

8 Referências Bibliográficas

1. ABDULMASSIH, D.S.. **Modelos de Veículos Rígidos para Análise e Simulação de Colisões e Reconstituição de Acidentes**, Dissertação de Mestrado, DEM/PUC-Rio, 2003.
2. **Accident Reconstruction: Analysis, Simulation and Visualization**, SP-1491, 2000
3. **Accident Reconstruction: Crash Analysis**, SAE SP-1572, 2001
4. **Accident Reconstruction: Technology and Animation IV**, SAE SP-1030, 1994
5. **Accident Reconstruction: Technology and Animation VII**, SAE SP-1319, 1998
6. **Automatic Optimization of Pre-Impact Parameters Using Post Impact Trajectories and Rest Positions**, SAE-SP 0373, 1998.
7. BAKER, S. J.; FRICKE, L.B. **The traffic accident investigation manual**. 9^a ed. Illinois: Northwestern University Traffic Institute, 1986.
8. BREWER, J. C. **Effects of angles and offsets in crash simulations of automobiles with light trucks**. EUA: Volpe National Transportation Systems Center, Paper No 308.
9. DAY, T. D. **An Overview of the EDSMAC4 collision simulation model**. SAE-1999-01-0102, Accident Reconstruction: Technology and Animation IX (SP-1407).

10. DAY, T. D.; SIDALL, D. E., **Validation of several reconstruction and simulation models in the HVE scientific visualization environment.** SAE-960891, Accident Reconstruction: Technology and Animation VI (SP-1150).
11. DAY, T. D.; YORK, A. R. **The DyMesh method for three-dimensional multi-vehicle collision simulation.** SAE-199-01-0104, Accident Reconstruction: Technology and Animation IX (SP-1407).
12. DAY, T. D.; YORK, A. R. **Validation of DyMesh for vehicle vs barrier collisions.** SAE-2000-01-0844, Accident Reconstruction: Technology and Visualization (SP-1491).
13. DE CARVALHO, F. A.. **Modelos de Veículos Flexíveis para Análise e Simulação de Colisões e Reconstituição de Acidentes,** Dissertação de Mestrado, DEM/PUC-Rio, 2004.
14. FÉLEZ, J.; VERA, C.; MARTINEZ, M. L., **Traffic Accident Analysis Using Virtual Reality and Bond Graph Techniques.** INSIA Universidad Politécnica de Madrid.
15. GUENTA, G. **Motor vehicle dynamics - modelling and simulation,** Worlds Scientific, 1997.
16. HUANG, MATTHEW. **Vehicle Crash Mechanics,** CRC Press LCC, 2002.
17. HUPPER, P., WECH, L.; SCHÜLER, F. **Crash tests with electronically guided vehicles.** Imech, 1992.
18. LOZANO, J. A.; VERA C.; FÉLEZ, J. **A computational dynamical model for traffic accident reconstruction.** International Journal of Vehicle Design, vol 19, nº 2, 1998.
19. MARTINS, G.N.. **Problema Inverso em Colisão de Veículos Rígidos Através de Procedimentos de Otimização,** Dissertação de Mestrado, DEM/PUC-Rio, 2005.

20. MITCHEL J. F. **International guide book for traffic accident reconstruction**. 3^a ed. Canada: 2002.
21. SIDALL, D. E.; DAY, T. D., **Updating the vehicle class categories**, SAE-960897, Accident Reconstruction: Technology and Animation VI (SP-1150).
22. SÖDEBERG, U.; TIDBORG, F. **Evaluation of methods for calculation of impact severity in frontal impacts**, MSc. Thesis, Department of Machine and Vehicle Design - Chalmers University of Technology, 1999.
23. **The SISAME Program: Structural Crash Model Extraction and Simulation**, DOT HS Final Report, 2002.
24. YAO CHAN, C. **Studies of vehicle collisions – a documentation of the simulation codes: SMAC (Simulation Model of Automobile Collisions)**, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
25. ZAOUK, A. K. et al. **Development and Evaluation of a C-1500 Truck Model for a Roadside Hardware Impact Simulation**. FHWA/NHTSA National Crash Analysis Center, The George Washington University.

9 Anexo – Programas MATLAB

Este capítulo somente apresenta as rotinas que foram modificadas. As rotinas originais encontram-se nos trabalhos de DE CARVALHO, F. A. e de MARTINS, G.N., citados nas referências bibliográficas.

9.1. Modelo Deformável

9.1.1. Arquivo *colisao.m*

```
clear all;
global P1 P2 CM v impacto S nd nl P1or P2or
global plocal1 plocal2 plocal1o plocal2o
global b ld lt m l K1 K2 Co1 Co2%dados dos veiculos
global teste1 teste2 filme1 filme2 contador%auxiliares
impacto=2;
S(1)=4;
S(2)=4;
veiculos;
posicionamento_inicial;
divisao_inicial (1);
divisao_inicial (2);
P1=divisao (1,CM(1:3));
plocal1=plocal1o;
P2=divisao(2,CM(4:6));
plocal2=plocal2o;
teste1=zeros(1,length(P1));
```

```

teste2=zeros(1,length(P1));
rigidez;
figure(1);
scrsz=get(0,'ScreenSize');
set(1,'Position',[scrsz(1) scrsz(1) 2*scrsz(3)/5 2*scrsz(4)/5]);
title('veiculos deformados');
figure(2);
set(2,'Position',[3*scrsz(3)/5 scrsz(1) 2*scrsz(3)/5 2*scrsz(4)/5]);
figure(2);
title('veiculos nao deformados');
choque;

```

9.1.2.

Arquivo *veiculos.m*

Este arquivo fornece dados estruturais dos veículos.

```

global b ld lt m l kf kl kt Cof Col Cot
%veiculo 1
m(1)=1338; %massa do veiculo
b(1)=2; % bitola do veiculo
lt(1)=3; %distancia do cm a traseira
ld(1)=2; %distancia do cm a dianteira
l(1)=2207; %((lt(1)^2+b(1)^2)/12)*m(1); %momento de inercia
Cof(1)=5.946e4; %constante para calculo do amortecimento frontal
Col(1)=3.525e4; %constante para calculo do amortecimento lateral
Cot(1)=4.178e3; %constante para calculo do amortecimento traseiro
kf(1)=81.7*Cof(1); %rigidez frontal do veiculo
kl(1)=81.7*Cof(1); %rigidez lateral do veiculo
kt(1)=81.7*Cof(1); %rigidez traseira do veiculo
%veiculo 2
m(2)=1338; %massa do veiculo
b(2)=2; % bitola do veiculo
lt(2)=3; %distancia do cm a traseira

```

```

ld(2)=2; %distancia do cm a dianteira
l(2)=2207;%((lt(2)^2+b(2)^2)/12)*m(2);%momento de inercia
Cof(2)=5.946e4; %constante para calculo do amortecimento frontal
Col(2)=3.525e4; %constante para calculo do amortecimento lateral
Cot(2)=4.178e4; %constante para calculo do amortecimento traseiro
kf(2)=81.7*Cof(2); %rigidez frontal do veiculo
kl(2)=81.7*Cof(2); %rigidez lateral do veiculo
kt(2)=81.7*Cof(2); %rigidez traseira do veiculo

```

9.1.3.

Arquivo *posicionamento_inicial.m*

```

global v CM impacto
Xcm(1)=0;Ycm(1)=0;Xcm(2)=4;fi=[0 pi];
Ycm(2)=Ycm(1);
CM2=[Xcm(2) Ycm(2) fi(2)];
CM1=[Xcm(1) Ycm(1) fi(1)];
CM=[CM1 CM2];

```

9.1.4.

Arquivo *divisao_inicial.m*

Este arquivo é responsável pela discretização estrutural dos veículos.

```

function divisao_inicial (veiculo)
global S nd nl
%discretiza as areas envolvidas
nd(veiculo)=10;nl(veiculo)=10;

```

9.2.

Algoritmo Genético Acoplado ao Modelo Deformável

9.2.1.

Arquivo *run_fun_2_lim.m*

Neste arquivo se encontram os parâmetros do GA.

```
close all
clear
clc
globais
veiculos
limites_ga
dados_ga_2
options = gaoptimset ('PopInitRange', [-1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0
-1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0 -1.0; 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0] , 'PopulationSize', 50 , 'EliteCount' , 3 , 'CrossoverFraction'
, 0.95 , 'MigrationInterval', 50 , 'Generations' , 10 , 'FitnessLimit' , 5000.0 ,
'StallGenLimit' , 3 , 'StallTimeLimit' , 1000 , 'CrossoverFcn',
@ crossoverintermediate, 'MutationFcn' , {@mutationgaussian [1]
[0.7500]} , 'OutputFcns', @gaoutputgen , 'PlotFcns' , [@gaplotbestindiv ,
@gaplotbestf , @gaplotdistance , @gaplotscorediversity])
```

```
[x fval reason finalscores] = ga(@fun_ga_2_lim, 15, options)
```

9.2.2.

Arquivo *limites_ga.m*

```
global LI1 LS1 LI2 LS2 LI3 LS3 LI4 LS4 LI5 LS5 LI6 LS6 LI7 LS7 LI8 LS8
global LI9 LS9 LI10 LS10 LI11 LS11 LI12 LS12 LI13 LS13 LI14 LS14 LI15
```

```
LS15 LI16 LS16 LI17 LS17
```

```
global ba lda lta
```

global ma Ja
 global bb ldb ltb
 global mb Jb
 global b ld lt m l kf kl kt Cof Col Cot

% DIMENSOES E PROPRIEDADES DOS VEICULOS

% VEICULO 1

ma = m(1);
 Ja = l(1);
 ba = b(1);
 lda = ld(1);
 lta = lt(1);

% VEICULO 2

mb = m(2);
 Jb = l(2);
 bb = b(2);
 ldb = ld(2);
 ltb = lt(2);

% LIMITES INFERIORES E SUPERIORES

% POSICAO E VELOCIDADES DOS VEICULOS

LI1 = 0; %Limite inferior da variavel x do local de colisao
 LS1 = 4; %Limite superior da variavel x do local de colisao
 LI2 = -1.0; %Limite inferior da variavel y do local de colisao
 LS2 = 0; %Limite superior da variavel y do local de colisao
 LI3 = 4; %Limite inferior da velocidade x de pre-colisao do veiculo 1
 LS3 = 8; %Limite superior da velocidade x de pre-colisao do veiculo 1
 LI4 = -0.2; %Limite inferior da velocidade y de pre-colisao do veiculo 1
 LS4 = 0.2; %Limite superior da velocidade y de pre-colisao do veiculo

1

LI5 = -0.1; %Limite inferior da velocidade angular de pre-colisao do
veiculo 1

LS5 = 0.1; %Limite superior da velocidade angular de pre-colisao do
veiculo 1

LI6 = 4; %Limite inferior da velocidade x de pre-colisao do veiculo 2

LS6 = 8; %Limite superior da velocidade x de pre-colisao do veiculo 2

LI7 = -0.2; %Limite inferior da velocidade y de pre-colisao do veiculo 2

LS7 = 0.2; %Limite superior da velocidade y de pre-colisao do veiculo 2

LI8 = -0.1; %Limite inferior da velocidade angular de pre-colisao do
veiculo 2

LS8 = 0.1; %Limite superior da velocidade angular de pre-colisao do
veiculo 2

% PARTES COLIDIDAS DO VEICULO 1

LI9 = lda; %Limite inferior de xia

LS9 = lda; %Limite superior de xia

LI10 = -ba/2; %Limite inferior de yia

LS10 = -0.9*ba/2; %Limite superior de yia

LI11 = lda; %Limite inferior de xfa

LS11 = lda; %Limite superior de xfa

LI12 = -0.3*ba/2; %Limite inferior de yfa

LS12 = 0.1*ba/2; %Limite superior de yfa

% PARTES COLIDIDAS DO VEICULO 2

LI13 =ldb; %Limite inferior de xib

LS13 =ldb; %Limite superior de xib

LI14 = -bb/2; %Limite inferior de yib

LS14 = -0.9*bb/2; %Limite superior de yib

LI15 = ldb; %Limite inferior de xfb

LS15 = ldb; %Limite superior de xfb

LI16 = -0.5*bb/2; %Limite inferior de yfb
 LS16 = 0.5*bb/2; %Limite superior de yfb

% LIMITES DO ANGULO (EM GRAUS) DO VEICULO 1 NO
 REFERENCIAL GLOBAL

LI17 = -1; %Limite inferior do angulo (em graus) do veículo 1 em
 relação ao referencial global

LS17 = 1; %Limite superior do angulo (em graus) do veículo 1 em
 relação ao referencial global

9.2.3.

Arquivos *dados_ga_2.m*

% GLOBAL DO CARRO A %
 global adxA adyA adzA baxA bayA bazA
 global bdA btA lda lta
 global ba lda lta
 global X0cA Y0cA psi0cA XfcA YfcA psifcA
 global CxA CyA CmzA SA JzA mA
 global vx0A X0A vy0A Y0A wz0A psi0A
 global ma Ja

% GLOBAL DO CARRO B %
 global adxB adyB adzB baxB bayB bazB
 global bdB btB ldb ltb
 global bb ldb ltb
 global X0cB Y0cB psi0cB XfcB YfcB psifcB
 global CxB CyB CmzB SB JzB mB
 global vx0B X0B vy0B Y0B wz0B psi0B
 global mb Jb

% GLOBAL DE AMBOS %
 global ro dt tf

global cr lambda
global VfcAx VfcAy VfcBx VfcBy

pista='pista';

g = 9.81;

ro = 1.2;

dt = 0.05;

tf = 5;

% CARRO A%

% - GEOMETRIA FINAL %

XfcA = 0.19509;

YfcA = -0.0024296;

psifcA = -0.16609*180/pi;

VfcAx = -0.2217;

VfcAy = -0.0071;

% - CARACTERÍSTICAS %

mA = ma;

JzA = Ja;

rz2A = JzA/mA;

ldA = lda;

ltA = lta;

btA = ba;

bdA = ba;

muA = 0.7;

adxA = muA*g/4;

$$\text{adyA} = \mu\text{A} * \text{g}/4;$$

$$\text{adzA} = \mu\text{A} * \text{g}/4/\text{rz2A};$$

$$\text{CxA} = 0.30;$$

$$\text{CyA} = 0.80;$$

$$\text{CmzA} = 0.2;$$

$$\text{SA} = 2.0;$$

$$\text{baxA} = \text{ro} * \text{CxA} * \text{SA} * \text{abs}(\text{vx0A})/2/\text{mA};$$

$$\text{bayA} = \text{ro} * \text{CyA} * \text{SA} * \text{abs}(\text{vy0A})/2/\text{mA};$$

$$\text{bazA} = \text{ro} * \text{CmzA} * \text{SA} * (\text{ldA} + \text{ltA}) * \text{abs}(\text{wz0A})/2/\text{JzA};$$

% CARRO B%

% - GEOMETRIA FINAL %

$$\text{XfcB} = 3.8039;$$

$$\text{YfcB} = -0.99447;$$

$$\text{psifcB} = 2.9435 * 180/\text{pi};$$

$$\text{VfcBx} = -0.1404;$$

$$\text{VfcBy} = -0.0436;$$

% - CARACTERÍSTICAS %

$$\text{mB} = \text{mb};$$

$$\text{JzB} = \text{Jb};$$

$$\text{rz2B} = \text{JzB}/\text{mB};$$

$$\text{ldB} = \text{ldb};$$

$$\text{ltB} = \text{ltb};$$

$$\text{btB} = \text{bb};$$

$$\text{bdB} = \text{bb};$$

$$\mu_B = 0.7;$$

$$a_{dxB} = \mu_B * g / 4;$$

$$a_{dyB} = \mu_B * g / 4;$$

$$a_{dzB} = \mu_B * g / 4 / r_{z2B};$$

$$C_{xB} = 0.30;$$

$$C_{yB} = 0.80;$$

$$C_{mzB} = 0.2;$$

$$S_B = 2.0;$$

$$b_{axB} = r_o * C_{xB} * S_B * \text{abs}(v_{x0B}) / 2 / m_B;$$

$$b_{ayB} = r_o * C_{yB} * S_B * \text{abs}(v_{y0B}) / 2 / m_B;$$

$$b_{azB} = r_o * C_{mzB} * S_B * (I_{dB} + I_{tB}) * \text{abs}(w_{z0B}) / 2 / J_{zB};$$

% COEFICIENTE DE RESTITUIÇÃO

% Choque perfeitamente elástico $c_r = 1$

% Choque inelástico $0 < c_r < 1$

% Choque perfeitamente plástico $c_r = 0$

$$c_r = 0.5;$$

% COEFICIENTE DE ATRITO TRANSVERSAL

% $\text{sinal}(V_{R1t}/V_{R1n}) > 0$ $\lambda > 0$

% $\text{sinal}(V_{R1t}/V_{R1n}) < 0$ $\lambda < 0$

% ATENÇÃO:

% 1) Ordem de grandeza de λ : aproximadamente 0,5

% 2) O coeficiente de atrito (λ) pode ser maior que aquele associado ao

deslizamento das superfícies dos veículos ... !

% 3) Normalmente para choque nao obliquos $\lambda = 0$.

% 4) Para choques laterais $\lambda > 0$

$\lambda = -1.8000$;

9.2.4.

Arquivo pos_colisao_ga.m

A simulação da colisão entre os veículos termina quando a taxa de deformação dos dois veículos é nula. Não é simulada a pós-colisão. Este arquivo somente é utilizado para o cálculo da função de avaliação.

```
% GLOBAL DO CARRO A %
global adxA adyA adzA baxA bayA bazA
global bdA btA ldA ltA
global X0cA Y0cA psi0cA XfcA YfcA psifcA
global CxA CyA CmzA SA JzA mA
global vx0A X0A vy0A Y0A wz0A psi0A
```

```
% GLOBAL DO CARRO B %
global adxB adyB adzB baxB bayB bazB
global bdB btB ldB ltB
global X0cB Y0cB psi0cB XfcB YfcB psifcB
global CxB CyB CmzB SB JzB mB
global vx0B X0B vy0B Y0B wz0B psi0B
```

```
% GLOBAL DE AMBOS %
global ro dt tf
global d
global wa2 wb2 Vax2 Vay2 Vbx2 Vby2
global fia_g fib_g
```

```
global Xcga Ycga Xcgb Ycgb fiac fibc
```

```
global X0 Y0
```

```
global Xcgag Ycgag Xcgbg Ycgbg
```

```
global VfcAx VfcAy VfcBx VfcBy
```

```
% VARIÁVEIS DO CARRO A %
```

```
vx0A = Vax2;
```

```
X0A = Xcgag;
```

```
vy0A = Vay2;
```

```
Y0A = Ycgag;
```

```
wz0A = wa2;
```

```
psi0A = fia_g*pi/180;
```

```
baxA = ro*CxA*SA*abs(vx0A)/2/mA;
```

```
bayA = ro*CyA*SA*abs(vy0A)/2/mA;
```

```
bazA = ro*CmzA*SA*(ldA+ltA)*abs(wz0A)/2/JzA;
```

```
% VARIÁVEIS DO CARRO B %
```

```
vx0B = Vbx2;
```

```
X0B = Xcgbg;
```

```
vy0B = Vby2;
```

```
Y0B = Ycgbg;
```

```
wz0B = wb2;
```

```
psi0B = fib_g*pi/180;
```

```
baxB = ro*CxB*SB*abs(vx0B)/2/mB;
```

```
bayB = ro*CyB*SB*abs(vy0B)/2/mB;
```

```
bazB = ro*CmzB*SB*(ldB+ltB)*abs(wz0B)/2/JzB;
```

```
% SIMULA AMBOS OS CARROS %
```

```
%sim pos_colisao_2
```

```
% POSIÇÃO FINAL DO CARRO A %
```

```
XfA=CM(1);
```

```
YfA=CM(2);
```

```
psifA=CM(3)*180/pi;
```

```
% VELOCIDADE FINAL DO CARRO A
```

```
VfAx=Vel_A.signals.values(2*length(Vel_A.signals.values)-1);
```

```
VfAy=Vel_A.signals.values(2*length(Vel_A.signals.values));
```

```
XddA=XfA+ldA*cos(psifA*pi/180)+(bdA/2)*sin(psifA*pi/180);
```

```
YddA=YfA+ldA*sin(psifA*pi/180)-(bdA/2)*cos(psifA*pi/180);
```

```
XteA=XfA-ltA*cos(psifA*pi/180)-(btA/2)*sin(psifA*pi/180);
```

```
YteA=YfA-ltA*sin(psifA*pi/180)+(btA/2)*cos(psifA*pi/180);
```

```
XddcA=XfcA+ldA*cos(psifcA*pi/180)+(bdA/2)*sin(psifcA*pi/180);
```

```
YddcA=YfcA+ldA*sin(psifcA*pi/180)-(bdA/2)*cos(psifcA*pi/180);
```

```
XtecA=XfcA-ltA*cos(psifcA*pi/180)-(btA/2)*sin(psifcA*pi/180);
```

```
YtecA=YfcA-ltA*sin(psifcA*pi/180)+(btA/2)*cos(psifcA*pi/180);
```

```
% POSIÇÃO FINAL DO CARRO B %
```

```
XfB=CM(4);
```

```
YfB=CM(5);
```

```
psifB=CM(6)*180/pi;
```

```
% VELOCIDADE FINAL DO CARRO B
```

```
VfBx=Vel_B.signals.values(2*length(Vel_B.signals.values)-1);
```

```
VfBy=Vel_B.signals.values(2*length(Vel_B.signals.values));
```


$$X_{ddB} = X_{fB} + l_{dB} \cos(\psi_{ifB} \pi / 180) + (b_{dB} / 2) \sin(\psi_{ifB} \pi / 180);$$

$$Y_{ddB} = Y_{fB} + l_{dB} \sin(\psi_{ifB} \pi / 180) - (b_{dB} / 2) \cos(\psi_{ifB} \pi / 180);$$

$$X_{teB} = X_{fB} - l_{tB} \cos(\psi_{ifB} \pi / 180) - (b_{tB} / 2) \sin(\psi_{ifB} \pi / 180);$$

$$Y_{teB} = Y_{fB} - l_{tB} \sin(\psi_{ifB} \pi / 180) + (b_{tB} / 2) \cos(\psi_{ifB} \pi / 180);$$

$$X_{ddcB} = X_{fcB} + l_{dB} \cos(\psi_{ifcB} \pi / 180) + (b_{dB} / 2) \sin(\psi_{ifcB} \pi / 180);$$

$$Y_{ddcB} = Y_{fcB} + l_{dB} \sin(\psi_{ifcB} \pi / 180) - (b_{dB} / 2) \cos(\psi_{ifcB} \pi / 180);$$

$$X_{tecB} = X_{fcB} - l_{tB} \cos(\psi_{ifcB} \pi / 180) - (b_{tB} / 2) \sin(\psi_{ifcB} \pi / 180);$$

$$Y_{tecB} = Y_{fcB} - l_{tB} \sin(\psi_{ifcB} \pi / 180) + (b_{tB} / 2) \cos(\psi_{ifcB} \pi / 180);$$

% FUNÇÃO DE AVALIAÇÃO %

$$d = 1000 \sqrt{(V_{fcAx} - V_{fAx})^2 + (V_{fcAy} - V_{fAy})^2 + (V_{fcBx} - V_{fBx})^2 + (V_{fcBy} - V_{fBy})^2} + 1000 \sqrt{(X_{ddA} - X_{ddcA})^2 + (Y_{ddA} - Y_{ddcA})^2 + (X_{teA} - X_{tecA})^2 + (Y_{teA} - Y_{tecA})^2 + (X_{ddB} - X_{ddcB})^2 + (Y_{ddB} - Y_{ddcB})^2 + (X_{teB} - X_{tecB})^2 + (Y_{teB} - Y_{tecB})^2};$$