

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Marlos Rego Menezes**

**Algoritmos Genéticos Aplicados ao Problema de  
Reconstituição de Acidentes com um Modelo  
Simplificado de Veículos Terrestres Deformáveis**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Professor Mauro Speranza Neto

Rio de Janeiro  
Março de 2007



**Marlos Rego Menezes**

**Algoritmos Genéticos Aplicados ao Problema de  
Reconstituição de Acidentes com um Modelo  
Simplificado de Veículos Terrestres Deformáveis**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Informática da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

**Prof. Mauro Speranza Neto**

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio

**Prof. Fernando Ribeiro da Silva**

IME

**Prof. Francisco José da Cunha Pires Soeiro**

UERJ

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, março de 2007

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

## Marlos Rego Menezes

Graduou-se em Engenharia Mecânica e de Automóveis no IME (Instituto Militar de Engenharia) em 2000. Trabalha no Centro Tecnológico do Exército onde é gerente de projeto de uma viatura reboque especializado.

### Ficha Catalográfica

Menezes, Marlos Rego

Algoritmos genéticos aplicados ao problema de reconstituição de acidentes com um modelo simplificado de veículos terrestres deformáveis / Marlos Rego Menezes ; orientador: Mauro Speranza Neto . – 2007.

105 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.  
Inclui bibliografia

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Dinâmica veicular. 3. Análise de colisões. 4. Reconstituição de acidentes. 5. Algoritmo genético. 6. Problemas inversos em Engenharia. I. Speranza Neto, Mauro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

CDD: 621

## Agradecimentos

Ao meu orientador Mauro Speranza Neto pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

À PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

À minha esposa Andréia por todo apoio, paciência e compreensão.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

Aos meus colegas da PUC-Rio, em especial ao amigo Guilherme Nobrega Martins, pelos conhecimentos transmitidos em Algoritmos Genéticos.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos e pela ajuda.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

## Resumo

Menezes, Marlos Rego. Neto, Mauro Speranza. **Algoritmos Genéticos Aplicados ao Problema de Reconstituição de Acidentes com um Modelo Simplificado de Veículos Terrestres Deformáveis**. Rio de Janeiro, 2007. 105p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Apresenta-se a aplicação dos algoritmos genéticos para o tratamento do problema inverso em reconstituição de acidentes e análise de colisões com veículos terrestres de estrutura deformável. Define-se como, a partir de restrições impostas, das posições finais, e das deformações encontradas nos veículos após uma colisão, o algoritmo de otimização pode fornecer o conjunto de variáveis e parâmetros que mais provavelmente levam os veículos àquela condição. Todos os procedimentos desenvolvidos foram implementados em *Simulink/Matlab*. Para resolver o problema, foi escolhida a técnica de otimização denominada algoritmo genético, que é indicado para solução de problemas complexos, que envolvem um grande número de variáveis e, conseqüentemente, espaços de soluções de dimensões elevadas.

## Palavras-chave

Dinâmica Veicular; Análise de Colisões e Reconstituição de Acidentes; Algoritmo Genético; Problemas Inversos em Engenharia.

## Abstract

Menezes, Marlos Rego. Neto, Mauro Speranza. **Genetic Algorithm Applied at Accident Reconstitution with a Simplified Model of Deformable Vehicles.** Rio de Janeiro, 2007. 105p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work show an application of the genetic algorithm to resolve the inverse problem of accident reconstitution and to analyse colisions between vehicles of deformable structure. It is determined how, with imposing of restrictions, final positions and deformations found at vehicles after collision, the optimization algorithm can give the set of variables and parameters that probably conduct the vehicles to true initial condition. All the developed procedures were implemented at *Simulink/Matlab*. The optimization technique chose to resolve the inverse problem was the genetic algorithm because it is the most popular to solve complex problems that have a very large number of variables and a elevate dimension space solutions.

## Keywords

Vehicular Dynamics; Collisions and Accident Reconstitution Analysis; Genetic Algorithm; Engineering Inverse Problems.

# SUMÁRIO

1. Introdução	11
1.1. Objetivos	12
1.2. Relevância	12
1.3. Descrição	12
2. Procedimentos para Análise de Colisão de Veículos Terrestres Deformáveis	14
2.1. Modelos computacionais para o estudo de colisões veiculares	16
2.1.1. Modelo para veículo deformável, baseado em elementos discretos mola – amortecedor em série	16
2.2. Modelos para colisões planas de veículos deformáveis	18
2.2.1. Colisão frontal contra uma barreira rígida	18
2.2.2. Colisão Frontal entre Veículos	19
2.2.3. Colisão oblíqua entre veículos	19
2.3. Modelo de Choque Central Frontal Veículo Deformável – Barreira Rígida	20
2.4. Modelo de Choque Central – Frontal entre Dois Veículos	21
2.5. Modelo numérico para choque frontal entre dois veículos	22
2.6. Modelo numérico para colisões bidimensionais entre dois veículos	22
2.7. Simulações de colisões planas de veículos deformáveis	25
2.8. Conclusões inferidas a partir dos resultados	25
3. Otimização Aplicada a Reconstituição de Acidentes	26
3.1. Otimização	26
3.1.1. Metodologias de otimização estudadas	26
3.1.2. Aplicação do algoritmo genético à reconstituição de acidentes	28
4. Estudos de Casos – Problema Direto	34
4.1. Escolha do Tipo de Colisão	35
4.2. Dados de Entrada – Veículos	35
4.3. Dados de Entrada – Colisão	37

4.4. Simulações – Caso Direto	38
4.4.1. Colisão frontal com deslocamento entre dois veículos (offset)	40
4.4.2. Colisão frontal oblíqua (170°)	45
4.4.3. Colisão traseira oblíqua (10°) – Veículo da frente estático	50
4.4.4. Colisão traseira oblíqua (10°) – Veículo da frente a 5 km/h	55
5. Estudo de Casos Problema Inverso acoplado à Modelo Deformável	60
5.1. Utilização do AG acoplado ao modelo deformável	60
5.1.1. Colisão frontal com deslocamento entre dois veículos (offset)	68
5.1.2. Colisão frontal oblíqua (170°)	73
5.1.3. Colisão traseira oblíqua (10°) – Veículo da frente estático	76
5.1.4. Colisão traseira oblíqua (10°) – Veículo da frente a 5 km/h	80
6. Função de Avaliação Baseada na Área Deformada	84
6.1.1. Colisão Frontal com Deslocamento entre dois Veículos (offset)	85
6.1.2. Colisão Frontal Oblíqua a 170°	90
6.1.3. Colisão Traseira Oblíqua a 10° – Veículo da Frente Estático	94
6.1.4. Colisão Traseira Oblíqua a 10° – Veículo da Frente a 5 km/h	97
7. Conclusões e Sugestões	101
8. Referências Bibliográficas	103
9. Anexo – Programas MATLAB	105

## Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema da estrutura proposta.	15
Figura 2 - Gráfico Força x Deformação típico, traçado a partir de testes de impacto.	15
Figura 3 - Representação do contato entre dois veículos segundo o modelo de Vera et al..	17
Figura 4 - (a) Força que o veículo recebe do obstáculo durante um teste de impacto como uma função de tempo. Curva experimental e lei empírica matemática. (b) Histórico $V(t)$ , $a(t)$ e $s(t)$ obtidos através da lei empírica $F(t)$ .	18
Figura 5 - Diagrama polar $K(\theta)$ aproximado por dois arcos de elipse.	19
Figura 6 - Representação física do modelo utilizado.	19
Figura 7 - Esquema físico do modelo para colisões unidimensionais entre dois veículos.	20
Figura 8 - Força aplicada sobre o ponto de contato pelo veículo 1 ( $F$ ), devido a deformação resultante da velocidade relativa ( $V1-VP$ ), onde $V1$ é a velocidade do veículo 1 e $VP$ a velocidade do ponto P.	21
Figura 9 - Modelo físico de um veículo com divisão de sua região frontal em três elementos.	22
Figura 10 - Representação do contato entre dois veículos, segundo o modelo bidimensional criado.	22
Figura 11 - Fluxograma do modelo bidimensional.	23
Figura 12 - Detalhamento do Algoritmo Genético conjugado ao programa de simulação.	29
Figura 13 – Fluxograma do procedimento de otimização.	32
Figura 14 – Escolha do Tipo de Colisão.	35
Figura 15 – Bloco correspondente ao veículo 1.	36
Figura 16 – Bloco correspondente às velocidades do veículo 1.	36
Figura 17 – Posição Inicial dos Veículos - Colisão frontal com deslocamento entre dois veículos.	39
Figura 18 – Posição e Deformação Final - Colisão frontal com deslocamento entre dois veículos.	41
Figura 19 – Posição Inicial dos Veículos - Colisão frontal oblíqua a $170^\circ$ .	42
Figura 20 – Posição e Deformação Final - Colisão frontal oblíqua a $170^\circ$ .	43
Figura 21 – Posição Inicial dos Veículos - Colisão traseira oblíqua a $10^\circ$ – Veículo azul estático.	44
Figura 22 – Posição e Deformação Final - Colisão traseira oblíqua a $10^\circ$ .	45

Figura 23 – Posição Inicial dos Veículos - Colisão traseira oblíqua (10°) – Veículo azul a 5 km/h.	46
Figura 24 – Posição e Deformação Final - Colisão traseira oblíqua a 10° - Veículo azul a 5 km/h.	47
Figura 25 - Representação Gráfica da Função de Avaliação baseada nas posições, velocidades e atitudes dos veículos.	51
Figura 26 - Representação da área deformada dos veículos.	55
Figura 27 – Representação da área deformada em um dos veículos.	56
Figura 28 – Sobreposição entre o veículo 1 gerado a partir dos dados originais (vermelho) e o veículo 1 gerado pelo 1ª função de avaliação do AG (ciano) – Frontal Offset.	60
Figura 29 – Sobreposição entre o veículo 2 gerado a partir dos dados originais (azul) e o veículo 2 gerado pelo 1ª função de avaliação do AG (verde) – Frontal Offset.	61
Figura 30 – Sobreposição entre o veículo 1 gerado a partir dos dados originais (vermelho) e o veículo 1 gerado pelo 1ª função de avaliação do AG (ciano) – Frontal Oblíqua a 170°.	63
Figura 31 – Sobreposição entre o veículo 2 gerado a partir dos dados originais (azul) e o veículo 2 gerado pelo 1ª função de avaliação do AG (verde) – Frontal Oblíqua a 170°.	64
Figura 32 – Sobreposição entre o veículo 1 gerado a partir dos dados originais (vermelho) e o veículo 1 gerado pelo 1ª função de avaliação do AG (ciano) – Traseira Oblíqua a 10° – Veículo da frente estático.	66
Figura 33 – Sobreposição entre o veículo 2 gerado a partir dos dados originais (azul) e o veículo 2 gerado pelo 1ª função de avaliação do AG (verde) – Traseira Oblíqua a 10° – Veículo da frente estático.	67
Figura 34 – Sobreposição entre o veículo 1 gerado a partir dos dados originais (vermelho) e o veículo 1 gerado pelo 1ª função de avaliação do AG (ciano) – Traseira Oblíqua a 10° – Veículo da frente a 5 km/h.	69
Figura 35 – Sobreposição entre o veículo 2 gerado a partir dos dados originais (azul) e o veículo 2 gerado pelo 1ª função de avaliação do AG (verde) – Traseira Oblíqua a 10° – Veículo da frente a 5 km/h.	70
Figura 36 – Representação Gráfica da Função de Avaliação Baseada nos pontos discretos dos veículos.	71
Figura 37 – Sobreposição entre o veículo 1 gerado a partir dos dados originais (vermelho) e o veículo 1 gerado pelo 2ª função de avaliação do AG (ciano) – Frontal Offset.	74
Figura 38 – Sobreposição entre o veículo 2 gerado a partir dos dados originais (azul) e o veículo 2 gerado pelo 2ª função de avaliação do AG (verde) – Frontal Offset.	75
Figura 39 – Sobreposição entre o veículo 1 gerado a partir dos dados originais (vermelho) e o veículo 1 gerado pelo 2ª função de avaliação do AG (ciano) – Frontal Oblíqua a 170°.	77

Figura 40 – Sobreposição entre o veículo 2 gerado a partir dos dados originais (azul) e o veículo 2 gerado pelo 2ª função de avaliação do AG (verde) – Frontal Oblíqua a 170°.	78
Figura 41 – Sobreposição entre o veículo 1 gerado a partir dos dados originais (vermelho) e o veículo 1 gerado pelo 2ª função de avaliação do AG (ciano) – Traseira Oblíqua a 10° com veículo da frente estático.	80
Figura 42 – Sobreposição entre o veículo 2 gerado a partir dos dados originais (azul) e o veículo 2 gerado pelo 2ª função de avaliação do AG (verde) – Traseira Oblíqua a 10° com veículo da frente estático.	81
Figura 43 – Sobreposição entre o veículo 1 gerado a partir dos dados originais (vermelho) e o veículo 1 gerado pelo 2ª função de avaliação do AG (ciano) – Traseira Oblíqua a 10° com veículo da frente a 5 km/h.	83
Figura 44 – Sobreposição entre o veículo 2 gerado a partir dos dados originais (azul) e o veículo 2 gerado pelo 2ª função de avaliação do AG (verde) – Traseira Oblíqua a 10° com veículo da frente a 5 km/h.	84