

Atena  
Editora

Ano 2021



*Carlos Augusto Zilli  
(Organizador)*

*A visão sistêmica e integrada  
das **engenharias**  
e sua **integração com a sociedade***

---

**Atena**  
Editora

Ano 2021



*Carlos Augusto Zilli*  
(Organizador)

***A visão sistêmica e integrada  
das engenharias  
e sua integração com a sociedade***

---

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes editoriais**

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
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. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
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. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
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  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federac do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
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  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

#### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miraniilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a  
sociedade

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Carlos Augusto Zilli.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

V822 A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua  
integração com a sociedade / Organizador Carlos  
Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-404-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.044212508>

1. Engenharia. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador). II.  
Título.

CDD 620

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

Esta obra, intitulada “A Visão Sistêmica e Integrada das Engenharias e sua Integração com a Sociedade”, em seu primeiro volume, apresenta 22 capítulos que abordam pesquisas relevantes que fazem emergir esta visão completa e abrangente típica das engenharias, revelando de que forma ela pode se integrar à sociedade para solucionar os desafios que surgem mundo afora, trazendo pesquisas relacionados à COVID, controle de segurança, saneamento básico, sismologia, interações socioespaciais, purificação de biogás, análise de vigas compósitas, pressão em estruturas, entre outros.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas às engenharias em suas mais diversas instâncias.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

COVID-19 (SARS-COV-2): ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE TESTES DE DETECÇÃO DO CORONAVÍRUS EM HUMANOS


Paulo Cesar dos Santos Teixeira  
Fábio dos Santos Teixeira  
Carlos Alberto Machado da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125081>

### **CAPÍTULO 2..... 11**

DIFERENTES SUBSTRATOS E ADUBAÇÕES NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE


Carolina Rafaela Barroco Soares  
Alaide de Oliveira Carvalho  
Deborah Regina Alexandre  
Jairo Rafael Machado Dias  
Laysa Teles Vollbrecht  
Micheli Leite Zanchetta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125082>

### **CAPÍTULO 3..... 18**

ESTUDO DA PRESSÃO EFETIVA EM COBERTURAS COM PLATIBANDA CONFORME A NBR 6123 – FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES


Gean Henrique Sabino Freitas  
Luiz Henrique Moreira de Carvalho  
Nélison Ferreira Corrêa  
Wilson Espindola Passos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125083>

### **CAPÍTULO 4..... 31**

METODOLOGIA PARA ENSINO DA CONCORRÊNCIA ENTRE PROCESSOS COM EMPREGO DE SEMÁFOROS EM SISTEMAS OPERACIONAIS PREEMPTIVOS


Marco Aurélio de Souza Birchal  
Viviane Santos Birchal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125084>

### **CAPÍTULO 5..... 41**

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL

Luiz Roberto Santos Moraes


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125085>

### **CAPÍTULO 6..... 58**

APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE FLUXO DE POTÊNCIA

## REATIVA


Poliiana Schneider Durigon  
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125086>

## **CAPÍTULO 7..... 69**

### ANÁLISE DA ACELERAÇÃO LATERAL DE UM VEÍCULO EM UM SIMULADOR COM 9 GDL


Elyton Elias Prado Naves  
Jánes Landre Júnior  
José Tomich Bosco Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125087>

## **CAPÍTULO 8..... 79**

### ADEQUAÇÃO DE TRELIÇA EM AÇO FRENTE A UMA NOVA FINALIDADE

Gustavo de Oliveira Dumas  
José Geraldo de Araújo Silva  
Lucas Teixeira Araújo  
Antônio Maria Claret de Gouveia  
Hisashi Inoue  
André Luiz Candian

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125088>

## **CAPÍTULO 9..... 86**

### PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS NA REGIÃO DO MACIÇO DE BATURITÉ, CEARÁ, BRASIL


Juan Carlos Alvarado Alcócer  
Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto  
Ciro de Miranda Pinto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125089>

## **CAPÍTULO 10..... 100**

### ANÁLISE DE VIGAS COMPÓSITAS LAMINADAS DE TIMOSHENKO ATRAVÉS DO MÉTODO DE GREEN


Leonardo Fellipe Prado Leite  
Fabio Carlos da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250810>

## **CAPÍTULO 11 ..... 114**

### ESTRATÉGIAS INOVADORAS PARA PESQUISAS DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS SUPERFICIAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Bárbara Hillary de Almeida Pinto  
Cecília Roberta Barbosa da Silva  
Maria Eduarda Medeiros Monteiro  
Heloysa Helena Nunes de Oliveira  
Efrain Pantaleón Matamoros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250811>

**CAPÍTULO 12..... 124**

**AMBIÊNCIA E ENTORNO: INTERAÇÕES SOCIOESPACIAIS ENTRE IDOSOS MORADORES DE UM CONDOMÍNIO E A VIZINHANÇA**


Luzia Cristina Antoniossi Monteiro

Vania Aparecida Gurian Varoto

Lucas Bueno de Campos

Ingrid Bernardinelli

Gabriely Grezele

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250812>


**CAPÍTULO 13..... 136**

**METODOLOGIA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA ENCARGOS COMPLEMENTARES: EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL**

Guilherme Martins Pereira

Regina Maria Germânio

Tiago Silveira Gontijo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250813>


**CAPÍTULO 14..... 155**

**AVALIAÇÃO DE RISCOS E CONTROLE DE SEGURANÇA EM PEDREIRA**

Michael José Batista dos Santos

Suzi Cardoso de Carvalho

Irineu Antônio Schadach de Brum

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250814>

**CAPÍTULO 15..... 174**

**POTENCIAL INOVADOR DAS PESQUISAS DE SISMOLOGIA: ESTUDO DA APLICAÇÃO DA INTERFEROMETRIA SÍSMICA PARA IMAGEAMENTO 4D**


Julia Alanne Silvino dos Santos

Marcelo dos Santos Vieira

Lenise Souza Cardoso de Andrade

Heloysa Helena Nunes de Oliveira

Zulmara Virgínia de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250815>

**CAPÍTULO 16..... 184**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO FOSFATO DE CÁLCIO MONETITA PELA ROTA ÚMIDA DE NEUTRALIZAÇÃO RATHJE – HAYEK E NEWSELY**

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Carlos Pérez Bergmann


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250816>

**CAPÍTULO 17..... 196**

**ESTUDOS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO MONOFÁSICAS**

Emiliane Advincula Malheiros

Roberto Paulo Barbosa Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250817>

**CAPÍTULO 18.....203**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO NA FASE DA HIDROXIAPATITA  
OBTIDA PELO MÉTODO SOL-GEL**


Marilza Aguiar

José Brant de Campos

Bruno Cavalcante Di Lello

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Vitor Ramos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250818>

**CAPÍTULO 19.....209**

**REDISTRIBUIÇÃO DA VAZÃO AR EM MINA SUBTERRÂNEA PARA AUMENTO DE  
HORAS DISPONÍVEIS EM OPERAÇÃO DE LAVRA**

Alisson Brasil

Renan Collantes Candia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250819>

**CAPÍTULO 20.....225**

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS LIMITES DA CAVA FINAL ÓTIMA COM BASE NA  
VARIAÇÃO DO PREÇO DE MERCADO DA ROCHA FOSFÁTICA**

João Antônio da Silva Neto

Marcélio Prado Fontes


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250820>

**CAPÍTULO 21.....238**

**USO DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL:  
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Allisson Régis dos Santos Maia

Maria Elizete Kunkel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250821>

**CAPÍTULO 22.....253**

**A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES NA MANUTENÇÃO**

Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Marcia Cristina de Oliveira

Sariah Torno

Darlo Torno

Sandro Adriano Zandoná

Tiago Rodrigues Carvalho

Natalia Tinti Ramos

Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250822>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>260</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>261</b>

## USO DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

*Data de aceite:* 02/08/2021

*Data de submissão:* 28/05/2021

### Allisson Régis dos Santos Maia

Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE, Divisão de Eletrônica São José dos Campos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8851733450957458>

### Maria Elizete Kunkel

Instituto de Ciência e Tecnologia ICT, Universidade Federal de São Paulo UNIFESP São José dos Campos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/8083413188703004>

**RESUMO:** As condições ambientais às quais são submetidos os equipamentos embarcados nos foguetes são severas e, ainda assim, a massa desses equipamentos deve ser a menor possível. A manufatura aditiva pode ser utilizada para contornar este problema. Existe uma preocupação do setor aeroespacial em desenvolver, qualificar e certificar somente processos de manufatura aditiva que utilizam ligas metálicas. A indústria aeroespacial, que requer componentes mais resistentes, leves e duráveis tem utilizado a manufatura aditiva para prototipagem, ensaios e produção de peças finais. O uso da manufatura aditiva pelo setor aeroespacial já corresponde a 12,3% das aplicações mundiais de manufatura aditiva. Nessa pesquisa, uma revisão sistemática da literatura (RSL) foi realizada para indicar os processos e materiais utilizados atualmente pela

tecnologia de manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manufatura aditiva, indústria aeroespacial, processos, revisão sistemática da literatura.

**ABSTRACT:** The environmental conditions to which the equipment shipped in the rockets are subjected are severe and, even so, the mass of this equipment must be as low as possible. Additive manufacturing can be used to work around this problem. There is a concern in the aerospace sector to develop, qualify and certify only additive manufacturing processes that use metallic alloys. The aerospace industry, which requires stronger, lighter and more durable components, has used additive manufacturing for prototyping, testing and production of final parts. The use of additive manufacturing by the aerospace sector corresponds to 12.3% of the global applications of additive manufacturing. In this research, a systematic literature review (SLR) was carried out to indicate the processes and materials currently used by additive manufacturing technology in the aerospace industry.

**KEYWORDS:** Additive manufacturing, aerospace industry, processes, systematic literature review.

## 1 | INTRODUÇÃO

A indústria aeroespacial produz itens de uso aeronáutico (aviões, drones etc.) ou espaciais (foguetes, satélites etc.) embarcados, como equipamentos eletrônicos, radares, vasos de pressão etc., ou veículos em si como aviões



e foguetes. A manufatura desses itens é realizada por processos tradicionais de manufatura subtrativa, denominados usinagem (DIN8580), tipicamente utilizando alumínio, ligas de titânio, aço inoxidável, aços de alta resistência etc. Um dos problemas dos processos de manufatura tradicional é que, de modo geral, o custo de manufatura é elevado e demorado, especialmente para produção de pequenas quantidades. Em caso de erro de projeto, o retrabalho ou manufatura de outro exemplar demandará mais tempo e incorrerá em custos elevados para que o produto esteja disponível, principalmente em decorrência dos custos fixos de preparação para usinagem, como os ajustes iniciais da máquina, troca de ferramentas etc.

A tecnologia de manufatura aditiva ou impressão 3D define uma série de processos de adição de material em camadas para a obtenção de um objeto real que foi previamente modelado em 3D em um computador (Rashid, 2019). A manufatura aditiva permite também a criação de protótipos em escala real, que podem auxiliar na avaliação prévia do produto a ser fabricado pela manufatura tradicional. A disponibilidade de ferramentas de projeto assistido por computador (*Computer Aided Design*, CAD; *Computer Aided Engineering*, CAE; e *Computer Aided Manufacturing*, CAM) tem reduzido significativamente, porém ainda não consegue eliminar, a ocorrência de erros de projeto que consomem recursos financeiros e tempo para correção. Softwares de simulação CAE permitem estimar a quantidade de material que será utilizada e determinar as regiões da peça em que pode haver remoção de material sem prejuízo à sua integridade estrutural. Em alguns casos, é possível obter por manufatura aditiva, estruturas complexas, com geometrias complicadas ou até mesmo impossíveis de serem produzidas utilizando a manufatura tradicional.

Diversos processos de manufatura aditiva estão disponíveis, cada qual com suas características próprias. Os processos mais relevantes são *Stereolithography* (SLA), que utiliza resina fotossensível endurecida por feixes de luz ultravioleta; *Fused Deposition Modeling* (FDM) que funde material polimérico; o *Selective Laser Sintering* (SLS) que sinteriza polímeros, metais ou uma combinação destes em pó, utilizando um feixe de laser; *Selective Laser Melting* (SLM) que consiste na fusão de metais em pó utilizando laser de alta potência; *Electron Beam Melting* (EBM) e *Electron Beam Additive Manufacturing* (EBAM), aplicados somente para ligas metálicas que são fundidas utilizando corrente elétrica. Entretanto, o processo que mais se destaca em disponibilidade para os usuários com menor poder aquisitivo é o FDM, cujos equipamentos e materiais estão cada vez mais acessíveis (Kunkel et al., 2020).

A manufatura aditiva permite a produção de itens mais leves que aqueles obtidos por meio da manufatura tradicional, pois o produto final não precisa ser maciço, o que apresenta vantagens no aspecto de redução de peso. Entretanto, faz-se necessário investigar se a resistência mecânica do produto acabado é suficiente para resistir aos esforços esperados durante o voo suborbital.

A indústria aeroespacial, que requer componentes mais resistentes, leves e duráveis

tem utilizado a manufatura aditiva para prototipagem, ensaios e produção de peças finais. O uso dessa área corresponde a 12,3% das aplicações mundiais de manufatura aditiva. Kumar e Nair (2017) discorrem sobre as tendências do uso da manufatura aditiva como uma revolução na indústria aeroespacial pela possibilidade de produção de peças complexas, leves e com menos desperdício de matérias-primas que possuem custo elevado. Além disso a tecnologia pode ser utilizada para manufatura de componentes complexos como bicos injetores de turbinas aeronáuticas (GE Additive, 2018).

Liu et al. (2021) identificaram aplicações na área espacial, principalmente em itens cuja manufatura foi efetuada utilizando-se processos de manufatura aditiva que utilizam metais como matéria-prima. A substituição dos processos tradicionais por processos de manufatura aditiva possibilitou a redução de prazos de entrega e custos, reduzindo a quantidade de partes necessárias para montar componentes de motores de foguetes, resultando em maior confiabilidade e melhor a estabilidade devido à redução de massa.

Nessa pesquisa, uma revisão sistemática da literatura (RSL) foi realizada para fornecer um levantamento sobre uso da tecnologia de manufatura aditiva na indústria aeroespacial identificando quais processos e materiais de manufatura aditiva têm sido aplicados.

## 2 | METODOLOGIA

Um protocolo foi criado para a realização da RSL com a definição dos objetivos, questões de pesquisa, palavras-chave, critério de busca, tipos de documentos a serem considerados, lista de bibliotecas digitais e critérios de inclusão e exclusão. Os objetivos da RSL foram verificar se há aplicação de processos de manufatura aditiva em itens instalados a bordo de veículos aeroespaciais e identificar nesses casos quais são os processos e materiais utilizados. Três perguntas de pesquisa foram definidas na Tabela 1.

Questão	Descrição
Q.01	Quais são os processos de manufatura aditiva e materiais utilizados na indústria aeroespacial?
Q.02	Existe algum produto embarcado produzido pelo processo de Modelamento por Fusão e Deposição (FDM) em uso na indústria aeroespacial?
Q.03	Quais são os materiais utilizados na fabricação de peças pelo processo Modelamento por Fusão e Deposição em sistemas aeroespaciais?

Tabela 1 - Questões de pesquisa da RSL sobre uso da tecnologia de manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

As palavras-chave de pesquisa utilizadas no idioma inglês foram: *Rocket* (K.01), *Launcher* (K.02), *Aerospace* (K.03) e *Additive Manufacturing* (K04). As bibliotecas digitais

selecionadas foram a *IEEE Xplore* em função do objeto sob estudo compor um equipamento eletrônico, *Science Direct*, pela abrangência do conteúdo e *Advanced Technologies & Aerospace Database*, que trata de assuntos relacionados à área aeroespacial.

Os termos de pesquisa, ou *strings* de busca, foram definidos, experimentados e refinados para obtenção de material suficiente em língua inglesa para possibilitar a análise. Apenas artigos no idioma inglês foram analisados. O critério de busca identificado por SS1 foi: *((“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”))*. Os resultados desta seqüência incluem todos os processos de manufatura aditiva e possibilitaram a obtenção de uma visão geral e a verificação quanto à existência de alguma iniciativa com o uso do processo FDM na indústria espacial.

A partir das buscas iniciais na literatura verificou-se que o processo de manufatura aditiva também é conhecido por *3D Printing* e o termo *Additive Manufacture*, apesar de incorreto, também foi encontrado. Assim, critérios de busca adicionais foram propostos, além do critério SS1 já descrito, de modo a incluir todos os resultados disponíveis nas plataformas selecionadas relacionados aos objetivos desta pesquisa. Desta forma, foram utilizados quatro critérios de busca (Tabela 2):

Código	Strings
SS1	<i>((“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”))</i> .
SS2	<i>((“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”))</i>
SS3	<i>((“3D Printing” AND “Rocket”) OR (“3D Printing” AND “Aerospace”) OR (“3D Printing” AND “Launcher”))</i>
SS4	<i>((“Additive Manufacture” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacture” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacture” AND “Launcher”))</i>

Tabela 2 - *Strings* de busca utilizados na RSL sobre uso da tecnologia de manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

De forma a verificar se já havia uma RSL publicada sobre o tema, para referência ou comparação, foi proposto e testado nas bibliotecas digitais selecionadas o critério de busca: *“additive manufacturing” AND aerospace AND “literature review”*. Essa busca retornou os resultados listados na Tabela 3, entretanto, nenhuma das publicações encontradas era uma RSL envolvendo processos de manufatura aditiva na área aeroespacial.

Base de dados de pesquisa	Resultados da busca
IEEE Xplore	0
Science Direct	207
Advanced Technologies & Aerospace Database	5

Tabela 3 - Busca por outras RSL sobre uso da manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

Os critérios de inclusão da RSL foram: artigos científicos publicados entre 2008 e 2018 (IC.01), artigos de pesquisa citando o processo FDM (IC.02), artigos de pesquisa aplicada na indústria aeroespacial (IC.03) e artigos abordando o processo FDM em peças acabadas (IC.04) (Tabela 4). Os critérios de exclusão foram artigos de aplicação em área que não seja um produto aeroespacial (EC.01) e artigos sobre material de construção e/ou processo de manufatura não especificado (EC.02), (Tabela 4).

Código	Descrição
IC.01	Artigos científicos publicados entre 2008 e 2018
IC.02	Artigos de pesquisa utilizando o processo FDM
IC.03	Artigos de pesquisa aplicada na indústria aeroespacial
IC.04	Artigos abordando o processo Manufatura por Fusão e Deposição utilizado em peças acabadas
EC.01	Artigos de aplicação fora da área aeroespacial ou que não seja um produto
EC.02	Artigos sobre matéria-prima e/ou processos de manufatura não especificados

Tabela 4 - Critérios de inclusão e exclusão da RSL sobre uso da manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

A estratégia de seleção adotada foi dividida em duas partes, (S.01) leitura do título e resumo do artigo para a primeira seleção e (S.02) leitura completa do conteúdo do artigo, observando todos os critérios da Tabela 3.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após submissão dos quatro critérios de busca às três bibliotecas digitais, as pesquisas automáticas retornaram 3.972 artigos. A maioria dos artigos foram encontrados na base de dados *Science Direct*, cuja pesquisa automática descartou a estrutura original dos critérios de busca e retornou todos os artigos contendo uma das palavras-chave ou uma combinação aleatória delas. Por isso, foi necessário filtrar previamente os artigos

por título e resumo que resultou em 54 publicações iniciais (Tabela 5) a serem avaliadas seguindo o protocolo da Tabela 4.

	SS1	SS2	SS3	SS4
IEEE	90	3	5	3
Science Direct	23	13	9	9
Aerospace Database	263	37	23	1
Total	376	53	37	13

**SS1:** (“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”); **SS2:** (“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”); **SS3:** (“3D Printing” AND “Rocket”) OR (“3D Printing” AND “Aerospace”) OR (“3D Printing” AND “Launcher”); **SS4:** (“Additive Manufacture” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacture” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacture” AND “Launcher”).

Tabela 5 - Resultados de busca de artigos segundo as *strings* de busca utilizadas.

Após o processamento inicial, foram avaliados os artigos encontrados em todas as bibliotecas digitais selecionadas em relação à aplicação final, Aeroespacial, Espacial, Aeronáutica ou nenhuma delas. A próxima etapa foi a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão (Tabela 4) e a eliminação dos artigos duplicados nos resultados de pesquisa dentro de cada banco de dados. Após a eliminação dos artigos não relacionados à área aeroespacial e dos resultados duplicados, todos os artigos restantes foram reunidos para análise. Alguns artigos duplicados de diferentes bibliotecas digitais foram removidos da seleção final (Figura 1). Antes de submeter os demais artigos aos critérios de inclusão e exclusão, os resultados relativos à data, área de uso, e processo de manufatura aditiva utilizados foram utilizados para traçar uma visão geral do uso da manufatura aditiva na indústria aeroespacial, para verificar se há alguma aplicação desses processos em itens embarcados em veículos aeroespaciais e quais processos e materiais mais utilizados pela indústria aeroespacial.



Figura 1 - Artigos encontrados nas bases de dados selecionadas para a RSL.

Na Figura 2 é possível identificar as áreas de aplicação da manufatura aditiva. Como essa seleção ainda não havia sido submetida aos critérios de exclusão, o resultado inclui artigos não aplicáveis ao objetivo da pesquisa, mas apresenta o perfil típico de aplicações envolvendo manufatura aditiva nas áreas de pesquisa sob avaliação. A seguir são respondidas as três questões de pesquisa.

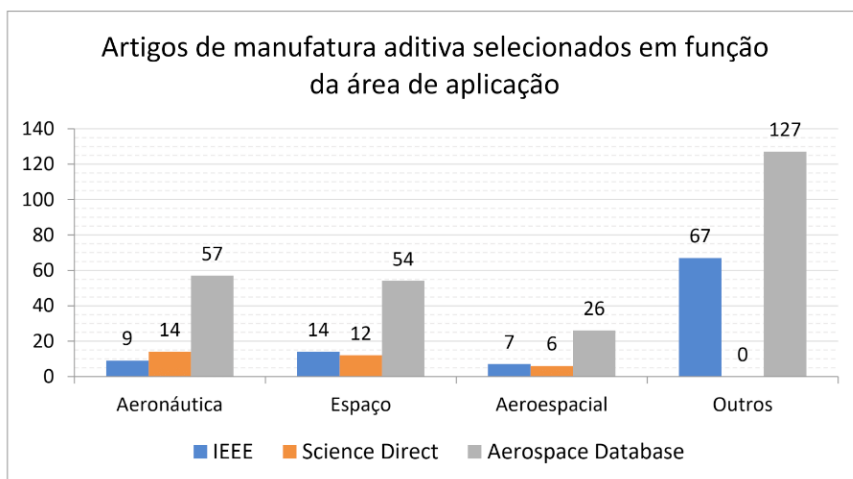


Figura 2 - Resultados de busca de artigos em 3 bases de dados em função da área de aplicação da manufatura aditiva.

## Q.01 Quais são os processos de manufatura aditiva e materiais utilizados na indústria aeroespacial?

ARSL realizada revelou a existência de pesquisas na produção, inspeção e certificação de peças produzidas por processos de manufatura aditiva na indústria aeroespacial. Como os itens produzidos por manufatura aditiva dependem de vários parâmetros do processo adotado, é necessário a realização de testes, inspeção e certificação da mesma forma aplicada atualmente nos processos convencionais de fundição, metalurgia em pó e soldagem (O'Brien, 2018). Apesar dos desafios de adotar a manufatura aditiva na fabricação de hardware de voo na indústria aeroespacial, é possível identificar alguns produtos que estão utilizando essa tecnologia e que houve um pico de publicações na área nos últimos anos, com destaque para 2015 (Figura. 3).

A maioria dos produtos produzidos por manufatura aditiva que estão em uso ou em fase de desenvolvimento na área de aeroespacial utilizaram os processos SLS, EBM (Rawal et al., 2013), e SLM (Ellis e Hosea, 2016; Guo et al., 2019) tendo como matéria-prima de ligas de titânio. Ainda que seja menos frequente, também foram encontrados alguns itens produzidos pelo processo SLA com uso de resina fotossensível (Sorrentino et al., 2017) e pelo processo FDM utilizando o material Ultem 9085 (Poly(EtherImida) - PEI). Esse é um termoplástico de alto desempenho retardador de chamas para fabricação digital direta e manufatura aditiva de alta relação resistência e peso (Masood, 2014; NASA Tech Briefs, 2015; Sobon, 2018). Também foram identificados estudos com o processo SLM utilizando o material PEEK (Poly(Ether-Ether-Ketone)), um termoplástico semicristalino de alto desempenho (Korn, 2011; Dietz et al., 2018).

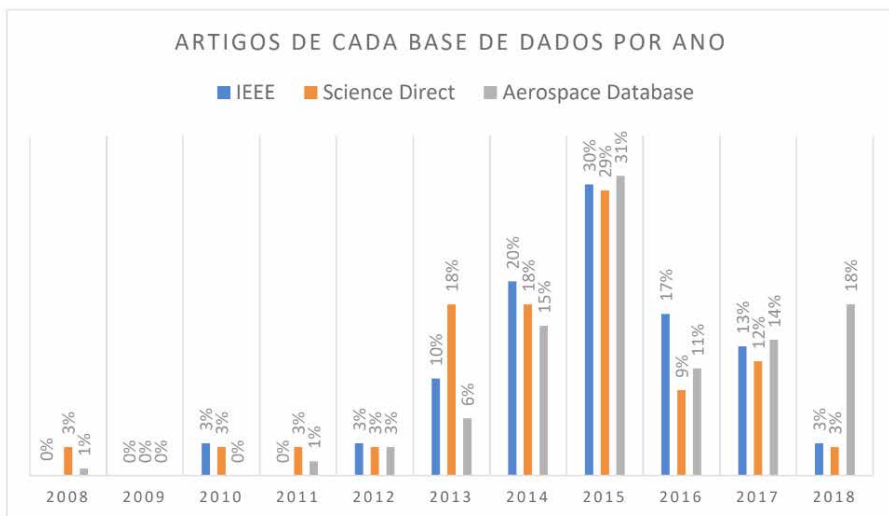


Figura. 3 - Evolução anual do número de artigos relacionadas ao uso de processos de manufatura aditiva em cada uma das bases de dados pesquisadas.

Os processos de manufatura aditiva que usam materiais poliméricos como matéria prima são mais empregados para manufaturar itens passivos que não se movimentam ou que contenham itens eletrônicos ou eletromecânicos em sua composição. Por exemplo, dutos de ar dentro da carenagem do foguete Atlas V produzidos em Ultem 9085 pelo processo FDM (Schiller, 2015). Além disso, peças à base de polímero têm sido desenvolvidas para estruturas de CubeSats, uma classe de nanosatélites de 1 a 10kg com formato e dimensões padronizadas (Gaudenzi et al., 2018) e peças de plástico revestidas de ligas metálicas têm sido utilizadas em componentes antenas de satélite (Bhowmik et al., 2014). Aplicações para peças manufaturadas aditivamente usando ligas metálicas foram encontradas em aplicações aeronáuticas e espaciais como peças de motores de foguetes (R. Clinton et al., 2018), em injetores de motores a jato e peças estruturais de aeronaves (Nickels, 2015), peças estruturais de satélite (Allevi et al., 2018), vasos de pressão e outros (Brookes, 2015).

A RSL mostrou um aumento no uso da manufatura aditiva na indústria aeroespacial entre 2013 e 2018 com uma evolução na capacidade dos processos para entregar produtos acabados e confiáveis, capazes de suportar as cargas mecânicas encontradas em sistemas aeroespaciais. Uma redução no número de publicações foi observada a partir de 2016 na base de dados *Aerospace Database*. Isso pode ser resultado do fato de as aplicações estarem se tornando produtos em um setor onde é comum o sigilo no desenvolvimento de projetos.

Várias empresas ao redor do mundo trabalham para alcançar o objetivo de implementação da tecnologia de manufatura aditiva com sucesso como a *General Electric*, *Aerojet Rocketdyne*, *Thales Alenia* e *Lockheed Martin*. Mesmo que os processos de manufatura aditiva ainda não sejam capazes produzir todos os tipos de itens prontos para voo, a associação de processos de manufatura aditiva e usinagem tradicional pode produzir atualmente peças acabadas com menos desperdício de matéria prima, menor consumo de energia e tempo, do que era possível antes da disponibilidade desta tecnologia. Esse tipo de solução já se encontra em desenvolvimento por parte de algumas empresas do setor, por exemplo, um suporte da dobradiça da nacele (suporte do motor) do Airbus A320 (Parker et al., 2014) (Figura 3).

Os processos de manufatura aditiva que utilizam ligas metálicas, como SLM e EBAM/EBM, são a escolha preferida na indústria aeroespacial. A evolução desses processos e materiais pode tornar possível a substituição dos processos tradicionais de fabricação em breve. A RSL indicou também que apesar dos processos de manufatura aditiva utilizando polímeros na área aeroespacial utilizarem equipamentos e materiais de alto custo, ainda assim, eles são aplicados somente a dutos de ventilação e outras partes estruturais muito simples.



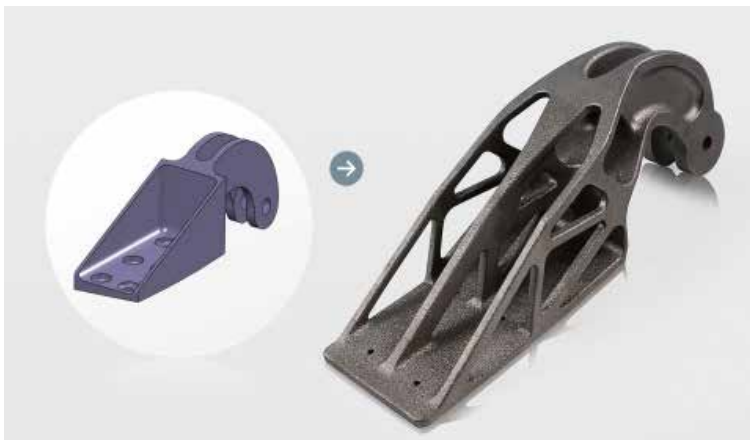


Figura 3 - Projeto convencional do suporte fundido em aço (à esquerda) avaliado ambientalmente em relação ao projeto otimizado produzido em liga de titânio por manufatura aditiva (à direita).

Fonte: (Airbus Group Innovations, 2014).

Ainda que não tenha sido descrita nenhuma razão para este fato, sabe-se que, a indústria aeroespacial utiliza processos e produtos já desenvolvidos e testados e que possuam histórico para confirmar a confiabilidade de qualquer item antes de adotar qualquer nova tecnologia. Normalmente, exceções a esta abordagem ocorrem quando não há tecnologia já desenvolvida e consagrada para resolver situações que necessitam de solução imediata.

A resposta da questão de pesquisa da RSL sobre quais são os processos de manufatura aditiva e materiais utilizados na indústria aeroespacial identificou o panorama da utilização em sistemas aeroespaciais resumido na Tabela 6.

Processo	Material	Aplicação	Referência
FDM	Ultem 9085	Dutos de ar dentro da carenagem da coifa do foguete Atlas V	Schiller, 2015
	Polímero	Estruturas de CubeSats	Gaudenzi et al., 2018
	Plástico com liga metálica	Antenas de satélite	Nasa Tech Briefs, 2015
	Propelente Híbrido	Motor foguete a propelente híbrido	Mcclain et al. 2019
EBM	Liga metálica	Peças de motores de foguetes	Clinton et al., 2018
SLS	Liga metálica	Injetores de motores a jato e peças estruturais de aeronaves	Nickels, 2015 Herderick, 2015
-	Liga metálica	Suporte estrutural para satélites	Allevi et al., 2018

EBAM	Liga metálica	Vasos de pressão	Brookes, 2015
	Liga de titânio	Tanque de combustível para satélites	Grunewald, 2016 Alper, 2017

Tabela 6 - Processos de manufatura aditiva utilizados na indústria aeroespacial.

Um exemplo de aplicação do processo EBAM na indústria espacial é a produção de um tanque de combustível para satélites com uso de liga de titânio. No entanto, ao final da manufatura aditiva a peça não está pronta para uso, pois as superfícies são irregulares. Nesse caso, mesmo que o desperdício de material seja muito menor, ainda é necessário o uso da usinagem tradicional para completar a fabricação e obter a peça acabada (Figura 4).



Figura 4 - Tanque para satélites produzido pelo processo de manufatura aditiva EBAM (esquerda) e tanque após processo de usinagem (direita).

Fonte: (Grunewald, 2016).

## Q.02 Existe algum produto embarcado produzido pelo processo FDM em uso pela indústria aeroespacial?

A RSL identificou o uso do processo FDM em sistemas híbridos e de propulsão sólida (McClain et al., 2019) the surface area geometry in a rocket is limited to what can be practically cast using molds, etc. Additive manufacturing (AM, e na estrutura base de CubeSats (Gaudenzi et al., 2018). Uma aplicação do processo FDM em foguetes, com matéria-prima Ultem 9085, é um tubo de ventilação de coifa que faz parte do sistema de refrigeração do satélite enquanto o foguete aguarda o lançamento (Figura 5) (Schiller, 2015).



Figura 5 - Peça do Foguete Atlas V produzida pelo processo FDM.

Fonte: (Pearson, 2020).

### **Q.03 Quais são os materiais utilizados na fabricação de peças pelo processo FDM aplicados em sistemas aeroespaciais?**

Algumas aplicações do processo FDM na indústria Aeroespacial foram encontradas (R. G. J. Clinton, 2018; Dietz et al., 2018; Gaudenzi et al., 2018; Herderick, 2015; McClain et al., 2019; Nickels, 2015; Schiller, 2015). A crescente disponibilidade de novos materiais como o Ultem 9085 da fabricante SABIC B.V., Holanda e o PEEK, podem aumentar a participação do processo FDM neste mercado nos próximos anos com a evolução dos equipamentos, matérias-primas e com o aumento do conhecimento das propriedades mecânicas, da repetibilidade e dos testes necessários para confirmar a adequação dos itens manufaturados aos requisitos ambientais.

## **4 | CONCLUSÃO**

A indústria aeroespacial possui uma tendência de aplicar tecnologias já consolidadas, cuja confiabilidade seja comprovada e o controle rigoroso dos processos seja dominado. Historicamente a adoção de novas tecnologias na área aeroespacial é lenta pois os produtos desta indústria devem possuir grande confiabilidade. Esta provavelmente é a justificativa para a escassez de aplicações dos processos de manufatura aditiva. Espera-se que com o amadurecimento da tecnologia, o aumento do conhecimento e a disponibilidade de novas metodologias de fabricação e verificação o uso desta tecnologia seja cada vez mais difundida na área aeroespacial.

A indústria aeroespacial está, lentamente, adotando processos de manufatura aditiva para produção de alguns itens embarcados. Dentre os processos mais utilizados no setor aeroespacial estão a SLS, a SLM e EBAM/EBM utilizando ligas metálicas. Ainda que tenha sido possível encontrar aplicações do processo FDM na indústria aeroespacial, foram poucas ocorrências e todas elas utilizam equipamentos e materiais de alto custo em peças

de baixa complexidade. A falta de ocorrências de produção de itens de uso aeroespaciais utilizando processo FDM abre a oportunidade para o desenvolvimento de pesquisas nesta área, possibilitando a difusão da tecnologia para grupos de pesquisa nacionais que não possuem acesso a equipamentos e materiais de alto custo.

## REFERÊNCIAS

Airbus Group Innovations. (2014). ComposingBracket1\_EADS\_highres.jpg (3000x1744). In *businesswire*. <https://bit.ly/3fkeb0S>

Allevi, G., Cibeca, M., Fioretti, R., Marsili, R., et al. (2018). Qualification of additively manufactured aerospace brackets: A comparison between thermoelastic stress analysis and theoretical results. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 126(May), 252–258.

Bhowmik, L. M., Armiento, C., Akyurtlu, A., Chirravuri, J., et al. (2014). Design of printed X-band patch antenna arrays with switched line phase shifters. *IEEE, d*, 98–98.

Brookes, K. J. A. (2015). Aviation finds that extra dimension: 3D manufacturing at 2015 Paris Air Show. *Metal Powder Report*, 70(5), 239–244.

Clinton, R. G. J. (2018). Overview of Additive Manufacturing Initiatives at NASA Marshall Space Flight Center. *NASA Technical Reports Server*, 36.

Clinton, R., Prater, T., Werkheiser, N., Morgan, K., & Ledbetter, F. (2018). Materials and structures symposium (C2) advancements in materials applications and rapid prototyping (9). *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*.

Dietz, A., van der Veen, E., Rauch, B., & Schliitt, R. (2018). Surface technology for polymer parts for space applications made by additive manufacturing. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2018-March*, 1–6.

Ellis, R., & Hosea, J. (2016). Additive manufacturing of steady-state mirrors for the KSTAR ECH launchers. *Proceedings - Symposium on Fusion Engineering, 2016-May*, 1–5.

Gaudenzi, P., Atek, S., Cardini, V., Eugeni, M., et al. (2018). Revisiting the configuration of small satellites structures in the framework of 3D Additive Manufacturing. *Acta Astronautica*, 146(February 2017), 249–258.

GE Additive. (2018). *New manufacturing milestone: 30,000 additive fuel nozzles*. <https://www.ge.com/additive/stories/new-manufacturing-milestone-30000-additive-fuel-nozzles>

Grunewald, S. J. (2016). *Lockheed Martin Credits Sciaky's EBAM Metal 3D Printing for Cost-Saving Titanium Propulsion Tank*.

Guo, J., Au, K. H., Sun, C. N., Goh, M. H., et al. (2019). Novel rotating-vibrating magnetic abrasive polishing method for double-layered internal surface finishing. *Journal of Materials Processing Technology*, 264(September 2018), 422–437.

Herderick, E. D. (2015). Progress in Additive Manufacturing. In *JOM* (Vol. 67, Issue 3, pp. 580–581). Minerals, Metals and Materials Society.

Korn, D. (2011). Aerospace Parts from Powder. *Modern Machine Shop*, 83(11), 67–72.

Kumar, L. J., & Nair, C. K. (2017). Current trends of additive manufacturing in the aerospace industry. In *Advances in 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies* (pp. 39–54). Springer Singapore.

Kunkel, M. E., Cano, A. P. D., Ganga, T. A. F., Artioli, B. O., & Juvenal, E. A. O. (2020). Manufatura Aditiva do Tipo FDM na Engenharia Biomédica. In *Maria Elizete Kunkel. (Org.). Fundamentos e Tendências em Inovação Tecnológica: v.1* (1st ed., pp. 49–64). Kindle Direct Publishing. <https://www.researchgate.net/publication/350801302>

Liu, G., Zhang, X., Chen, X., He, Y., Cheng, L., Huo, M., Yin, J., Hao, F., Chen, S., Wang, P., Yi, S., Wan, L., Mao, Z., Chen, Z., Wang, X., Cao, Z., & Lu, J. (2021). Additive manufacturing of structural materials. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 100596.

Masood, S. H. (2014). Advances in Fused Deposition Modeling. In *Comprehensive Materials Processing* (Vol. 10, pp. 69–91). Elsevier Ltd.

McClain, M. S., Gunduz, I. E., & Son, S. F. (2019). Additive manufacturing of ammonium perchlorate composite propellant with high solids loadings. *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(3), 3135–3142.

NASA Tech Briefs. (2015). 3D-Printed Functional Antenna Arrays Operate on Exterior of COSMIC-2 Satellites. *NASA Tech Briefs*, 39(May), 5.

Nickels, L. (2015). AM and aerospace: An ideal combination. *Metal Powder Report*, 70(6), 300–303.

O'Brien, M. (2018). Existing standards as the framework to qualify additive manufacturing of metals. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2018-March*, 1–10.

Parker, M., Jordan, C., & Nehro, J. (2014). *EOS and Airbus Group Innovations Team on Aerospace Sustainability Study for Industrial 3D Printing | Business Wire*. Businesswire. <https://bwnnews.pr/3bVci8G>

Pearson, A. (2020). *Atlas V Rocket Launched Using 3D Printed Parts to Resupply the ISS | Strataysys*. <https://bit.ly/3vndtFK>

Rashid, A. (2019). Additive Manufacturing Technologies. In *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (pp. 39–46). Springer Berlin Heidelberg.

Rawal, S., Brantley, J., & Karabudak, N. (2013). Additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy components for spacecraft applications. *RAST 2013 - Proceedings of 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 5–11.

Schiller, G. J. (2015). Additive manufacturing for Aerospace. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2015-June*.

Sobon, D. (2018). Application of cold sprayed coatings in aviation and automotive. *11th International Science and Technical Conference Automotive Safety, AUTOMOTIVE SAFETY 2018*, 1–4.

Sorrentino, R., Martin-Iglesias, P., Peverini, O. A., & Weller, T. M. (2017). Additive Manufacturing of Radio-Frequency Components [Scanning the Issue]. *Proceedings of the IEEE*, *105*(4), 589–592.

## ÍNDICE REMISSIVO

9GDL 70

### A

Algoritmos 31, 35, 36, 58, 226, 237

Ambiência 124, 126, 127, 129, 132, 133, 134, 135

Análise de sensibilidade 153, 225, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 236

### B

Biocombustível 86

Biodigestor 86, 88, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98

Biomaterial 184, 185, 194

Bowtie 155, 162, 166, 168, 169, 172

### C

Casca de ovos de galinha 184

Cava final 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 236

Confiabilidade 147, 240, 247, 249, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259

Coronavírus 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10

Covid-19 1, 2, 4, 9, 10, 256

### D

Data centers 253

Descarga atmosférica e ATPDraw 196

Dinâmica 20, 22, 24, 25, 26, 35, 69, 70, 71, 72, 74, 120, 133

Disponibilidade 39, 88, 115, 116, 120, 212, 222, 223, 239, 246, 249, 253, 255, 256, 258

### E

Encargos complementares 136, 137, 151

Engenharia de custo 136, 140

Equipamentos de proteção individual-(EPI) 136, 141, 146, 151, 152

Escalonamento 31, 32, 33, 39

Essências florestais 11, 12

Evaporação 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123

### F

FCA 69, 70, 71, 72

Filtração 86

Física do solo 11

## **G**

Gestão de processos 209

## **I**

Idoso 132, 134

Índice de qualidade de Dickson 11, 13, 14

Indústria aeroespacial 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Integrado e sustentável 41, 47, 55

## **L**

Laminados 100, 102

Linhas de transmissão 196, 197, 199, 201

## **M**

Manufatura aditiva 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 251

Melhoria continua 209

Metano 86, 89, 90, 91, 95

Método das funções de Green 100

Monetita 184, 185, 189, 190, 191, 192

Moradia adequada 124, 126, 127, 133, 135

Motion cueing 70, 72, 73, 75, 77

## **N**

Nordeste 23, 114, 115, 116, 121, 123, 172, 214, 215, 217, 218

## **O**

Orçamento de obra 136

Otimização 58, 59, 183, 209, 226, 230, 235

## **P**

Pandemia 1, 4, 9, 10, 256, 259

Pedreira 155, 156, 157, 159, 161, 162, 168, 169, 172

Planejamento de lavra 225, 228

Planejamento participativo 41, 46, 47, 55

Plano municipal de saneamento básico 41, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56

Platibandas 18, 20, 25, 26

Políticas públicas 41, 42, 43, 45, 46, 54, 57, 132



Potência reativa 58, 59, 63, 64, 67

Preço da rocha fosfática 225, 228, 229, 233

Pressão efetiva 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27

Processos 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 79, 87, 89, 92, 93, 121, 128, 141, 151, 163, 164, 175, 193, 204, 209, 211, 223, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Projeto de cobertura 18

Prospecção 1, 3, 8, 116, 117, 174, 177, 178, 179, 182

## **Q**

Qualidade de mudas 11, 12, 15, 16

## **R**

Regiões críticas 31

Relações socioespaciais 124, 132, 133

Reservatórios superficiais 114, 116, 117, 119, 121, 122

Revisão sistemática da literatura 238, 240

Rota úmida 184, 187, 188

## **S**

Segurança de mina 155, 172

Semáforos 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39

Simulador 31, 36, 37, 38, 39, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77

Síntese 134, 140, 184, 185, 186, 187, 194, 203, 204, 205, 206, 208

Sísmica 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 183

Sistemas de potência 58

Substrato 11, 13, 14, 15, 88, 89

## **T**

Timoshenko 100, 101, 102, 103, 106, 107, 112, 113

## **V**

Ventilação de mina 209, 210, 213, 215, 222

Vigas 100, 101, 102, 103, 104, 106, 112

## **W**

WRAC 155, 156, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 170, 172

**Atena**  
Editora

Ano 2021



-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)





***A visão sistêmica e integrada  
das engenharias  
e sua integração com a sociedade***

---

**Atena**  
Editora

Ano 2021



-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*A visão sistêmica e integrada  
das **engenharias**  
e sua **integração com a sociedade***

---