



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
LUCIO MAURO BRAGA MACHADO
(ORGANIZADORES)**

**AMPLIAÇÃO E
APROFUNDAMENTO
DE CONHECIMENTOS NAS
ÁREAS DAS ENGENHARIAS**



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
LUCIO MAURO BRAGA MACHADO
(ORGANIZADORES)**

**AMPLIAÇÃO E
APROFUNDAMENTO
DE CONHECIMENTOS NAS
ÁREAS DAS ENGENHARIAS**

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
 Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
 Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
 Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A526 Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-74-4

DOI 10.22533/at.ed.744200804

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.

CDD 620

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná - Brasil

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Em “Ampliação e Aprofundamento de Conhecimentos nas Áreas das Engenharias” vocês encontrarão dezenove capítulos que demonstram que as fronteiras nas engenharias continuam sendo ampliadas.

A engenharia aeroespacial brasileira vem realizando muitos estudos para a melhoria nos processos de construção de satélites e temos nesta obra quatro capítulos demonstrando isso.

Na engenharia elétrica e na computação temos quatro capítulos demonstrando empenho no aprofundamento de pesquisas envolvendo temas atuais.

A engenharia de materiais e a engenharia química trazem quatro capítulos com pesquisas na produção de novos materiais e produção de medicamentos.

Pesquisas na engenharia de produção temos três capítulos que demonstram o empenho na análise de qualidade da produção industrial.

Os demais capítulos apresentam boas pesquisas em engenharia civil, engenharia mecânica e engenharia agrícola.

Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio

Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AVALIAÇÃO DA PRONTIDÃO DA ORGANIZAÇÃO DE AIT DE SATÉLITES ARTIFICIAIS PARA O ATENDIMENTO DE REQUISITOS DE SEUS STAKEHOLDERS	
Isomar Lima da Silva Andreia Fátima Sorice Genaro José Wagner da Silva Elaine de Souza Ferreira de Paula Bruno da Silva Muro	
DOI 10.22533/at.ed.7442008041	
CAPÍTULO 2	13
EMPREGO DOS PARÂMETROS DE LAMINAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS REFORÇADOS EM COMPÓSITOS SUBMETIDOS A CARGAS COMPRESSIVAS	
Hélio de Assis Pegado Laura Tameirão Sampaio Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.7442008042	
CAPÍTULO 3	30
AN OVERVIEW OF THE BFO - BASIC FORMAL ONTOLOGY - AND ITS APPLICABILITY FOR SATELLITE SYSTEMS	
Adolfo Americano Brandão Geilson Loureiro	
DOI 10.22533/at.ed.7442008043	
CAPÍTULO 4	39
COLETA DE REQUISITOS DO SUBSISTEMA BAZOOKA CANSAT UTILIZADO NO SEGUNDO CUBEDESIGN	
Daniel Alessander Nono Anderson Luis Barbosa Bruno Carneiro Junqueira André Ferreira Teixeira Aline Castilho Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.7442008044	
CAPÍTULO 5	47
CENTRAIS HIDROcinÉTICAS COMO MEIO PARA A REESTRUTURAÇÃO DEMOCRÁTICA DO SETOR ELÉTRICO	
Luiza Fortes Miranda Geraldo Lucio Tiago Filho	
DOI 10.22533/at.ed.7442008045	
CAPÍTULO 6	60
DE KAOS PARA SYSML NA MODELAGEM DE SISTEMAS EMBARCADOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA	
Timóteo Gomes da Silva Fernanda Maria Ribeiro de Alencar Aêda Monalizza Cunha de Sousa Brito	
DOI 10.22533/at.ed.7442008046	

CAPÍTULO 7	68
INTERNET OF THINGS NA ENGENHARIA BIOMÉDICA	
Tatiana Pereira Filgueiras	
Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.7442008047	
CAPÍTULO 8	77
AVALIAÇÃO DE TOPOLOGIAS DE FONTES DE CORRENTE EM BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA	
David William Cordeiro Marcondes	
Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.7442008048	
CAPÍTULO 9	97
OBTENÇÃO DE BIODIESEL POR MEIO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA UTILIZANDO CATALISADOR DE KOH/Al ₂ O ₃ EM DIFERENTES COMPOSIÇÕES	
Laís Wanderley Simões	
Normanda Lino de Freitas	
Joelda Dantas	
Elvia Leal	
Julyanne Rodrigues de Medeiros Pontes	
Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.7442008049	
CAPÍTULO 10	113
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FILMES HÍBRIDOS PRODUZIDOS POR AMIDO DE MILHO E QUITOSANA	
Francielle Cristine Pereira Gonçalves	
Kilton Renan Alves Pereira	
Rodrigo Dias Assis Saldanha	
Simone Cristina Freitas de Carvalho	
Vitor Rodrigo de Melo e Melo	
Kristy Emanuel Silva Fontes	
Richelly Nayhene de Lima	
Magda Jordana Fernandes	
Elano Costa Silva	
Thaynon Brendon Pinto Noronha	
Liliane Ferreira Araújo de Almada	
Paulo Henrique Araújo Peixôto	
DOI 10.22533/at.ed.74420080410	
CAPÍTULO 11	125
SYNTHESIS AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF SODIUM DODECYL SULFATE (DDS) MODIFIED LAYERED DOUBLE HYDROXIDE (HDL) AS MATRIX FOR DRUG RELEASE	
Amanda Damasceno Leão	
Mônica Felts de La Rocca	
José Lamartine Soares Sobrinho	
DOI 10.22533/at.ed.74420080411	
CAPÍTULO 12	134
THIN PLATE SPLINE INTERPOLATION METHOD APPLICATION TO PREDICT THE SUNFLOWER OIL INCORPORATION IN POLY (ACRYLIC ACID)-STARCH FILMS	
Talita Goulart da Silva	
Débora Baptista Pereira	
Vinícius Guedes Gobbi	

Layla Ferraz Aquino
Thassio Brandão Cubiça
Matheus Santos Cunha
Tiago dos Santos Mendonça
Sandra Cristina Dantas
Roberta Helena Mendonça

DOI 10.22533/at.ed.74420080412

CAPÍTULO 13 152

GESTÃO ESTRATÉGICA PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS NA EMPRESA DE MANUTENÇÃO JL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Francely Cativo Bentes
David Barbosa de Alencar
Marden Eufrasio dos santos

DOI 10.22533/at.ed.74420080413

CAPÍTULO 14 162

OTIMIZAÇÃO DOS INSPETORES ELETRÔNICOS NA PRODUÇÃO DE TAMPAS METÁLICAS NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Elisabete Albuquerque de Souza
David Barbosa de Alencar
Marden Eufrasio dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.74420080414

CAPÍTULO 15 174

CONTROLE DE QUALIDADE DOS BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO DE SEIS E OITO FUROS DAS OLARIAS DO AMAPÁ

Daniel Santos Barbosa
Adler Gabriel Alves Pereira
Orivaldo de Azevedo Souza Junior
Ruan Fabrício Gonçalves Moraes
Paulo Victor Prazeres Sacramento

DOI 10.22533/at.ed.74420080415

CAPÍTULO 16 190

REAPROVEITAMENTO DE TOPSOIL COMO MEDIDA DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

José Roberto Moreira Ribeiro Gonçalves
Fabiano Battemarco da Silva Martins
Ronaldo Machado Correia

DOI 10.22533/at.ed.74420080416

CAPÍTULO 17 199

AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: COMPARAÇÃO ENTRE A NBR 9452/2019 E O MÉTODO ESLOVENO

Ana Carolina Virmond Portela Giovannetti

DOI 10.22533/at.ed.74420080417

CAPÍTULO 18 208

DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA MÍNIMA EXIGIDA DO ACIONAMENTO PRINCIPAL DE TRANSPORTADORES DE CORREIA

José Joelson de Melo Santiago
Carlos Cássio de Alcântara
Daniel Nicolau Lima Alves

Jackson de Brito Simões

DOI 10.22533/at.ed.74420080418

CAPÍTULO 19 220

CONSTRUÇÃO, INSTRUMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM TÚNEL DE VENTO DIDÁTICO DE CIRCUITO FECHADO

Lucas Ramos e Silva

Guilherme de Souza Papini

Rafael Alves Boutros

Romero Moreira Silva

Wender Gonçalves dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.74420080419

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 236

ÍNDICE REMISSIVO 237

EMPREGO DOS PARÂMETROS DE LAMINAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS REFORÇADOS EM COMPÓSITOS SUBMETIDOS A CARGAS COMPRESSIVAS

Data de aceite: 27/03/2020

Hélio de Assis Pegado

Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Engenharia Mecânica, Belo
Horizonte, MG

<http://lattes.cnpq.br/4122679948024448>

Laura Tameirão Sampaio Rodrigues

Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Engenharia Mecânica, Belo
Horizonte, MG

RESUMO: A indústria aeronáutica emprega diversos programas comerciais para o projeto e análise de estruturas aeroespaciais. Na fase de projeto, o processo de otimização é utilizado visando obter estruturas leves, que resistam as cargas aerodinâmicas e o peso da carga paga e do combustível, e que não sejam susceptíveis a instabilidades, tal como a flambagem. Assim, esta pesquisa destina-se a otimizar painéis reforçados em compósito empregando programas utilizados pela indústria e os parâmetros de laminação. A função objetivo é a minimização do peso, as variáveis de projeto são as espessuras e os parâmetros de laminação, e a restrição é que não flambe após aplicação da carga em compressão. Para validação do modelo, emprega-se o método

em uma placa de alumínio e são comparados o resultado obtido com a solução analítica mostrando a coerência do modelo. Após estudar suas limitações e diferenças aplica-se o mesmo método para um painel em compósito e são analisados e estudados os resultados fornecidos pelo programa.

PALAVRAS-CHAVE: otimização, NASTRAN, flambagem

EMPREGO DOS PARÂMETROS DE LAMINAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE PAINÉIS REFORÇADOS EM COMPÓSITOS SUBMETIDOS A CARGAS COMPRESSIVAS

ABSTRACT: The aeronautical industry employs various commercial software for the design and analysis of aerospace structures. In the design phase, the optimization process is applied to obtain lightweight structures that withstand aerodynamic loads and the payload and fuel weights. Besides this, the structure must not be susceptible to instabilities such as buckling. Thus, the goal of this research is to optimize composite reinforced panels employing industry - used software and lamination parameters. The objective function is the weight to be minimized, the design variables are the thickness and the lamination parameters, and the restriction is that

it does not buckle after application of the compressive load. The aluminum plate model was simulated, and this result was compared with the analytical solution showing the coherence of the model. After studying its limitations and differences, the same method is applied to a composite panel, and the results provided by the software are analyzed and studied.

1 | INTRODUÇÃO

O uso de materiais compósitos em aeronaves tem se popularizado cada vez mais com o seu largo emprego em aeronaves comerciais, inclusive em elementos estruturais. Diversas empresas como a Boeing e a Airbus têm empregado materiais compostos na fabricação de diversos componentes do Boeing 787 Dreamliner (80% compósitos) e do Airbus A350 XWB (53%) o que mostra a importância e a atualidade do estudo de seu comportamento, de suas limitações aeroelásticas e das instabilidades associadas a seu emprego. A Figura 1 mostra o aumento do uso deste tipo material em aeronaves.

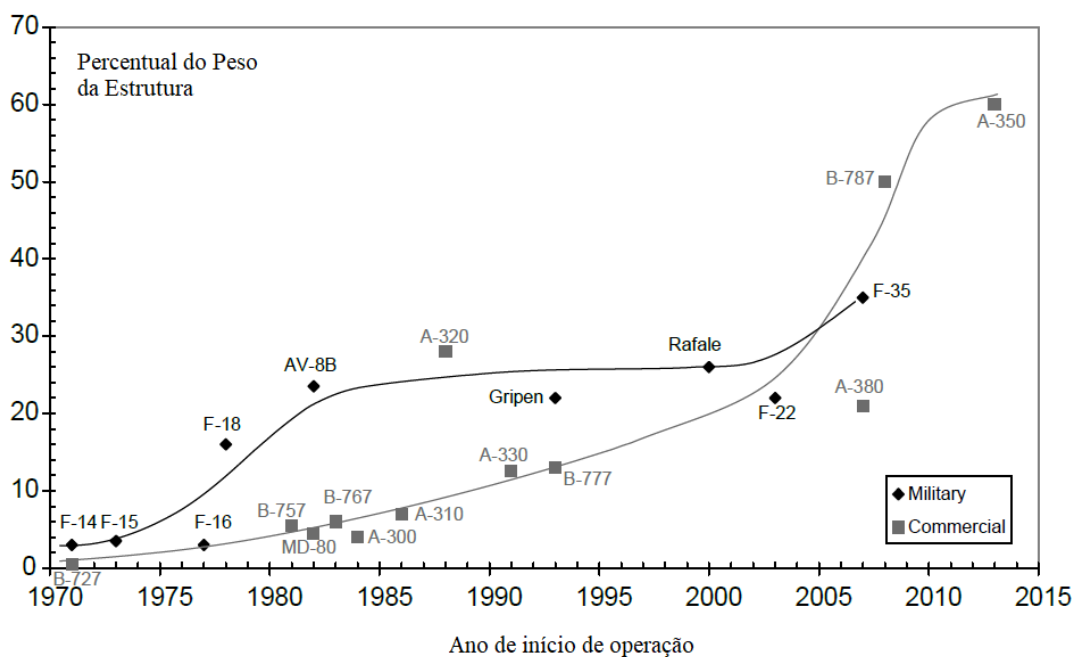


Figura 1: Evolução temporal do uso de compósitos em aeronaves (KASSAPOGLOU,2013).

Esta evolução se deu principalmente pelo aprofundamento do estudo das propriedades do material compósito. Este material é composto por fibras e uma matriz e através da alteração do alinhamento das fibras pode-se obter a resistência desejada. Além disso, sua densidade é bem menor que a do material metálico com uma resistência equivalente, o que se traduz em uma considerável redução de peso.

Na indústria aeronáutica, menor peso se traduz em mais carga paga a ser transportada, em consequência maior lucro, ou mais combustível disponível, portanto maior alcance, ou mesmo, uma combinação de aumento de carga paga e combustível disponível.

Uma das possibilidades para minimização do peso bruto da aeronave é a redução de seu peso estrutural (peso vazio), mantendo a mesma resistência ao carregamento e sem sofrer instabilidade estrutural (flambagem). Nesta linha, diversos autores tem procurado obtê-lo empregando diferentes métodos de otimização e abordagens.

Algumas destas técnicas voltadas para otimização de materiais compósitos definem a variação do número de camadas laminadas e dos ângulos de laminação como variáveis de projeto, assumindo que o material possui propriedades ortotrópicas. No entanto, esse tipo de otimização envolve alto custo computacional e consiste em um processo de otimização não linear com variáveis discretas em um espaço não-convexo.

Assim, para resolver o problema de otimização de variáveis discretas na sequência de laminação dos materiais compósitos, Miki (1993) propôs o uso de parâmetros de laminação. Seu método considera que a rigidez no plano e a rigidez à flexão das chapas laminadas simétricas e ortotrópicas são funções dos parâmetros de laminação, que dependem da sequência de laminação.

Fukunaga et al. (1994) apresentaram uma abordagem de otimização das configurações de placas laminadas simetricamente que maximiza as cargas de flambagem sob ação de cargas combinadas. A relação entre as configurações do laminado e as cargas de flambagem são obtidas com base no conceito de parâmetros de laminação. Dutra e Almeida (2015) apresentaram um método de otimização baseado em um metamodelo quadrático usado para estimar a função objetivo. É apresentada uma formulação analítica para obter as derivadas da função objetivo relativas aos parâmetros de laminação. Uma placa em compósito sujeita a cargas combinadas de flexão e torção é otimizada e os resultados são apresentados e discutidos em termos de projeto prático de estruturas aeronáuticas. Quadros e Hernandez (2018) estudaram uma parametrização de Lagrange dos parâmetros de laminação para maximizar a carga de flambagem de uma placa compósita de rigidez variável.

Entretanto, para a indústria aeronáutica é, por vezes, mais importante empregar softwares comerciais de análise estrutural, que são compatíveis com outros utilizados pela área de desenvolvimento, para projetos do que desenvolver uma ferramenta própria para análise. Neste viés, esta pesquisa (PEGADO & RODRIGUES, 2019) emprega um software conhecido na indústria, o NASTRAN/FEMAP (SIEMENS,2020), para análise e otimização estrutural.

Assim, este artigo está estruturado da seguinte forma: a metodologia utilizada na otimização das chapas reforçadas, as hipóteses consideradas, as equações utilizadas na análise de painéis compósitos, a validação dos modelos e os resultados obtidos expressos em tabelas e figuras.

2 | OTIMIZAÇÃO

Neste processo são utilizadas como variáveis de projeto os parâmetros de laminação, a espessura da chapa e do reforçador, e o peso como função objetivo. Foram analisadas duas placas reforçadas, uma de alumínio e outra de fibra de carbono. O otimizador usado é uma sub-rotina do NASTRAN (SIEMENS,2020) e sua eficiência na análise dessas chapas reforçadas é testada na chapa de alumínio. Estes resultados são comparados com o Fator de Eficiência de Farrar (Niu, 1997) e a eficácia deste otimizador é demonstrada. Após sua validação, o otimizador do NASTRAN (SIEMENS,2020), o SOL 200, é utilizado para otimização de chapas em compósitos com parâmetros de laminação e espessuras como variáveis de projeto.

2.1 Considerações

O modelo satisfaz a Teoria Clássica do Laminado e:

- I. cada camada é quase-homogênea e ortotrópica;
- II. o laminado é fino e suas dimensões laterais são muito maiores que sua espessura e são carregadas apenas no plano (condição de tensão plana);
- III. os deslocamentos são pequenos quando comparados com a espessura do laminado: $|u|, |v|, |w| \ll h$;
- IV. o laminado é simétrico e balanceado, o que significa que a lâmina está disposta em pares ($+\theta$ e $-\theta$) acima e abaixo do plano médio;
- V. esta placa laminada satisfaz a Regra dos Dez Por Cento, onde o número de camadas em cada ângulo de laminação ($0, \pm 45$ e 90°) é no mínimo de 10% do total de camadas.

2.2 Modelo da Placa Laminada

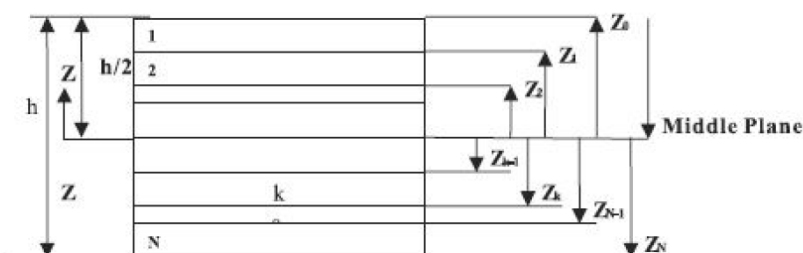


Figura 2. Sequência de Laminação (LIU, HAKKA & TROMPETTE,2004)

A metodologia adotada para o uso dos parâmetros de laminação por Rodrigues (2018) segue o modelo mostrado na Figura 2 e considera que a sequência de laminação pode ser expressa pela Equação 1:

$$[(\pm\theta_n)_{Nn}/\dots/(\pm\theta_2)_{N2}/(\pm\theta_1)_{N1}]_s \quad (1)$$

Segundo MIKI (1993), os parâmetros de laminação são boas opções para serem utilizados como variáveis de projeto no projeto e fabricação de um laminado, pois é possível obter uma região viável dos parâmetros de laminação em um plano bidimensional. Quando existe um laminado simétrico e ortotrópico, a rigidez no plano (matriz A - Eq 2) e a rigidez à flexão (matriz D – Eq 2) tornam-se funções dos parâmetros de laminação, que são funções da sequência de laminação (Figura 2). Como este laminado é simétrico, a rigidez devida ao acoplamento (matriz B - Eq2) é zero.

$$\begin{bmatrix} M \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon^o \\ \kappa \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde M é a intensidade dos momentos de flexão pura e cisalhamento por unidade de comprimento e N é a força direta ou de cisalhamento por unidade de comprimento produzida por cargas no plano. As matrizes de rigidez A, B e D podem ser expressas pela invariante de rigidez U e doze parâmetros de laminação (RODRIGUES, 2018). Ao considerar o laminado como simétrico, a matriz de acoplamento de rigidez B será zero e, em seguida, o número de parâmetros de laminação será reduzido para 8. Da mesma forma, vários fabricantes adotam como prática de projeto que as lâminas são ortotrópicas e podem ter apenas 0° / 45° / 90° como ângulos de laminação, reduzindo assim os parâmetros de laminação para 6. Portanto, as seguintes expressões são usadas para a rigidez no plano e a rigidez à flexão:

$$\begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ A_{22} \\ A_{66} \\ A_{16} \\ A_{26} \end{bmatrix} = h \begin{bmatrix} 1 & \xi_1^A & \xi_2^A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\xi_2^A & 1 & 0 \\ 1 & -\xi_1^A & \xi_2^A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\xi_2^A & 0 & 1 \\ 0 & \frac{\xi_3^A}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\xi_3^A}{2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \begin{bmatrix} D_{11} \\ D_{12} \\ D_{22} \\ D_{66} \\ D_{16} \\ D_{26} \end{bmatrix} = \frac{h^3}{12} \begin{bmatrix} 1 & \xi_1^D & \xi_2^D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\xi_2^D & 1 & 0 \\ 1 & -\xi_1^D & \xi_2^D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\xi_2^D & 0 & 1 \\ 0 & \frac{\xi_3^D}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\xi_3^D}{2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Os parâmetros de laminação são apresentados na Equação 4, onde o subscrito D representa a matriz D e o subscrito A, a matriz correspondente A.

$$\xi_{[1,2,3]}^A = \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} [\cos 2\varphi, \cos 4\varphi, \sin 2\varphi] dz \quad e \quad \xi_{[1,2,3]}^D = \frac{12}{h^3} \int_{-h/2}^{h/2} [\cos 2\varphi, \cos 4\varphi, \sin 2\varphi] z^2 dz \quad (4)$$

Após análise das equações 2 e 4, pode-se observar que os parâmetros de laminação estão relacionados aos termos D_{16} e D_{26} da matriz [D]. Estes termos não contribuem significativamente para as análises e, como a falha por flambagem será estudada, o parâmetro ξ_3^D poderá ser desprezado. E como o laminado é simétrico e balanceado em relação ao plano médio, o parâmetro de laminação ξ_3^A não será levado em consideração neste estudo, portanto, os seguintes parâmetros de laminação serão considerados durante a otimização do painel:

$$\xi_1^A = \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} \cos 2\varphi dz, \quad \xi_2^A = \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} \cos 4\varphi dz, \quad \xi_1^D = \frac{12}{h^3} \int_{-h/2}^{h/2} \cos 2\varphi z^2 dz \quad e$$

$$\xi_2^D = \frac{12}{h^3} \int_{-h/2}^{h/2} \cos 4\varphi z^2 dz \quad (5)$$

Embora os parâmetros de laminação permitam uma otimização contínua do laminado com um número relativamente baixo de variáveis de projeto, não é possível evitar a acomodação de várias lâminas em uma sequência com o mesmo ângulo de laminação. Portanto, após otimizar o laminado usando os parâmetros de laminação, será necessário usar um banco de dados de laminado para obter a solução discreta do laminado.

O painel compósito possui uma sequência de lâminas dispostas em ângulos é simétrico em relação ao plano do médio. Conforme afirma (MIL-HDBK-17-3F, 2002) e (NIU, 1992), a principal vantagem do uso do laminado simétrico é o desacoplamento entre o comportamento de membrana e da flexão da estrutura. Em um laminado simétrico, de acordo com a notação mostrada na Figura 3 e de acordo com a Equação 2, a matriz de laminado [B] se cancela.

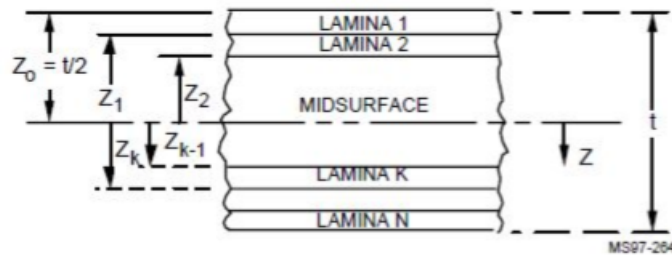


Figura 3: Notação para Espessura do laminado e Sequência de Laminação (MIL HDBK-17-3F,2002)

Os laminados balanceados (Figura 4) são aqueles em que todas as camadas, menos 0° e 90° , são acomodadas nos pares $+\theta$ e $-\theta$ acima e abaixo do plano médio do laminado. Para o conjunto de laminados compostos por camadas com ângulos $0 / \pm 45/90$, cada lâmina de $+45^\circ$ deve ser acompanhada por uma de -45° . Os laminados balanceados têm vantagens semelhantes às dos simétricos.

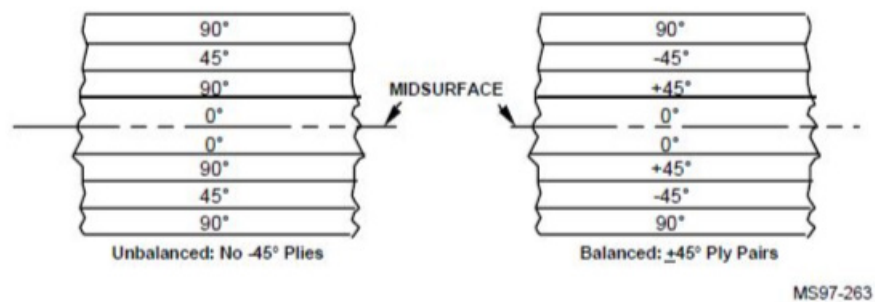


Figura 4: Laminado balanceado e Desbalanceado (MIL HDBK 17-3F,2002)

A regra dos 10% foi seguida em vários projetos estruturais de materiais compósitos e demonstrou bons resultados, sendo adotada até os dias atuais. A regra de 10% determina que pelo menos 10% das camadas finais do laminado tenham ângulos de laminação (0° , $\pm 45^\circ$ e 90°). O uso dessa prática de projeto produz laminados mais robustos e menos suscetíveis à fragilidade associada a laminados estritamente ortotrópicos (BAILLIE; LAY & PASRICHA, 1997).

2.3 Simulação com NASTRAN (SIEMENS,2020)

As variáveis de projeto são as espessuras do revestimento e do reforçador bem como os parâmetros de laminação (ξ). Para essas simulações, foi utilizado o tipo MAT2 que define as propriedades do material, para materiais anisotrópicos lineares e independentes da temperatura, e para os elementos isoparamétricos de casca, o elemento PSHELL que define as propriedades de membrana, flexão e cisalhamento transversal dos elementos de casca. Para impor as restrições, o

DCONSTR foi usado e a função de minimização de peso objetivo é ativada usando o comando DESOBJ. Três soluções NASTRAN (SIEMENS,2020) são usadas: a solução de otimização (SOL200), a estática (SOL101) e a solução de flambagem (SOL105).

2.4 Metodologia

2.4.1 Análise Teórica

Este modelo foi desenvolvido usando a metodologia de Niu (1997) que é resumida em Rodrigues (2018). O ponto ótimo e as dimensões da placa reforçada são obtidas empregando o Fator de Eficiência da Farrar. A seguir, são apresentadas as principais considerações e equações utilizadas para estimar as dimensões.

Algumas hipóteses são impostas para esta análise:

- I. O painel é longo o suficiente para permitir que seja tratado como uma coluna, o que significa que não há restrições impostas às suas bordas longitudinais;
- II. o painel possui fixações (apoios) no final de sua estrutura, em relação ao comprimento L , apesar disto, L é considerado como o comprimento efetivo do painel;
- III. A conexão placa-reforçador não restringe a flambagem da placa.

A Figura 5 mostra um painel típico reforçado e sem flanges (NIU, 1997), em que t é a espessura do revestimento, b é o espaçamento entre os reforçadores, b_w é a profundidade do reforçador, L é o comprimento, f é a tensão aplicada, f_o é a tensão de flambagem inicial da seção do painel e f_E é a tensão de Euler.

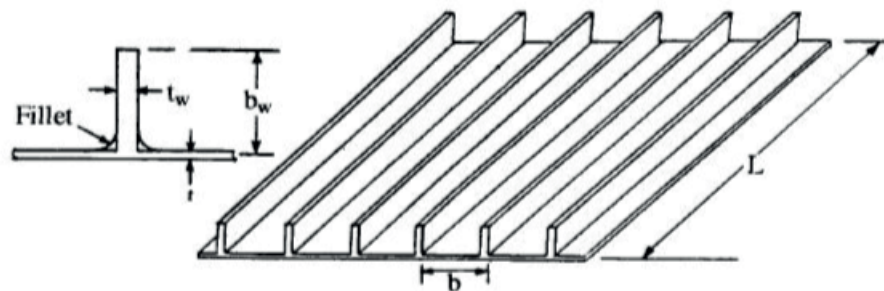


Figura 5: Painel com Reforçadores integrados sem-flanges (NIU,1997)

De acordo com Niu (1997), o fator de eficiência de Farrar é:

$$F=1.314 \frac{R_b^3 R_t (4 + R_b R_t)^{1/4}}{1 + R_b R_t} \left(\frac{f_E}{f_o} \right)^{1/4} \quad (6)$$

onde R_b é a relação $R_b = \frac{b_w}{b}$, $R_t = \frac{t_w}{t}$, é a tensão de flambagem inicial de uma longa placa com espaçamento de reforçador b , uma espessura da placa simplesmente apoiada nas bordas t , e $f_E = 3.62E_t \left(\frac{t}{b}\right)^2$.

O fator de eficiência de Farrar pode ser escrito como $F=f\left(\frac{L}{NE_t}\right)^{1/2}$ onde L é o comprimento do painel e E_t o módulo tangente. NIU (1997) emprega variáveis auxiliares para resolver este problema graficamente.

$$J_1=b\left(\frac{E_t}{NL^3}\right)^{1/4}, J_2=t_w\left(\frac{E_t}{NL}\right)^{1/2}, J_3=b_w\left(\frac{E_t}{NL^3}\right)^{1/4} \text{ e } J_4=t\left(\frac{E_t}{NL}\right)^{1/2} \quad (7)$$

Estas variáveis são obtidas assumindo um valor para Rb . F e o ponto ótimo Rb são encontrados usando diagramas (Niu, 1997).

Um painel reforçado extrudado de Al 2024-T3 otimizado foi projetado, seguindo a metodologia do Fator de Eficiência de Farrar proposta por (NIU, 1997), que resiste a uma carga de compressão de 100000 N/m (269777 lbs / in). A metodologia proposta pelo autor foi seguida e os resultados são apresentados nas tabelas contendo os resultados.

2.4.2 Painel Metálico – Método dos Elementos Finitos

Após a aplicação do software NASTRAN (SIEMENS,2020) para otimizar uma chapa reforçada com as mesmas dimensões da calculada analiticamente pelo fator de eficiência de Farrar, estes resultados foram comparados. Suas diferenças foram analisadas e o modelo foi considerado validado. A seguir, o otimizador foi aplicado para obter as dimensões ideais para placas compósitas e metálicas reforçadas.

Um modelo de elementos finitos para simular um painel reforçado foi desenvolvido como mostrado na Figura 6 para executar a otimização. Esse modelo foi desenvolvido usando apenas um material, tanto para a placa quanto para o reforçador (Al 2024 T3), com as características mostradas na Tabela 1.

Propriedades do Al 2024-T3 Extrudado		
Módulo Tangente (Et)	66,2x10 ³ N/mm ²	9,16x10 ³ Ksi
Poisson (ν)	0,33	0,33
Densidade (ρ)	2,8x10 ⁻³ g/mm ³	0,1 lb/in ³

Tabela 1: Propriedades do Material (RICE,2003)

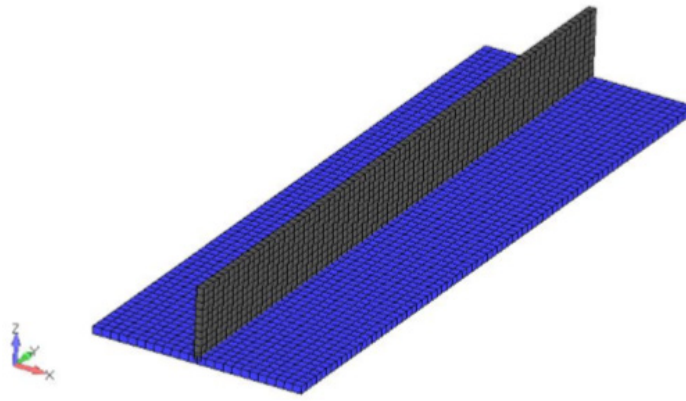


Figura 6: Painel Reforçado – NASTRAN / FEMAP (Rodrigues,2018)

O modelo da Figura 6 mostra as condições de contorno empregadas no modelo NASTRAN (SIEMENS,2020) e foi desenvolvido com elementos tipo placa (PLATE) para o reforçador e a placa, e com propriedades (PROPERTY) distintas, uma vez que possuem espessuras diferentes.

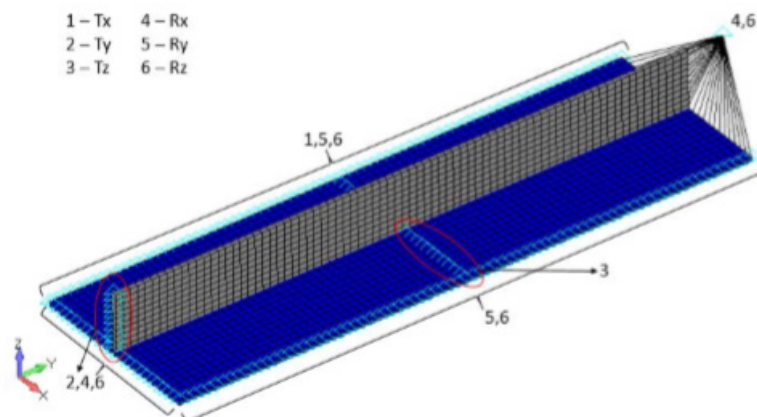


Figura 7: Condições de Contorno - FEMAP (Rodrigues,2018)

Em relação à carga aplicada no modelo, foi definido que o painel reforçado seria submetido apenas a uma carga de compressão, sem cisalhamento. E, essa carga de compressão foi aplicada como mostrado na Figura 8, usando um elemento rígido do tipo RBE2 para distribuir a carga igualmente entre os nós da placa que estão localizados na borda do reforçador.

O objetivo da otimização era minimizar o peso da estrutura, para isso a carga de compressão constante foi mantida, e as espessuras da placa e do reforçador foram alteradas até obter as dimensões ótimas. Esta estrutura ideal teve que suportar a carga de compressão sem flambar, usando uma restrição dentro do otimizador (SOL 105).

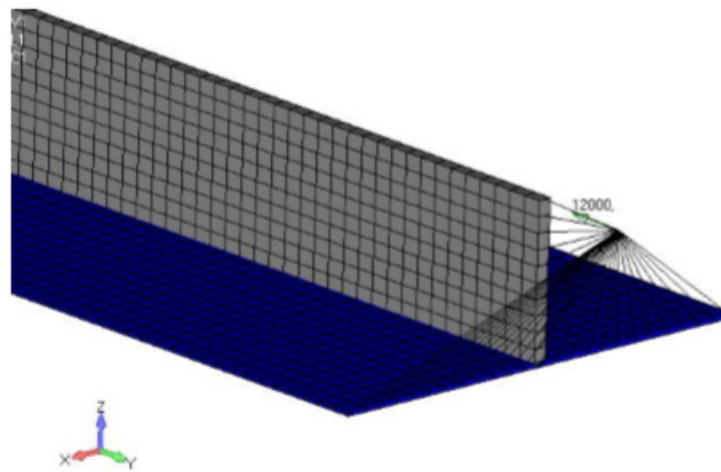


Figura 8: Carga aplicada no Reforçador (10000 daN)

2.4.3 Otimização de placas em compósito

Este modelo foi desenvolvido usando fibra de carbono, com propriedades diferentes já que existe um material com o número de camadas diferentes para a placa e outro para o reforçador, de acordo com a Figura 9, e portanto com espessuras diferentes.

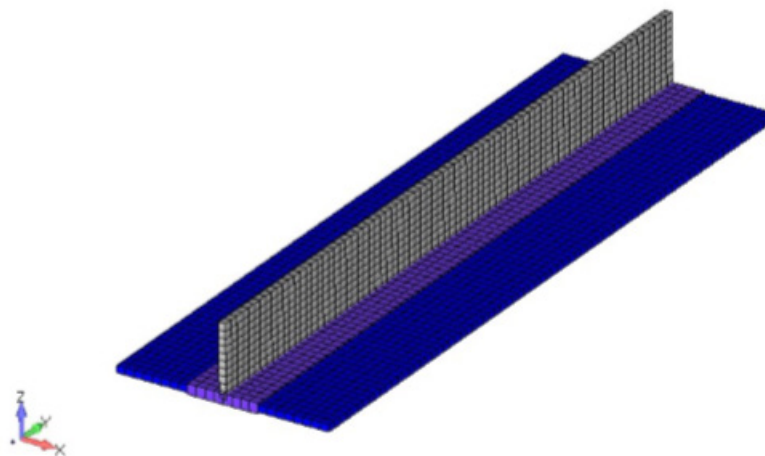


Figura 9: Placa de Compósito Reforçada (RODRIGUES,2018)

A base do reforçador é composto tanto do material da placa quanto da malha do reforçador, conforme mostrado na Figura 10. O modelo foi desenvolvido com elementos do tipo placa (PLATE) para o reforçador e placa. A espessura do reforçador é chamada de t_{web} , da placa é t e da base t_{wbase} .

As condições de contorno aplicadas no modelo de elementos finitos para placas reforçadas de compósitos são as mesmas que as aplicadas no modelo para placa reforçada metálica. Em relação à carga aplicada no modelo, foi definido

que o painel reforçado seria submetido apenas a uma carga de compressão, sem cisalhamento. Portanto, essa carga de compressão foi aplicada da mesma maneira que no modelo reforçado com material metálico, como mostrado na Figura 8.

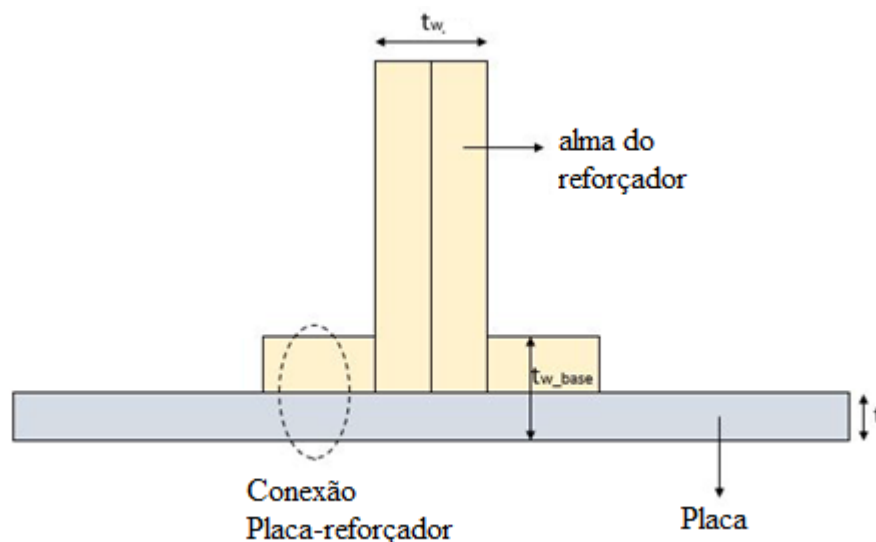


Figura 10: Base do Reforçador em Compósito (Rodrigues,2018)

Assim como na placa de metal, a função objetivo era minimizar o peso da estrutura. Portanto, durante a solução de otimização, a carga compressiva foi mantida constante, e as espessuras da placa e do reforçador variaram. Na otimização do painel reforçado, os parâmetros de laminação da placa e do painel reforçado também foram variados. Foi obtida uma estrutura que suportaria a carga de compressão imposta, respeitando a restrição de flambagem no otimizador (SOL 105).

3 | DISCUSSÕES E RESULTADOS

Os resultados obtidos na pesquisa são apresentados na forma de tabelas e figuras. Os resultados que comprovam a validade do modelo adotado são apresentados inicialmente e, logo após, são apresentados os resultados referentes à otimização de uma placa reforçada em material metálico e, finalmente, os resultados referentes à otimização utilizando os parâmetros de laminação.

3.1 Resultado do Modelo Teórico

Os resultados do modelo teórico foram obtidos seguindo a metodologia de Niu (1997) com o uso de vários ábacos, a maioria deles construídos experimentalmente. Rodrigues (2018) mostra como calculá-los em seu trabalho com a aplicação do Fator de Eficiência de Farrar e os resultados são transcritos na Tabela 2. Como é

um método gráfico utilizando ábaco fornecidos por Niu (1997), a solução de Farrar fornece dois pontos ótimos que são apresentados na Tabela cuja massa prevista após o cálculo é a mesma.

Dados de Entrada				N (N/mm)	N(lbs/in)	R _b
				1.000	5.710,2	0,33
Resultados Parciais	ótimo	F	R _t	J ₄	f (psi)	Et (psi)
	1	0,65	1,20	1,2	40.000	5,4x10 ⁶
	2	0,65	2,7	0,8	40.000	5,4x10 ⁶
Resultados Finais			Ponto Ótimo	M (kg)	t (mm)	t _w (mm)
			1	0,717	3,884	4,661
			2	0,717	2,590	6,993

Tabela 2: Resultados do Modelo Teórico e Dados de Entrada (Rodrigues,2018)

A Figura 11 mostra o resultado após a otimização, e seu resultado para uma placa de metal sujeita a uma força de compressão é apresentado na Tabela 3. Esta Tabela 3 apresenta uma comparação entre os dois pontos “ótimos” do modelo teórico e o resultado do modelo de elementos finitos. Essa diferença provavelmente se deve a imposição do fator de eficiência Farrar de 0,65 no modelo teórico para um painel ótimo reforçado e ao uso de gráficos. O ponto 2 apresenta um resultado mais próximo dos resultados do NASTRAN. Um modelo de otimização foi desenvolvido para o material metálico, no qual o material possuía o mesmo módulo tangente E_t do modelo teórico, uma vez que o NASTRAN SOL105 é linear, ou seja, não considera a plasticidade do material. As variáveis de projeto são as espessuras da placa e do reforçador. Observa-se que para a espessura da placa o resultado obtido por Farrar é bem próximo do NASTRAN (1%) enquanto para a espessura do reforçador o resultado fica mais distante (18%).

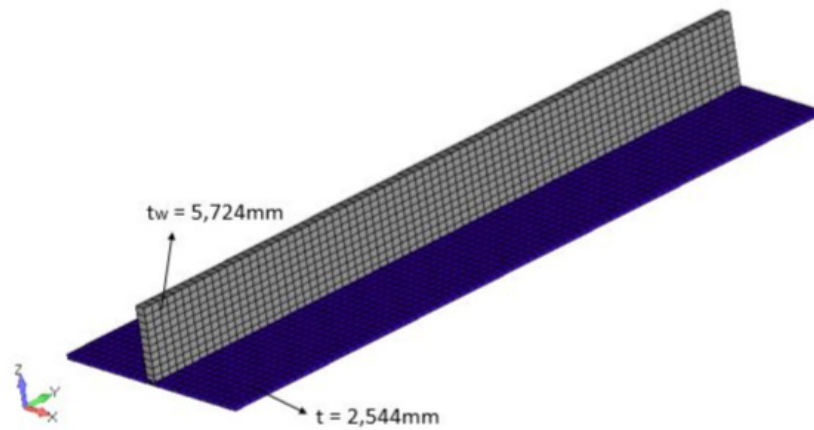


Figure 11: Resultado obtido pelo Nastran para Placa Metálica Reforçada (Rodrigues,2018)

	Teórico 1	Diferença Teórico 1 x NASTRAN	Teórico 2	NASTRAN	Diferença Teórico 2 x NASTRAN
t(mm)	3.884	53%	2.590	2.544	1%
t _w (mm)	4.661	22%	6.993	5.724	18 %
m (kg)	0.717	18%	0.717	0.587	18%

Tabela 2: Comparação Teórica e Modelo NASTRAN

3.2 Painel Reforçado Laminado e Metálico

Foi realizada a simulação em NASTRAN e seus resultados validados após compará-los com o resultado analítico, conforme é mostrado na Tabela 3. Assim, pode-se empregar o mesmo modelo para materiais compósitos. A Figura 12 mostra as dimensões obtidas pelo otimizador NASTRAN para um painel metálico com uma configuração composta por placa, base do reforçador e reforçador, e a Figura 13 mostra um painel com uma configuração semelhante confeccionado com fibra de carbono. A Tabela 3 transcreve estes valores otimizados obtidos para as espessuras da placa metálica e da placa em compósito. Observa-se que as espessuras obtidas são muito próximas, exceto a espessura do reforçador cuja diferença entre o metal e o compósito é de cerca de 25%.

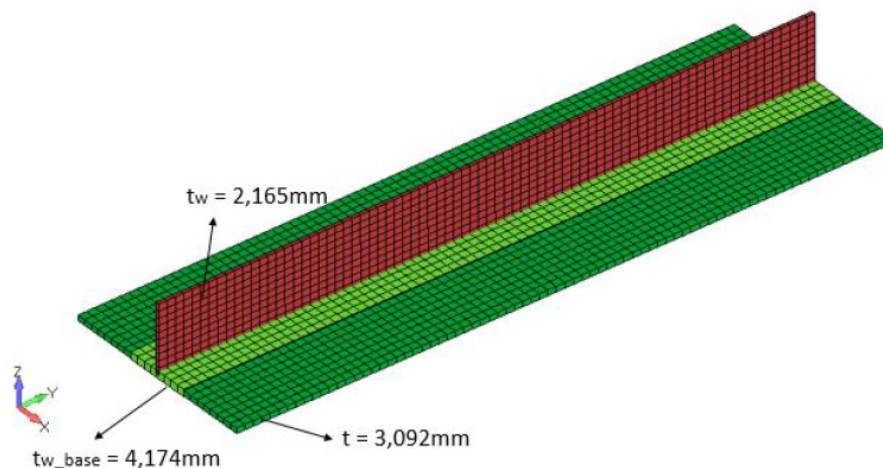


Figura 12: Espessuras do Painel Metálico Reforçado Otimizado (Rodrigues,2018)

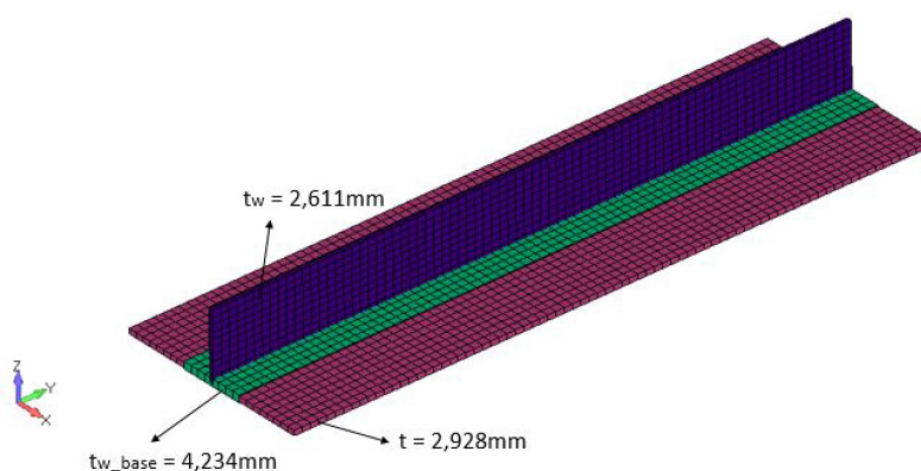


Figura 13: Espessuras do Painel Compósito Reforçado Otimizado (Rodrigues, 2018)

Model o	Placa (mm)	Reforçador (mm)	Espessura da base do Reforçador (mm)
Metálico	3,092	2,165	4,174
Laminado	2,928	2,611	4,234

Tabela 4: Resultados da Otimização empregando NASTRAN

Como esperado, o peso da estrutura metálica está bem acima da placa laminada, como mostrado na Tabela 5. O peso da estrutura foi calculado usando a densidade do material ($\rho_{Al} = 2,8 \times 10^{-3} \text{g/mm}^3$ e $\rho_{lam} = 1,56 \times 10^{-3} \text{g/mm}^3$). Esta placa deve resistir à carga compressiva aplicada sem flambar. A Figura 14 mostra os modos de flambagem obtidos após a simulação NASTRAN.

Modelo	Peso (kg)
Liga de Alumínio	0,551
Laminado	0,309

Tabela 5: Peso da Estrutura após Otimização (Rodrigues,2018)

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos para os parâmetros de laminação após a otimização. Com um banco de dados de laminados, é possível obter a configuração dos laminados que satisfazem estes parâmetros.

Componente Estrutural	ξ_1^A	ξ_2^A	ξ_1^D	ξ_2^D
Reforçador	0,3182	0,0348	0,0537	-0,0625
Placa	0,2560	0,0529	-0,0851	-0,0913
Base	0,2853	0,0443	0,0215	-0,199

Tabela 6: Parâmetros de Laminação obtidos após a Simulação (Rodrigues,2018)

O uso do FEMAP/NASTRAN (SIEMENS,2020) permite mostrar visualmente as regiões sujeitas a flambagem através de um código de cores conforme se observa na Figura 14.

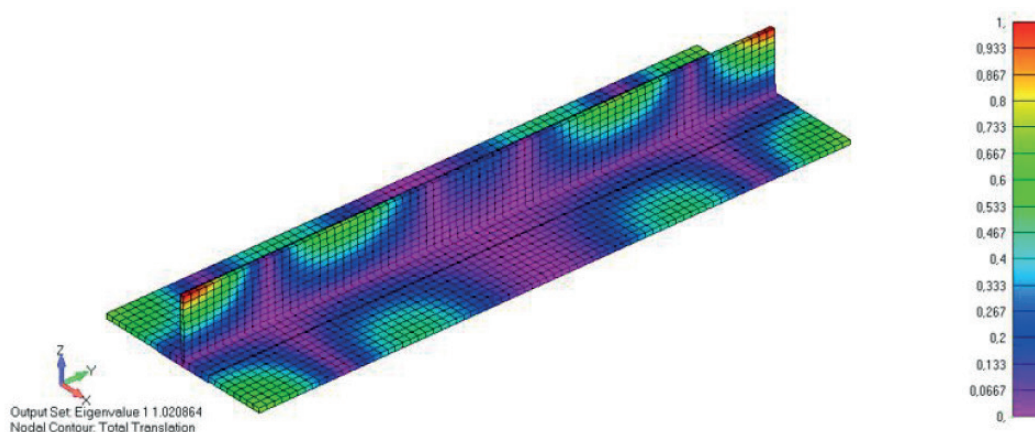


Figura 14: Análise de Flambagem da Placa de Compósito Reforçada– NASTRAN (RODRIGUES, 2018)

4 | CONCLUSÕES

O uso de parâmetros de laminação permitiu uma otimização consistente do painel reforçado compósito e mostrou suas vantagens em relação a otimização discreta com base no número e na direção de cada lâmina laminada.

Os resultados foram coerentes e, a partir da análise do material metálico, observa-se que as diferenças entre o modelo teórico do Fator de Eficiência de Farrar e o resultado obtido pelo NASTRAN são baixas.

Como esperado, o peso do compósito é mais leve e o resultado foi obtido mais rapidamente usando os parâmetros de laminação e o otimizador NASTRAN, que é o mais usado na indústria aeronáutica.

REFERÊNCIAS

- Bailie J; Ley, R.; Pasricha, A, 1997. **A summary and review of composite laminate design guidelines**. National Aeronautics and Space Administration, Final, n. 22.
- Dutra, T.A. and Almeida, S.F.M., 2015. **Composite Plate Stiffness Multicriteria Optimization using Lamination Parameters**. *Composite Structures*, Elsevier, v.133, p. 166-177.
- Fukunaga,H., Sekine,H., Satot, M. and Lino, A.,1995. **Buckling Design of Symmetrically Laminated Plates using Lamination Parameters**. *Computer and Structures*, Pergamon, v.57, n.4, p. 643-649.
- Kassapoglou,C..**Design and Analysis of Composite Structures with Applications to Aerospace Structures**. John Wiley and Sons Ltd, 2010.
- Liu,B. Haftka, R. and Trompette, P., 2004. **Maximization of buckling loads of composite panels using flexural lamination parameters**. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Springer, v. 26, n. 1-2, p.28–36.
- Miki, M., 1993. **Optimum Design of Laminated Composite Plates using Lamination Parameters**. *AIAA Journal*. AIAA, v. 31, n.5, p.921-922.
- MIL-HDBK-17-3F, 2002. **Polymer Matrix Composites, Materials Usage, Design and Analyses**. *Composite Materials Handbook*, US Department of Defense, v.3.
- Niu, M.C-Y, 1997. **Airframe Stress Analysis and Sizing**. Hong Kong Conmilit Press LTD. P. 617-648.
- Pegado, H.A. & Rodrigues, L.T.S..**Optimization of Composite Stiffened Panels using Lamination Parameters**. Anais do 2º Congresso Aeroespacial Brasileiro, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.
- Pegado, H.A. & Rodrigues, L.T.S. **Thin walled stiffened plates: optimization using Lamination Parameters**. *Brazilian Journal of Development*, v.5, n.12, 2019.
- Quadros, H.B.; Hernandez, J.A., 2018. **A Lagrange Parametrization for the Design of Variable Stiffness Laminates**.*Structural and Multidisciplinary Optimization*, Springer, v. 58, n. 1, p.129-137.
- Rice, R. C., 2003. **Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS)**. *National Technical Information Service*, cap 1-4.
- Rodrigues, L.T.S., 2018. **Otimização Estrutural de um painel reforçado utilizando parâmetros de laminação**. *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- SIEMENS. **NX NASTRAN User's Guide**. Disponível em: https://docs.plm.automation.siemens.com/data_services/resources/nxnastran/10/help/en_US/tDocExt/pdf/User.pdf. Acessado em: 13 jan 2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AIT 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11

Alumina 97, 98, 99, 101, 102, 103, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112

Áreas Degradadas 190, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198

B

Biocompatible Polymers 135

Biodegradáveis 114, 115

Biodiesel 97, 98, 99, 100, 101, 104, 110, 111, 112

C

Camada fértil do solo 190, 194

CanSat 39, 40, 43, 44, 45

Catalisadores Impregnados 98, 105, 106, 108

Cerâmica 102, 174, 175, 176, 177, 178, 188, 189

Controle de qualidade 174, 177, 178, 184, 188

D

Democracia energética 47, 51, 52

Desenvolvimento 15, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 61, 63, 64, 67, 75, 98, 102, 111, 112, 114, 120, 122, 152, 164, 178, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 197, 236

E

Embalagens 114, 115, 122

Engenharia baseada em conhecimento 31

Engenharia Biomédica 68, 70, 72, 74

Engenharia de Sistema 39

Espectroscopia de bioimpedância elétrica 77, 78, 81, 83, 88, 93

Estradas 190, 200

F

ferramentas da qualidade 152, 153, 156, 162

Filmes 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122

Flambagem 13, 15, 18, 20, 21, 24, 27, 28

Fonte de corrente Howland 77, 89

Fonte não linear 77

G

Gestões estratégicas 152

I

Inspetores Eletrônicos 162, 163, 168, 169, 171, 172, 173

K

KAOS 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

M

Modeling 30, 32, 34, 35, 36, 37, 44, 60, 61, 64, 66, 67, 111, 135, 136, 139

N

NASTRAN 13, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29

O

Olaria 174, 175, 182, 183, 184, 185, 186, 187

Ontologia 30, 31

Otimização 13, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 91, 94, 162

P

PDCA 153, 154, 155, 158, 159, 162, 163, 164, 166, 173

Planejamento 55, 67, 114, 116, 117, 118, 152, 153, 155, 158, 164, 177, 178

Polymeric Films 134, 135

Processos 1, 63, 69, 102, 105, 117, 120, 157, 158, 160, 162, 163, 164, 165, 173, 178, 190, 192, 193, 196, 209

Projeto 1, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 25, 61, 62, 70, 71, 74, 103, 152, 156, 177, 191, 192, 207, 208, 209, 219, 235

Prontidão 1

R

Reaproveitamento 190, 192, 194, 195, 196

Rede de Petri 60, 64

Requisitos 1, 39, 60, 61, 62, 63, 65, 67, 68, 70, 74, 75, 79, 90, 178, 179, 188, 189

Rodovias 190, 191, 194

S

Saúde 53, 68, 70, 71, 74, 75

Sistemas Complexos 31, 38, 60, 62
Sistemas de satélite 30, 31
Sistemas Embarcados 60, 61, 63, 64, 65, 67
Stakeholders 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 12, 39, 40, 41, 43, 44, 45
SysML 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

T

Tecnologia 37, 38, 47, 48, 49, 50, 56, 58, 68, 69, 74, 128, 134, 174, 175, 189, 190, 208, 236
Tecnologia hidrocínética 47, 48, 49, 56
Tissue engineering 135, 144, 145
Topsoil 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198
transição energética 47, 55, 58
Transição energética 48
Transport phenomena 134, 135

 **Atena**
Editora

2 0 2 0