

Franciele Bonatto
Jair de Oliveira
João Dallamuta
(Organizadores)

**Ciência,
Tecnologia
e Inovação**

Atena
Editora
Ano 2019

Franciele Bonatto
Jair de Oliveira
João Dallamuta
(Organizadores)

Ciência, Tecnologia e Inovação

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência, tecnologia e inovação [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, Jair de Oliveira, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-125-1

DOI 10.22533/at.ed.251191802

1. Ciência – Brasil. 2. Inovação. 3. Tecnologia. I. Bonatto, Franciele. II. Oliveira, Jair de. III. Dallamuta, João.

CDD 506

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Há quase quarenta anos, Alvin Toffler em seu Best Seller, *The Third Wave*, profetizou; “Pode-se criar mais valor com uma ideia em dez segundos do que com dez mil horas em uma linha de produção”. Esta talvez seja a melhor definição de inovação, não exatamente do conceito, mas do que ela efetivamente gera como efeito nas organizações e na sociedade.

Ciência, tecnologia e ambiente, considerando neste último fatores econômicos, sociais e legais, são base para a inovação. No que no que concerne a nossos pesquisadores, eles tem feito a parte deles, produzido ciência e tecnologia a despeito das dificuldades econômicas e culturais no Brasil. Há muito que melhorar sim, mas também a muito há se reconhecer.

Esse livro apresenta dois pilares de inovação, ciência e tecnologia, em uma reunião de vinte e quatro artigos, que são o resultado de pesquisas realizadas nos mais diversos setores com uma riqueza de metodologias e resultados.

Nesta obra, temos a oportunidade de leitura é fruto de trabalhos científicos de diversos pesquisadores. Aos pesquisadores, editores e aos leitores para quem em última análise todo o trabalho é realizado, agradecemos imensamente pela oportunidade de organizar tal obra.

Boa leitura!
Franciele Bonatto
Jair de Oliveira
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A FORMAÇÃO DOCENTE E AS NOVAS MÍDIAS TECNOLÓGICAS	
Walkiria de Fatima Tavares de Almeida	
Daniel González González	
DOI 10.22533/at.ed.2511918021	
CAPÍTULO 2	8
LABPATI – LABORATÓRIO DE PROJETOS DE AUTOMAÇÃO E TECNOLOGIAS INOVADORAS	
Jefferson Uchôa Ponte	
Erivando de Sena Ramos	
Alan Cleber Morais Gomes	
Francisco Giovanildo Teixeira de Souza	
Ligia Maria Carvalho Sousa Cordeiro	
DOI 10.22533/at.ed.2511918022	
CAPÍTULO 3	13
UMA CURADORIA DIGITAL PARA OS DADOS CIENTÍFICOS DE PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO: A CRIAÇÃO DO PROJETO PILOTO	
Nilson Theobald Barbosa	
Linair Maria Campos	
Fabrícia Carla Ferreira Sobral	
Roberto José Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.2511918023	
CAPÍTULO 4	22
A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS DE ACESSIBILIDADE EM ESPAÇOS PÚBLICOS	
Francisco da Silva Passos	
José William Menezes Ribeiro	
Marlon Amaro Coelho Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.2511918024	
CAPÍTULO 5	28
CASE DE GESTÃO ADMINISTRATIVA E MODULARIZADA COM USO DO GLPI	
Ricardo Lazzari da Rosa	
Jorge Alberto Messa Menezes Júnior	
Luciano Pereira de Vargas	
Francis Diego Duarte Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.2511918025	
CAPÍTULO 6	35
EXPERIÊNCIA DE USO DE MAPEAMENTO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO COMO FERRAMENTA DE APOIO AO LEVANTAMENTO E ELICITAÇÃO DE REQUISITOS DE SOFTWARE	
Fernanda Vieira Figueira	
Levi Cacau	
Alex Alves da Silva	
Kemis A. V. da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2511918026	

CAPÍTULO 7 41

CONJUNTO DE PRÁTICAS INTERDISCIPLINARES PROPOSTA PELO PROGRAMA SAVE: *GREEN PARK* (Parque de diversão que gera energia limpa)

Jiam Pires Frigo
Nandra Martins Soares
Andreia Cristina Furtado
Oswaldo Hideo Ando Junior

DOI 10.22533/at.ed.2511918027

CAPÍTULO 8 50

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA SERVIDORES DO PCCTAE

Daniel Ferreira de Oliveira
Taiana Barbosa Pereira
Marcio Alexandre Silva Ferreira
Marcelo Duarte da Silva
Tarcila Gesteira da Silva
Julliany Sales Brandão
Enoch Cezar Pimentel Lins da Silva

DOI 10.22533/at.ed.2511918028

CAPÍTULO 9 57

GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Pisum sativum* L. SOB INFLUÊNCIA DE ARMAZENAMENTO

Alexandre Alves da Silva
Adriano Henrique Silva
Thaís Franco Pires de Lemos
Beatriz Moreira Zanatta
Caroline Luiza Benedito
João Pedro Bufalari da Cunha
Paulo Frezato Neto
Vinícius Bechelli Valadão de Araujo
Ruan Carlos da Silveira Marchi
Maria Aparecida da Fonseca Sorace
Conceição Aparecida Cossa

DOI 10.22533/at.ed.2511918029

CAPÍTULO 10 62

GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE *Lactuca sativa* L. APÓS PRAZO DE VALIDADE

Thaís Franco Pires de Lemos
Alexandre Alves da Silva
Adriano Henrique Silva
Beatriz Moreira Zanatta
Caroline Luiza Benedito
João Pedro Bufalari da Cunha
Paulo Frezato Neto
Vinícius Bechelli Valadão de Araujo
Ruan Carlos da Silveira Marchi
Maria Aparecida da Fonseca Sorace
Conceição Aparecida Cossa

DOI 10.22533/at.ed.25119180210

CAPÍTULO 11 68

PARÂMETROS DE CRESCIMENTO SOB ADUBAÇÃO FOSFATADA NO GRÃO-DE-BICO

Daniela Oliveira Silva
Mauren Sorace
Naielen de Lara Lopes
Débora Del Moura Soares
Bruna Lana Campanenute Soares
Ruan Carlos da Silveira Marchi
Ana Beatryz Prenzier Suzuki

DOI 10.22533/at.ed.25119180211

CAPÍTULO 12 80

POTENCIAL ALELOPÁTICO DE EXTRATO AQUOSO DE TUBÉRCULOS DE *Cyperus rotundus* L.
SOBRE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Digitaria insularis* L.

Olivia Pak Campos
Conceição Aparecida Cossa
Maria Aparecida da Fonseca Sorace
Ruan Carlos da Silveira Marchi
Leonardo Sgargeta Ustulin
Paulo Frezato Neto

DOI 10.22533/at.ed.25119180212

CAPÍTULO 13 86

CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE SUBPRODUTO DE LARANJA (*CITRUS SINENSIS*) QUANTO
A COMPOSIÇÃO DE FIBRAS, COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E POTENCIAL ANTIOXIDANTE

Isabela Julio Iwassa
Cecília Pinzon
Eliane Dalva Godoy Danesi
Beatriz Cervejeira Bolanho Barros

DOI 10.22533/at.ed.25119180213

CAPÍTULO 14 95

AVALIAÇÃO SENSORIAL E INTEÇÃO DE COMPRA DE PÃES COM ADIÇÃO DE FARINHA DE
GERGELIM *Sesamum indicum* L.

Roberta de Oliveira Sousa Wanderley
Paulo Alves Wanderley
Wellita Azevedo Silva
Anna Catarina Costa Paiva
Janine Patrícia Melo Oliveira
Altevir Paula de Medeiros
Oswaldo Soares da Silva
Élida Ramalho da Silva

DOI 10.22533/at.ed.25119180214

CAPÍTULO 15 100

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGIÊNICO-SANITÁRIAS E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E
MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DE PANIFICADORAS SITUADAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINA
GRANDE-PB

Deyzi Santos Gouveia
Fernanda Ellen Martins Oliveira Araújo
Yasmim Maria Azevedo Santos
Rebeca de Lima Dantas
Mércia Melo de Almeida Mota
Nubênia de Lima Tresena

DOI 10.22533/at.ed.25119180215

CAPÍTULO 16	115
ÓXIDO DE ZINCO (ZNO) E A DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DA CAFEÍNA	
Lariana Negrão Beraldo de Almeida Giane Gonçalves Lenzi Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli Onelia Aparecida Andreo dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.25119180216	
CAPÍTULO 17	130
INFRAESTRUTURA DE SÍTIOS INSTITUCIONAIS UTILIZANDO CONTÊINERES DOCKER	
Carlos Vinícius Braga dos Santos Felipe Evangelista dos Santos Luiz Carlos Barbosa Martins	
DOI 10.22533/at.ed.25119180217	
CAPÍTULO 18	136
DESENVOLVIMENTO DE SEMI-EIXO DE FIBRA DE CARBONO/EPÓXI PARA O PROTÓTIPO BAJA – SACI VII: PROJETO ESTRUTURAL E VALIDAÇÃO	
Rafael Pereira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.25119180218	
CAPÍTULO 19	153
ESTUDO NUMÉRICO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM DISSIPADORES	
Ulysses Lucius Salles Pereira Ana Lúcia Fernandes de Lima e Silva Amanda Aparecida Silva Angel Edecio Malaguera Mora	
DOI 10.22533/at.ed.25119180219	
CAPÍTULO 20	174
FATORES TERMODINÂMICOS ASSOCIADOS À CONVECÇÃO PROFUNDA SOBRE A REGIÃO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA	
Gabriel Miller de Oliveira Marcos Daisuke Oyama	
DOI 10.22533/at.ed.25119180220	
CAPÍTULO 21	184
EVALUATION OF HETEROGENEOUS CATALYSTS DERIVED FROM WHITE AND BROWN CHICKEN EGG SHELL FOR SOYBEAN BIODIESEL SYNTHESIS	
Diego Oliveira Cordeiro Marta Maria da Conceição Luis Ferreira de Lima Janduir Egito da Silva Eduardo Lins Barros Neto	
DOI 10.22533/at.ed.25119180221	

CAPÍTULO 22	200
SÍNTESE E ESTUDO DE HIDROXIAPATITA E BETA FOSFATO TRICÁLCICO PARA USO BIOMÉDICO	
Thatiane Cristine Silva Pereira Batista	
Gerson Avelino Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.25119180222	
CAPÍTULO 23	213
DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES COM O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NA INDÚSTRIA SUÍNA. ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE CUNHA, SÃO PAULO	
Larissa Ferraz Felipe Santos	
Christian Jeremi Rodriguez Coronado	
DOI 10.22533/at.ed.25119180223	
CAPÍTULO 24	228
PRODUÇÃO ECOLÓGICA DE SABÕES	
João Gabriel da Silva Andrade	
Valéria Aquilino Barbosa	
Tânia Mara Rizzato	
Vagner Roberto Batistela	
DOI 10.22533/at.ed.25119180224	
CAPÍTULO 25	244
PROPOSTA DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NAS ETAPAS DE QUEIMA E, INSPEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO, EM UMA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA NO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PARÁ	
Magda Tayane Abraão de Brito	
Rayssa Bezerra Silva	
Antônio Pereira Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.25119180225	
SOBRE OS ORGANIZADORES	265

DESENVOLVIMENTO DE SEMI-EIXO DE FIBRA DE CARBONO/EPÓXI PARA O PROTÓTIPO BAJA – SACI VII: PROJETO ESTRUTURAL E VALIDAÇÃO

Rafael Pereira da Silva

Universidade Federal de Itajubá

Itajubá – MG

RESUMO: Este capítulo consiste no projeto de um eixo de fibra de carbono/epóxi adequado para compor a transmissão do veículo Baja da Universidade Federal de Itajubá. Durante o projeto foram realizados cálculos estruturais, necessários para que o eixo seja resistente às cargas aplicadas pelo veículo e a modelagem em um software de elementos finitos, servindo como um método comparativo ao resultado dos cálculos. O conteúdo apresentado é referente ao embasamento teórico, levantamento das condições de carga e de geometria do veículo, determinação das propriedades da lâmina por meio de ensaios mecânicos e simulações computacionais para a determinação do número de camadas.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra de Carbono, Eixo de transmissão, Baja, Elementos Finitos.

1 | INTRODUÇÃO

O uso de materiais compósitos na indústria automobilística começou na década de 70 e 80 (Bloor *et al*, 1994, *apud* Naveiro *et al*). No entanto, inicialmente esses materiais eram

utilizados apenas para fazer componentes decorativos no interior do carro.

Com o desenvolvimento dos materiais compósitos, sua aplicação passou a fazer parte também de componentes estruturais como disco de freio e carroceria (Botelho *et al*, 2000). Porém, a aplicação limita-se a carros de alta performance, como na Fórmula 1, pois o custo de peças feitas com esse tipo de material é muito alto, inviabilizando sua aplicação a carros populares.

Uma das maiores vantagens da aplicação de compósitos estruturais nos setores de transporte está relacionada à diminuição de peso. Pois um veículo mais leve tem melhor desempenho longitudinal e maior eficiência energética do que os mais pesados. Segundo (Bloor *et al*, 1994, Naveiro *et al*), ao substituir por fibra de carbono o maior número de peças de aço (roda, carroceria, portas, etc.) de um carro comum pesando 1705 kg, seria possível reduzir uma massa de 566 kg.

Além dos fatores relacionados ao peso, as peças feitas em material compósito também garantem um desempenho comparável ao aço no quesito resistência mecânica. Por esse motivo, estudos para aplicações de materiais a base de fibra de carbono, fibra de vidro, entre outros, tem sido largamente desenvolvidos nas

últimas décadas. Dessa forma, componentes estruturais de alto desempenho têm sido produzidos com esses materiais.

Como exemplo, em carros de alta performance muitas vezes é preferível utilizar o eixo de transmissão feito em fibra de carbono. Pois para esse caso consegue-se um ganho de 5% de eficiência de potência devido à redução da inércia rotacional (ACPT, 2012).

No entanto, além do alto preço, o fato de o estudo com materiais compósitos ser muito recente também pode ser uma dificuldade de aplicação em projetos. Como exemplo, pode-se citar o caso acima, pois embora os eixos feitos em fibra de carbono sejam vantajosos, poucas empresas no mundo fabricam essa peça.

2 | VINCULAÇÃO AO PROJETO DE PESQUISA

Este projeto de iniciação científica está vinculado à linha de pesquisa do grupo de Tecnologias Aeronáuticas (NETAERO) da UNIFEI registrado no CNPQ.

3 | BREVE INTRODUÇÃO AOS MATERIAIS COMPÓSITOS

Um material compósito é formado pela junção de dois ou mais materiais em escala macroscópica. Essa técnica tem como objetivo formar um material com características superiores aos anteriores e permite ao engenheiro a obtenção de propriedades mecânicas favoráveis a diversas aplicações em áreas da aeronáutica, automobilística, entre outras.

Este tópico focará nos compósitos reforçados com fibra, que são a junção de um reforço (ex: fibra de carbono, fibra de vidro, kevlar, etc.), que tem como função melhorar propriedades mecânicas como tração, e de uma matriz (ex: resina epóxi), que tem como função fixar a forma do material. Os compósitos possuem uma maior resistência na direção preferencial (direção das fibras), por esse motivo opta-se pela fabricação de diversas lâminas, como mostrado na Figura 1:

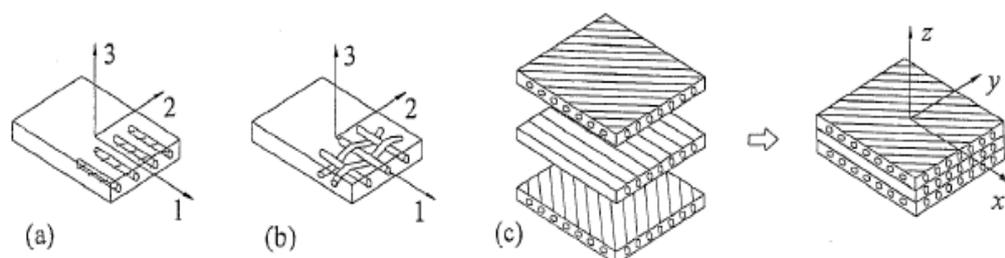


Figura 1 Tipos de lâminas. (a) lâmina com fibras unidirecionais. (b) lâmina com fibras tecidas. (c) laminado composto por várias lâminas orientadas em diferentes direções. (Mendonça, 2005).

As matrizes podem ser classificadas de duas maneiras: termorrígidas, que se

degradam mediante as altas temperaturas, e as termoplásticas, que possuem maior tolerância a danos em relação às anteriores.

3.1 Micromecânica de uma lâmina

Os materiais compósitos podem, em muitos casos, serem modelados como ortotrópicos, que apresentam propriedades diferentes nas direções dos eixos coordenados.

Uma forma de se estimar as propriedades elásticas desses materiais é através das fórmulas presentes nas literaturas. Uma parte dessas fórmulas é analítica, obtidas através de deduções matemáticas. No entanto, como os materiais compósitos possuem propriedades muito peculiares nem sempre os modelos matemáticos são adequados sendo necessário o uso de fórmulas empíricas.

3.1.1 Coeficientes elásticos

Para a determinação do módulo de elasticidade na direção 1 (E_1) e do coeficiente de Poisson em 12 (ν_{12}), usa-se a fórmula conhecida como regra da mistura, que toma como base a composição do módulo de elasticidade da matriz polimérica (E_m) e da fibra (E_f).

$$E_1 = E_f V_f + V_m E_m \qquad \nu_{12} = \nu_f V_f + V_m \nu_m$$

A direção 1 é a direção longitudinal às fibras e a direção 2 é a direção transversal às mesmas. V_f é a proporção do volume de fibra e V_m a proporção do volume de resina.

Pode-se deduzir também a fórmula para a regra da mistura na direção 2.

$$\frac{1}{E_2} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_f}{E_f}$$

No entanto, esse modelo é muito simplificado e, segundo Mendonça, essa fórmula não é recomendável para uso em projetos. Chamis (1988, *apud* Mendonça, 2005) obteve, a partir da regra da mistura, uma fórmula com boa precisão para encontrar o módulo de elasticidade na direção 2.

$$E_2 = E_m \left[(1 - \sqrt{V_f}) + \frac{\sqrt{V_f}}{1 - \sqrt{V_f}(1 - E_m/E_f)} \right]$$

Valores para tensões admissíveis e outras maneiras de obter os coeficientes

elásticos podem ser encontrados na referência (Mendonça, 2005).

3.2 Macromecânica de uma lâmina

Como foi visto na seção de micromecânica de uma lâmina, os materiais compósitos possuem diferentes constantes elásticas para cada direção. E, para fins de projeto, considera-se que os materiais compósitos estudados nessa seção são ortotrópicos, tornando possível o modelo analítico utilizando-se as constantes elásticas da engenharia.

Outra peculiaridade desse estudo é que nesta seção será estudada somente a mecânica de uma lâmina, que pode ser comparada por analogia a uma chapa de um material qualquer. No entanto, peças de materiais compósitos em geral são compostas de várias lâminas.

3.2.1 Relações de tensão-deformação para uma lâmina ortotrópica

A relação de deformação de uma lâmina pode ser escrita na forma matricial como:

$$\{\varepsilon^1\} = [S^1]\{\sigma^1\}$$

Sendo $[S^1]$ a matriz de flexibilidade do material e o índice 1 o indicativo de que o sistema de coordenadas utilizado se dá nas direções ortogonais 1, 2 e 3.

Considerando um material ortotrópico no plano e invertendo a matriz anterior, obtém-se a seguinte relação:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{pmatrix}$$

Onde:

$$Q_{11} = \frac{E_1^2}{E_1 - \nu_{12}^2 E_2}, \quad Q_{12} = \frac{\nu_{12} E_1 E_2}{E_1 - \nu_{12}^2 E_2}, \quad Q_{22} = \frac{E_1 E_2}{E_1 - \nu_{12}^2 E_2}, \quad Q_{66} = G_{12}$$

Outro aspecto importante a ser conferido são as matrizes de rotação para as relações apresentadas, que pode ser conferida no livro do (Mendonça, 2005, pg. 94-103).

3.3 Torção de eixos em material compósito

A teoria que se segue é derivada da macromecânica de laminado apresentada por Mendonça e tem as seguintes restrições:

- “[...] As camadas devem ser concêntricas [...] e de materiais isotrópicos ou quase ortotrópicos com as direções principais alinhadas nas direções axiais x e tangencial t da barra.”;
- Os efeitos de acoplamento não são levados em conta na presente modelagem;
- A formulação aplicada a lâminas angulares pode causar erros de precisão de até 400%;

Essa formulação é uma extensão da teoria clássica da Resistência dos Materiais para torção apresentada na seção e pode ser escrita na sua forma mais simplificada apresentando a tensão de cisalhamento:

$$\tau_{xt}^k(x, r) = \frac{M_t(x) G_{xt}^k r}{G_{xt} J}$$

Onde G_{xt}^k é o módulo de elasticidade cisalhante da k -ésima lâmina, M_t o momento torçor, raio médio da lâmina e o momento polar de inércia. Faz-se necessário também calcular o módulo de elasticidade cisalhante equivalente, que é dado por:

$$G_{xt} = \frac{\pi}{2J} \sum_{k=1}^N G_{xt}^k (r_k^4 - r_{k-1}^4)$$

Pode-se calcular também o ângulo de torção entre as extremidades do eixo por:

$$\Delta\varphi = \frac{M_t l}{G_{xt} J}$$

Sendo que esta fórmula se diferencia da teoria clássica da Resistência dos materiais somente pelo módulo equivalente.

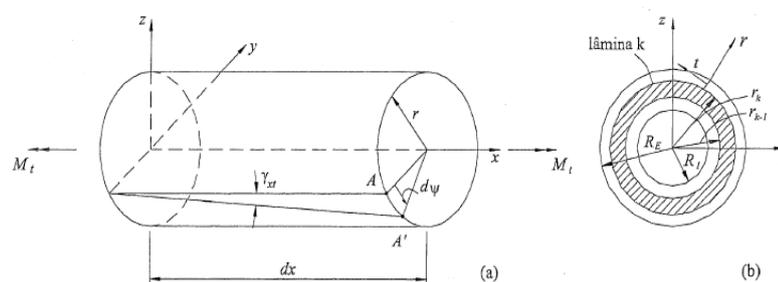


Figura 2. : Elementos de um eixo composto sob torção. r_i e r_e são os raios interno e externo da seção; r_{i-1} e r_k são os raios interno e externo da lâmina genérica k (Mendonça, 2005).

4 | LIMITAÇÕES GEOMÉTRICAS DO EIXO

4.1 Comprimento

O comprimento do eixo em fibra de carbono será de 200 mm, o mesmo do atual instalado no veículo Baja.

4.2 Diâmetro interno do eixo

O diâmetro interno do tubo terá como referência os tubos comerciais em aço 1020, visando a facilidade da construção do molde.

Foram escolhidos três tubos de aço baseados no catálogo da fabricante (Tubos Oliveira, 2012) para ser utilizado como molde. Os diâmetros externos dos tubos são: 31,75 mm; 38,10 mm e 42,20 mm.

Nota-se que a dimensão externa do tubo comercial será igual à dimensão interna do protótipo.

Um método eficaz para auxiliar na escolha do diâmetro é calcular a quantidade de fibra de carbono utilizado em cada camada.

$$A = 200\pi d$$

Diâmetro (mm)	Quant. de fibra de carbono por lâmina (mm ²)
31,75	19949,10
38,10	23939,90
42,20	26515,00

Tabela 1. Quantidade de fibra de carbono.

Posteriormente é calculado o número mínimo de lâminas do eixo para que o mesmo possa resistir às cargas de trabalho do Baja. O número mínimo de camadas será calculado para cada diâmetro e será multiplicado pela quantidade de fibra de carbono por lâmina (que está determinada na tabela acima) e, como critério, será escolhido o diâmetro que economizar maior quantidade de material na fabricação.

5 | CONDIÇÃO DE CARGA

5.1 Momento torçor

A tensão gerada pelo torque advindo da caixa de redução é o principal esforço que o eixo deverá aguentar, pois o mesmo deverá transmitir a rotação da caixa até o cubo da roda todo tempo enquanto o carro estiver em movimento.

Para calcular esse esforço precisou-se verificar o torque gerado pelo motor e,

posteriormente, as conversões feitas pela transmissão. Segue abaixo um esquemático do trem de força do Saci Baja.

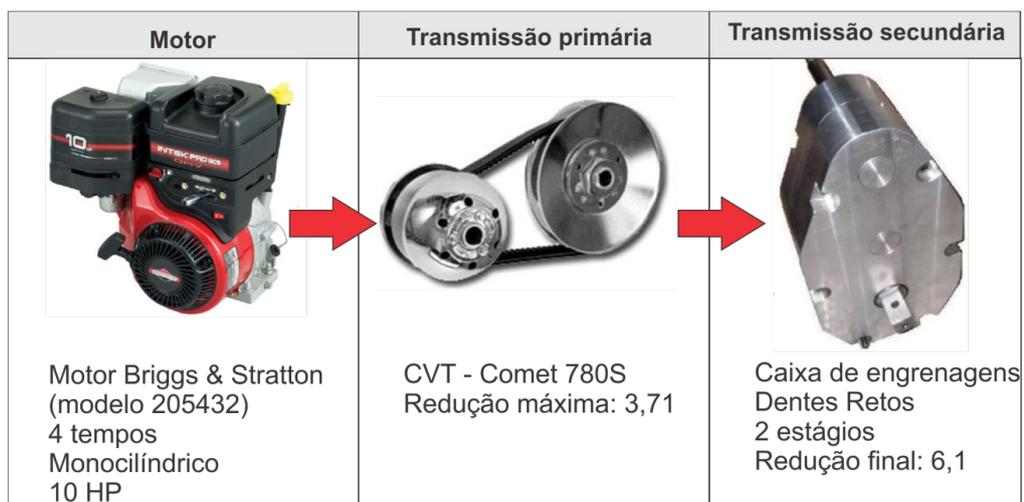


Figura 3. Esquemático do sistema de trem de força do Saci Baja. Adaptado de (Briggs, 2012) e (Magicar, 2012).

Para verificar o torque máximo de capacidade do motor a equipe Saci realizou, em parceria com o centro universitário da FEI, o teste em dinamômetro.

9

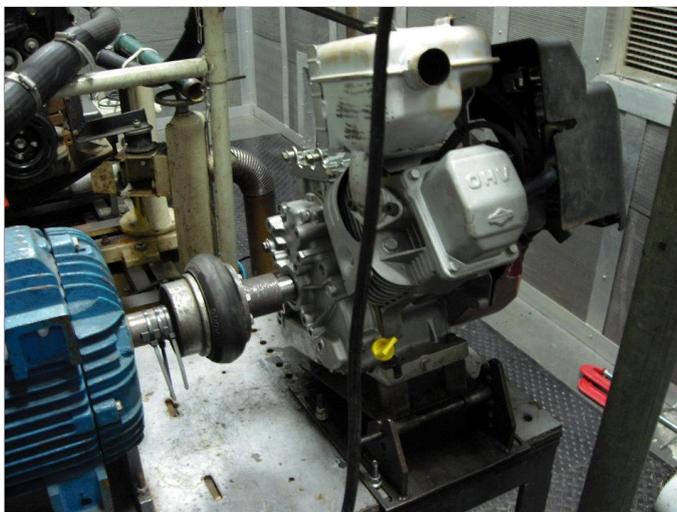


Figura 4. Teste do motor realizado nas dependências da FEI.

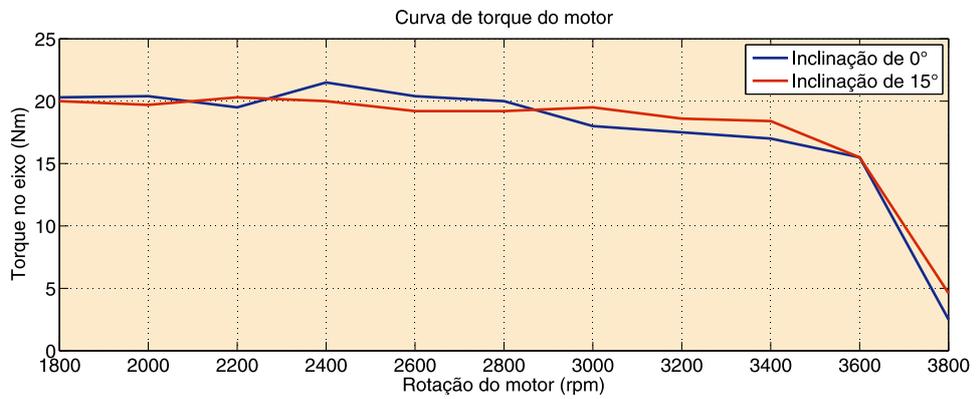


Figura 5. Resultados do teste a 0° e a 15°.

Nota-se que o teste foi feito em duas angulações diferentes para determinar qual é o melhor posicionamento do motor no carro.

Por meio do gráfico, observa-se que o torque máximo gerado no motor é de 21 Nm. Multiplicando esse resultado pelas relações de transmissão obtém-se o momento torçor do eixo.

$$T = T_{motor} i_{cvt} i_{caixa} = 21 \times 3,71 \times 6,1 = 475,3 \text{ Nm}$$

5.2 Compressão

As Competições Baja SAE Brasil possuem pistas altamente acidentadas com curvas de alto grau de dificuldade para os pilotos e obstáculos capazes de danificar o veículo de competição. Para fins de dimensionamento, a carga de compressão no eixo será considerada conservadoramente igual ao peso do veículo com o piloto, aproximadamente 2600 N.

5.3 Transferência de calor no eixo

A resina utilizada é do tipo epóxi. Ela se degrada mediante as altas temperaturas por ser um material termorrígido.

Para evitar esse problema, avaliou-se a temperatura de trabalho do eixo do Baja por meio de uma câmara termográfica durante um teste realizado pela equipe SACI, Figura 6.

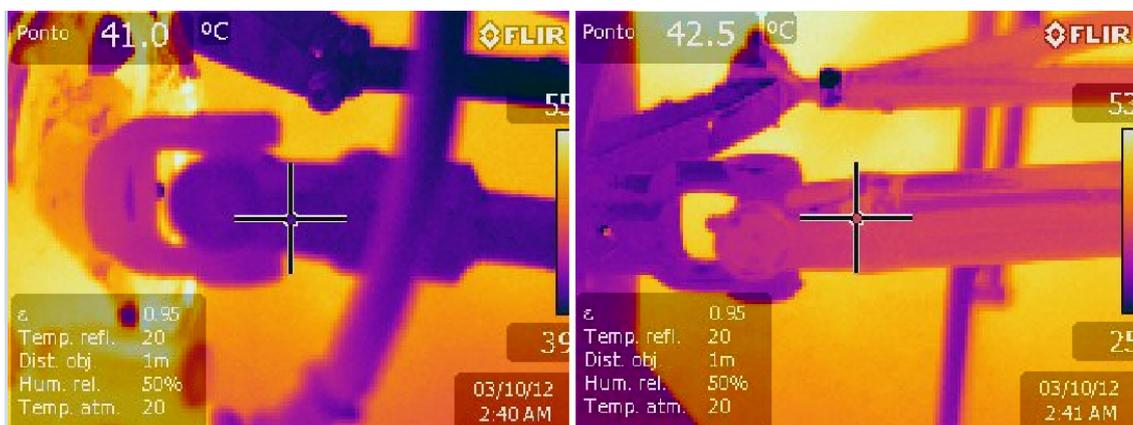


Figura 6. Ensaio com a câmara termográfica.

Verifica-se pelas imagens acima que a temperatura de trabalho máxima do eixo é de 55° C, que é advinda do calor transferido do motor.

Portanto, a resina escolhida (Araudite 5052) pode ser aplicada sem que haja problemas de degradação por meio da temperatura, já que a mesma suporta até 130° (Huntsman, 2007).

6 | DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA LÂMINA

Após determinadas às condições de limitação geométricas e cargas atuantes no eixo, foram estimadas as propriedades do material a ser utilizado. Essas estimativas foram feitas de duas maneiras: por meio dos cálculos de micromecânica e por meio de ensaios em corpos de prova. Os dois resultados foram comparados a fim de se obter propriedades com valores reais para carregar o software de elementos finitos.

6.1 Fabricação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fabricados por meio do processo de VARTM, onde o reforço, que é composto por camadas de fibra de carbono unidirecionais T300, se encontra devidamente posicionado em um molde antes de ser impregnado com uma matriz termofixa no estado líquido. As camadas do reforço são colocadas sobre o molde rígido e cobertas por uma membrana flexível. Para acelerar o fluxo de resina através das fibras, uma mídia de alta permeabilidade é posicionada sob o reforço. O preenchimento é realizado sob vácuo de 27 polHg. Foram fabricadas dois laminados com orientação $(0)_5$ e $(90)_{10}$ para confecção de corpos de prova para ensaio de tração conforme a norma ASTM D3039.

Figura 7 mostra a montagem do processo de VARTM no Laboratório de Materiais Compósitos da Unifei.



Figura 7. Processo de VRTM realizado na fabricação dos corpos de prova.

6.2 Ensaios de tração dos corpos de prova

Foram feitos ensaios de tração a fim de comparar com os resultados obtidos nos cálculos microestruturais. Os corpos de prova foram confeccionados segundo a norma ASTM D3039 e os testes feitos em uma máquina de ensaios universais EMIC (Figura 8).

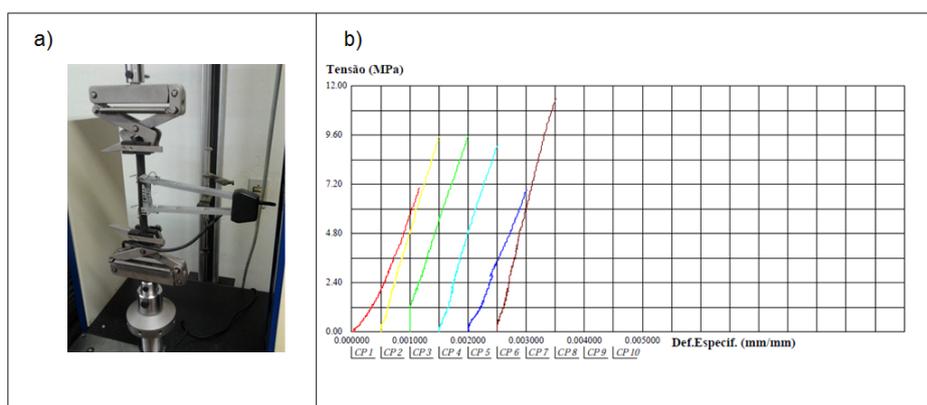


Figura 8. a) Ensaio de tração na máquina EMIC e b) resultados obtidos para os corpos de prova a 90° (direção 2).

6.3 Caracterização da Porosidade dos Corpos de Prova

Para maior precisão dos cálculos das propriedades mecânicas dos corpos de prova, foram obtidos os volumes de vazio, de resina (V_m) e de fibra (V_f) por meio do método descrito na norma ASTM D3171.

Foram ensaiados 6 amostras de 20x40mm para determinação do volume de fibra e resina, Figura 9. Os resultados mostraram que o volume de fibra obtido nas placas é da ordem de 54% e o nível de vazios inferior a 2%, Figura 9.

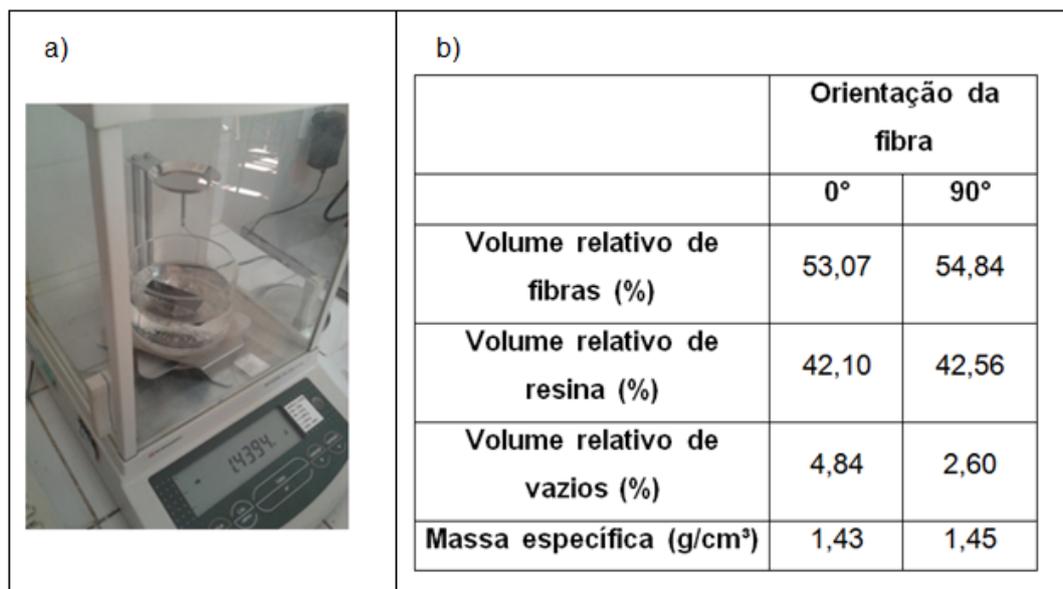


Figura 9. a) aparato para determinação dos volumes de fibra e resina b) volume relativo de fibra, resina e vazios.

6.4 Resultados das Propriedades Mecânicas Obtidas Pelos Métodos

Os cálculos de propriedades mecânicas dos corpos de prova foram realizados com base nas fórmulas apresentadas na seção 3.1

Os dados de entrada para os cálculos foram retirados nas folhas de dados técnicos dos fabricantes (*datasheets*) dos materiais utilizados (resina Araldite/Aradur 5052 e fibra de carbono T300) e da proporção de fibra e resina descritas na seção 6.2.

Os resultados dos cálculos e dos testes realizados estão dispostos na Tabela 2 juntamente com informações retiradas de (Daniel, 2006). Verifica-se que os cálculos microestruturais foram feitos para as quantidades de volume de fibra (v_f) de 63%, para comparar os resultados com (Daniel, 2006), e de 54%, para comparar com os testes.

Propriedade	(Daniel, 2006) (vf=63%)	Calc. Microest. (vf=63%)	Calc. Microest. (vf=54%)	Ensaio de Tração (vf=54%)
X_t (MPa)	2280	2243,5 (1,6%)	1930,56 (44%)	1070
E_{1t} (GPa)	142	143,2 (0,8%)	123,52 (74%)	215
Y_t (MPa)	57	32,9 (42%)	32,60 (114%)	15,15
E_{2t} (GPa)	10,3	13,26 (28,6%)	9,82 (7,8%)	9,21
X_c (MPa)	1440	1523 (5,7 %)		
Y_c (MPa)	228	46,15 (390%)		
G_{12} (GPa)	7,2	3,09 (130%)		
S_{12} (MPa)	71	42,71 (70%)		
ν_{12}	0,27	0,27 (0%)	0,28	-

Tabela 2. Resultados obtidos. O valor entre parênteses representam os erros de comparação.

Observa-se que os resultados das informações apresentadas por (Daniel, 2006) e os obtidos por meio dos cálculos apresentam boa proximidade para os valores de resistência a tração longitudinal (X_t), módulo de elasticidade longitudinal (E_{1t}) e para o módulo de Poisson, gerando um erro máximo de 1,6%. No entanto, os valores de resistência à tração e módulo de elasticidade transversal (Y_t e E_{2t} , respectivamente) não tiveram resultados satisfatórios, apresentando erros de até 42% com relação aos encontrados na literatura. No entanto, não se sabe o quanto a fibra de carbono citada por Daniel difere daquela utilizada nos testes, sendo essa uma provável fonte de erro.

Quanto aos ensaios, os mesmos foram feitos para direções de 90° e 0°. No ensaio a 0° (valores longitudinais), observa-se que a tensão de ruptura foi abaixo do esperado, com erro de 74%, e o módulo de elasticidade foi superior ao calculado. Quanto ao ensaio de 90° (valores transversais) foram obtidos resultados satisfatórios quanto ao módulo de elasticidade, com erro inferior a 8%. Já a tensão de ruptura apresentou um valor abaixo do esperado, assim como no primeiro caso. Os erros ocorridos podem ter sido advindos de falhas no processo de fabricação que ocasiona a presença de vazios (e bolhas) nos corpos de prova, diminuindo assim sua resistência à ruptura.

7 | MODELAGEM DO EIXO E DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE CAMADAS

7.1 Cálculo Analítico Para Camadas A 0/90°

Para determinar o número de camadas do eixo de transmissão serão utilizados todos os dados levantados tais como limitação geométrica, condições de carga, diâmetro interno do tubo, que foram verificados durante o projeto, e as propriedades elásticas do laminado de carbono/epóxi. As propriedades de materiais utilizadas são referentes ao cálculo microestrutural $v_f = 63\%$, por ser a mais conservadora com relação ao admissível de cisalhamento (S_{12} (MPa)).

Abaixo seguem respectivamente as tabelas contendo os dados do projeto, tais como condições geométricas e carregamentos aplicados ao eixo, e as informações da lâmina utilizada.

Condições do projeto	
Variável	Valor
Diâmetro interno 1 (mm)	31,75
Diâmetro interno 2 (mm)	38,10
Diâmetro interno 3 (mm)	42,20
Comprimento (mm)	200
Torque máximo (N.m)	475,3
Compressão máxima (N)	2600

Tabela 3. Dados do projeto.

O primeiro critério utilizado na determinação do número de camadas do eixo será o cisalhamento devido à torção. Dessa forma, serão geradas as tensões em cada camada.

Para facilitar os cálculos analíticos o laminado será feito na configuração cruzado simétrico regular, ou seja, (0°/90°/0°). As tensões atuantes devem estar abaixo do admissível de cisalhamento, $S_{12admissivel} = 42,71 \text{ MPa}$.

Segue abaixo as tensões calculadas em cada camada considerando diferentes diâmetros de tubo.

A Tabela 4 apresenta os cálculos de tensão em cada camada dos tubos propostos. Os cálculos foram feitos com base nas fórmulas apresentadas na seção 3.3.

Camada	Tubo de 31,75 mm (13 camadas)			Tubo de 38,10 mm (11 camadas)			Tubo de 42,20 mm (11 camadas)		
	$G_{\tau\tau}^k(\Delta r_k^4)$ (MPa.mm ⁴)	r (mm)	τ (MPa)	$G_{\tau\tau}^k(\Delta r_k^4)$ (MPa.mm ⁴)	r (mm)	τ (MPa)	$G_{\tau\tau}^k(\Delta r_k^4)$ (MPa.mm ⁴)	r (mm)	τ (MPa)
1	10283705	16.1	30	17711692	19.3	34	24028465	21.3	35
2	10694472	16.3	31	18300620	19.5	34	24749431	21.5	35
3	11116035	16.5	31	18902461	19.7	35	25484677	21.7	36
4	11548532	16.7	32	19517354	19.9	35	26234342	21.9	36
5	11992105	16.9	32	20145439	20.1	36	26998566	22.2	36
6	12446894	17.1	32	20786857	20.3	36	27777490	22.4	37
7	12913038	17.3	33	21441748	20.5	36	28571254	22.6	37
8	13390678	17.6	33	22110251	20.7	37	29379997	22.8	37
9	13879953	17.8	33	22792506	20.9	37	30203859	23.0	38
10	14381003	18.0	34	23488655	21.2	37	31042981	23.2	38
11	14893970	18.2	34	24198835	21.4	38	31897502	23.4	38
12	15418992	18.4	35	24923189	21.6	38	32767563	23.6	39
13	15956209	18.6	35	25661855	21.8	38	33653304	23.8	39
14	16505762	18.8	35	26414974	22.0	39	34554864	24.0	39
15	17067791	19.0	36	27182686	22.2	39	35472384	24.3	40
16	17642435	19.2	36	27965130	22.4	40	36406004	24.5	40
17	18229836	19.4	37	28762448	22.6	40	37355864	24.7	40
18	18830132	19.7	37	29574778	22.8	40	38322103	24.9	41
19	19443463	19.9	37	30402261	23.0	41			
20	20069971	20.1	38	31245036	23.3	41			
21	20709794	20.3	38	32103245	23.5	41			
22	21363073	20.5	39						
23	22029949	20.7	39						
24	22710560	20.9	39						
25	23405047	21.1	40						
26	24113550	21.3	40						
27	24836209	21.5	41						
28	25573164	21.8	41						

Tabela 4. Tensão em cada lâmina dos três diferentes tubos propostos.

Determinados os números mínimos do número de camadas de cada diâmetro, agora é necessário avaliar qual das três opções proporciona a maior economia de material.

Diâm. Int. (mm)	Nº mín. de camadas	Esp. (mm)	Área da superfície da 1a lâmina (mm ²)	Vol. de fibra (mm ³)
31,75	28	5.88	19949	117301
38,2	21	4.41	24002	105848
42,2	18	3.78	26515	100227

Tabela 5. Volume de fibra em cada projeto.

Pela Tabela 5, verifica-se que a opção mais vantajosa, ou seja, aquela que ofereça a resistência mecânica mínima necessária e ao mesmo tempo a maior economia de material é o eixo de 42,2 mm de diâmetro. A justificativa se dá pelo alto momento de inércia desta dimensão em comparação com as outras duas opções.

7.2 Cálculo de Compressão

Uma vez definido o número de camadas, pode-se estimar a tensão média de compressão agindo no eixo. O tubo de diâmetro interno de 42,2 mm possui área de seção transversal igual a 546 mm². Dividindo-se a carga de compressão de 2600 N pela área a tensão média de compressão é 4,8 MPa. A ordem de grandeza é desprezível em comparação aos admissíveis de compressão do material. No entanto, para estudos futuros, é recomendável o cálculo de flambagem do eixo.

7.3 Simulação para Camadas

Para fins de comparação, foi feito a simulação com melhor configuração entre as três anteriores. No caso, 42,2 mm de diâmetro interno e 18 camadas. O layup é [0/90/0/90/0/90/0/90] Sim. e as propriedades mecânicas utilizadas foram àquelas obtidas por meio do cálculo estrutural com volume de fibra em 63%, por serem as mais conservadoras.

A condição de contorno é o torque de 475,3 N.m aplicado por meio de um elemento rígido em uma extremidade do eixo, enquanto a outra extremidade é engastada. Foi utilizado o *software Hypermesh®* versão estudantil.

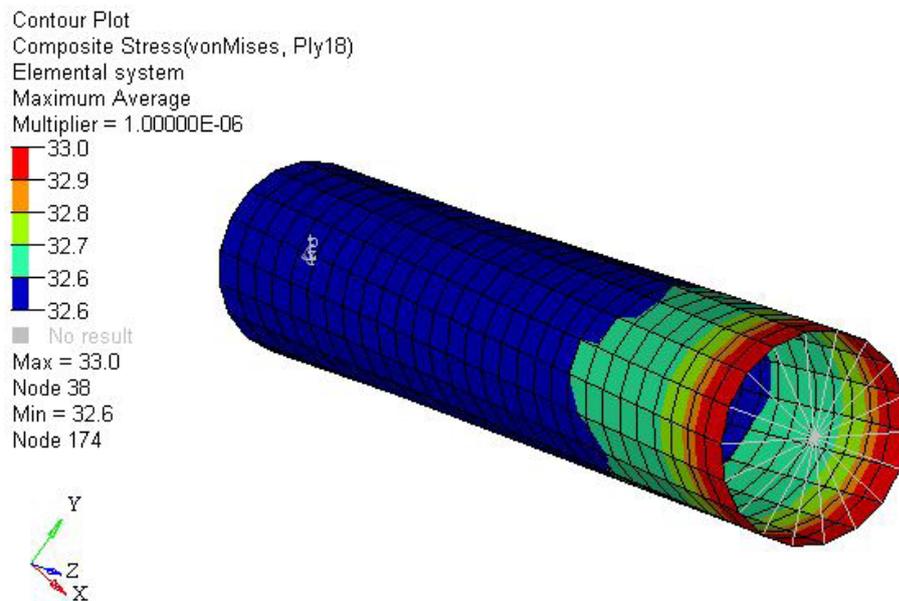


Figura 10. Análise da tensão máxima na camada 18. Deformada exagerada em dez vezes.

Comparando-se a máxima tensão analítica (40,7 MPa) com a máxima tensão na simulação (33,0 MPa) tem-se uma diferença de 19%. Estes resultados são inferiores ao admissível de cisalhamento (42,71 MPa).

8 | CONCLUSÃO

O projeto do eixo de carbono/epóxi fornece informações para tomadas de decisão em projetos estruturais de engenharia onde a relação de peso e resistência mecânica do componente é desejável. Para fins de comparação, o projeto final do eixo do BAJA tem massa de 170 g, considerando densidade média de 1,6, contra 500 g do eixo de aço que está atualmente no veículo.

Para futuros trabalhos, são sugeridos os seguintes estudos:

- Flambagem do eixo quando submetido a cargas de compressão;
- Soluções para o acoplamento de uma junta mecânica ao eixo, para que a ligação com o trem de força do veículo possa ser realizada;
- Disposição das camadas do eixo, testando diferentes orientações da fibra reforçada;
- Processos de fabricação da peça;
- Ensaio de operação no veículo.

REFERÊNCIAS

ACPT advanced composite products & technology. **High performance carbon fiber driveshafts.**

Disponível em: <<http://www.acpt.com/Products/Composite-Driveshafts.aspx>> Acesso em 3 de abr. 2012.

BOTELHO, Edson C.; REZENDE, Mirabel C. **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial**. São Carlos, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282000000200003HYPERLINK>>. Acesso em 5 de mar. 2012.

Briggs. **Motor de eixo horizontal**. Disponível em: <http://www.briggs.com.br/index.php/line/motores_de_eixo_horizontal> Acesso em 10 de ago. de 2012.

DANIEL, Isac M. ISHAI, Ori. **Engineering Mechanics of Composite Materials**, Volume 13. Oxford University Press, 2006.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**, 5a ed. São Paulo: PEARSON Prentice Hall, 2004.

Huntsman: Eriching lives through innovation. “**Araldite LY5052 Aradur 5052**” Data sheet. Huntsman Corporation, 2007.

JONES, Robert M. **Mechanics of Composite Materials**. 2° edition. Taylor & Francis, 1999.

Magicar. **CVT comet 780 continuously variable transmission Variable-diameter pulley (VDP)**. Disponível em: <[http://www.magicartech.com.br/produto.php?cod=106&descricao=CVT+comet+780++continuously+variable+transmission+Variable-diameter+pulley+\(VDP\)](http://www.magicartech.com.br/produto.php?cod=106&descricao=CVT+comet+780++continuously+variable+transmission+Variable-diameter+pulley+(VDP))> Acesso em 10 de ago. de 2012.

MENDONÇA, Paulo de Tarso R. **Materiais Compostos & Estruturas-Sanduíche: Projeto e Análise**. Barueri, SP: Manole, 2005.

NAVEIRO, Ricardo Manfred; ARAÚJO, Marcelo Ribeiro de. **Desenvolvimento de Novos Materiais e Novos Produtos na Indústria Automobilística**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0164.PDF> Acesso em 3 de abr. 2012.

PARDINI, Luiz Claudio; NETO, Flaminio Levy. **Compósitos Estruturais: ciência e tecnologia**. 1ª ed, São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

SANJAY, Gummadi. KUMAR, Akula Jagadeesh. **Optimum Design and Analysis of a Composite Drive Shaft for an Automobile**. Department of Mechanical Engineering Blekinge Institute of Technology Karlskrona, Sweden, 2007.

Torayca. **T300 Data Sheet**.

Tubos Oliveira. **Tubos de Aço para diversas aplicações**. Disponível em: <<http://www.tubosoliveira.com.br/tabelas.php>> Acesso em 7 de abr. de 2012.

SOBRE OS ORGANIZADORES

FRANCIELE BONATTO. Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)- Campus Guarapuava. Graduação e Mestrado em Engenharia de Produção pela UTFPR. Doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: *Supply Chain*, gestão da qualidade e gestão da produção.

JAIR DE OLIVEIRA Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Administrador de empresas pela UENP. Mestre em administração pela UFPR e doutor em engenharia de produção pela EESC-USP. Trabalha com os temas: Pequena empresa e Ensino para o empreendedorismo.

JOÃO DALLAMUTA. Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, gestão Engenharia da Qualidade, Planejamento Estratégico, Estratégia de Marketing

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-125-1

