lentas de tempo de trabalho.

Todos os produtos da Dow Automotive são desenvolvidos principalmente em colaboração com fabricantes de automóveis, de acordo com suas necessidades e especificações, eles são aprovados para aplicações específicas, conforme definido pelo cliente. Na Figura 14, pode-se visualizar as especificações técnicas para os dois tipos de cola utilizados.

Figura 14 - Dados técnicos dos dois tipos de cola

Tipo de cola	7000	7050L
Base	PU pré-polímero	Polióis
Cor	marrom	Bege
Densidade	1,35 – 1,40 g/cm <sup>3</sup>	1,21 – 1,25 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidade	20 – 60 Pa.s	20 – 70 Pa.s
A rotação da mistura (em volume)	1 :1+/-0,05	1 :1+/-0,05
Temperatura de aplicação	10 – 35°C	10 – 35°C
Tempo de abertura (versão standard)	10 – 15 minutos	10 – 15 minutos
Processamento de potência (0,35 MPa ao cisalhamento)	Espera de cerca 60 minutos	Espera de cerca 60 minutos
Tempo de secagem	16 – 24h	16 – 24h
Resistência à tração	> 28Mpa	> 28Mpa
Alongamento de ruptura	Cerca de 5%	Cerca de 5%
Resistência ao cisalhamento	> 20 MPa	> 20 MPa
Módulo de Young	Cerca de 3100 MPa	Cerca de 3100 MPa
Dureza	Cerca de 70	Cerca de 70
Resistência ao calor	30 minutos à 200 ° C	30 minutos à 200 ° C

Fonte: A autoria própria.

A resistência química deste tipo de cola é boa contra produtos químicos aquosos, gasolina e álcool. Bom o suficiente contra o éster, cetona e aromáticos e hidrocarbonetos clorados.

Todas as superfícies devem estar livres de sujeira, poeira, graxa e óleo. Em alguns casos, pode ser necessária a utilização de um promotor de adesão, por esta razão são recomendados testes preliminares.

A cola BETAMATE 7000/7050L pode ser removida com BETACLEAN 3000 somente de forma mecânica. Deve-se mergulhar as ferramentas na BETACLEAN 3000. O prazo de validade é 6 meses e o produto deve ser mantido em temperaturas entre 15 °C e 30°C.

Para a colagem, a empresa Faurecia exige, através de um protocolo para a manutenção da qualidade dos seus produtos, que o procedimento abaixo seja seguido, como exposto na Figura 15:

- a) Limpar a amostra;
- b) Desengordurar a amostra;
- c) Lixar as peças coladas com o papel 80;
- d) Limpar a amostra;
- e) Desengordurar a amostra;
- f) Realizar a colagem.

Figura 15 – A: Lixamento das placas compósitas; B: Lixamento das placas de alumínio



Fonte: Autoria própria.

### 5.3 Etapa 3: Análise do material F3P por meio da máquina de ultrassom

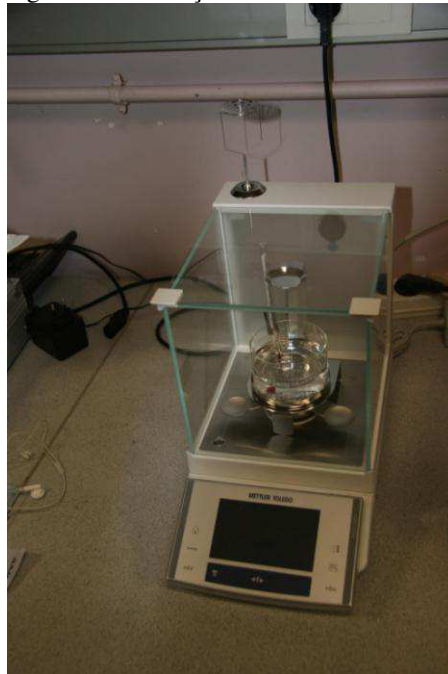
A terceira etapa do estudo foi a análise do F3P, material utilizado para a composição das placas, através da máquina de ultrassom.

As medidas de ultrassom permitiram identificar as direções preferenciais das fibras. O material é um tecido que possui essas direções conhecidas, mas não é bastante equilibrado pela indústria, há 52% de fibras na direção de urdidura e de 48% na direção da trama.

#### 5.3.1 Determinação da densidade

Deve-se, primeiramente, determinar a densidade do material. A medição foi realizada com uma balança hidrostática, apresentada na figura 16.

Figura 16 - Balança hidrostática



Fonte: Aatoria própria.

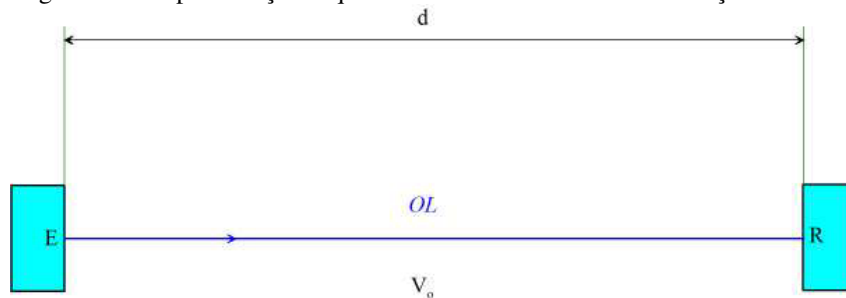
### 5.3.2 Determinação da velocidade longitudinal ( $V_{ol}$ )

A técnica utiliza duas sondas, uma emissora (E) e, em frente desta, uma outra receptora (R). A distância "d" entre as duas sondas é conhecida (medida ou imposta) e mantém-se constante durante toda a operação.

No primeiro momento, deve-se medir a velocidade de propagação de ondas em um único líquido, que é representada esquematicamente na Figura 17. Para fazer isso, usando um osciloscópio, é determinada para o tempo de ciclo ( $t_0$ ) e sabendo a distância, deduz-se a velocidade  $V_0$  através da equação abaixo:

$$V_0 = \frac{d}{t_0} \quad (1)$$

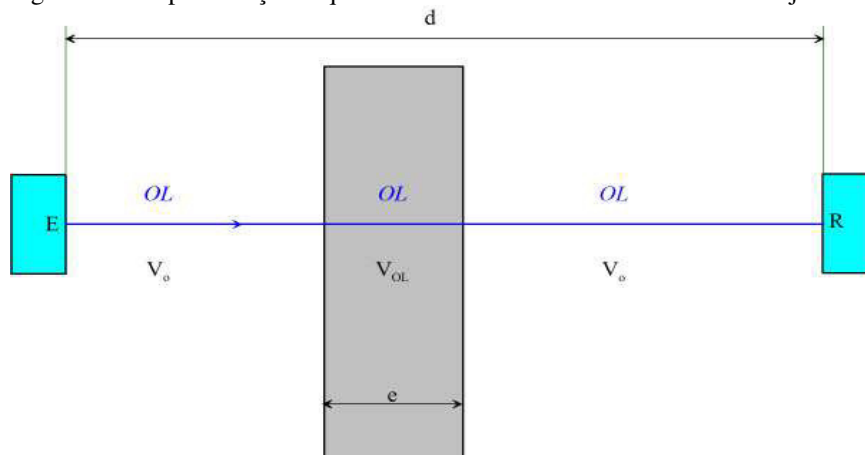
Figura 17 – Representação esquemática das duas sondas na medição de  $V_0$



Fonte: Autoria própria.

Em um segundo momento, analisa-se o trajeto do som, elemento de espessura ( $e$ ). Este elemento está disposto perpendicularmente ao feixe de ultrassom. A espessura ( $e$ ) é determinada utilizando um micrômetro. Em seguida, mede-se o novo tempo de ciclo ( $t_e$ ), mais uma vez usando um osciloscópio, como representado esquematicamente pela Figura 18.

Figura 18 – Representação esquemática das duas sondas na análise do trajeto do som



Fonte: Autoria própria.

O tempo  $t_e$  é definido pela fórmula abaixo, onde  $V_e$  é a velocidade em OL, na amostra:

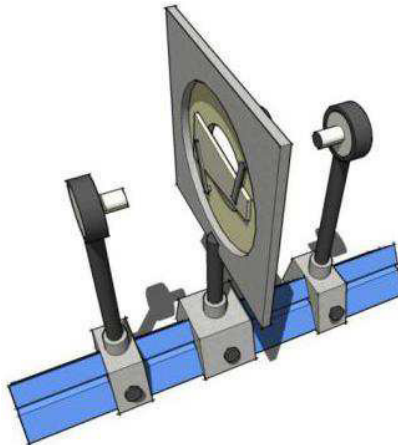
$$t_e = \frac{d-e}{V_0} + \frac{e}{V_e} \quad (2)$$

Após os cálculos realizados, obtém-se enfim:

$$V_e = \frac{e}{t_e - \frac{d-e}{V_0}} = V_{ol} \quad (3)$$

A Figura 19 mostra o esquema de montagem para a dedução de  $V_{ol}$ .

Figura 19 - Esquema de montagem para  $V_{ol}$



Fonte: Autoria própria.

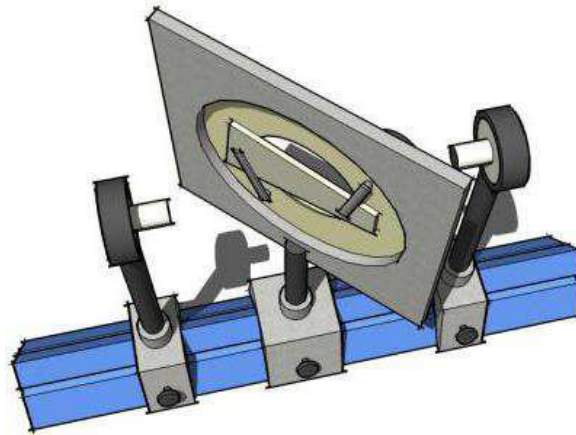
### 5.3.3 Determinação da velocidade transversal ( $V_{ot}$ )

O primeiro passo é absolutamente análogo para a determinação de  $V_{ol}$ . Esta é a determinação da velocidade de propagação no  $V_0$  líquido.

Numa segunda fase, volta-se para um ângulo ( $i$ ), o chamado ângulo de incidência, para se fazer desaparecer, completamente se possível, OL transmitido para exibir a onda OT. Aqui se usam as leis de Snell Descartes, onde  $V_{ot}$  é a velocidade transversal do elemento:

$$\frac{\text{sen}(i)}{V_0} = \frac{\text{sen}(r)}{V_{OT}} \quad (4)$$

A Figura 20 representa o esquema de montagem para a dedução de  $V_{ot}$ .

Figura 20 - Esquema de montagem para  $V_{OT}$ 

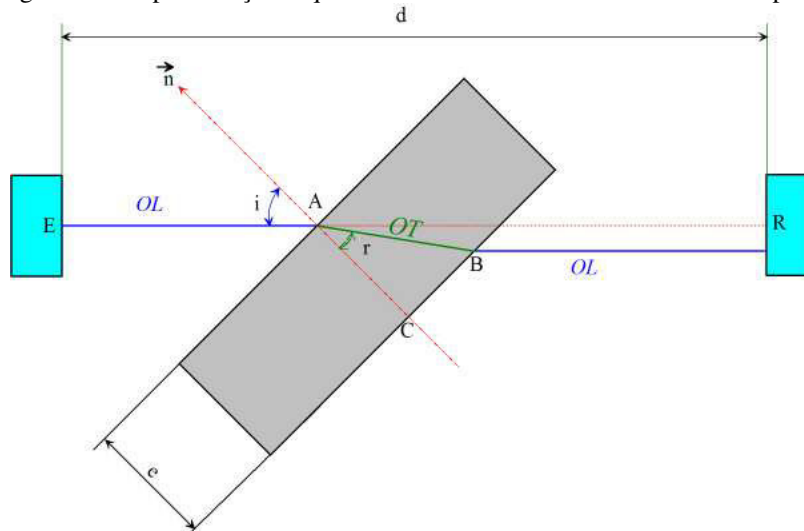
Fonte: Autoria própria.

Através do osciloscópio, lê-se o novo tempo de ciclo ( $t_e$ ). Tendo em conta que a distância EA e BR são feitas a velocidade  $V_0$  e a distância AB é feita a velocidade  $V_{OT}$ , o tempo de ciclo é igual a:

$$t_e = \frac{EA+BR}{V_0} + \frac{AB}{V_{OT}} \quad (5)$$

Na Figura 21, pode-se perceber a representação esquemática das duas sondas através do osciloscópio.

Figura 21 - Representação esquemática das duas sondas com o osciloscópio



Fonte: Autoria própria.

Esta última relação, juntamente com a relação de Snell Descartes apresentada acima, fornece todos os cálculos da seguinte expressão para a velocidade  $V_{OT}$ :

$$V_{OT} = \frac{eV_0}{\sqrt{e^2 + 2eV_0(t_e - t_0) \cos(i) + V_0^2(t_e - t_0)^2}} \quad (6)$$

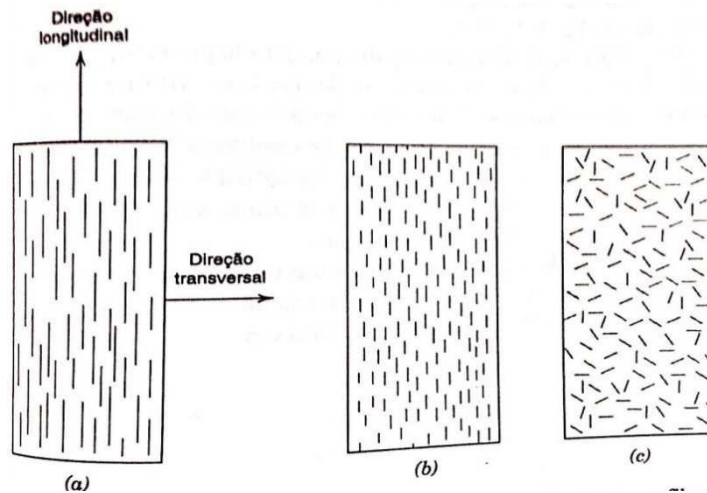
### 5.3.4 Determinação da orientação das fibras

Em relação à orientação das fibras, Callister (2006), apresenta duas possíveis situações extremas: (1) um alinhamento paralelo do eixo longitudinal das fibras em uma única direção e (2) um alinhamento totalmente aleatório.

De acordo com Callister (2006, p. 477), “Normalmente, as fibras contínuas se encontram alinhadas, enquanto as fibras descontínuas podem estar alinhadas, orientadas aleatoriamente, ou parcialmente orientadas”.

A distribuição das fibras de forma uniforme caracteriza a melhor combinação geral das propriedades dos compósitos, no entanto essa distribuição não é encontrada facilmente. Na Figura 22, pode-se visualizar a representação esquemática da disposição das fibras em compósitos.

Figura 22 - Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas, e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.



Fonte: Callister (2006).

Para o ultrassom as velocidades mínimas são iguais. As velocidades máximas também são substancialmente iguais. Não há (ou muito pouco) reforços (fibras) no plano.

De acordo com a curva pode concluir-se que existe uma orientação das fibras na direção de  $150^\circ$  e  $330^\circ$ .



#### 5.4 Etapa 4: Dimensionamento da placa e da amostra

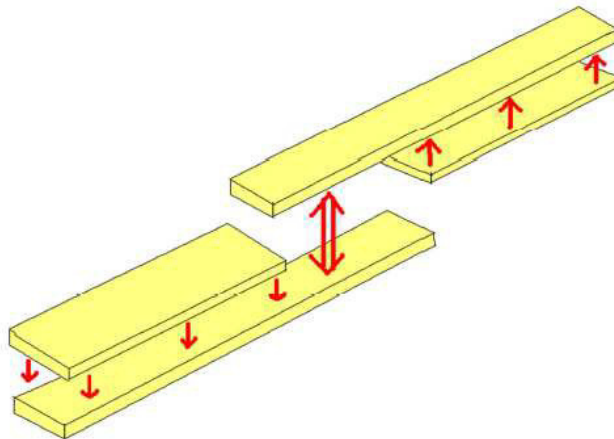
Nesta quarta etapa, será realizado o dimensionamento da placa e da amostra para a confecção do material a ser testado. Dessa forma, esta é uma etapa essencial para o desempenho da estrutura compósita, bem como os resultados dos testes.

Para alcançar testes adequados para as juntas coladas e permitir a realização de testes similares e reprodutíveis, deve-se colocar em prática um método de fabricação da estrutura compósita colada.

Foram estudados métodos antigos da empresa para criar um sistema de fabricação rápido das amostras de mesma dimensão, como pode ser visto na Figura 23.

Apenas a espessura da cola entre as amostras não pode ser idêntica de uma amostra para outra. Felizmente, foi-se capaz de melhorar o método para superar este problema.

Figura 23 - Princípio da montagem colada



Fonte: Autoria própria.

Para a concepção das peças de ensaio foi caracterizado um dimensionamento das amostras, representado na Figura 24.

Figura 24 - Dimensionamento da montagem colada

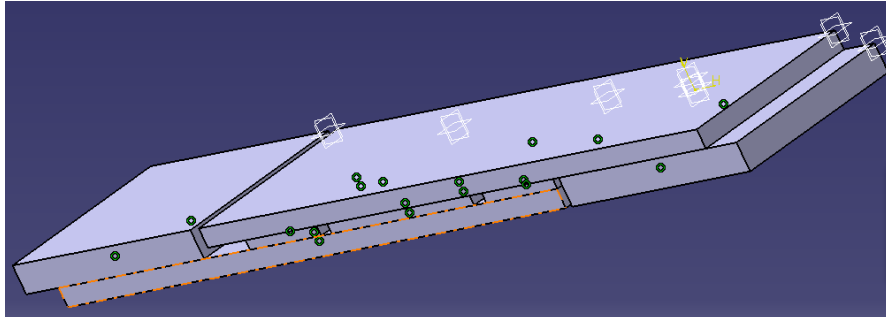


Fonte: Autoria própria.

O comprimento das amostras é 90mm, a largura 15mm e a espessura 2mm. Deve-se colar as duas placas com a cola fornecida pela empresa (BETAMATE 7000/7050L).

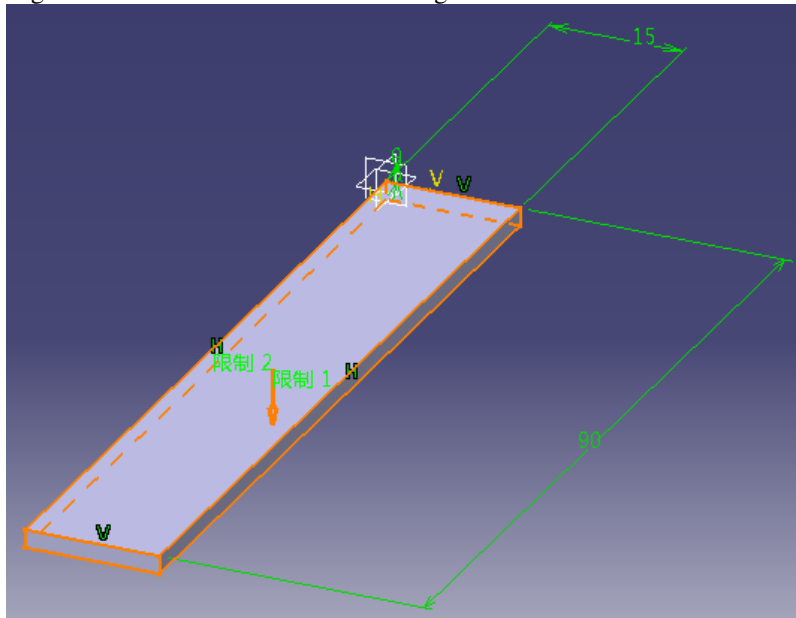
Nas Figuras 25 e 26, têm-se as representações em 3D realizadas no *software* francês CATIA (Aplicação Interativa Tridimensional Assistida por Computador).

Figura 25 - Montagem colada no CATIA



Fonte: Autoria própria.

Figura 26 - Dimensionamento da montagem colada no CATIA



Fonte: Autoria própria.

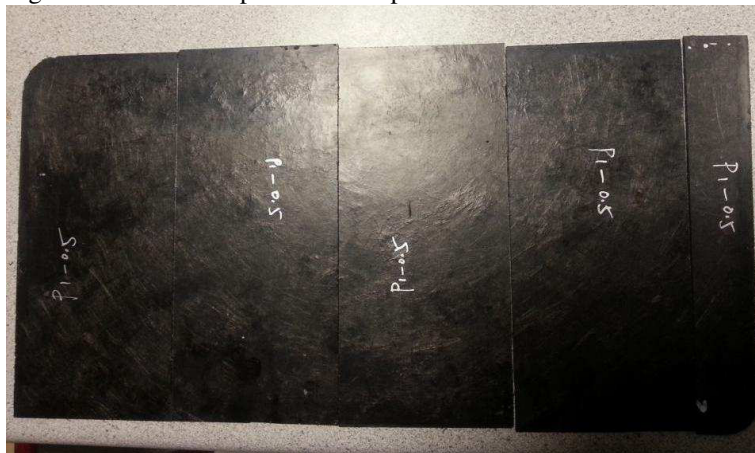
### 5.5 Etapa 5: Fabricação das placas e das amostras de teste

Após a realização do dimensionamento da placa e da amostra a ser testada, é possível realizar a quinta etapa, que trata da fabricação das placas e das amostras. Esta etapa é fundamental para o desenvolvimento do princípio de teste, pois as amostras serão fabricadas, coladas e prensadas uma a uma em conformidade com os padrões de qualidade exigidos pela indústria automobilística.

### 5.5.1 Fabricação das placas

Em primeiro lugar, as placas de material F3P foram cortadas em pedaços dimensionados anteriormente para a colagem, como pode ser observado na Figura 27, e, em seguida, foram identificadas em três grupos diferentes para a realização dos testes. O grupo P1 teria em sua montagem 0,5 mm de espessura de cola, o grupo P2 teria 1mm de espessura de cola e, por fim, o grupo P3 teria 3mm de espessura de cola.

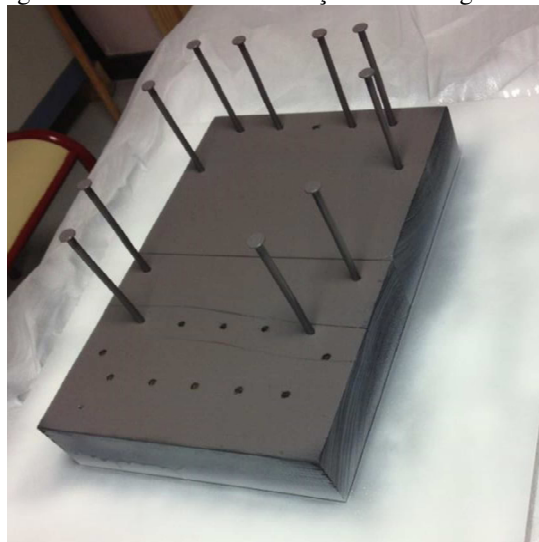
Figura 27 - Corte das placas de compósito



Fonte: Autoria própria.

De modo a reproduzir o teste, foi confeccionado o sistema mostrado na Figura 28, utilizando um bloco de madeira, 10 parafusos de aço e placas fabricadas de teflon, que são inseridas entre as amostras para assegurar a espessura de cola, sem que as amostras sejam coladas entre si.

Figura 28 - Sistema de fabricação da montagem colada



Fonte: Autoria própria.

A placa completa foi montada de acordo com o desenho esquemático e com o desenho em 3D feito no software CATIA. A Figura 29 mostra o resultado da montagem final. Têm-se as placas de compósito (preta), o teflon (branco) para assegurar que a cola não unisse as estruturas e as placas de alumínio (prata) que foram utilizadas para complementar a estrutura.

Figura 29 – A: Placa devidamente montada e colada; B: Vista lateral da placa



Fonte: Autoria própria.

As placas de alumínio foram utilizadas como uma alternativa à baixa quantidade de material F3P fornecido pela empresa, bem como por ser mais barato e não prejudicar no resultado final do teste.

Depois de realizar a montagem e a colagem, as placas foram submetidas a uma máquina mecânica conhecida como prensa, para assegurar que a estrutura ficasse perfeitamente colada. Também deve-se ter cuidado para que não haja bolhas de ar na cola, de modo que fique exatamente a mesma superfície de cola entre todas as amostras. As placas ficaram sob a prensa por dois dias completos até que a cola estivesse completamente endurecida.

### ***5.5.2 Fabricação das amostras de teste***

Para todas as espessuras de cola (0,5mm, 1mm e 3mm), foram fabricadas 20 amostras bem-sucedidas, ou seja, 60 amostras ao todo, como podem ser vistas na Figura 30.

Algumas peças de ensaio que não tiveram uma espessura de cola constante foram descartadas antes de ser realizado o teste.

Figura 30 – A: Amostras da montagem colada para a espessura de 0,5mm de cola; B: Vista lateral da amostra colada



Fonte: Autoria própria.

## 5.6 Etapa 6: Realização do ensaio de cisalhamento e análise dos resultados

Após a fabricação das amostras descrita na etapa anterior, é possível realizar o ensaio de cisalhamento em uma máquina de tração de alta velocidade. As condições simuladas refletem colisões de automóveis. Dessa forma, cada grupo de amostra de acordo com as espessuras de cola (0,5mm, 1mm e 3mm) será testado em três velocidades de movimento diferentes (0,05m/s, 0,5 m/s e 2,5 m/s).

A partir disso, poderá ser feito a avaliação de qual dimensionamento de espessura de cola obteve uma maior resistência à velocidade de ensaio. Essa análise é muito importante, pois revela em qual parte da amostra se dá o mecanismo de dano, por exemplo no compósito ou no substrato de cola. Assim, pode-se desenvolver análises de como fabricar um veículo que ofereça maior segurança para o usuário de automóvel, ou seja, um veículo que contenha um material em sua carroceria que sofra o menor desgaste possível.

Vale ressaltar, que a velocidade de 2,5 m/s para o dimensionamento da amostra testada é uma velocidade muito alta.

### ***5.6.1 Princípio do ensaio***

Serão realizados ensaios de cisalhamento em uma máquina de ensaio de tração em alta velocidade, exposta na Figura 31.

Os diferentes ensaios de cisalhamento realizados na máquina de tração serão observados e gravados usando uma câmera com uma aquisição de imagem de alta velocidade (até 500.000 imagens por segundo). Neste projeto, um valor de 500 a 1000 imagens gravadas por segundo será mais do que suficiente. Como mencionado anteriormente, este princípio experimental será realizado com três diferentes grupos de amostras.

Figura 31 – Máquina de ensaio de tração em alta velocidade



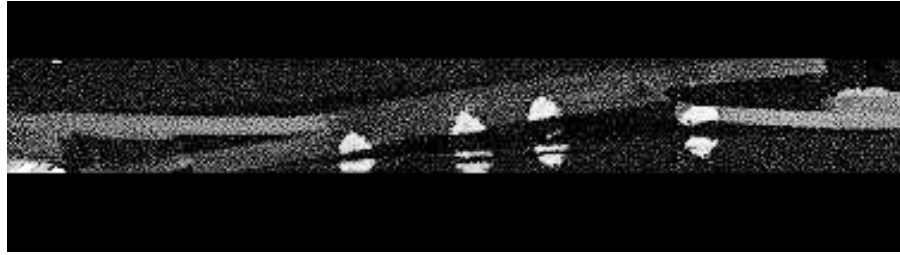
Fonte: Autoria própria.

### ***5.6.2 Resultado do ensaio de cisalhamento das montagens coladas***

Os resultados foram obtidos através da máquina de tração em alta velocidade e equipada com uma câmera. Para cada espessura, fizeram-se alguns testes.

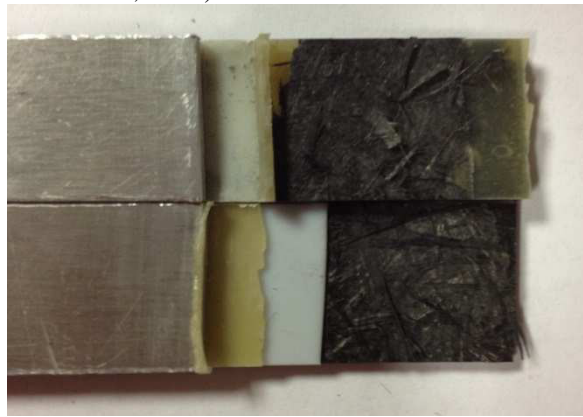
Para a espessura 0,5mm, a uma velocidade de 0,05m/s, pode ser visualizada na Figura 32 o momento da ruptura da amostra e na Figura 33 como a amostra ficou após a quebra.

Figura 32 - Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 0,05m/s) visualizada na câmera



Fonte: Autoria própria.

Figura 33 - Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 0,05m/s)



Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, nota-se que o modo de falha ocorreu no substrato, ou seja, no compósito, tendo uma alto nível de desgaste.

Para a espessura 0,5mm, a uma velocidade de 0,5m/s, pode ser observada na Figura 34 o momento da quebra da amostra, a partir da imagem fornecida pela câmera e, ainda, na Figura 35 como a amostra ficou após a falha.

Figura 34 - Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 0,5m/s) visualizada na câmera



Fonte: Autoria própria.

Figura 35 - Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 0,5m/s)

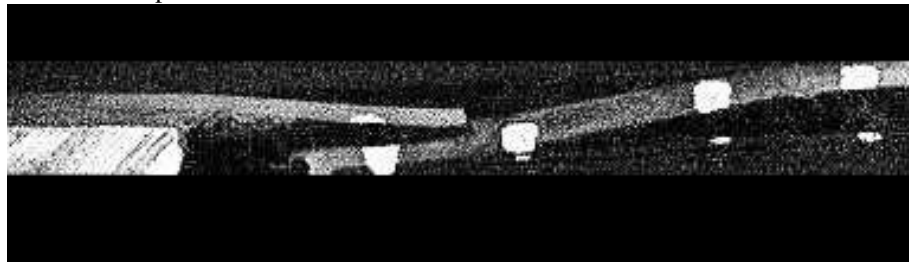


Fonte: A autoria própria.

Nesse sentido, observa-se que o mecanismo de dano ocorreu no substrato, ou seja, no compósito, no entanto apresenta um médio nível de desgaste.

Para a espessura 0,5mm, a uma velocidade de 2,5m/s, pode ser analisada na Figura 36 o instante da ruptura da amostra e, ainda, na Figura 37 como a amostra se comportou após o dano sofrido.

Figura 36 - Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 2,5m/s) visualizada pela câmera



Fonte: A autoria própria.

Figura 37 - Ruptura das amostras (espessura 0,5mm, velocidade 2,5m/s)



Fonte: A autoria própria.

Logo, percebe-se que o modo de falha aconteceu levemente no substrato, havendo um baixo nível de desgaste.



Para a espessura de 0,5 mm e 1 mm a ruptura ocorre no compósito, no próprio material F3P. Pode-se concluir que o compósito é mais fraco do que a junta adesiva, ou seja, sofre um desgaste maior quando submetido à alta velocidade, se rompendo mais facilmente.

Para a espessura de 3 mm, o mecanismo de dano ocorre na junta adesiva. Nessa montagem, a estrutura compósita se demonstra mais forte quando submetida à alta velocidade de impacto.

### **5.7 Etapa 7: Pontos de melhoria do princípio de teste**

É importante perceber que apesar dos equipamentos modernos de laboratório, da qualidade exigida pelas indústrias automobilísticas e dos treinamentos técnicos recebidos para o desenvolvimento da metodologia existem pontos de melhoria viáveis a serem realizados em projetos futuros que serão fundamentais para uma análise mais consistente.

Acredita-se que, na ruptura, o teflon utilizado para assegurar a espessura de cola bloqueia enormemente o movimento da cola. É por isso que não se pode obter o resultado satisfatório para montagem de 3 mm.

É melhor escolher a mesma placa como suporte para assegurar corretamente a espessura, e não a placa de alumínio como foi utilizada. Contudo, mesmo que não influa diretamente nos resultados dos testes, a montagem feita somente com a placa de compósito se iguala a montagem real feita em um automóvel de entrada no mercado.

Neste projeto, utilizou-se uma pistola fabricada artesanalmente para que os dois tipos de cola, BETAMATE 7000 e 7050 fossem despejados e misturados em quantidade semelhantes. Dessa forma, para a colagem é importante dispor de uma pistola adequada para que a quantidade de cola seja a mesma.

Escolheu-se o teflon para assegurar a espessura de cola, evitando que as placas colassem entre si, no entanto, o resultado não é muito satisfatório para a espessura de 3 mm. Deve-se pensar em um outro material para estudos futuros.

## 5.8 Etapa 8: Determinação dos indicadores de desempenho

Nesta etapa, devem ser levantados e definidos os potenciais indicadores de desempenho que sejam capazes de medir os processos críticos do método de colagem e teste dos materiais compósitos desta organização.

Evidentemente, dentro de um ensaio de testes existem vários processos envolvidos. No entanto, o acompanhamento de indicadores para todos eles não é recomendado, sob pena de tornar o processo de coleta de dados demasiadamente complexo e dificultar a tomada de decisões diante de informações dispersas. Aqui, os indicadores de desempenho deste método compreendem etapas importantes do processo, apresentadas na Figura 38.

Figura 38 – Indicadores de desempenho do método estudado

<b>Indicador de Desempenho</b>	<b>Descrição</b>	<b>Cálculo</b>
Modo de falha	Corresponde ao tipo de dano sofrido pela amostra durante o ensaio, considerando a espessura de cola da peça e a velocidade de tração submetida.	$(\text{Número de peças que sofreram o tipo de mecanismo de dano} / \text{Total de peças testadas}) * 100$
Deformação do material	Mede de acordo com a escala de deformação estabelecida o nível de absorção de impacto sofrido pela peça de acordo com a espessura de cola utilizada na fabricação.	$(\text{Número de peças que sofreram nível de desgaste} \times / \text{Peças com determinada espessura da cola}) * 100$

Fonte: Autoria própria.

Foram fabricadas no total 60 peças, 20 para cada espessura de cola. No entanto, algumas peças que não obtiveram uma espessura de cola constante foram descartadas antes de serem submetidas ao ensaio de cisalhamento. Para a espessura de cola de 0,5mm, as 20 amostras foram satisfatórias, já para a espessura de 1mm foram descartadas 2 amostras e para a espessura de 3mm foram descartadas 6 amostras, o que resultada em 52 amostras aptas a serem submetidas ao ensaio de cisalhamento.

Dessa forma, serão detalhados abaixo cada indicador de desempenho, bem como os seus cálculos serão realizados.

a) Modo de falha:

De acordo com a literatura, o mecanismo de dano pode acontecer de três formas diferentes: a falha pode ser contida em um dos dois substratos, no adesivo ou na coesão entre o substrato e o adesivo.

Através da filmagem e das fotos realizadas para cada ensaio de cisalhamento, os modos de falha podem ser classificados de acordo com os três tipos acima citados. A Figura 39 mostra a quantidade de peças que sofreram determinado tipo de deformação de acordo com a espessura de cola (E0,5 mm, E1mm e E3mm).

Figura 39 – Classificação do modo de falha pela espessura da cola

Modo de falha	Substrato	Adesivo	Coesão	Total de testes
E0,5	14	5	1	20
E1	10	6	2	18
E3	3	2	9	14
Total	27	13	12	52

Fonte: Autoria própria.

Logo, podem ser determinadas as taxas para cada modo de falha.

$$\left( \frac{\text{Número de peças que sofreram o tipo de mecanismo de dano}}{\text{Total de peças testadas}} \right) * 100 \quad (7)$$

Taxa de deformação no substrato = 52%

Taxa de deformação no adesivo (cola) = 25%

Taxa de deformação na coesão entre o substrato e o adesivo = 23%

b) Deformação do material (absorção de impacto):

Partindo do número de 27 amostras que sofreram desgaste no substrato, foi feita uma escala de deformação para classificar o nível de desgaste sofrido pelo material, ou seja, quanto maior o seu desgaste mais o compósito conseguiu absorver o impacto da quebra. Dessa forma, pode-se concluir que quando um automóvel sofre uma colisão, é importante que o material absorva o maior nível de impacto possível, oferecendo maior segurança para as pessoas que estão envolvidas na colisão, independente da velocidade submetida.

A escala de deformação foi dividida em três níveis: baixo desgaste, médio desgaste e alto desgaste, conforme a Figura 40.

Figura 40 – Classificação do nível de desgaste pela espessura da cola

Nível de desgaste	Baixo	Médio	Alto	Total
E0,5	0	4	10	14
E1	0	3	7	10
E3	2	1	0	3
Total	2	8	17	27

Fonte: Autoria própria.

Logo, podem ser determinadas as taxas para cada nível de desgaste.

$$\left( \frac{\text{Número de peças que sofreram nível de desgaste } x}{\text{Peças com determinada espessura da cola}} \right) * 100 \quad (8)$$

Taxa de baixo desgaste = 7,4%

Taxa de médio desgaste = 29,6%

Taxa de alto desgaste = 63%

### 5.9 Etapa 9: Análise de desempenho do método proposto

Após o estabelecimento dos indicadores, foi feita nesta etapa a análise de desempenho do método em questão. Assim, de acordo com cada fator proposto nos indicadores de desempenho, pode-se fazer uma análise qualitativa a respeito do método relacionado.

O primeiro indicador foi o modo de falha sofrido pela amostra, considerando a espessura de cola de cada uma. A taxa do modo de falha no substrato corresponde a mais da metade (52%), o que significa que a coesão destes materiais é menor do que a adesão entre os componentes. As taxas do modo de falha no adesivo e na coesão entre o substrato e o adesivo são quase equivalentes, 25% e 23%, respectivamente. Vale ressaltar a importância do modo de falha ocorrer no substrato, pois é ele que absorve o impacto protegendo os passageiros envolvidos.

A ideia de melhorar o carro para machucar menos seus ocupantes durante os desastres é um conceito quem vem sendo desenvolvido cada vez mais. Ainda hoje, é comum ouvir comentários sobre "os bons tempos quando os carros batiam e não amassavam". Os testes, contudo, provaram que nesses "bons tempos" eram os passageiros que se machucavam profundamente, no lugar da lataria, ou seja, as latarias antigas protegiam somente o carro, não os passageiros.

No impacto, o automóvel indeformável desacelerava totalmente em milésimos de segundos, assim motoristas e passageiros eram jogados violentamente contra a direção, o painel ou para-brisa, essa colisão era fatal. Era como se o choque fosse transferido para o motorista, devido à inércia, ou seja, como se o próprio motorista tivesse trombado com outro veículo. Para que as pessoas não tivessem que sofrer essas enormes pancadas, surgiram as carrocerias. Enquanto amassam, as carrocerias absorvem energia e dão mais tempo ao passageiro para desacelerar, diminuindo o impacto sofrido.

Por fim, o segundo indicador estabelecido foi a taxa de deformação do material, de acordo com o nível de desgaste determinado pela escala e a espessura da cola. A taxa de alto desgaste, que corresponde a 63%, reforça ainda mais a importância do alto nível de desgaste sofrido pelo material, fornecendo uma maior segurança para os passageiros. A taxa de médio desgaste foi de 29,6% e a taxa de baixo desgaste foi de 7,4%.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam ainda mais a preocupação da indústria automobilística para desenvolver mecanismos de proteção e segurança para os passageiros.

A partir da análise de desempenho baseada em indicadores, pode-se ter uma percepção profunda de como essa análise pode gerar um método padrão mais eficiente, servindo de base para estudos futuros.

## **5.10 Considerações**

Neste capítulo, o método proposto foi abordado e todas as etapas sugeridas foram rigorosamente seguidas, de modo a garantir a eficácia do mesmo. Foi possível perceber o quanto é importante a análise de desempenho através de indicadores críticos do processo, para que o método possa ser avaliado de acordo com parâmetros de eficiência e também para que as pesquisas futuras possam ter padrões definidos.

No capítulo final, serão feitas conclusões acerca do estudo realizado, através de uma análise dos resultados obtidos com a aplicação do método proposto.

## 6 CONCLUSÕES

Este capítulo final objetiva explicar os resultados obtidos durante o estudo, através de uma análise mais elaborada, de modo a esclarecer quaisquer dúvidas restantes e, em seguida, serão abordadas as considerações finais do trabalho.

### 6.1 Análise de resultados

O cumprimento de todas as etapas sugeridas no método possibilitou uma visão ampla do funcionamento da empresa, um entendimento do processo de fabricação das peças, das exigências de qualidade da indústria automobilística e da realização dos testes. Possibilitou, ainda, a compreensão dos resultados de uma forma qualitativa e os pontos de melhoria para o processo de fabricação.

Inicialmente, através de um estudo detalhado do comportamento do material e da cola, orientação das fibras, composição e mecanismos de dano, pode-se ter uma base adequada para definição do processo de fabricação e também uma base de como se dariam os testes de ensaio, permitindo assim que estes fossem analisados e que as oportunidades de melhoria fossem percebidas.

Em seguida, com a definição do dimensionamento e com a geometria desenhada no *software* CATIA, visando padronizar a produção das amostras de teste, foi possível dar início ao processo de corte das placas e depois ao processo de fabricação das amostras.

Finalizado o processo de fabricação, foi possível analisar cada amostra de forma a selecionar as que atendiam aos requisitos de qualidade para submetê-las ao ensaio de cisalhamento. Dessa forma, foram realizados os ensaios de cisalhamento na máquina de tração, os quais foram filmados e fotografados.

Por fim, através da determinação dos indicadores de desempenho, pode-se analisar qualitativamente, observando os processos críticos, o método proposto e ainda perceber a importância de estudos como esse para a evolução da fabricação dos carros de entrada no Brasil, visando principalmente à segurança dos passageiros no momento de uma colisão.

Com a análise de desempenho através de indicadores realizada, pode-se confirmar que a melhor opção para a fabricação da carroceria de automóvel é a utilização da cola com a espessura de 0,05mm, por ter o seu mecanismo de dano essencialmente no substrato e um alto nível de desgaste, fornecendo maior segurança aos passageiros.

## **6.2 Conclusão**

Este estudo objetivou a análise de desempenho com base em indicadores de um método de fabricação de materiais compósitos com reforço de fibra de carbono colados, que compõem a estrutura da carroceria dos automóveis fabricados atualmente. Este objetivo foi cumprido ao final da nona etapa do método proposto, onde os indicadores foram analisados de acordo com os resultados obtidos nos ensaios de tração e com a base de cálculo estabelecida para a sua mensuração, auxiliando no processo de análise de desempenho.

Foram encontrados os resultados para os indicadores de desempenho estabelecidos que justificaram a adoção de uma espessura de cola de 0,5mm, na fabricação da carroceria de automóveis. Este projeto constitui os primeiros elementos que conduzirão a proposta de uma metodologia de simulação da montagem padrão. O desconhecido continua presente até hoje no comportamento da junta (cola ou soldura), no caso deste projeto foi utilizada a cola em três diferentes espessuras.

Cada um dos objetivos específicos foi alcançado em um distinto momento da aplicação do método. A caracterização da fabricação de peças compósitas a partir de um método padronizado de dimensionamento do material e da junta adesiva foi determinada ao final da quarta etapa, com o dimensionamento da amostra. Neste momento, a influência e limitação de cada propriedade do material e da junta adesiva podem ser levados em consideração para a correta fabricação do material de teste, seguindo os padrões de qualidade exigidos pela empresa.

Ao término do processo de produção das amostras e da submissão dessas aos ensaios de tração, foi possível avaliar a capacidade de absorção de energia durante uma colisão de automóvel, a partir da análise do nível de desgaste sofrido pelo material, das filmagens e fotografias realizadas.

Assim, com a determinação dos indicadores de desempenho, foi possível identificar uma lei de comportamento comum e de um critério de falha, dependendo da

espessura da cola. Além disso, foram analisados os indicadores de desempenho do método, visando à investigação de sua eficiência para a indústria automobilística e para os usuários de automóvel.

Por fim, é importante ressaltar que este é um estudo feito em laboratório, dessa forma, as condições são controladas para que os testes ocorram dentro dos padrões de qualidade exigidos pela empresa. Sendo, ainda, necessária uma habilidade para a colagem do material para que não fiquem bolhas de ar na cola, garantindo a resistência do material.

Ao concluir este estudo, pode-se constatar que o método elaborado pode ser utilizado para qualquer variedade de material compósito e para qualquer empresa do ramo de carroceria de automóvel. Neste sentido, o método proposto foi satisfatório para a empresa e também para a sociedade em geral.

### **6.3 Considerações Finais**

O método proposto se mostrou eficiente e, a sua importância para a empresa em estudo e para a sociedade ficou evidente através dos resultados encontrados. Os pontos de melhoria propostos no método de fabricação devem ser aplicados em estudos futuros para a comparação dos resultados, de modo a estabelecer uma padronização na produção, tornando-se ainda mais eficaz.

O método mostrou-se válido e pode ser aplicado para qualquer outra variedade de material, como por exemplo, a resina de poliéster com reforço de fibra de vidro, podendo ser utilizado por qualquer empresa do ramo automobilístico, atentando-se para as possíveis diferenças no processo produtivo.



## REFERÊNCIAS

- AUTO ESPORTE. **Índice de mortes por acidentes de carro no Brasil é 4 vezes o dos EUA.** Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/noticia/2013/05/indice-de-mortes-por-acidentes-de-carro-no-brasil-e-4-vezes-o-dos-eua.html>. Acesso em: 20 de março de 2014.
- BORSELLINO, C.; CALABRESE, L.; DI BELLA, G.; VALENZA, A. **Comparisons of processing and strength properties of two adhesive systems for composite joints.** International Journal of Adhesion & Adhesives 27, p. 446 à 457, 2007.
- CALLISTER, W. D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: uma abordagem integrada.** Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- CARVALHO, A. F. G.; FONSECA, C. J. A. **O “Tableau de Bord”: o quadro de comando de gestão.** Coimbra: Instituto Politécnico De Coimbra, 2007.
- CASELANI, D. M. C. & CASELANI, C. N. **Direcionadores financeiros e não financeiros: impactos na geração de valor.** In: 30º Encontro da ANPAD. Salvador, 2006.
- CAUCHICK M., P. A. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier : ABEPRO, 2012.
- COGNARD, P. **Collage des composites: Caractéristiques et choix des adhésifs.** Techniques de l'ingénieur AM. Plastiques et composites, Vol. AM7, 2004.
- ECCLES, R. G. **Manifesto da mensuração do desempenho.** Harvard Business Review: Medindo o desempenho empresarial. Rio de Janeiro, p.31, jan./fev. 1991.
- FAGUNNDES, J. A.; FELIU, V. M. R. **Tableau de Bord vs Balanced Scorecard.** Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ, Rio de Janeiro, v.12, n.1, p.1, jan./abril, 2007.
- FAURECIA. **Nossos quatro grupos de negócio.** Disponível em: [www.faurecia.com](http://www.faurecia.com). Acesso em: 25 de março de 2014.
- FIGUEIREDO, J. R. M. **Identificação de Indicadores Estratégicos de Desempenho a partir do Balanced Scorecard.** Florianópolis, 2002.
- GANGA, G. M. D. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na Engenharia de Produção: uma guia prático de conteúdo e forma.** São Paulo: Atlas, 2012.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- HOURNEAUX JUNIOR, F.; CORREA, H. L.; RUIZ, F. M. **A evolução dos métodos de mensuração e avaliação de desempenho das organizações.** In: XXIX EnANPAD, 2005. Brasília: EnANPAD, 2005.

JORNAL BOM DIA BRASIL. **Brasil tem 43 mil vítimas de acidentes de trânsito por ano.** Disponível em: <http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2012/09/numero-de-vitimas-de-acidentes-com-motos-aumenta-14-em-cinco-anos.html>. Acesso em: 20 de março de 2014.

KAPLAN, R. S; NORTON, D. P. **The balanced scorecard – measures that drive performance.** Harvard Business Review, 1992, pp. 71-9.

KENDALL, K. (Aston Martin); JOHNSON, C. (Ford Motor Company). **Composites Applications for the Aston Martin DB9.** Disponível em: [www.atl-uk.com/documents/CompositeApplicsDB9.pdf](http://www.atl-uk.com/documents/CompositeApplicsDB9.pdf). Acesso em: 11 de abril de 2014.

LOPES JÚNIOR, E. P. **Sistemas de Medição de Desempenho Organizacional: uma aplicação às pequenas empresas de confecções do Ceará.** Fortaleza, 2010.

MARCELLAN, A. **Microstructures, Micromecanismes et Comportement à Rupture de Fibres PA 66.** Tese de Doutorado: École des Mines de Paris, 2009.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica 1.** 7 ed. - São Paulo: Atlas, 2010.

MEYER, C. **Como os indicadores adequados contribuem para para a excelência das equipes?** Harvard Business Review: Medindo o desempenho empresarial. Rio de Janeiro, p.115, mai./jun. 1994.

MIRANDA, R. A. M.; MIRANDA, C. S. **Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento do suporte da medição de desempenho para o processo de melhoria contínua: um exemplo de classificação de empresas certificadas ISO 9001.** In: XXX EnANPAD Encontro Científico de Administração. Salvador: EnANPAD, 2006.

MULLER, C. J. **Planejamento estratégico, indicadores e processos: uma integração necessária.** São Paulo: Atlas, 2014.

NIVEN, P. R. **Balanced Scorecard passo-a-passo: elevando o desempenho e mantendo resultados.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

REVISTA VEJA. **Morre-se mais em acidentes de trânsito do que por câncer.** Disponível em: <http://veja.abril.com.br/noticia/brasil/e-pior-ainda>. Acesso em: 20 de março de 2014.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos Materiais.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

VAIDYA, U. **Composites for Automotive, Truck and Mass Transit: Materials, Design, Manufacturing.** DEStech Publications, Inc, 2011.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais.** Rio de Janeiro: Elsevier, 1984.