

4 Estudos de Casos – Problema Direto

Este capítulo mostra o resultado de simulações feitas a partir do modelo desenvolvido para veículos deformáveis descrito na tese de mestrado de DE CARVALHO, F. A., onde foi utilizada a ferramenta MATLAB/SIMULINK.

Como o interesse é resolver o problema inverso, se faz necessário obter os resultados do problema direto que serão dados de entrada no problema inverso. Com isso, ao rodar o problema direto tem-se o intuito de obter a velocidade, a posição e o ângulo em relação ao eixo X global dos veículos no momento em que a taxa de deformação destes for zero.

Para adequação do Algoritmo Genético ao modelo deformável em questão, o tempo de simulação passou a ser o foco. Para a otimização do processo, o AG realiza uma quantidade de iterações que tornaria inviável a utilização de tal procedimento devido ao tempo computacional. Inicialmente, as simulações foram realizadas em um computador com a seguinte configuração:

- Pentium(R) 4 / 1.70 GHz;
- Memória RAM de 256 MB.

Com o intuito de resolver o problema do tempo foram tomadas as seguintes medidas:

1. modificação do *solver* de integração do MATLAB de RUNGE-KUTTA para EULER
2. modificação do passo do *clock* da simulação de $1e-5$ para $3e-5$
3. simular somente até que a taxa de deformação dos veículos seja zero.
4. a versão do MATLAB utilizada para as simulações foi a 6.5 Release 13.

A utilização deste modelo pode ser dividida em três partes:

- escolher se o tipo de colisão será entre dois veículos ou será contra uma barreira rígida
- fornecer os dados de entrada relativos à estrutura dos veículos:
 - x massa;
 - x bitola;
 - x distância do centro de massa a traseira;
 - x distância do centro de massa a dianteira;
 - x momento de inércia;
 - x constante de amortecimento para região frontal;
 - x constante de amortecimento para região lateral;
 - x constante de amortecimento para região traseira;
 - x rigidez da região frontal;
 - x rigidez da região lateral;
 - x rigidez da região traseira.
- fornecer os dados de entrada relativos à colisão:
 - x tipo de impacto (central, offset ou oblíquo);
 - x áreas dos veículos atingidas (frente ou frente-lateral);
 - x posição dos veículos no momento do impacto;
 - x número de subdivisões das áreas frontal e lateral dos veículos.

4.1. Escolha do Tipo de Colisão

O modelo desenvolvido permite que o usuário escolha se a colisão será de um veículo com uma barreira rígida ou se será entre dois veículos. A escolha do tipo de colisão é feita a partir do arquivo *choque.mdl*, de acordo com a Figura 14 a seguir.

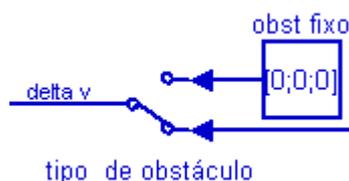


Figura 14 – Escolha do Tipo de Colisão.

4.2. Dados de Entrada – Veículos

As características estruturais dos veículos envolvidos na colisão são acessadas a partir do arquivo *veiculos.m*. As grandezas físicas a serem fornecidas e suas respectivas unidades estão dispostas na Tabela 1 a seguir.

CARACTERÍSTICA	VEÍCULO 1	VEÍCULO 2	UNDADE
massa	m(1)	m(2)	Kg
bitola	b(1)	b(2)	m
distância do centro de massa a traseira	lt(1)	lt(2)	m
distância do centro de massa a dianteira	ld(1)	ld(2)	m
momento de inércia	I(1)	I(2)	Kg/m ²
constante de amortecimento para região frontal	Cof(1)	Cof(2)	Ns/m x 10 ⁴
constante de amortecimento para região lateral	Col(1)	Col(2)	Ns/m x 10 ⁴
constante de amortecimento para região traseira	Cot(1)	Cot(2)	Ns/m x 10 ⁴
rigidez da região frontal	kf(1)	kf(2)	N/m
rigidez da região lateral	kl(1)	kl(2)	N/m
rigidez da região traseira	kt(1)	kt(2)	N/m

Tabela 1 – Características Estruturais dos Veículos.

As velocidades iniciais dos veículos no instante imediatamente antes da colisão são fornecidas a partir do arquivo *choque.mdl*. Primeiramente, deve-se dar um duplo clique sobre o bloco mostrado na Figura 15, para entrar com as velocidades do veículo 1. Depois deve-se clicar duplamente sobre o bloco mostrado na Figura 16 e preencher os valores da velocidades longitudinal (Vol1), transversal (Vot1) e angular (Wzo1). De acordo com o exemplo mostrado na

Figura 16, o veículo em questão possui velocidade longitudinal igual a 6,705 m/s e as outras velocidades citadas iguais a zero.

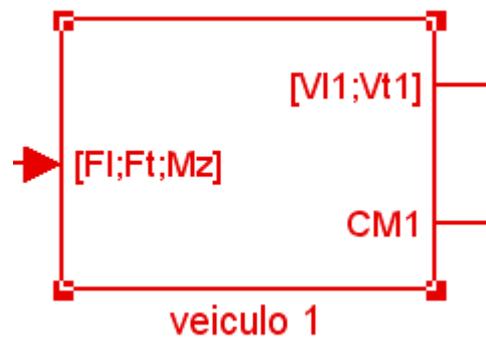


Figura 15 – Bloco correspondente ao veículo 1.

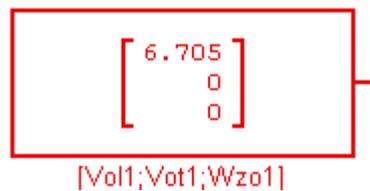


Figura 16 – Bloco correspondente às velocidades do veículo 1.

4.3. Dados de Entrada – Colisão

Uma vez ultrapassadas as duas etapas anteriores no que diz respeito ao fornecimento de dados de entrada, o próximo passo é definir a pasta onde estão os arquivos do modelo como a pasta de leitura e escrever no prompt do MATLAB “colisão”. Este comando irá executar o arquivo *colisão.m* que iniciará uma série de perguntas com o objetivo de configurar a colisão. Depois da resposta de cada pergunta é necessário digitar no prompt do MATLAB a palavra “return”. A seqüência de perguntas é dada a seguir:

- tipo de impacto (default impacto=1):
 - 1-central;
 - 2-offset;
 - 3-obliquo;

- entrar com a área atingida do veículo 1 (default $S(1)=1$):
 - 1-frente;
 - 4-frente-lateral;
- entrar com área atingida do veículo 2(default $S(2)=1$):
 - 1-frente;
 - 4-frente-lateral;
- considerar veículo 1 localizado em (0,0)
- entrar com os dados referentes ao veículo 2

Xcm(2) e Ycm(2) em m e fi(2) em radianos		
se impacto central	se impacto com offset	se impacto oblíquo
<ul style="list-style-type: none"> ➤ entrar com a coordenada $X_{cm2}(X_{cm}(2)=?)$ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ entrar com as coordenadas X_{cm} e Y_{cm} $(X_{cm}(2)=?; Y_{cm}(2)=?)$ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ entrar com as coordenadas X_{cm} e Y_{cm} $(X_{cm}(2)=?; Y_{cm}(2)=?, fi(2)=?)$

Tabela 2 – Tabela de posição referente ao veículo 2.

- entrar com o número de pontos para as áreas frontal e lateral dos veículos (dianteira $nd(\text{veiculo})=?$; lateral: $nl(\text{veiculo})=?$)

Após ter configurado o programa de acordo com as características de colisão desejada basta clicar no botão “start simulation” do arquivo *choque.mdl*.

4.4. Simulações – Caso Direto

Como o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento da aplicação da metodologia do AG associado a um modelo de colisão para veículos deformáveis, o problema direto foi analisado do momento da colisão até o momento onde a taxa de deformação dos veículos se tornar igual a zero.

Deseja-se através destas simulações averiguar os seguintes parâmetros:

- tempo de simulação;

- deformação final dos veículos;
- posição final dos veículos;
- velocidade dos veículos no momento que em que são cessadas as deformações plásticas.

O tempo de simulação será verificado para que se observe se o modelo em questão será adequado ao algoritmo genético. Uma vez que o algoritmo genético realiza milhares de iterações, o tempo de simulação dirá se será ou não viável a utilização deste modelo com o algoritmo genético.

Ao simular o problema inverso, verifica-se o quanto o AG se aproxima dos resultados observados no problema direto. O artifício utilizado pelo AG para averiguar esta proximidade é Função de Avaliação e quanto menor ela for, melhor. Com isso, os estudos de casos do problema direto, levando-se em consideração que foram validados pelo autor da referência bibliográfica 4, como mostrado no item 2.7 deste trabalho, tornam-se imprescindíveis para a determinação da precisão do AG.

Dados dos veículos:

Nestas simulações preliminares, os veículos envolvidos na colisão têm as mesmas características estruturais, de acordo com a Tabela 3.

massa	1338 Kg
bitola	2 m
distância do centro de massa a traseira	3 m
distância do centro de massa a dianteira	2 m
momento de inércia	2207 Kg/m ²
cte de amortecimento para região frontal	5.946e4 Ns/m x10 ⁴
cte de amortecimento para região lateral	3.525e4 Ns/m x10 ⁴
cte de amortecimento para região traseira	4.178e4 Ns/m x10 ⁴
rigidez da região frontal	4.853e6 N/m
rigidez da região lateral	4.853e6 N/m
rigidez da região traseira	4.853e6 N/m

Tabela 3 – Dados Estruturais dos Veículos Utilizados nas Simulações Preliminares.

As velocidades iniciais dos veículos são tomadas em relação ao referencial local do veículo analisado. Todas as simulações foram feitas como se o veículo estivesse trafegando unidirecionalmente, ou seja, em relação ao seu referencial local, sem velocidade em Y. Tendo em vista que o referencial local tem origem no centro de massa de cada veículo e que o eixo X é orientado para a dianteira do veículo, um veículo somente terá velocidade negativa se estiver andando de ré.

O modelo desenvolvido permite que se arbitre o número de divisões a ser feita nas partes frontal, lateral e traseira dos veículos. Em todas as simulações cada uma das partes foram subdivididas dez vezes.

4.4.1. Colisão Frontal com Deslocamento entre Dois Veículos (offset)

A Figura 17 ilustra o tipo de colisão e as posições relativas dos veículos antes do choque. Na Tabela 4 são mostradas as velocidades, as posições e as atitudes dos veículos antes da colisão.

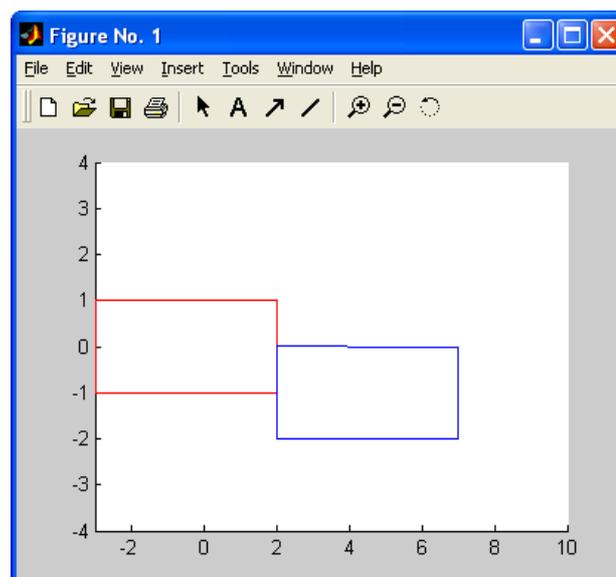


Figura 17 – Posição Inicial dos Veículos - Colisão frontal com deslocamento entre dois veículos.

	veículo 1	veículo 2
velocidade	6,705 m/s = 24,138 km/h	6,705 m/s = 24,138 km/h
abscissa do centro de massa	0 m	4 m
ordenada do centro de massa	0 m	-1 m
atitude	0 rad	π rad = 180°

Tabela 4 – Velocidades, posições e atitudes dos veículos antes do choque – Colisão Frontal com Deslocamento entre Veículos.

A Tabela 5 mostra as velocidades, as posições e as atitudes dos veículos após o choque.

	veículo 1	veículo 2
X da velocidade	-0.2217 m/s	-0.1404 m/s
Y da velocidade	-0.0071 m/s	-0.0436 m/s
abscissa do centro de massa	0.19509 m	3.8039 m
ordenada do centro de massa	-0.0024296 m	0.99447 m
atitude	-0.16609 rad	2.9435 rad

Tabela 5 – Velocidades, posições e atitudes dos veículos pós-choque – Colisão Frontal com Deslocamento entre Veículos.

A Figura 18 ilustra as posições e deformações finais dos veículos pós-choque, no instante em que a taxa de deformação se iguala a zero.

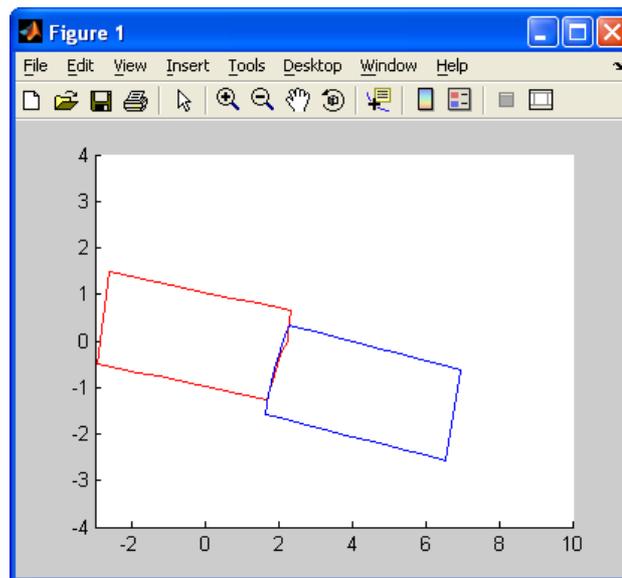


Figura 18 – Posição e Deformação Final - Colisão frontal com deslocamento entre dois veículos.

O tempo de simulação até o instante onde a taxa de deformação se iguala zero foi de aproximadamente 15 s em todas as simulações dos estudos de casos. Este tempo é importante, tendo em vista que o AG roda o problema direto milhares de vezes, buscando a solução ótima. O tempo real desta colisão, contado desde o momento em que os veículos entram em contato até o instante em que a taxa de deformação de ambos se iguala a zero foi 0,09657 s.

4.4.2.

Colisão Frontal Oblíqua a 170°

A Figura 19 ilustra o tipo de colisão e as posições relativas dos veículos antes do choque. Na Tabela 6 são mostrados as velocidades, as posições e as atitudes dos veículos antes da colisão.

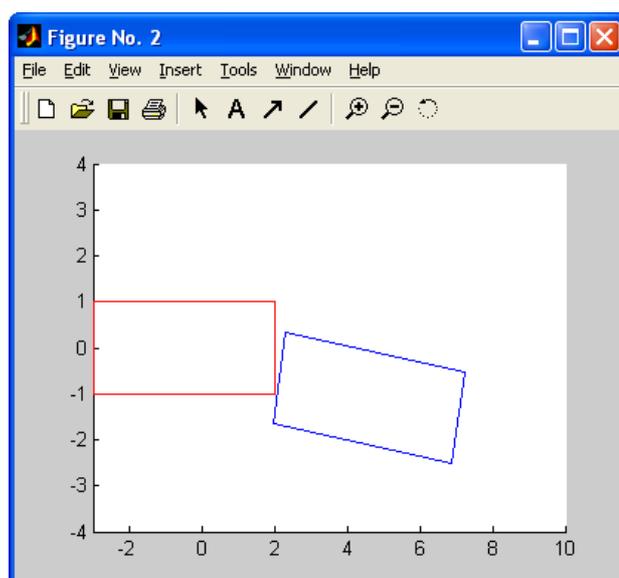


Figura 19 – Posição Inicial dos Veículos - Colisão Frontal Oblíqua a 170° .

	veículo 1	veículo 2
velocidade	6,705 m/s = 24,138 km/h	6,705 m/s = 24,138 km/h
abscissa do centro de massa	0 m	4 m
ordenada do centro de massa	0 m	-1 m
atitude	0 rad	2.97 rad = 170°

Tabela 6 – Velocidades, posições e atitudes dos veículos antes do choque – Colisão Frontal Oblíqua a 170° .

A Tabela 7 mostra as velocidades, as posições e as atitudes dos veículos após o choque.

	veículo 1	veículo 2
X da velocidade	-0.1177 m/s	-0.0528 m/s
Y da velocidade	-0.0000 m/s	-1.0586 m/s
abscissa do centro de massa	0.26814 m	3.8404 m
ordenada do centro de massa	-0.0040492 m	-0.87783 m
atitude	0.17837 rad	2.8095 rad

Tabela 7 – Velocidades, posições e atitudes dos veículos pós-choque – Colisão Frontal Oblíqua a 170° .

A Figura 20 ilustra as posições e deformações finais dos veículos pós-choque, no instante em que a taxa de deformação se iguala a zero.

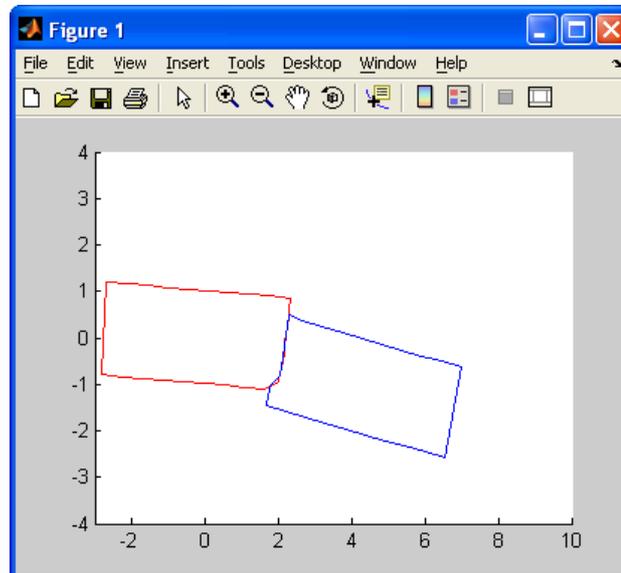


Figura 20 – Posição e Deformação Final - Colisão Frontal Oblíqua a 170°.

O tempo real desta colisão, contado desde o momento em que os veículos entram em contato até o instante em que a taxa de deformação de ambos se iguala a zero foi 0,1162 s.

4.4.3.

Colisão Traseira Oblíqua a 10° – Veículo da frente estático

O aplicativo desenvolvido somente tem a capacidade de entrar com os dados de colisões que afetem partes da frente ou da frente-lateral dos veículos. Portanto, para simular uma colisão traseira são necessários os seguintes ajustes:

1. quando entrar com o ângulo do veículo que sofrerá colisão na traseira em relação ao eixo X do referencial global, este deverá ser acrescido de 180°;
2. a distância do centro de massa a traseira ($l_{t(2)}$) deve ser trocado com a distância do centro de massa a dianteira ($l_{d(2)}$) e vice-versa;

3. a constante de amortecimento para a região frontal ($Cof(2)$) deve ser trocada pela constante de amortecimento da região traseira ($Cot(2)$) e vice-versa;
4. a constante de rigidez da região frontal ($kf(2)$) deve ser trocada pela constante de rigidez da região traseira ($kt(2)$) e vice-versa;
5. o sinal da velocidade do veículo em questão deve ser alterado.

Então, de acordo com o exposto, devem ser realizadas as modificações na estrutura do veículo 2 mostradas na Tabela 8. Observa-se que as constantes de rigidez não foram alteradas porque os respectivos valores para as regiões frontal, lateral e traseira são iguais.

distância do centro de massa a traseira	2 m
distância do centro de massa a dianteira	3 m
cte de amortecimento para região frontal	$4.178e4 \text{ Ns/m} \times 10^4$
cte de amortecimento para região traseira	$5.946e4 \text{ Ns/m} \times 10^4$

Tabela 8 – Mudanças nos dados estruturais do Veículo 2 – Colisão Traseira a 10° .

A Figura 21 ilustra o tipo de colisão e as posições relativas dos veículos antes do choque. Na Tabela 9 são mostrados as velocidades, as posições e as atitudes dos veículos antes da colisão.

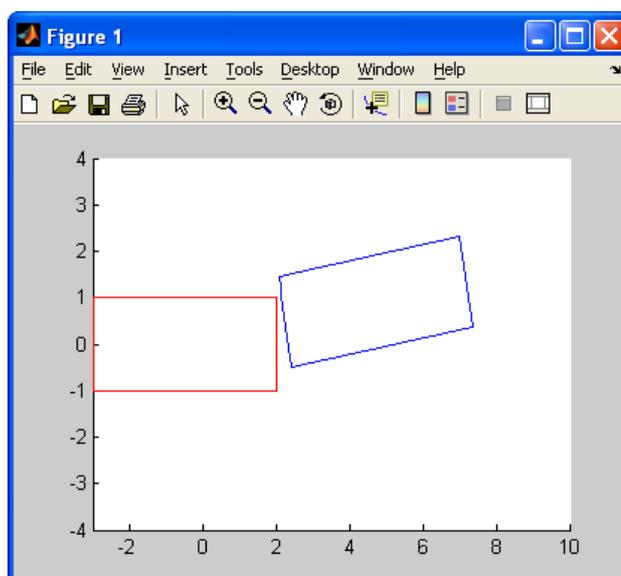


Figura 21 – Posição Inicial dos Veículos - Colisão Traseira Oblíqua a 10° – Veículo azul estático.

	veículo 1	veículo 2
velocidade	6,705 m/s = 24,138 km/h	0 m/s = 0 km/h
abscissa do centro de massa	0 m	5.2 m
ordenada do centro de massa	0 m	1 m
atitude	0 rad	3,32 rad = 190°

Tabela 9 – Velocidades, posições e atitudes dos veículos antes do choque – Colisão Traseira Oblíqua a 10° com veículo da frente estático.

A Tabela 10 mostra as velocidades, as posições e as atitudes dos veículos após o choque.

	veículo 1	veículo 2
X da velocidade	3.3480 m/s	-3.1812 m/s
Y da velocidade	-0.6280 m/s	-0.1946 m/s
abscissa do centro de massa	0.75698 m	5.4765 m
ordenada do centro de massa	-0.0461 m	1.0684 m
atitude	0.062835 rad	3.3206 rad

Tabela 10 – Velocidades, posições e atitudes dos veículos pós-choque – Colisão Traseira Oblíqua a 10° com veículo da frente estático.

A Figura 22 ilustra as posições e deformações finais dos veículos pós-choque, no instante em que a taxa de deformação se iguala a zero.

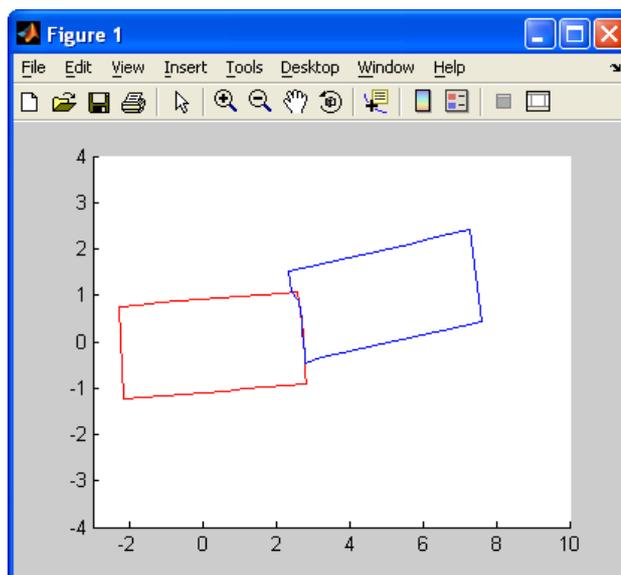


Figura 22 – Posição e Deformação Final - Colisão traseira oblíqua (10°).

O tempo real, gerado pelo MATLAB, para que esta colisão fosse levada a cabo até o instante em que a taxa de deformação fosse igual a zero foi 0.1596 s.

4.4.4.

Colisão traseira oblíqua a 10° – Veículo da frente a 5 km/h

De acordo com o exposto no item 4.4.3 do presente trabalho, devem ser realizadas as modificações na estrutura do veículo 2 mostradas na Tabela 11. Observa-se que as constantes de rigidez não foram alteradas porque os respectivos valores para as regiões frontal, lateral e traseira são iguais.

distância do centro de massa a traseira	2 m
distância do centro de massa a dianteira	3 m
cte de amortecimento para região frontal	4.178e4 Ns/m x10 ⁴
cte de amortecimento para região traseira	5.946e4 Ns/m x10 ⁴

Tabela 11 – Mudanças nos dados estruturais do Veículo 2 – Colisão a 10° Veículo azul a 5 km/h.

A Figura 23 ilustra o tipo de colisão e as posições relativas dos veículos antes do choque. Na Tabela 12 são mostrados as velocidades, as posições e as atitudes dos veículos antes da colisão.

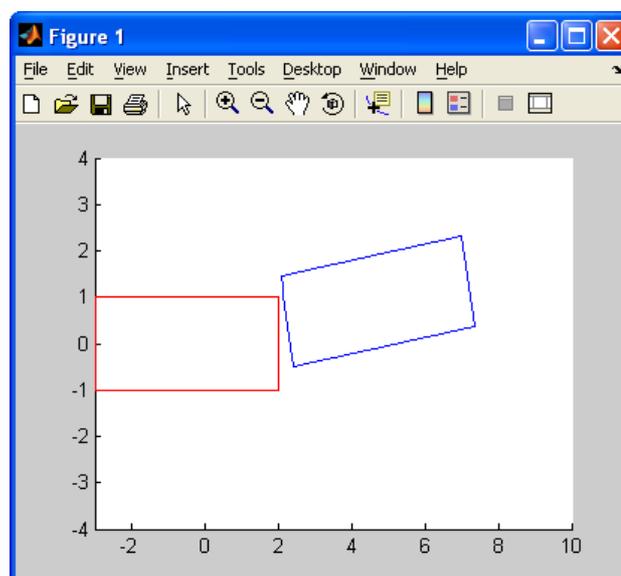


Figura 23 – Posição Inicial dos Veículos - Colisão traseira oblíqua a 10° – Veículo azul a 5 km/h.

	veículo 1	veículo 2
velocidade	6,705 m/s = 24,138 km/h	-1,39 m/s = -5 km/h
abscissa do centro de massa	0 m	5.2 m
ordenada do centro de massa	0 m	1 m
atitude	0 rad	3,32 rad = 190°

Tabela 12 – Velocidades, posições e atitudes dos veículos antes do choque – Colisão Traseira Oblíqua a 10° com veículo da frente a 5 km/h.

A Tabela 13 mostra as velocidades, as posições e as atitudes dos veículos após o choque.

	veículo 1	veículo 2
X da velocidade	3.9551 m/s	-3.9158 m/s
Y da velocidade	-0.5810 m/s	-0.2413 m/s
abscissa do centro de massa	0.78093 m	5.5533 m
ordenada do centro de massa	-0.032136 m	1.078 m
atitude	0.038318 rad	3.3006 rad

Tabela 13 – Velocidades, posições e atitudes dos veículos pós-choque – Colisão Traseira Oblíqua a 10° com veículo da frente a 5 km/h.

A Figura 24 ilustra as posições e deformações finais dos veículos pós-choque, no instante em que a taxa de deformação se iguala a zero.

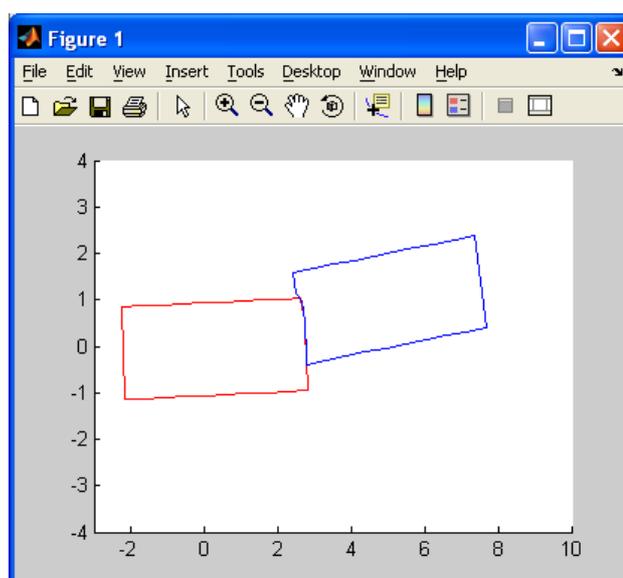


Figura 24 – Posição e Deformação Final - Colisão traseira oblíqua a 10° - Veículo azul a 5 km/h.

O tempo real, gerado pelo MATLAB, para que esta colisão fosse levada a cabo até o instante em que a taxa de deformação fosse igual a zero foi 0,1448 s.

As Tabela 14 mostra a posição de todos os pontos discretizados dos veículos 1 e 2. O objetivo desta tabela é mostrar a posição pós-choque dos pontos nas áreas colididas dos veículos. Estes pontos serão necessários quando for utilizada a função de avaliação do AG baseada nas áreas colididas dos veículos.

	Frontal OffSet				Frontal Oblíqua 170°				Traseira Oblíqua 10° Veículo 2 estático				Traseira Oblíqua 10° Veículo 2 a 5km/h			
	Veículo 1		Veículo 2		Veículo 1		Veículo 2		Veículo 1		Veículo 2		Veículo 1		Veículo 2	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
1	1,67	-1	1,77	-1	1,81	-0,71	1,83	-1,03	2	-1	3	-1	2	-1	3	-1
2	1,72	-0,77	1,81	-0,78	1,85	-0,49	1,81	-0,81	2	-0,78	3	-0,78	2	-0,78	3	-0,78
3	1,76	-0,55	1,85	-0,56	1,88	-0,27	1,8	-0,59	2	-0,56	3	-0,56	2	-0,56	3	-0,56
4	1,79	-0,33	1,89	-0,33	1,91	-0,07	1,78	-0,36	1,99	-0,33	2,85	-0,34	2	-0,33	2,89	-0,35
5	1,84	-0,11	1,93	-0,11	1,93	0,13	1,77	-0,14	1,99	-0,11	2,84	-0,12	1,99	-0,11	2,88	-0,12
6	1,9	0,12	1,96	0,11	1,95	0,31	1,76	0,08	1,98	0,11	2,84	0,11	1,98	0,11	2,88	0,1
7	2,01	0,34	1,99	0,33	1,97	0,5	1,76	0,3	1,97	0,33	2,86	0,34	1,98	0,33	2,89	0,33
8	2,01	0,56	2	0,56	1,99	0,69	1,91	0,54	1,96	0,54	2,88	0,57	1,97	0,54	2,91	0,56
9	2	0,78	2	0,78	2	0,81	1,98	0,78	1,92	0,77	2,9	0,8	1,93	0,77	2,93	0,79
10	2	1	2	1	2	1	2	1	1,88	0,99	2,92	1,03	1,89	0,99	2,96	1,02
11	1,44	1	1,44	1	1,44	1	1,44	1	1,44	1	2,44	1	1,44	1	2,44	1
12	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	0,89	1	1,89	1	0,89	1	1,89	1
13	0,33	1	0,33	1	0,33	1	0,33	1	0,33	1	1,33	1	0,33	1	1,33	1
14	-0,22	1	-0,22	1	-0,22	1	-0,22	1	-0,22	1	0,78	1	-0,22	1	0,78	1
15	-0,78	1	-0,78	1	-0,78	1	-0,78	1	-0,78	1	0,22	1	-0,78	1	0,22	1
16	-1,33	1	-1,33	1	-1,33	1	-1,33	1	-1,33	1	-0,33	1	-1,33	1	-0,33	1
17	-1,89	1	-1,89	1	-1,89	1	-1,89	1	-1,89	1	-0,89	1	-1,89	1	-0,89	1
18	-2,44	1	-2,44	1	-2,44	1	-2,44	1	-2,44	1	-1,44	1	-2,44	1	-1,44	1
19	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1	-3	1	-2	1	-3	1	-2	1
20	-3	-1	-3	-1	-3	-1	-3	-1	-3	-1	-2	1	-3	-1	-2	-1
21	-2,44	-1	-2,44	-1	-2,44	-1	-2,44	-1	-2,44	-1	-1,44	-1	-2,44	-1	-1,44	-1
22	-1,89	-1	-1,89	-1	-1,89	-1	-1,89	-1	-1,89	-1	-0,89	-1	-1,89	-1	-0,89	-1
23	-1,33	-1	-1,33	-1	-1,33	-1	-1,33	-1	-1,33	-1	-0,33	-1	-1,33	-1	-0,33	-1
24	-0,78	-1	-0,78	-1	-0,78	-1	-0,78	-1	-0,78	-1	0,22	-1	-0,78	-1	0,22	-1
25	-0,22	-1	-0,22	-1	-0,22	-1	-0,22	-1	-0,22	-1	0,78	-1	-0,22	-1	0,78	-1
26	0,33	-1	0,33	-1	0,33	-1	0,33	-1	0,33	-1	1,33	-1	0,33	-1	1,33	-1
27	0,89	-1	0,89	-1	0,89	-1	0,89	-1	0,89	-1	1,89	-1	0,89	-1	1,89	-1
28	1,44	-1	1,44	-1	1,44	-1	1,44	-1	1,44	-1	2,44	-1	1,44	-1	2,44	-1

Tabela 14 – Posições dos pontos discretizados dos veículos pós-choque.