

José Júlio de Cerqueira Pituba  
Marcelo Henrique Stoppa  
organizadores

# TECNOLOGIAS EM PESQUISA:

Engenharias



José Júlio de Cerqueira Pituba  
Marcelo Henrique Stoppa  
(organizadores)

# Tecnologias em pesquisa: Engenharias

**Blucher**

*Tecnologias em pesquisa: Engenharias*

© 2017 José Júlio de Cerqueira Pituba e Marcelo Henrique Stoppa (organizadores)

Editora Edgard Blücher Ltda.

### **Conselho editorial**

Alexandre Lima Marques da Silva (Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas – UFAL)

Carlos Alberto Pereira dos Santos (Departamento de Matemática – UnB)

Carlos Humberto Martins (Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá – UEM)

José Aguiomar Foggiatto (Departamento Acadêmico de Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR)

José Julio de Cerqueira Pituba (Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Goiás – UFG)

Marcelo H. Stoppa (Instituto de Matemática e Tecnologia, Universidade Federal de Goiás – UFG)

---

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

**contato@blucher.com.br**

**www.blucher.com.br**

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios sem autorização escrita da editora.

---

Todos os direitos reservados pela editora Edgard Blücher Ltda.

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

Tecnologias em pesquisa : engenharias [livro eletrônico] / organização de José Júlio de Cerqueira Pituba, Marcelo Stoppa. – São Paulo : Blucher, 2017. 422 p. : PDF ; il. color.

ISBN 978-85-803-9223-4 (e-book)

ISBN 978-85-803-9222-7 (impresso)

1. Engenharia – Pesquisa 2. Matemática aplicada  
3. Gestão de projetos 4. Engenharia mecânica 5. Materiais  
5. Estruturas I. Pituba, José Júlio de Cerqueira.

17-0100

CDD 620

---

Índices para catálogo sistemático:  
1. Engenharias : Pesquisa

# Sobre os organizadores

## **Marcelo Henrique Stoppa**

Possui graduação em Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade Federal de Goiás (1991), mestrado em Matemática Pura pela Universidade Federal de Goiás (1996), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia (2003) e Pós-Doutorado em Mecatrônica também pela Universidade Federal de Uberlândia (2015). É professor associado da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão. Tem experiência em áreas de Matemática e Engenharia Mecânica, com ênfase em Matemática Aplicada, Vibrações de Sistemas Mecânicos, Robótica Educacional, Automação, Controle e Máquinas Móveis e Tecnologia Assistiva. Faz parte do corpo docente do Mestrado Profissional em Gestão Organizacional (UFG) na linha de pesquisa Inovação, Desenvolvimento e Tecnologia e do Mestrado Acadêmico em Modelagem e Otimização (UFG). Atualmente é Coordenador de Inovação, Transferência e Tecnologia da Regional Catalão (UFG) e Coordenador do Centro de Empreendedorismo e Incubação de Empresas – Athenas (UFG-Catalão).

## **José Julio de Cerqueira Pituba**

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas (1995), Mestre em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) pela Universidade de São Paulo (1998), Doutor em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) pela Universidade de São Paulo (2003), realizou estágio de Pós-Doutorado na Swansea University – Reino Unido (2011-2012). Atualmente é Professor Associado do Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Goiás (DECIV/FENG/UFG), Assessor da Coordenação de Pesquisa e Pós-graduação e

membro permanente do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil (Mestrado) da UFG na área Engenharias I. Também é membro permanente do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Exatas e Tecnológicas (Doutorado) da UFG na área de Materiais. É Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq e membro do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e da Associação Brasileira de Métodos Computacionais em Engenharia (ABMEC). Foi membro do Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia – SP (CREASP) e Professor da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Tem experiência na área de Engenharia de Estruturas com ênfase em Mecânica das Estruturas.

# Apresentação

O presente livro reúne vários trabalhos apresentados e selecionados por pares durante o IV Seminário de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação realizado em setembro de 2016 na Regional Catalão da Universidade Federal de Goiás. Os artigos relatam resultados de pesquisas desenvolvidas e em desenvolvimento na área de Engenharias, a qual apresenta-se como uma das vocações da Regional Catalão, afirmação embasada na quantidade e qualidade dos trabalhos que compõem este livro. De uma maneira geral, os trabalhos abrangem pesquisas relacionadas à previsão do comportamento mecânico de novos materiais e sua integridade estrutural, de estruturas sujeitas a vibrações, estudos de projetos e simulações numéricas empregadas nas indústrias automobilística e mineradora, estudo de protótipos com vistas à reabilitação de mãos, entre outros. Dentro desse contexto, procurou-se um título que refletisse o que se apresenta aqui e, por se tratar de uma área ampla como a área de Engenharias, optou-se pelo título “Tecnologias em Pesquisa: Engenharias”.

Por outro lado, com o intuito de fornecer um entendimento dos artigos aqui apresentados, as contribuições foram divididas em três sessões, a saber: I- Modelagem Numérica e suas Aplicações nas Engenharias, II- Gestão de Projetos e seus Impactos em Indústrias e Cidades, III- Comportamento Mecânico de Materiais e Estruturas.

A primeira sessão aborda o emprego de métodos numéricos e simulações de problemas da Engenharia. Essa sessão inicia com o Capítulo 1 intitulado “Krigagem Ordinária Aplicada à Estimativa de um Inventário Mineral de Calcário”, onde os autores utilizam técnicas geoestatísticas para estimar quantidades de minérios. Já o Capítulo 2 apresenta um estudo sobre a aplicação de conceitos de Estabilidade para resolver problemas de empacotamento de contêineres. Ainda na sessão I, o Capítulo 3 trata das incertezas oriundas da imprecisão de projetos

de sistemas mecânicos, apresentando uma proposta de simulação para contornar o problema. O Capítulo 4 apresenta, por sua vez, um algoritmo para solucionar da maneira mais eficiente possível o problema de empacotamento de contêineres buscando rapidez na logística para o transporte. Por outro lado, o Capítulo 5 trata do problema anterior, porém foca no caso tridimensional, onde outras variáveis se faz presente. O Capítulo 6 aborda a resolução do problema integrado de localização de instalações e roteamento de veículos capacitado, utilizando algoritmos artificiais buscando minimizar o custo das operações de logística. Por outro lado, o Capítulo 7 apresenta uma aplicação de um modelo regressão para a obtenção de medidas de mão para a confecção de próteses através de impressora 3D. O Capítulo 8 está voltado para a verificação formal de sistemas digitais embarcados, onde segundo os autores, uma metodologia prática é proposta. Por fim, o Capítulo 9 apresenta um método alternativo para verificar quantitativamente a degradação ambiental de uma área provocada por atividades de mineração.

A segunda sessão trata de problemas relacionados à gestão de projetos, sua qualidade e seus impactos na produtividade de indústrias automobilísticas e mineradoras, atividades importantes na região de Catalão. Ou por outro lado, os impactos de projetos de Engenharia em áreas urbanas. A sessão é iniciada com o Capítulo 10, onde os autores aplicam conceitos de Engenharia de Produção em indústrias. O mesmo ocorre no Capítulo 11, porém as ferramentas utilizadas são diferentes do capítulo anterior, assim como o objeto de estudo. Já o Capítulo 12 trata da avaliação do desempenho fabril em termos de tempo entre falhas, observando as características críticas de paradas de modo a minimizar o impacto na produtividade da indústria. No Capítulo 13, os autores trabalham com a representação de todo o sistema produtivo de maneira fácil de modo a ser possível aplicar uma modelagem computacional do sistema. O Capítulo 14 trata da avaliação o desempenho de processos garantindo a qualidade para tanto faz uma análise de processos multivariados. Os Capítulos 15, 16 e 17 apresentam modelagens conceituais e computacionais de problemas de Engenharia de Produção em indústrias automobilísticas. O Capítulo 18 apresenta a resolução de problemas de programação da produção utilizando uma ferramenta computacional. Por fim, o Capítulo 19 traz um estudo interessante sobre os impactos de implantação de um projeto de via férrea na zona urbana de Catalão, evidenciando os problemas encontrados e as possíveis soluções para minimizar tais impactos.

A terceira e última sessão apresenta estudos sobre modelagem computacional de estruturas e de materiais, novos ou já existentes na área de Engenharia. Tais estudos visam prever o comportamento desses materiais e estruturas de modo a estimar o nível de segurança de utilização. O Capítulo 20, primeiro capítulo da sessão, apresenta a proposta de critérios de plastificação de materiais porosos utilizando uma formulação matemática de interesse atual do meio de pesquisa na

área de Mecânica Computacional. Já os Capítulos 21 e 22 apresentam a aplicação de técnicas numéricas de otimização aplicadas a vigas de concreto armado sob flexão e a um sistema dinâmico com absorvedor linear, respectivamente. O Capítulo 23, por sua vez, apresenta um estudo paramétrico de emprego de um modelo de dano para a simulação do comportamento de vigas de concreto com fibras. No Capítulo 24, os autores estudam a integridade estrutural utilizando técnicas de otimização de modo a realizar o monitoramento de estruturas de maneira mais eficiente. Já no Capítulo 25, os autores apresentam um modelo para um dispositivo para reabilitação dos dedos da mão gerando uma estrutura que possibilita realizar movimentos de flexão/extensão, respeitando os limites de cada articulação. No Capítulo 26 os autores empregam técnicas de otimização com o objetivo de minimizar problemas decorrentes da vibração em estruturas para ferrovias. Finalizando a sessão, o Capítulo 27 apresenta um estudo numérico para verificar a possibilidade de substituição de parte da armadura de vigas de concreto armado por fibras metálicas.

Espera-se que o presente livro sirva de base para alguns pesquisadores da área de Engenharias nos temas abordados aqui e, ao mesmo tempo, ajude-os no aprofundamento do conhecimento para a formação de novos pesquisadores e realização de novas pesquisas e produções na área.

É oportuno neste momento, agradecer às agências de fomento CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás), as quais através de apoio financeiro via chamadas de financiamento Edital 03/2016 PAEP/CAPES, processo 88881.121761/2016-01 e CHAMADA PÚBLICA Nº 02/2016 – SELEÇÃO PÚBLICA DE PROPOSTAS PARA APOIO À REALIZAÇÃO DE EVENTOS CIENTÍFICOS, TECNOLÓGICOS E DE INOVAÇÃO DE ABRANGÊNCIA NACIONAL OU INTERNACIONAL, NO ESTADO DE GOIÁS, processo/FAPEG – 201610267000918, permitiram a elaboração deste livro.

Por fim, esclarecemos que as ideias expressas nos capítulos aqui publicados são de inteira responsabilidade dos autores e autoras, assim como o uso culto da Língua Portuguesa, bem como cumprimento das normas técnicas – ABNT.

*José Júlio de Cerqueira Pituba*  
*Marcelo Henrique Stoppa*  
Catalão, 11 de novembro de 2016



# Conteúdo

Apresentação.....	5
-------------------	---

## Parte 1

### Modelagem numérica e suas aplicações nas engenharias

1. Krigagem ordinária aplicada à estimativa de um inventário mineral de calcário .....	15
--	----

*Paulo Elias Carneiro Pereira, Marcos Napoleão Rabelo, Isabela Oliveira, Jorge Henrique Queiroz de Assunção*

2. Estabilidade horizontal de carga no problema de carregamento de um único contêiner .....	31
---	----

*Liliane de Azevedo Oliveira, Vinícius da Silva Loti, Thiago Alves de Queiroz*

3. Projeto ótimo robusto de um sistema de dois graus de liberdade utilizando polinômio do caos .....	45
--	----

*Layane Rodrigues de Souza Queiroz, Romes Antonio Borges*

4. Modelo para resolver o problema de roteamento com restrições de empacotamento.....	61
---	----

*Lorrany Cristina da Silva, Liliane de Azevedo Oliveira, Thiago Alves de Queiroz*

5. Modelo de programação por restrições para o problema de empacotamento ortogonal tridimensional.....	75
--	----

*Oliviana Xavier do Nascimento, Liliane de Azevedo Oliveira, Thiago Alves de Queiroz*

6. **Heurística baseada na vida de algas com aplicação no problema de localização e roteamento** ..... 87  
*Kamyla Maria Ferreira, Thiago Alves de Queiroz*
7. **Aplicação de modelo de regressão na antropometria da mão** ..... 107  
*Bruno Alves Maia, Bruno Rodrigues de Oliveira, Guilherme Ferreira Neto, Marcelo Henrique Stoppa*
8. **Verificação formal de sistemas digitais embarcados** ..... 121  
*Nayara de Souza Silva, Vaston Gonçalves da Costa, Marcelo Henrique Stoppa*
9. **Avaliação da degradação ambiental em áreas mineradas: um método quantitativo alternativo** ..... 135  
*Jainer Diogo Vieira Matos, Antonio Nilson Zamunér Filho, Marília Gabriela Alencar de Moraes*

## Parte 2 Gestão de projetos

10. **A utilização do conceito PMI na gestão de um projeto de sistema de coletores de dados em uma siderúrgica** ..... 153  
*Igor Carneiro Nicolau, Larissa Juliana Patrocínio, César Augustus Adorno Ferreira Lima, Hélio Yochihiro Fuchigami*
11. **Aplicação do problema de open shop em uma linha de inspeção automotiva** ..... 169  
*Ludimila Aparecida Louzada, Pedro Henrique Pedrosa de Melo, Ruvier Rodrigues Pereira*
12. **Aplicação das fases definir e medir da metodologia DMAIC: uma avaliação de manutenção corretiva** ..... 185  
*Josana Barcelar Batista Andrade, Thiago Rodrigues Andrade, Rogério Santana Peruchi*
13. **Modelagem conceitual IDEF-SIM do base stock control system aplicado em uma empresa automobilística** ..... 201  
*Sara Aparecida da Silva Vaz, Stella Jacyszyn Bachega*
14. **Análise de processos multivariados: aplicada aos índices de desempenho** ..... 215  
*Débora Alves Coelho, Maíza Biazon de Oliveira, Rogério Santana Peruchi*

15. Modelagem conceitual do sistema de emissão de ordens polca com uso da técnica IDEF-SIM ..... 231  
*Daniel Ribeiro Gomes, Natália Cibele de Sousa Santos, Stella Jacyszyn Bachega*
16. Simulação computacional do sistema de emissão de ordens CONWIP aplicada em uma empresa automobilística ..... 247  
*Amanda Cristie Nobre, Stella Jacyszyn Bachega*
17. Modelo conceitual do sistema de emissão de ordens GKCS com uso da técnica IDEF-SIM ..... 261  
*Jarbas Ancelmo da Silva Júnior, Stella Jacyszyn Bachega*
18. Utilizando o solver para resolver problemas de programação da produção com o método de programação inteira ..... 273  
*Gislene da Silva Fonseca, Nayara Macedo Vinhal, José dos Reis Vieira de Moura Junior*
19. Impactos de ferrovias em áreas urbanas: estudo de caso em Catalão – GO ..... 283  
*Natália Cristina de Araújo, Thaynara Silva Rabelo, Marília Gabriela Alencar de Moraes*

### Parte 3

#### Comportamento mecânico de materiais e estruturas

20. Proposta de superfícies de plastificação para materiais dúcteis porosos dentro de uma abordagem multi-escala..... 301  
*Wanderson Ferreira dos Santos, José Julio de Cerqueira Pituba*
21. Otimização estrutural de vigas de concreto armado submetidas à flexão simples ..... 317  
*Christiano Michel Fernandes Freitas, Pedro Henrique Pedrosa de Melo, Ruvier Rodrigues Pereira*
22. Otimização por colônia de formigas aplicada ao sistema dinâmico com absorvedor linear ..... 333  
*Daniela de Oliveira Albanex, Sémebber Silva Lino, Sérgio F. da Silva*
23. Análise paramétrica de vigas de concreto com fibras metálicas . 349  
*Wanderlei Malaquias Pereira Junior, José Júlio de Cerqueira Pituba*

24. Otimização da faixa de frequência no estudo da integridade de estruturas utilizando os métodos de busca aleatória e colônia de formigas ..... 365  
*João Paulo Moreira Bento, Bruno Pereira Barella, Romes Antônio Borges, José dos Reis Vieira de Moura Júnior*
25. Modelo de dispositivo para reabilitação de dedos da mão..... 379  
*Bruno Rodrigues de Oliveira, Bruno Alves Maia, Guilherme Ferreira Neto, Marcelo Henrique Stoppa*
26. Otimização de um modelo de via férrea com vistas à minimização de vibrações ..... 395  
*Gabriel Gomes Silva, Romes Antônio Borges*
27. Considerações sobre a substituição da armadura por fibras metálicas em vigas de concreto ..... 409  
*Wanderlei Malaquias Pereira Junior, José Júlio de Cerqueira Pituba*