

Ernane Rosa Martins
(Organizador)

Morris Charts

Line Chart



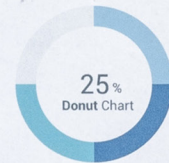
Area Chart



Bar Chart

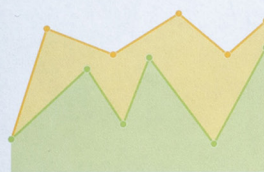


Donut Chart

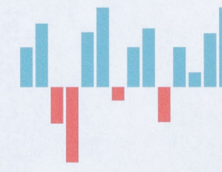


Sparkline Charts

Line Chart



Bar Chart



Pie Chart



Easy Pie Charts



Pesquisa Operacional e sua Atuação Multidisciplinar

Ernane Rosa Martins

(Organizador)

Pesquisa Operacional e sua Atuação Multidisciplinar

**Atena Editora
2019**

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.ª Dr.ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P474	Pesquisa operacional e sua atuação multidisciplinar [recurso eletrônico] / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-478-8 DOI 10.22533/at.ed.788191107 1. Pesquisa operacional. I. Martins, Ernane Rosa. CDD 658.51
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Pesquisa Operacional (PO) utiliza a matemática, a estatística e a computação para auxiliar na solução de problemas reais, com foco na tomada das melhores decisões nas mais diversas áreas científicas e de atuação humana, buscando otimizar e melhorar suas performances. Através do uso de técnicas de modelagem matemática e eficientes algoritmos computacionais, a PO vem cada vez mais atuando na análise dos mais variados aspectos e situações de problemas complexos em demandas de inúmeras áreas, principalmente por conta de sua flexibilidade de aplicação e interação multidisciplinar, permitindo a tomada de decisões efetivas e a construção de sistemas mais produtivos.

Esta obra reúne importantes trabalhos que envolvem o uso de PO, realizados em diversas instituições de ensino do Brasil, abordando assuntos atuais e relevantes, tais como: modelos matemáticos; otimização multiobjectivo; heurísticas; algoritmos; otimização geométrica; metodologia SODA; soft systems methodology; strategic choice approach; procedimentos metodológicos de análise estatística; jogos cooperativos; algoritmos genéticos; método VIKOR; regressão linear múltipla; algoritmos de aprendizado de máquina; análise de decisão multicritério e composição probabilística de preferências.

A importância desta coletânea está na excelência dos trabalhos apresentados e na contribuição dos seus autores em temas de experiências e vivências. A socialização destes estudos no meio acadêmico, permite ampla análise e inúmeras discussões sobre diversos assuntos pertinentes referentes a atuação multidisciplinar da PO. Por fim, agradeço a todos que contribuíram na construção desta belíssima obra e desejo a todos os leitores, boas reflexões sobre os assuntos abordados.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UMA ABORDAGEM MULTIOBJETIVO EM UM PROBLEMA DE PRODUÇÃO COM ESTOQUE INTERMEDIÁRIO E TESTE DE FUNCIONALIDADE	
Sander Joner Neida Maria Patias Volpi Joyce Rodrigues da Silva Tulipa Gabriela Guilhermina Juvenal da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911071	
CAPÍTULO 2	16
SOLUÇÕES INTEIRAS PARA O PROBLEMA DE CORTE DE ESTOQUE UNIDIMENSIONAL	
Gonçalo Renildo Lima Cerqueira Sérgio da Silva Aguiar Marlos Marques	
DOI 10.22533/at.ed.7881911072	
CAPÍTULO 3	28
OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS CARGUEIRAS VIA ECOLOCALIZAÇÃO	
Guilherme Aparecido Barbosa Pereira Ivo Chaves da Silva Júnior Luiz Rogério Andrade de Oliveira Carlos Henrique Sant'Ana da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911073	
CAPÍTULO 4	41
O CASO DA INDÚSTRIA CRIATIVA DO CARNAVAL SOB O ENFOQUE DO SODA	
Ailson Renan Santos Picanço Adjame Alexandre Oliveira Mischel C.N. Belderrain Nissia Carvalho Rosa Bergiante	
DOI 10.22533/at.ed.7881911074	
CAPÍTULO 5	55
MODELO DE NEGÓCIO EM UMA COMUNIDADE AGRÍCOLA: APLICAÇÃO DE <i>SOFT SYSTEMS METHODOLOGY</i> E <i>STRATEGIC CHOICE APPROACH</i>	
Michelle Carvalho Galvão Silva Pinto Bandeira Raquel Issa Mattos Mischel Carmen Neyra Belderrain Anderson Ribeiro Correia John Bernhard Kleba	
DOI 10.22533/at.ed.7881911075	
CAPÍTULO 6	72
MODELAGEM MATEMÁTICA PARA GERAÇÃO DE ESCALAS DE TURNO	
Laiz de Carvalho Nogueira Tiago Araújo Neves	
DOI 10.22533/at.ed.7881911076	

CAPÍTULO 7	87
METODOLOGIA ADOTADA PELA ARCELORMITTAL BRASIL PARA CERTIFICAÇÃO DE PADRÕES SECUNDÁRIOS PARA ANÁLISES QUÍMICAS EM AMOSTRAS DE MINÉRIO DE FERRO DA MINA DE SERRA AZUL EM MINAS GERAIS	
Antonio Fernando Pêgo e Silva Juliana Cecília C R Vieira Luiz Paulo de Carvalho Serrano	
DOI 10.22533/at.ed.7881911077	
CAPÍTULO 8	100
JOGOS COOPERATIVOS NA ALOCAÇÃO DE CUSTOS DE ESTOQUES DE PEÇAS COMPARTILHADOS	
Bernardo Santos Aflalo Natália Nogueira Ferreira Souza Takashi Yoneyama	
DOI 10.22533/at.ed.7881911078	
CAPÍTULO 9	112
BIASED RANDOM-KEY GENETIC ALGORITHM ACCORDING TO LEVY DISTRIBUTION FOR GLOBAL OPTIMIZATION	
Mariana Alves Moura Ricardo Martins de Abreu Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7881911079	
CAPÍTULO 10	126
AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA QUALIDADE DA INFORMAÇÃO CONTÁBIL	
Alini da Silva Nelson Hein Adriana Kroenke	
DOI 10.22533/at.ed.78819110710	
CAPÍTULO 11	142
AVALIAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA DETECÇÃO REATIVA E PREVENTIVA DE BOTNETS	
Vinicius Oliveira de Souza Sidney Cunha de Lucena	
DOI 10.22533/at.ed.78819110711	
CAPÍTULO 12	158
AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS ESTATÍSTICOS NA DETECÇÃO DE ATAQUES DDOS BASEADA EM APRENDIZADO DE MÁQUINA	
Eduardo da Costa da Silva Sidney Cunha de Lucena	
DOI 10.22533/at.ed.78819110712	

CAPÍTULO 13	173
ABORDAGEM PROBABILÍSTICA À ESCOLHA DE PRODUTOS DE DEFESA: UMA APLICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIAS NA AQUISIÇÃO DE BLINDADOS	
Luiz Octávio Gavião	
Annibal Parracho Sant'Anna	
Gilson Brito Alves Lima	
Pauli Adriano de Almada Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.78819110713	
CAPÍTULO 14	189
A STOCHASTIC DYNAMIC MODEL FOR SUPPORT OF THE MANAGEMENT OF NEW PRODUCT DEVELOPMENT PORTFOLIOS	
Samuel Martins Drei	
Thiago Augusto de Oliveira Silva	
Marco Antonio Bonelli Júnior	
Luciana Paula Reis	
Matheus Correia Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.78819110714	
CAPÍTULO 15	205
A RELAXED FLOW-BASED FORMULATION FOR THE OPEN CAPACITATED ARC ROUTING PROBLEM	
Rafael Kendy Arakaki	
Fábio Luiz Usberti	
DOI 10.22533/at.ed.78819110715	
CAPÍTULO 16	217
A COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE PREFERÊNCIAS COM MEDIDAS DE DESIGUALDADE: CORRELAÇÕES COM OS PONTOS DE VISTA PROGRESSISTA E CONSERVADOR	
Luiz Octávio Gavião	
Annibal Parracho Sant'Anna	
Gilson Brito Alves Lima	
DOI 10.22533/at.ed.78819110716	
SOBRE O ORGANIZADOR	233

OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS CARGUEIRAS VIA ECOLOCALIZAÇÃO

Guilherme Aparecido Barbosa Pereira

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade
de Engenharia Elétrica
Juiz de Fora – Minas Gerais

Ivo Chaves da Silva Júnior

Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Energia Elétrica
Juiz de Fora – Minas Gerais

Luiz Rogério Andrade de Oliveira

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade
de Engenharia Elétrica
Juiz de Fora – Minas Gerais

Carlos Henrique Sant’Ana da Silva

Universidade Federal de Juiz de Fora, Centro
Gestão do Conhecimento Organizacional (CGCO)
Juiz de Fora – Minas Gerais

RESUMO: A utilização de aeronaves remotamente pilotadas, ou RPAs (Remotely Piloted Aircrafts) tem crescido em diferentes setores como institucionais, experimentais ou comerciais. Ao mesmo tempo que se deseja qualidade de voo, almeja-se também alta sustentação e autonomia, que possibilitam uma aeronave mais robusta, com baixo consumo e com grande capacidade para embarcar carga e equipamentos. Este trabalho tem como objetivo explorar as características geométricas dessas aeronaves e utilizá-las para otimizar suas propriedades aerodinâmicas, seu desempenho,

sua estabilidade e controle. Para alcançar tal objetivo, foram desenvolvidos algoritmos que modificam a geometria e analisam os parâmetros resultantes a fim de aumentar a qualidade de voo e, principalmente, maximizar o peso máximo de decolagem, ou MTOW (Maximum Take-Off Weight), da aeronave. Utilizando a ecolocalização de morcegos, ou BA (Bat Algorithm), os resultados obtidos superaram as expectativas, apresentando tempo computacional reduzido para obtenção de geometrias que atendem a todas as restrições e metas propostas.

PALAVRAS-CHAVE: VANT. Aeronave remotamente pilotada. ARP. Aerodesign.

ABSTRACT: The use of remotely piloted aircraft (RPAs) has increased in different sectors such as institutional, experimental or commercial. At the same time that is desired a good flight quality, it is also desired high lift and autonomy, which allows for a more robust aircraft, with low consumption and with great capacity to load cargo and equipment. Based on this, this work aims to explore the geometric characteristics of these aircrafts and to use them to optimize their aerodynamic properties, their performance, their stability and control. To achieve this goal, algorithms have been developed to modify the geometry of the aircraft and analyze the resulting parameters in order to increase flight

quality and, principally, to maximize the maximum take-off weight (MTOW). Using Bat Algorithm (BA), the results obtained exceeded expectations, presenting reduced computational time to obtain geometries that meet all the proposed restrictions and targets.

KEYWORDS: UAV. Remotely piloted aircraft. RPA. Aerodesign.

1 | INTRODUÇÃO

O termo Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) denota, segundo a ANAC, um subgrupo de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) destinados à operação remotamente pilotada, seja essa realizada a partir de uma estação de controle ou de um rádio como o utilizado por aeromodelistas. Ao contrário dos aeromodelos, que são utilizados para recreação e lazer, as RPAs são utilizadas para outros fins, como institucionais, experimentais ou comerciais.

Diversas empresas, associações, forças armadas, dentre outros, têm incentivado e trabalhado em prol do desenvolvimento dessa tecnologia. Um bom exemplo é a competição de Aerodesign promovida pela Sociedade de Engenheiros da Mobilidade (SAE Brasil), que incentiva alunos de diferentes escolas de engenharia do Brasil e alguns outros países da América do Sul a projetar RPAs cargueiros e rádio controlados.

Os desafios impostos pela competição são baseados em desafios reais enfrentados pela indústria aeronáutica. Busca-se aumentar a qualidade de voo, através de melhoras de estabilidade e controle na aeronave, maximizar o peso máximo de decolagem (MTOW) com uma boa aerodinâmica e propulsão, dentre outros. Essas características garantem melhor pilotagem e possibilidade de embarcar mais carga na aeronave, como sensores, equipamentos característicos da missão e suprimentos, por exemplo.

Este objetivo é atingido através da geração de parâmetros que fornecem a geometria de uma aeronave, tornando possível avaliá-la em condições específicas de voo, atendendo aos limites de comprimento da pista para decolagem e restrições que aprimoram sua manobrabilidade. Para simplificar a análise, os perfis da asa e empenagens e o grupo motopropulsor são definidos previamente. Ao final da execução, o algoritmo é capaz de fornecer os parâmetros geométricos (envergadura de asa, afilamento, enflechamento, corda, distância entre centro aerodinâmico da asa e do estabilizador horizontal, dimensões dos estabilizadores, dentre outros) que retornam uma aeronave com a melhor relação entre sustentação, arrasto e pilotagem.

Dentro desse contexto, esse trabalho integra softwares utilizados em projetos aeronáuticos, modelagem matemática contida nas bibliografias e o método de otimização baseado na ecolocalização de morcegos (Bat Algorithm, BA) para implementação das tarefas descritas. A avaliação das geometrias se dá através do MTOW e do atendimento das restrições de estabilidade e controle da aeronave.

2 | MODELAGEM

A definição de uma aeronave pode ser dividida em três etapas (RAYMER, 1992):

- Design conceitual;
- Design preliminar;
- Design detalhado.

2.1 Design Conceitual

Dentro do contexto deste trabalho, o design conceitual pode ser compreendido através das restrições definidas para o problema. Para definição do conceito inicial, levou-se em consideração as características de uma aeronave que compete na categoria Micro da competição SAE Brasil Aerodesign. Aliado a isso, tem-se também um banco de dados com o histórico de competição da equipe Microraptor UFJF e, com isso, é possível restringir as variáveis do problema com precisão.

2.2 Design preliminar

Definida as restrições e o conceito de design inicial, é começada a etapa de design preliminar da aeronave, onde são realizados todos os dimensionamentos e posicionamentos dos componentes (de acordo com suas massas e inércias) na aeronave. O enfoque do presente artigo é justamente nessa etapa do projeto. A metodologia do algoritmo utilizado pode ser descrita de acordo com o exposto na Figura 1:



Figura 1: Representação do ciclo do algoritmo

Fonte: Autores

A meta do algoritmo concentra-se justamente nas características aerodinâmicas, de desempenho, estabilidade e controle da aeronave. Para alterar a geometria e realizar as análises, utilizou-se o software Athena Vortex Lattice (AVL), considerando

a aeronave como um corpo rígido. Esse software importa arquivos de texto, com extensão “.avl”, para identificar a geometria da aeronave e exporta outro arquivo de texto com os resultados. Para gerar os parâmetros de diferentes geometrias, foi desenvolvido um código no MATLAB que interage com o “Bat algorithm (BA)”. O BA trabalha manipulando 12 variáveis, que correspondem aos seguintes elementos da aeronave:

ANGLE_W Ângulo de incidência da asa.
Chord_W_S1 Corda do primeiro perfil da asa.
Xle_W_S2 Posição em x do segundo perfil da asa.
Yle_W_S2 Posição em y do segundo perfil da asa.
Chord_W_S2 Corda do segundo perfil da asa.
Xle_W_S3 Posição em x do terceiro perfil da asa.
Yle_W_S3 Posição em y do terceiro perfil da asa.
Chord_W_S3 Corda do terceiro perfil da asa.
ANGLE_H Ângulo de incidência do estabilizador horizontal.
Xle_H_S1 Posição em x do estabilizador horizontal.
Chord_H_S1 Corda do estabilizador horizontal.
Yle_H_S2 Posição em y do estabilizador horizontal.

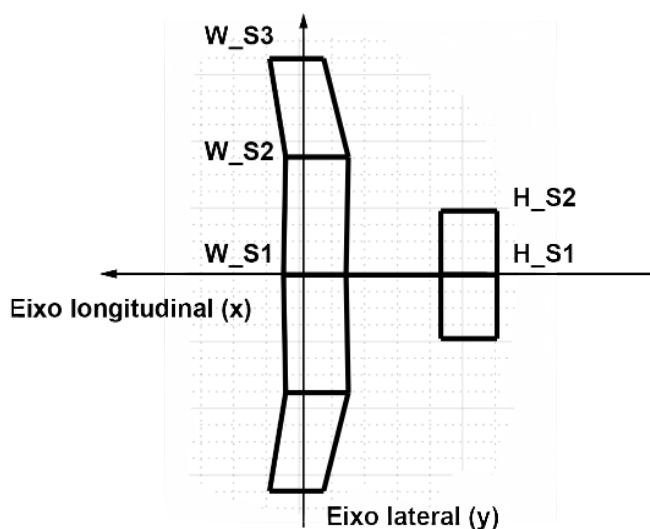


Figura 2: Representação das variáveis na aeronave

Fonte: Autores

A determinação dos perfis da asa e empenagens também é realizada previamente, pois suas análises são bidimensionais e é possível garantir a obtenção de perfis que se adaptem bem em diferentes configurações. A representação das variáveis pode ser visualizada através da geometria de uma aeronave genérica, apresentada na Figura 2.

Esses parâmetros são a base utilizada pelo algoritmo que cria o arquivo de geometria lido pelo AVL. Os parâmetros referentes ao estabilizador vertical são calculados utilizando equações obtidas nas bibliografias utilizadas, com base no dimensionamento da asa e na posição do estabilizador horizontal.

2.3 Características inerciais

Para as análises de estabilidade dinâmica, que definem a qualidade de voo, é necessário conhecer os momentos de inércia da aeronave. O próprio AVL é capaz de gerar esses dados, porém, como o algoritmo não lida com a estrutura da aeronave, foi necessário encontrar um método alternativo. Para obtê-los foram analisadas diferentes geometrias a partir de um software CAD 3D, todas respeitando as restrições do problema e com diferentes configurações estruturais previamente definidas. Com isso, foi possível analisar os momentos de inércia das aeronaves resultantes e encontrar limites que se aplicam a todas que podem ser geradas pelo algoritmo. Na etapa de design detalhado, é possível atingir os valores encontrados através do design da fuselagem e da realocação de componentes (grupo motopropulsor, trem de pouso, etc.) na aeronave.

Os limites utilizados para uma aeronave com envergadura de no mínimo 1,4m e no máximo 2m e com corda de no mínimo 0,2m e no máximo 0,3m foram:

$$0,12 \text{ kg.m}^2 \leq I_{xx} \leq 0,22 \text{ kg.m}^2$$

$$0,20 \text{ kg.m}^2 \leq I_{yy} \leq 0,25 \text{ kg.m}^2$$

$$0,25 \text{ kg.m}^2 \leq I_{zz} \leq 0,35 \text{ kg.m}^2$$

3 | AVALIAÇÃO DA AERONAVE

Como o objetivo é maximizar o MTOW, avalia-se a fase de decolagem levando em consideração as forças que atuam sobre a aeronave. São elas: peso (W), tração (T), sustentação (L), arrasto (D) e atrito do solo (μ). O último é dependente do material utilizado nos pneus da aeronave e das características do solo da pista. A tração é obtida através das configurações do grupo motopropulsor da aeronave, que é definido previamente e é composto por baterias, ESC (Eletronic Speed Control), motor e hélice. Tanto T quanto μ são mantidos fixos e suas definições preliminares aliadas à geometria gerada pelo algoritmo permitem a obtenção dos coeficientes aerodinâmicos da aeronave, que tornam possível a geração da polar de arrasto e avaliação de estabilidade e controle.

O AVL analisa uma condição de voo por vez, portanto, foi necessário implementar um algoritmo que varia o ângulo de ataque e coleta os respectivos valores do coeficiente de sustentação (C_L) e do coeficiente de arrasto (C_D). Os valores de C_L e C_D são corrigidos para se aproximarem de dados obtidos empiricamente e garantir maior precisão no resultado final. Também são inseridos os valores dos momentos de inércia para obtenção da matriz característica da aeronave. O procedimento pode ser visto na Figura 3:

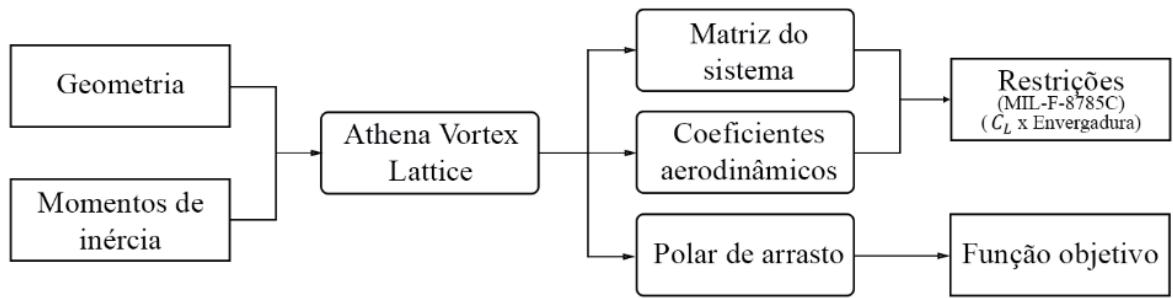


Figura 3: Esquema para obtenção do MTOW e avaliação das restrições

Fonte: Autores

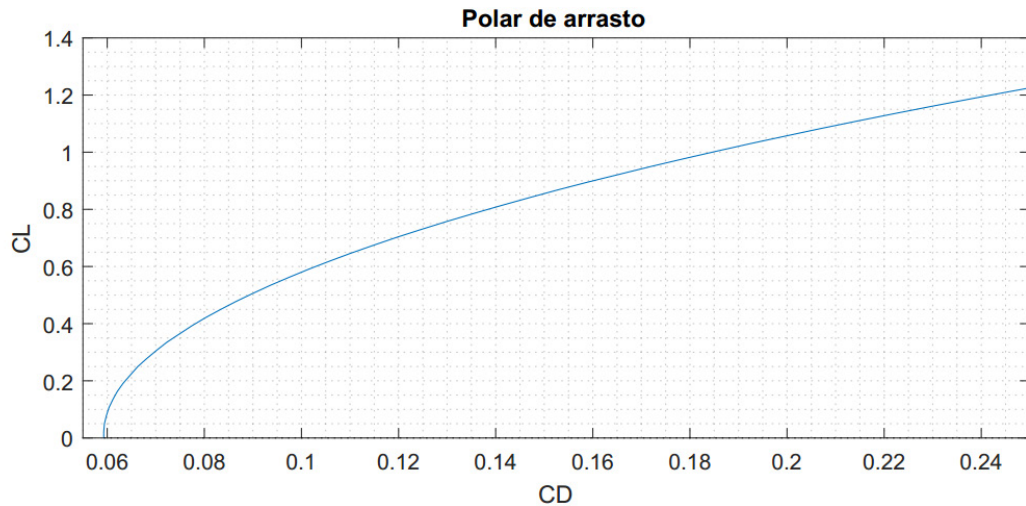


Figura 4: Polar de arrasto

Fonte: Autores

O MTOW está diretamente relacionado à distância de corrida no solo (S_G) de uma aeronave que decola. A partir da matriz obtida com os valores de C_L e C_D corrigidos, é possível obter a polar de arrasto, exibida na Figura 4, que pode ser representada por uma função quadrática $C_L(C_D)$, que está representada por (4). A formulação matemática pode ser vista a seguir (RAYMER, 1992):

$$S_G = \frac{1}{2g} \int_{V_i}^{V_f} \frac{d(V^2)}{K_T + K_A V^2} \quad (1)$$

onde:

$$K_T = \left(\frac{T}{W} \right) - \mu \quad (2)$$

$$K_A = \frac{\rho}{2(W/S)} C_D \quad (3)$$

$$C_D = -K C_L^2 + \mu C_L - C_{D0} \quad (4)$$

g → aceleração da gravidade.
 W → peso total da aeronave.
 μ → coeficiente de atrito estático entre o solo e o trem de pouso.
 ρ → densidade do ar .
 S → área da asa.
 V → velocidade da aeronave.
 V_i → velocidade inicial da aeronave.
 V_f → velocidade final da aeronave.
 K → coeficiente de arrasto induzido.
 K_A → coeficientes aerodinâmicos.
 K_T → coeficientes de tração.

O MTOW é o valor de W para o qual S_G se iguala ao comprimento máximo de pista disponível para decolagem, que é um valor conhecido. Quando o W descrito é encontrado, seu valor passa a ser o valor final da FOB, o qual deseja-se maximizar.

Após essa etapa, ainda é necessário verificar alguns requisitos aerodinâmicos e de estabilidade e controle da aeronave. Para estabilidade estática, verifica-se:

$$c_{m\alpha} < 0 \quad (5)$$

$$c_{m0} > 0 \quad (6)$$

$$c_{n\beta} > 0 \quad (7)$$

$$c_{l\beta} < 0 \quad (8)$$

onde:

α → ângulo de ataque da aeronave.

β → ângulo de derrapagem da aeronave.

$c_{m\alpha}$ → Coeficiente de momento de arfagem em função de α .

c_{m0} → Coeficiente de momento de arfagem para $\alpha=0$.

$c_{n\beta}$ → Coeficiente de momento de guinada em função de β .

$c_{l\beta}$ → Coeficiente de momento de rolagem em função de β .

A partir da matriz de estados que representa a aeronave, podem ser obtidas as características (amortecimento e frequência) de cada modo dinâmico (NELSON, 1998). Como o regulamento da competição fornece o tipo da missão, é possível avaliar a aeronave utilizando a norma militar norte americana MIL-F-8785C (ROSKAM, 2001). Almeja-se o nível 1 (excelente) de qualidade de voo para a aeronave, portanto, os critérios da norma que equivalem a esse nível são utilizados como restrições do problema.

Para completar os requisitos do problema, avalia-se C_L em função da envergadura da asa. A restrição busca garantir que a condição de estol ocorra primeiro na raiz da asa e posteriormente nas pontas, ou seja, C_L deve ser maior na raiz conforme visto na Figura 5.

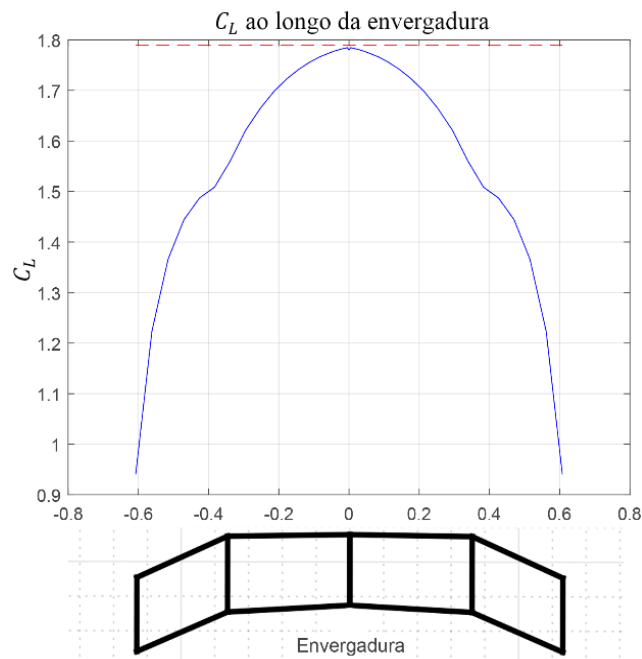


Figura 5: ao longo da envergadura [m]

Fonte: Autores

Isso garante a manutenção da eficiência dos ailerons mesmo em condição de estol, permitindo ao piloto realizar manobras que retirem a aeronave dessa condição. Além disso, também é verificado o fator de eficiência da asa, permitindo a geração de aeronaves com asas que gerem menos arrasto.

Caso algum dos requisitos não seja atendido, são aplicadas penalidades ao valor de MTOW de forma que a aeronave seja considerada inadequada para a missão designada. Esse procedimento trata-se de um grande processo de “*trade-off*”. Muitas vezes aeronaves com grandes valores de MTOW são descartadas devido ao não atendimento de algumas das restrições. Uma boa RPA consegue aliar uma grande capacidade de transportar carga a uma boa qualidade de voo.

4 | PARÂMETROS DO ALGORITMO DE ECOLOCALIZAÇÃO

O algoritmo de ecolocalização de morcegos, ou Bat Algorithm (BA), foi proposto por Xin-She Yang em 2010 com o intuito de resolver problemas de otimização utilizando um algoritmo de otimização meta-heurístico bioinspirado. Os fatores que levaram à escolha desse método concentram-se no fato desse ser relativamente novo e, principalmente, devido ao número de parâmetros de configuração reduzido. O pseudocódigo utilizado está descrito em Algoritmo 1:

Algoritmo 1: Pseudocódigo do Bat Algorithm

```
1 Função objetivo  $f(x)$ 
2 Parâmetros  $\eta$ ,  $\alpha$ ,  $\lambda$ ,  $A$ ,  $r$ ,  $v$ ,  $f$ ,  $e$ 
3 Definição das frequências  $f$  para cada morcego  $x_i^t$ 
4 Inicialização das taxas de emissão de pulso  $r_i$  e amplitudes  $A_i$ 
5 Inicialização da população de morcegos  $x_i^t$ 
6 Avaliação dos morcegos  $f(x_i^t)$ 
7 Encontra a melhor solução global (avaliação do melhor morcego)
8 Para  $t \leftarrow 1, \dots$ , Número máximo de gerações faça
9   Para  $i \leftarrow 1, \dots, \eta$  faça
10      $f_i \leftarrow f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta$ 
11      $v_i^t \leftarrow x_i^{t-1} + (x^* - x_i^{t-1})f_i$ 
12      $x_i^t \leftarrow x_i^{t-1} + v_i^t$ 
13     Adequa  $x_i^t$  aos limites
14     Se  $\text{rand} < r_i^t$ ,  $\text{rand} [0,1]$ , então
15        $x_i^t \leftarrow x_i^t + e \cdot \text{rand}$ ;
16       Adequa  $x_i^t$  aos limites
17     fim (linha 14)
18     Calcula  $f(x_i^t)$ 
19     Se ( $\text{rand} < A_i^t$ ) ou  $f(x_i^t) < f(x_i^{t-1})$ , faça
20        $f(x_i^t) \leftarrow f(x_i^{t-1})$ 
21        $r_i \leftarrow 1 - \exp(-\lambda t)$ 
22        $A_i \leftarrow \alpha \cdot A_i$ 
23     fim (linha 19)
24     Atualiza melhor morcego  $x^*$ 
25   fim (linha 9)
26 fim (linha 8)
```

Devido à característica do problema, prezou-se por uma grande população inicial de morcegos, que garante boa diversidade de indivíduos, e também por um processo com tendência de busca exploratória, diminuindo ligeiramente a busca local. A partir de valores propostos ($\alpha=0,5$ e $\lambda=0,1$) e com bons resultados em *benchmarks* (CORDEIRO, 2012), o algoritmo foi executado diversas vezes para encontrar parâmetros que se adequem às necessidades do problema. Com isso:

População de morcegos, $\eta = 100$	(9)
Taxa de decréscimo da amplitude, $\alpha=0,8$	(10)
Taxa de aumento da emissão de pulso, $\lambda = 0,05$	(11)
Velocidade inicial, $v_i = 0$	(12)
Frequência inicial, $f_i = 0$	(13)
Amplitude inicial, $A_i = 1$	(14)

$$\text{Taxa de emissão de pulso, } r_i = 0 \quad (15)$$

$$\text{Frequência mínima, } f_{\min} = 0 \quad (16)$$

$$\text{Frequência máxima, } f_{\max} = 2 \quad (17)$$

A população de 100 indivíduos, que se encontra acima do proposto (YANG, 2010), garante a diversidade desejada. A partir das análises, percebeu-se que um número de iterações compreendido entre 10 e 20 (para cada indivíduo) é suficiente para encontrar boas soluções para a quantidade de indivíduos escolhida. Os valores de α e λ utilizados contribuem para que A_i seja mínimo e r_i máximo após esse valor, indicando a convergência do método conforme evidenciado na Figura 6.

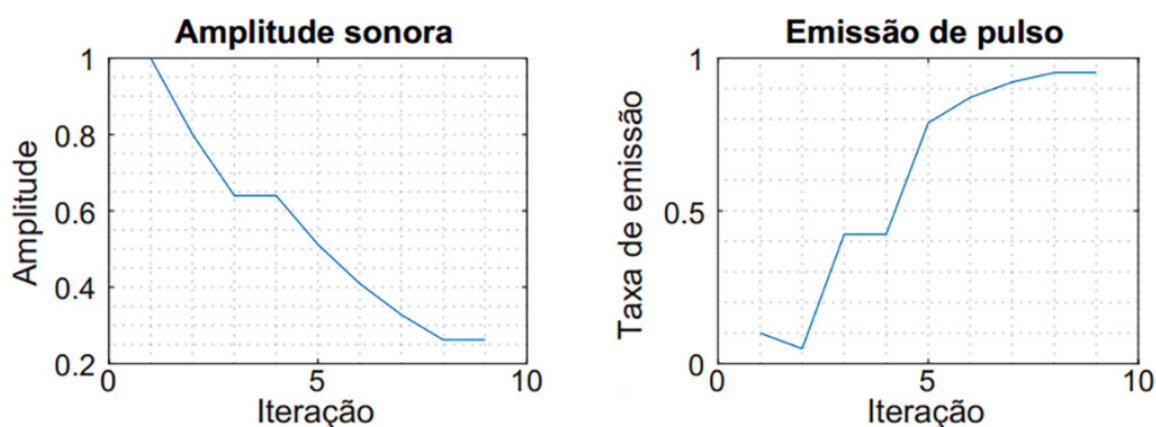


Figura 6: Convergência de A_i e r_i para $\alpha=0,8$ e $\lambda = 0,05$

Fonte: Autores

O termo “ e ” utilizado na linha 15 do algoritmo trata-se de um vetor com o mesmo número de variáveis do problema. Cada posição contém um valor da mesma ordem de grandeza da variável de mesmo índice. Esse vetor permite ao algoritmo encontrar novas soluções na proximidade de uma solução já existente e só é utilizado pelo algoritmo quando a taxa de emissão de pulso atinge valores altos, ou seja, quando o algoritmo está próximo da solução.

5 | RESULTADOS

O modelo proposto foi implementado através de uma série de algoritmos utilizando a linguagem MATLAB integrada ao software AVL, que utiliza o método Vortex Lattice (VLM) para análise da aerodinâmica e dinâmica de voo das aeronaves geradas. Essas características são obtidas a partir do cálculo do escoamento em torno da geometria, que é discretizada através de painéis.

Adotou-se um número moderado de painéis, que garantem tempo computacional reduzido aliado à boa precisão numérica. As configurações realizadas visam concentrar mais painéis nas regiões do bordo de ataque e de fuga dos perfis e também na raiz das superfícies (asa e estabilizadores), conforme pode ser visto na Tabela 1.

Componente	Nº de painéis ao longo da envergadura	Nº de painéis ao longo da corda	Distribuição de painéis ao longo da envergadura	Distribuição de painéis ao longo da corda
Asa	20	10	Senoidal	Cossenoidal
Estabilizador horizontal	12	6	Senoidal	Cossenoidal
Estabilizador vertical	6	6	Senoidal	Cossenoidal

Tabela 1: Distribuição de painéis

Fonte: Autores

A execução dos algoritmos foi realizada utilizando um computador com processador i5-4200U @ 1.6GHz ~2.3GHz (4 CPUs), com 6GB de RAM e Windows 7 x64. Algumas geometrias obtidas a partir de diferentes execuções do algoritmo podem ser visualizadas na Figura 7:

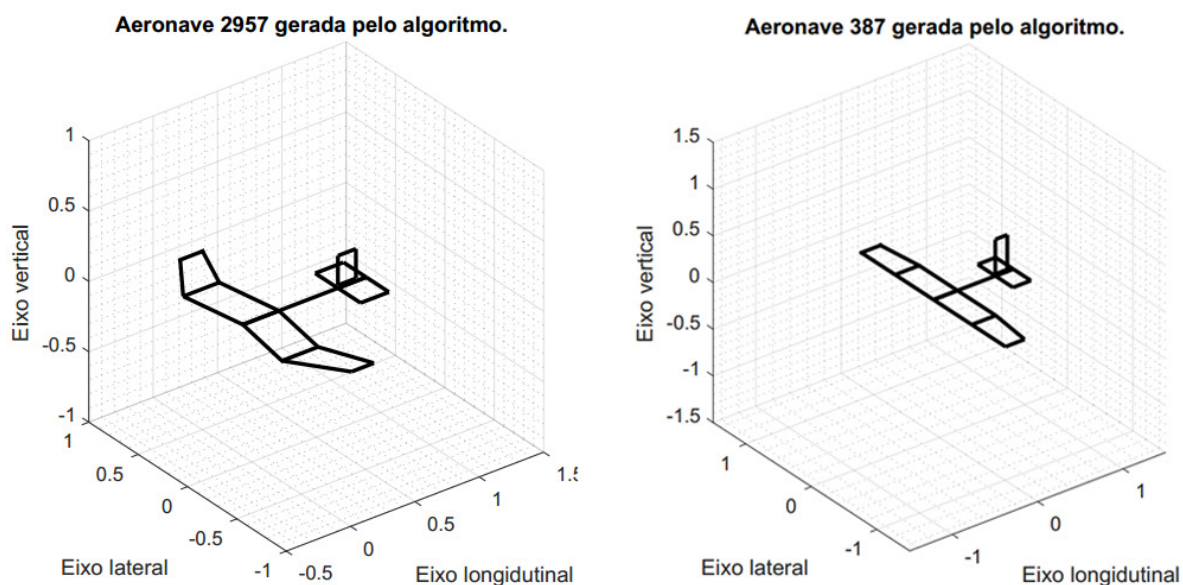


Figura 7: Geometrias geradas por diferentes execuções do algoritmo

Fonte: Autores

Para verificar a eficiência da metodologia adotada e também do *Bat Algorithm* aplicado a este problema, foram comparadas aeronaves geradas manualmente com as geradas pelo BA e também pelo Algoritmo Genético, conforme exposto na Tabela 2:

Aeronave	Método de geração	MTOW (Kg)	Iterações	Tempo
1	Manual	8,6911	-	2 semanas
2	Manual	8,5372	-	2 semanas
3	Manual	8,8267	-	2 semanas
4	GA	9,3109	1676	13 horas e 4 minutos
5	GA	9,3017	1542	12 horas e 3 minutos

6	BA	9,7136	1840	13 horas e 23 minutos
7	BA	9,6290	1777	12 horas e 55 minutos
8	BA	9,5566	1193	8 horas e 32 minutos

Tabela 2: Resultados das análises utilizando diferentes métodos

Fonte: Autores

Nos resultados obtidos, a execução foi realizada até a estagnação do valor de MTOW. Conforme previsto, as configurações favorecem a obtenção de um bom resultado em um valor de gerações entre 10 e 20 para cada morcego, que corresponde a, no máximo, 2000 aeronaves.

O BA conseguiu gerar melhores resultados quando comparado ao GA em sua configuração padrão, disponível no MATLAB. Os resultados em relação a aeronaves geradas manualmente também se mostram consideravelmente superiores e mais rápidos.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram apresentadas técnicas de otimização multidisciplinar do design de aeronaves remotamente pilotadas de perfil cargueiro. O enfoque do procedimento concentra-se na aerodinâmica, desempenho, estabilidade e controle e da aeronave.

Com a metodologia proposta, foi possível obter geometrias que atendem a todos os requisitos, apresentando boa relação entre os critérios analisados. A análise dos parâmetros do Bat Algorithm voltados para esse problema aliados aos métodos utilizados apresentou excelentes resultados. Todos os algoritmos utilizados foram implementados utilizando a linguagem de programação MATLAB.

A validação ocorreu através da comparação das aeronaves geradas com aquelas já existentes, obtidas no banco de dados da equipe Microraptor UFJF. A obtenção de valores de MTOW maiores e em tempo muito inferior evidenciam a eficiência do método.

Propostas de trabalhos futuros são a implementação de análises estruturais e de fenômenos aeroelásticos, que permitirão refinar ainda mais a geometria e gerar aeronaves ainda mais factíveis do ponto de vista fabricativo. Outro ponto é um ajuste ainda mais refinado nos parâmetros do Bat Algorithm e também obtenção de funções de amplitude e emissão de pulso que se adequem melhor ao problema.

7 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe Microraptor UFJF, pela disposição do banco de dados, do laboratório e das aeronaves para análises. Fica também o agradecimento

ao INERGE, por apoiar financeiramente um projeto dentro do tema abordado, ao grupo de otimização heurística e bioinspirada (GOHB) e, especialmente, ao professor Ivo, por acreditar no projeto e em sua importância para os alunos pertencentes e também para o desenvolvimento da tecnologia aqui exposta.

REFERÊNCIAS

ANAC. **Drones**. <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>. Acesso em: Março/2018.

ETKIN, Bernard, & REID, Lloyd. **Dynamics of Flight Stability and Control**, John Wiley and Sons, New Jersey, 1996.

J. Cordeiro, R. S. Parpinelli & H. S. Lopes. **Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do Bat Algorithm e Comparação de Desempenho**. Encontro Nacional de Inteligência Artificial (ENIA), 2012.

NELSON, Robert. **Flight Stability and Automatic Control**, 2nd ed., McGraw-Hill, 1998.

PEREIRA, Alessandro. **Fator humano na operação de aeronaves remotamente pilotadas**. Disponível em: <http://www.defesaaereanaval.com.br/fator-humano-na-operacao-de-aeronaves-remotamente-pilotadas>. Acessado: Março/2018.

RAYMER, Daniel, P. **Aircraft design: a conceptual approach**, AIAA, Washington, 1992.

ROSKAM, Jan. **Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Control**, Parte I e II, DAR Corporation, 2001.

SADRAEY, Mohammad H. **Aircraft Design: A Systems Engineering Approach**, First Edition, John Wiley & Sons, 2013.

Yang, X. S. **A new metaheuristic bat-inspired algorithm**. In Gonzalez, J. R., editor, *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization*, Studies in Computational Intelligence, páginas 65–74. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2010.

SOBRE O ORGANIZADOR

Ernane Rosa Martins - Doutorado em andamento em Ciência da Informação com ênfase em Sistemas, Tecnologias e Gestão da Informação, na Universidade Fernando Pessoa, em Porto/Portugal. Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, possui Pós-Graduação em Tecnologia em Gestão da Informação, Graduação em Ciência da Computação e Graduação em Sistemas de Informação. Professor de Informática no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG (Câmpus Luziânia), ministrando disciplinas nas áreas de Engenharia de Software, Desenvolvimento de Sistemas, Linguagens de Programação, Banco de Dados e Gestão em Tecnologia da Informação. Pesquisador do Núcleo de Inovação, Tecnologia e Educação (NITE), certificado pelo IFG no CNPq.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-478-8

