

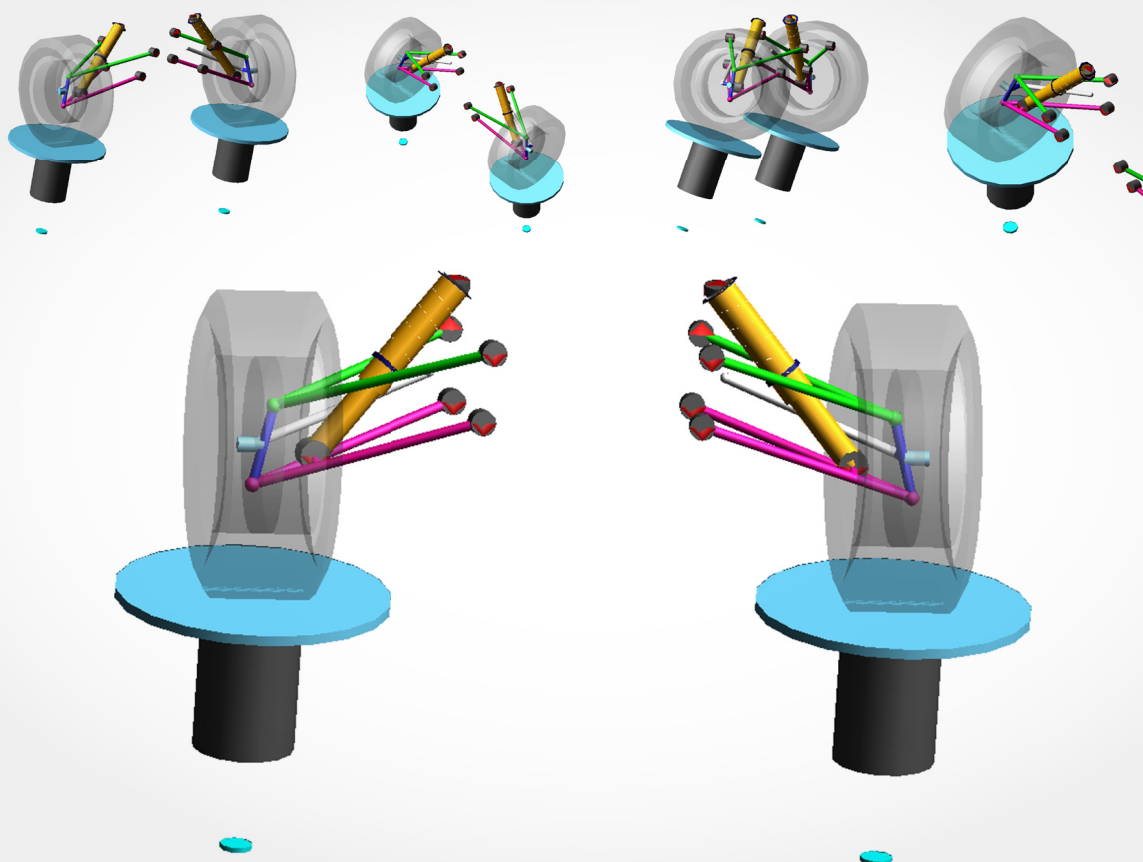
organizadoras

Rita de Cássia Silva

Maria Alzira A. Nunes

# MSC ADAMS<sup>®</sup>

Guia prático de utilização





**Maria Alzira de Araújo Nunes**

**Rita de Cássia Silva**

**MSC ADAMS:  
GUIA PRÁTICO DE UTILIZAÇÃO**

**Blucher**

## MSC ADAMS: guia prático de utilização

© 2014 Maria Alzira de Araújo Nunes e Rita de Cássia Silva

Editora Edgard Blücher Ltda.

MSC ADAMS® é marca registrada da MSC Software Corporation.

# 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.

Todo conteúdo, exceto quando houver ressalva, é  
publicado sob a licença Creative Commons.

Atribuição CC - BY - NC 4.0

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>

Todos os direitos reservados pela Editora  
Edgard Blücher Ltda.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Nunes, Maria Alzira de Araújo

MSC Adams: guia prático de utilização / Maria

Alzira de Araújo Nunes, Rita de Cássia Silva. – São  
Paulo: Blucher, 2014.

Bibliografia

ISBN 978-85-8039-094-0

1. MSC Adams (Programas de computador) –  
guias e manuais 2. Engenharia 3. Método dos  
elementos finitos – Processamento de dados 4.  
Engenharia de estruturas – Processamento de  
dados I. Título II. Silva, Rita de Cássia

14-0624

CDD 624.171

Índice para catálogo sistemático:

1. Engenharia de estruturas – Processamento de  
dados

# Sobre as autoras

**Maria Alzira de Araújo Nunes** é Engenheira Mecânica, MSc e Dr. pela Universidade Federal de Uberlândia na área de Mecânica dos Sólidos e Vibrações. Possui experiência na indústria e como consultora. Atualmente é professora na Faculdade UnB Gama (FGA) da Universidade de Brasília (UnB) no curso de Engenharia Automotiva e professora orientadora do programa de pós-graduação stricto-sensu em Integridade de Materiais da Engenharia da FGA-UnB. Desenvolve trabalhos de pesquisa e consultoria na área de dinâmica multicorpos com ênfase em automotiva, vibrações e acústica industrial e ambiental.

**Rita de Cássia Silva** é Engenheira Civil, M. S. e Dr. Ing. pela École Nationale des Ponts et Chaussées na área de Mecânica dos Sólidos e Confiabilidade Estrutural. É professora da Faculdade UnB Gama – Universidade de Brasília na área de Engenharia Automotiva. Atualmente, desenvolve trabalhos de pesquisa, juntamente com estudantes de graduação e pós-graduação, nas áreas de confiabilidade estrutural e dinâmica multicorpos com ênfase em automotiva, sendo desenvolvidos trabalhos de consultoria nesta última.

Colaboraram nesta edição: Guilherme Caetano Peron (estudante de Engenharia Eletrônica), Guilherme Oliveira Andrade (estudante de Engenharia Automotiva), Lucas Lopes de Souza (estudante de Engenharia Automotiva).



# PREFÁCIO

O desenvolvimento de protótipos envolve avaliações estáticas, cinemáticas e dinâmicas de sistemas mecânicos, as quais são atividades comuns aos engenheiros e estudantes de engenharia.

Geralmente, ao projetar um sistema mecânico, o modelo virtual desenvolvido em um software de simulação qualquer, deve ser capaz de representar, o mais próximo possível, o funcionamento real desse sistema. Em seguida, a partir de simulações, o profissional ou estudante obterá resultados sobre esforços, tensões, deformações, além de informações referentes à cinemática e à dinâmica de funcionamento do sistema. Esse conjunto de resultados será crucial na tomada de decisão do projetista, no que tange à manutenção ou à modificação do projeto.

Nesse contexto, o presente Guia tem por objetivo apresentar, de forma simplificada e ilustrada, uma ferramenta computacional, que atende engenheiros e estudantes de engenharia em uma das três fases de desenvolvimento de um produto, ou seja, o *Computer Aided Engineering* (CAE). O software MSC ADAMS (*Advanced Dynamic Analysis of Mechanical Systems*), da MSC, permite que sejam realizadas simulações voltadas ao estudo da estática, da cinemática e da dinâmica de sistemas multicorpos, de modo a permitir a otimização de projetos nos aspectos de desempenho, segurança e conforto, sem que vários modelos físicos precisem ser construídos e testados.

O MSC ADAMS é um sistema modular que permite usar *plug-ins* conforme necessidade dos usuários. Assim, nesta obra, serão tratados o ADAMS/Car, ADAMS/View e o ADAMS/PostProcessor, sendo que o ADAMS/View é o pré-processador padrão da MSC ADAMS. A sistemática de apresentação dos módulos se baseia na construção de modelos reais, os quais contextualizam a apresentação da *interface* do software. Contudo, ao longo da metodologia de construção, quadros explicativos podem trazer: conceituação de variáveis tratadas, formulação que rege o fenômeno de funcionamento do mecanismo ou uma análise de resultado obtida no ADAMS/PostProcessor.

A apresentação do módulo ADAMS/Car baseia-se na construção das suspensões *MacPherson* e *Duplo A*, seguida da forma de obtenção de gráficos que permitam a análise da geometria adotada, por exemplo, segundo a *interface* gráfica padrão gerada no ADAMS/PostProcessor. Quanto ao ADAMS/View a abordagem será feita a partir da apresentação de tutoriais de mecanismos típicos da engenharia: pêndulo simples, pêndulo físico, came e mecanismo de comando de válvula (*valvetrain*).

Os autores salientam que o conteúdo do livro foi desenvolvido na plataforma *MD R3*, utilizando-se a interface clássica (*Classic interface*). Tal fato, no entanto, não configura um limitante para os usuários do ADAMS 2012, visto que é possível alterar o modo de visualização da interface e, assim, executar o conteúdo proposto na obra.

Os autores da obra acreditam que esta será de grande valia para engenheiros e estudantes de engenharia que queiram começar a trabalhar com essa ferramenta, no desenvolvimento de projetos.

*As autoras*

# INTRODUÇÃO

A proposta da presente obra é fornecer aos estudantes de Engenharia Automotiva, Engenharia Mecânica e áreas correlatas; um material didático em forma de tutoriais, baseado no estudo da cinemática e da dinâmica multicorpos de modelos virtuais aplicáveis à área da Engenharia. Neste sentido, a obra lança mão de uma ferramenta computacional aplicável especificamente em estudos dessa natureza denominada: MSC ADAMS®. Este software possui vários módulos (*plug ins*), contudo, para construção e análise dos protótipos virtuais propostos nesta obra será dada ênfase aos recursos oferecidos pelos módulos ADAMS/Car, ADAMS/View e ADAMS/PostProcessor. Levando-se em conta estes aspectos, justifica-se o título escolhido: *MSC ADAMS: Guia prático de utilização*.

Cabe ressaltar que o conteúdo deste livro foi desenvolvido na plataforma MD-R3, utilizando a interface clássica (*Classic interface*), o que permite a execução dos exemplos aqui descritos nas demais versões do software, mesmo as mais atuais. Neste sentido, torna-se necessária apenas, a alteração do modo de visualização da interface, o que é, no caso, aplicável ao usuário que utiliza o ADAMS 2012.

O livro se divide em seis capítulos. O primeiro traz uma apresentação geral do software e, em seguida, dos três módulos a serem utilizados. O segundo e terceiro capítulos trazem a aplicação do módulo ADAMS/View no estudo do MHS

(Movimento Harmônico Simples), por meio do desenvolvimento e da análise de pêndulos simples e físico, bem como de mecanismos aplicados à área automotiva, como a came e o *valvetrain*, respectivamente.

O quarto e quinto capítulos são dedicados ao desenvolvimento e à análise de suspensões independentes, do tipo *MacPherson* e *Duplo A*. Nesse contexto, os recursos do módulo ADAMS/Car serão utilizados.

O sexto capítulo aborda aspectos referentes ao intercâmbio de informações entre duas das fases de desenvolvimento de um produto, ou seja, CAD (CATIA®) e CAE (MSC ADAMS®).

O leitor perceberá que, ao longo da obra, os autores inserem quadros denominados *A notar*, que trazem esclarecimentos teóricos ou mesmo técnicos a respeito de um determinado assunto. Sendo assim, os autores consideram que este seja um diferencial deste texto, não o colocando como um simples manual de utilização de um software.



# CONTEÚDO

<b>1</b>	MSC ADAMS: aspectos gerais . . . . .	11
<b>2</b>	Módulo ADAMS/View aplicado ao estudo do MHS . . . . .	75
<b>3</b>	Módulo ADAMS/View com aplicação em mecanismos automotivos . . . . .	117
<b>4</b>	Módulo ADAMS/Car aplicado ao desenvolvimento de uma suspensão automotiva do tipo Macpherson . . . . .	229
<b>5</b>	Desenvolvimento de uma suspensão automotiva do tipo Duplo A: aplicação do módulo ADAMS/Car . . . . .	351
<b>6</b>	Importação de geometrias CAD no módulo ADAMS/Car . . . . .	475
	Apêndice – Como copiar e executar tarefas com um arquivo .cdb (ADAMS/Car) em seu computador . . . . .	493
	Referências . . . . .	497



# MSC ADAMS: Aspectos Gerais

## 1.1. Sobre o MSC ADAMS

Historicamente, a tecnologia existente no ADAMS foi implementada há mais de 30 anos. Originalmente, o software era denominado ADAMS/Solver, que era um aplicativo que resolvia equações não lineares a partir de arquivos tipo texto “.txt” que eram submetidos ao, então, ADAMS/Solver.

Nos anos 1990, com a chegada do ADAMS/View, os usuários passaram a ser capazes de construir, simular e gerar resultados para análise de um produto em um ambiente relativamente simples. Hoje, o ADAMS se apresenta como um sistema modular com diferentes *plug-ins* que se atendem às diferentes necessidades do usuário.

Seu contexto de utilização se justifica, uma vez que softwares CAD (*Computer Aided Design*) podem auxiliar apenas na avaliação de interferências entre peças, análise estática, avaliações de cinemática básica e de frequência de vibração. O MEF (Método dos Elementos Finitos) é eficiente para o estudo de vibrações lineares

e transientes dinâmicos, mas não atende eficazmente a análises que envolvam grandes rotações, movimentos não lineares não infinitesimais de sistemas mecânicos.

O ADAMS, como uma ferramenta CAE (*Computer Aided Engineering*), é um software de análise cinemática e de dinâmica multicorpos, muito utilizado no domínio da Engenharia. Seu objetivo é auxiliar seus usuários no estudo da cinemática e dinâmica de mecanismos complexos, assim como na determinação da distribuição de esforços, gerada mediante a ação de um determinado sistema de força e sob determinadas condições de funcionamento.

Assim como outros softwares, o ADAMS vem ao longo dos anos sofrendo atualizações de suas versões de modo a deixar a interface mais amigável e interativa, bem como a adição de novos módulos (ou *plug-ins*). O conteúdo deste livro foi desenvolvido na plataforma MD R3, utilizando a interface clássica (*Classic interface*), o que permite a execução dos exemplos aqui descritos nas demais versões do software, mesmo as mais atuais. Neste sentido, torna-se necessária apenas, a alteração do modo de visualização da interface. Por exemplo, para o usuário que utiliza o ADAMS 2012, acesse o menu *Settings* → *Interface Style* → *Classic*.

*A notar: As raízes da dinâmica de multicorpos data de antes da Mecânica Analítica que teve início com os Princípios de Newton, Euler aplicado a corpos rígidos e a Mecânica Analítica de Lagrange. Importantes contribuições à dinâmica multicorpos são identificadas nos trabalhos de D'Alembert, em seu Tratado da Dinâmica (Traité de Dynamique), Jourdain em sua analogia ao Princípio de Gauss, entre outros.*

*O estudo da dinâmica multicorpos ganhou força no século XX com as teorias do giroscópio e do mecanismo de Wittenbauer. No meio deste século, o estudo de aeronaves e da biomecânica impulsionou mais ainda a área. O fundamento da dinâmica multicorpos no ramo da Mecânica está em modelar o comportamento dinâmico de um sistema de corpos rígidos ou flexíveis interconectados, sendo que cada um dos corpos pode sofrer grandes translações e rotações. Neste sentido, o sistema mecânico original deve ser modelado utilizando elementos pertinentes à aproximação do sistema multicorpos, quais sejam: barras ou superfícies rígidas ou flexíveis, juntas, molas, amortecedores, além de considerar a gravidade e estabelecer a posição e/ou forças atuantes.*

## 1.2. Considerações gerais sobre o módulo ADAMS/Car

O módulo ADAMS/Car destina-se ao desenvolvimento de projetos na área automobilística, atendendo usuários que desejem construir protótipos virtuais de subsistemas veiculares. Entende-se por subsistemas a suspensão dianteira e traseira, sistema de direção, sistema de freios, motor/transmissão e chassi. O veículo completo surgirá com a consideração de todos esses subsistemas juntos. É possí-

vel também, nesse módulo, simular individualmente a suspensão, assim como o veículo completo.

Assim, este tópico tem por objetivo apresentar ao leitor o ambiente do módulo ADAMS/Car. Neste sentido, os itens que se seguem irão mostrar as atribuições/permisões de cada tipo de usuário; arquivos de configuração; a estrutura da base de dados no ADAMS, a hierarquia de dados, como acessar o *Help* do software, além de alguns conceitos básicos.

### 1.2.1. Tipos de usuário e arquivo de configuração

Para desenvolver protótipos no ADAMS/Car, é necessário, primeiramente, recorrer ao arquivo de configuração do módulo e estabelecer o tipo de usuário, tendo em vista as operações que esse módulo irá desempenhar. O arquivo a que se refere é o *.acar.cfg*, que é criado automaticamente para cada usuário pelo ADAMS/Car; e os usuários podem operar em dois modos: como usuário padrão (*Standard User*) ou usuário *expert* (*Expert User*).

```

1 -! ***** ADAMS/Car Private Configuration File
   *****
2 - !-----!
3 - !-----!
4 - ! - List of personal environment variables
5 - !-----!
6 - ! Desired user mode (standard/expert)
7 - ENVIRONMENT MDI_ACAR_USERMODE expert
8 - !-----!
9 - ! - List of personal database directories
10 - ! Database name Path of Database
11 - !-----!
12 - DATABASE private $HOME/private.cdb
13 - ! Example database entry:
14 - !DATABASE proto_2000 /usr/people/joao/prototype.cdb
15 - DEFAULT_WRITE_DB private
16 - !-----!
17 - ! - List of personal tables directories
18 - ! Type class Name of table Extension
19 - !-----!
20 - ! Example table entry:
21 - !TABLE example example.tbl exa
22 - !-----!
23 - ! - List of personal default property files
24 - ! Type class Default property file
25 - !-----!
26 - ! Example property file entry:
27 - !PROPFIL damper <private>/dampers.tbl/myfile.dpr
28 - !-----!
29 - ! - List of personal default testrigs
30 - ! Assembly class Name of testrig
31 - !-----!
32 - ! Example testrig entry:
33 - !TESTRIG suspension __MY_TESTRIG

```

Figura 1.1 – Arquivo *.acar.cfg*

A Figura 1.1 ilustra o formato do arquivo *.acar.cfg*; a escolha do tipo de usuário se dá na linha 7 do arquivo e pode ser alterado usando-se o editor padrão. O usuário *expert* é atribuído àqueles engenheiros que irão construir o protótipo virtual, pois dá acesso a todas as ferramentas de modelagem do ADAMS/Car. Normalmente, esse tipo de usuário tem acesso irrestrito a uma interface do programa com mais recursos, distinta daquela do usuário padrão.

O usuário padrão, por sua vez, poderá operar apenas na *interface* padrão (*Standard Interface*) do ADAMS/Car, sendo atribuído a projetistas e engenheiros de teste. Eles podem usar a biblioteca do ADAMS/Car para trabalhar com subsistemas já criados pelo usuário *expert* e trabalhar com o veículo completo, sendo capazes de unir todos os subsistemas já projetados e acessar o ambiente de simulação padrão.

### 1.2.2. Estrutura da base de dados

Há três tipos de base de dados. A primeira é a *Shared* comum a todos os usuários e constituída por exemplos que são fornecidos pela MSC.Software. O diretório denomina-se *shared\_car\_database.cdb* e o tipo de arquivo armazenado é *template/.tbl*. A segunda é a *Private* área de trabalho do usuário (*workspace*) criado pelo ADAMS/Car no diretório do usuário. Por último, a *User* criada para um usuário específico.

A Figura 1.1 ilustra nas linhas 12 a 14 a especificação de uma base de dados. No caso em questão, linha 12, trata-se da *Private* seguida do endereço da base de dados a ser usada. As linhas 13 e 14 trazem um exemplo de como se pode proceder no preenchimento, veja que, com a exclamação na frente da linha, esta ganha *status* de comentário.

Quanto à manipulação da base de dados, ressalta-se que não há limitação quanto a seu número, recomenda-se que cada projeto tenha a sua base de dados definida pelo usuário *expert* e ao salvar um determinado projeto este só poderá ser salvo em uma base de dados por vez.

### 1.2.3. Hierarquia de construção de um protótipo virtual

O ADAMS/Car possui três níveis de hierarquia na construção de um protótipo virtual de um veículo, o que abrange subsistemas ou o veículo completo. O primeiro deles é o *Template*, que será desenvolvido, segundo item 1.2.2, por apenas um usuário *expert*. No *Template*, são definidas as topologias dos componentes do veículo, ou seja, definições de partes (item 1.2.5.2), como se conectam

entre si, ou seja, graus de liberdade relativos entre as partes por meio da definição de juntas, inserção de buchas.

*A notar: Define-se grau de liberdade como sendo o número de movimentos rígidos possíveis e independentes que um corpo pode executar. Grau de liberdade relativo é o movimento que se estabelece de um corpo em relação ao outro em um sistema de corpos.*

O ambiente de trabalho correspondente a esse usuário é chamado *Template Builder*. Se o MSC.ADAMS tiver várias licenças, o acesso à esta *interface* se dá automaticamente, a partir do momento que se define o papel de cada engenheiro/técnico no processo de desenvolvimento do produto, bem como a base de dados a qual eles terão acesso, conforme os itens 1.2.1 e 1.2.2.

Cabe ressaltar que, uma vez definido como usuário *expert*, ao iniciar-se o ADAMS/Car, esse mesmo usuário tem a possibilidade de trabalhar como usuário *expert* ou padrão, cabe a ele definir no início da seção, conforme será mostrado no Capítulo 2. Em resumo, o usuário *expert* tem direitos amplos podendo, inclusive, atuar como usuário padrão.

O segundo nível de hierarquia é o *Subsystem*. Em termos de construção de um protótipo virtual, este corresponde a um modelo mecânico gerado a partir de um *Template*. A partir do *Subsystem*, algumas soluções técnicas/premissas podem ser efetuadas sem que haja interferência de um usuário *expert*, por exemplo, a mudança de localização de *Hardpoint* ou a alteração das propriedades de uma mola ou mesmo do amortecedor, arquivo de propriedades de buchas.

De maneira geral, o *Subsystem* corresponde a uma etapa específica do *Template*, no qual o usuário pode definir novas posições para os *Hardpoints*, assim como propriedades, ou mesmo criar arquivos editáveis para definição de uma propriedade. O ambiente de trabalho correspondente a esse usuário é chamado *Standard Interface*. Os autores esclarecem que esse nível de hierarquia será denominado, ao longo do texto, como subsistema.

O terceiro nível de hierarquia é o *Assembly*, que corresponde a um conjunto de subsistemas interligados ou um subsistema e um equipamento de teste virtual simples denominado *Test Rig*. O equipamento virtual, no ADAMS/Car, é considerado um subsistema especial e representa a parte do modelo que impõe movimento ao subsistema suspensão, conforme será visto nos Capítulos 4 e 5. O *Assembly* também é desenvolvido no ambiente *Standard Interface*.

O *Test Rig* consiste de um sistema de atuadores virtuais, conforme mostrado na Figura 1.2, que impõe movimento ao sistema, sendo utilizado para testes preliminares no modelo completo, ou seja, todo o veículo, ou ainda, apenas o subsistema suspensão. Na Figura 1.2, o subsistema de direção encontra-se unido ao subsistema de suspensão dianteira, o que permite análises correspondentes à geometria desta (Capítulo 4). Assim, o *Assembly* se define pela união/junção de dois ou mais subsistemas desenvolvidos no ADAMS/Car.

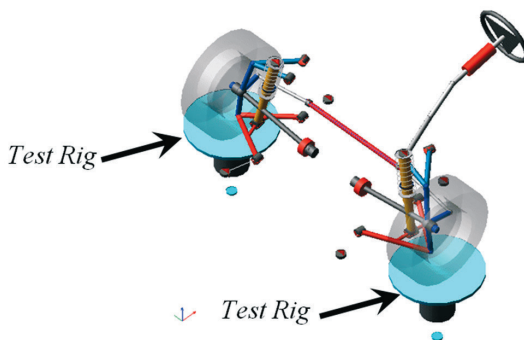


Figura 1.2 – Ilustração do *Test Rig* no ADAMS/Car, juntamente com o subsistema suspensão e direção.  
Fonte: ADAMS/Car Tutorial

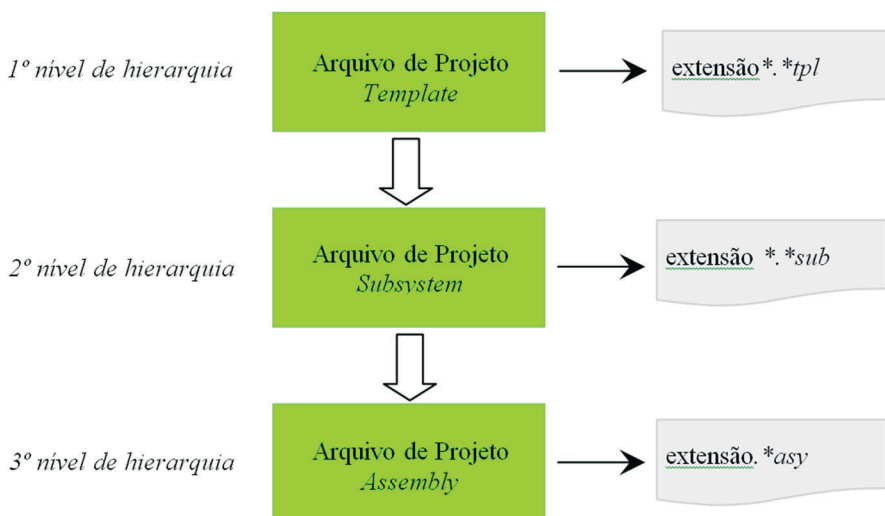


Figura 1.3 – Níveis de hierarquia do ADAMS/Car.



As extensões de arquivo para cada nível de hierarquia são *Template* \*.\*tbl, *Subsystem* \*.\*sub e *Assembly* \*.\*asy. A Figura 1.2 consolida o exposto acima.

*A notar: Cabe salientar que o mais importante na construção de um protótipo virtual é a construção do Template. Isto porque é no Template que se definirá como este se comunica com outros subsistemas e com o Test Rig (Figura 1.2), se for o caso. Em nível de um Template, definir a massa das partes que o compõe, inércia e o sistema de forças atuantes, é tarefa secundária, visto que um usuário padrão pode fazê-lo em seu ambiente. Contudo, é de extrema importância definir a conectividade entre as partes (juntas) e como as informações serão transmitidas de um Template a outro, porque tal não pode ser feito por um usuário padrão.*

#### 1.2.4. Conectividade dos subsistemas no ADAMS/Car

No processo de desenvolvimento de um protótipo virtual no ADAMS/Car, passa-se obrigatoriamente pela criação de *Templates* (item 1.2.5), em seguida, de *Subsystems* para, finalmente, chegar-se ao *Assembly*. Desta forma, a construção do *Assembly* representa o objetivo final no processo, porém, para que este seja válido, devem-se definir alguns parâmetros relativos à construção do *Template* e *Subsystem*.

A Figura 1.4 ilustra a tela de criação de um novo protótipo no ambiente *Template Builder*. A segunda aba da caixa de diálogo *New Template* solicita ao usuário a definição do *Major Role*, que, mediante um clique na seta à direita da referida aba, leva às seguintes opções: *suspension*, *steering*, *antirollbar*, *Wheel*, *body*, *powertrain* etc.

A partir desta tela, observa-se que todo *Template* tem seu *status* definido como *Major* e que os elementos que podem obter tal *status* correspondem aos cinco subsistemas que compõem um veículo, suspensão, direção, *powertrain*, freios e chassi, além da barra antirrolagem, rodas, mola de feixe etc. Cabe ressaltar que o *Subsystem* recebe o *Major Role* especificado na criação do *Template*, ou seja, o *Subsystem* de uma suspensão já tem características reconhecíveis pelo ADAMS/Car nessa categoria.

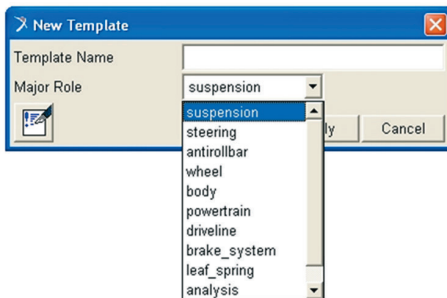


Figura 1.4 – Tela inicial de construção de um *Template* no ADAMS/Car.

Por outro lado, todo *Subsystem* gerado será *Minor Role*, conforme ilustra a Figura 1.5. A caixa de diálogo mostrada indica que este pode ser do tipo *front* (frontal), *rear* (traseiro), *trailer* ou *any*. Note que é necessário especificar o *Template* de origem, o que reafirma o dito aqui. Isto evita que o mesmo *Template*, por exemplo, o da suspensão, seja usado na dianteira e na traseira do veículo.

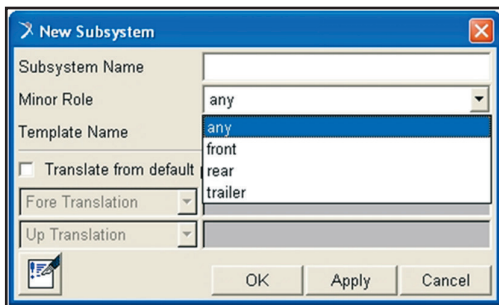


Figura 1.5 – Tela inicial de construção de um *Subsystem* no ADAMS/Car.

Uma vez selecionada a opção referente ao *Minor Role*, esta é armazenada em uma variável do tipo *string*. Essa informação será de grande importância na concepção do *Assembly*, pois ela estabelece como o *Subsystem* será identificado ao ser inserido na construção deste. Assim, se a opção *any* é selecionada na criação do *Subsystem*, este poderá conectar-se em qualquer outro subsistema ativo por meio da identificação de *Communicators* (item 1.2.5.3). As opções *rear* e *front* são mais restritas, ou seja, *Subsystems* selecionados nessas opções só se unem a outros de mesma natureza, assim, *rear* ou *front*.

### 1.2.5. Construindo um *Template*

Conforme dito no item 1.2.4 a criação de um protótipo virtual passa, obrigatoriamente, pela criação de um *Template*. Neste sentido, o presente tópico tem por objetivo apresentar sucintamente informações sobre a criação de *Template*

considerando o processo de parametrização; os componentes que podem formar o *Template* e a função destes no ADAMS/Car.

#### 1.2.5.1. Parametrização no ADAMS/Car

A parametrização é um processo por meio do qual se estabelecem parâmetros e/ou variáveis para a especificação completa de um modelo. No ADAMS/Car, esse recurso está disponível e se mostra bastante útil na construção de modelos virtuais. Isto porque se estabelece uma relação entre os entes que compõem o modelo, na qual, havendo qualquer alteração em seus componentes, esta se repercute a todos os componentes relacionados atualizando o modelo final. Para o projetista, isto representa economia de tempo e esforço na correção ou atualização de modelos.

A parametrização no ADAMS/Car pode ser observada, por exemplo, na construção de *Hardpoint* (item 1.2.5.1) ou *Construction Frame* (item 1.2.5.1.2 e 1.2.5.1.3). De modo geral, no ADAMS/Car pode-se parametrizar a posição e a orientação. No caso da parametrização da posição, as opções disponíveis são: *Delta location from coordinate*; *Centered between coordinates*, *Located on line*, *Location input communicator*, *Located at flexible body node* e *Located along an axis*. Já no caso da orientação o ADAMS/Car oferece dez opções, neste guia serão apresentadas apenas as principais.

Cabe ressaltar que essas opções estão disponíveis para a construção de um *Construction Frame* (*cf*) que será discutido em 1.2.5.1.1 e 1.2.5.1.2. A janela, à direita, mostrada na Figura 1.6, representa a tela geral de criação de um *cf*.

Repare que esta tela, Figura 1.6, pode ser dividida em três áreas. A primeira se refere à identificação do *cf*. A segunda se refere à parametrização da posição no ADAMS/Car, solicitando ao projetista o tipo de relação de dependência (*Location Dependency*). Obviamente, as abas que se seguem nesta área variam de acordo com o tipo selecionado. A terceira e última área traz a parametrização da orientação (*Orientation Dependency*). A seguir, nos itens 1.2.5.1.2 e 1.2.5.1.3, serão apresentadas algumas dessas opções.

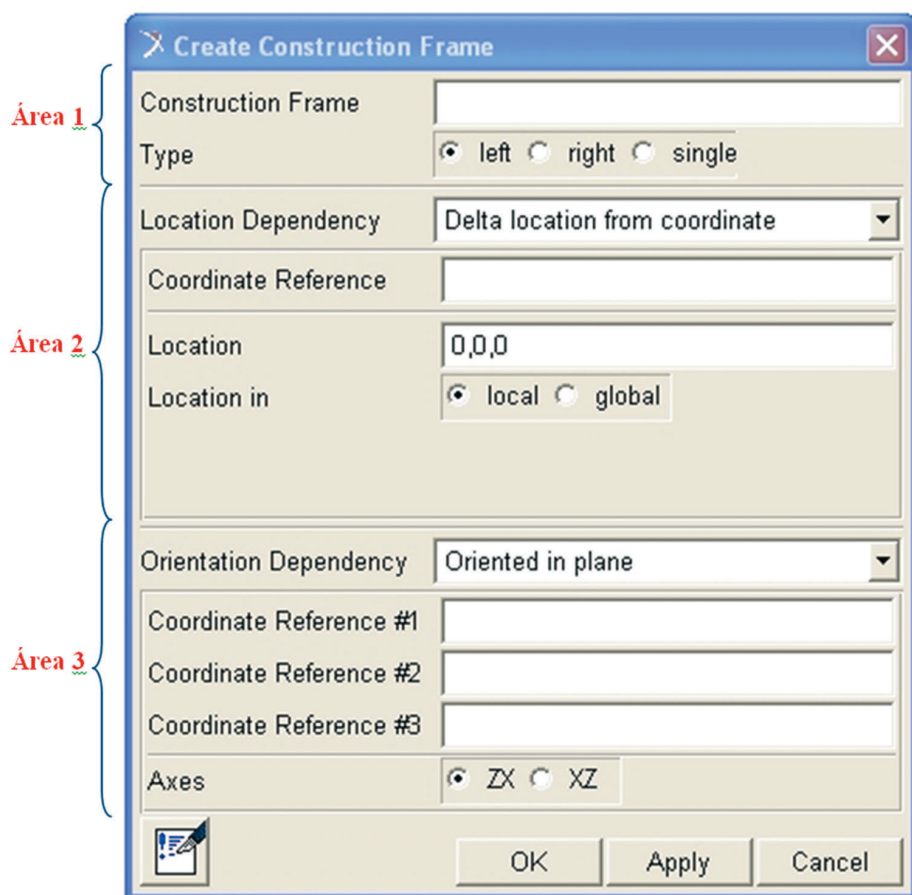


Figura 1.6 – Informações de tela para construção de um *Construction Frame* (cf).

#### 1.2.5.1.1. Parametrização a partir de *Hardpoints*

Os *Hardpoint*, no ADAMS/Car, são entidades básicas que definem a posição dos elementos de construção de um protótipo virtual. Eles são parametrizáveis por suas coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ . A Figura 1.7, a seguir, mostra a janela básica de construção de um *Hardpoint*.

Nesta figura, além da coordenada que dá a posição do elemento, escolhe-se o tipo se de esquerda (*left*), direita (*right*) ou *single* (indiferente à posição direita/esquerda). Nota-se que, quando se escolhe uma das duas posições, automaticamente o *Hardpoint* se cria em dualidade, ou seja, caso se selecione à esquerda espelha-se à direita e vice-versa.

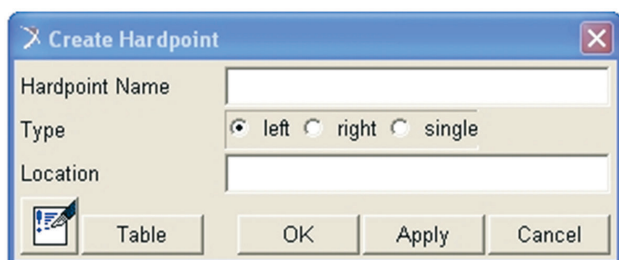


Figura 1.7 – Tela básica de criação de um *Hardpoint*.

#### 1.2.5.1.2. Parametrização da posição relacionada à construção de um *Construction Frame*

##### a) *Delta Location from Coordinate*

Nessa opção, a posição será definida com relação a uma referência pré-definida (*Coordinate Reference*), conforme ilustra a Figura 1.8. Na aba *Location* o preenchimento pode ser feito com um sistema de coordenadas que pode ser local ou global.

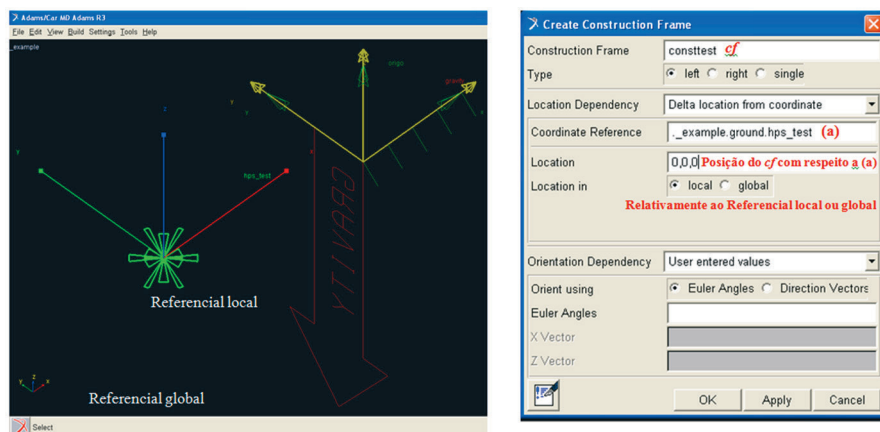


Figura 1.8 – Ilustração da tela referente à criação de um *Construction Frame* com a opção *Delta location from coordinate*.

##### b) *Centered between coordinates*

Selecionando essa opção um *cf* será inserido ao longo de uma linha imaginária que une duas coordenadas denominadas *Coordinate Reference* (#1 e #2), as quais serão definidas pelo projetista, conforme a Figura 1.9.

c) *Located along an axis*

A janela de criação do *cf* possui a seguinte aba *Location Dependency*, que deverá ser preenchida com *Located along an axis*. Neste modelo de criação, a posição do novo *cf* ficará condicionada a outro *cf* dito de referência, o qual possui um sistema de referência local.

A definição do novo *cf* terá sua posição estabelecida a uma determinada distância do eixo local selecionado pelo projetista.

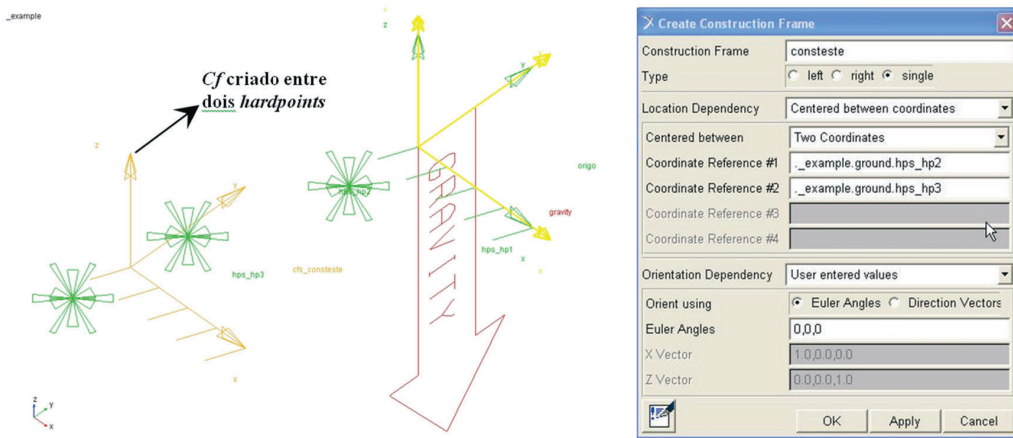


Figura 1.9 – Ilustração da tela referente à criação de um *Construction Frame* com a opção de parametrização de posição *Centered between coordinates*.

d) *Located on a line*

Nesta opção, o novo *cf* será posicionado sobre uma linha que será definida a partir de duas coordenadas fornecidas pelo projetista. Uma barra de rolagem permite que o projetista informe o quão próximo se quer que o novo *cf* se situe da primeira coordenada de referência (*Coordinate Reference #1*).

e) *Location input communicator*

O *cf* criado a partir dessa opção requer a definição de um *Input Communicator* (item 1.2.6). Recomenda-se o uso dessa opção, quando se deseja parametrizar um *cf* com relação a outro *Template*, ou seja, outro protótipo virtual. Cabe ressaltar que ao se montar o respectivo *Assembly*, os *cf* criados dessa forma se conectarão a *Output Communicator* de outro *Template*. Assim, a posição desse novo *cf* está condicionada à forma com que o *Communicator* foi criado.

### 1.2.5.1.3. Parametrização da orientação relacionada à construção de um *cf*

#### a) *Delta orientation from coordinate*

Nesta opção, o *cf* criado tem orientação condicionada a outro *cf* já existente. Assim, deve ser fornecida uma coordenada de orientação usando ângulos de Euler. Tomando como referência o *cf*, a operação oferece uma rotação com relação aos eixos de referência local  $x$ ,  $y$ ,  $z$  de um *cf*.

*A notar:* Os ângulos de Euler foram propostos por Leonard Euler visando descrever a orientação de um corpo rígido em um espaço 3D. Para alterar a orientação de um dado corpo rígido, este deve ser submetido a uma sequência de três rotações descritas pelos ângulos de Euler. Isto equivale a submeter um corpo rígido a uma transformação do tipo rotação simultânea nas três direções, ou independente, ou seja, em etapas. Essas rotações ocorrem em relação a  $x$ ,  $y$  ou  $z$ .

#### b) *Parallel to axis*

Esta modalidade de parametrização de orientação permite que um dos eixos do *cf* de referência seja selecionado para ficar paralelo a um dos eixos do novo *cf* definido pelo projetista.

#### c) *Oriented in plane*

Esta opção solicita três coordenadas ao projetista (*Coordinate Reference #1*, *#2* e *#3*), além da definição de um plano  $zx$  ou  $yz$ . Se a opção selecionada for  $zx$  o novo *cf* terá seu eixo  $z$  (referencial local) situado ao longo de uma reta imaginária formada pela união das duas primeiras coordenadas; enquanto seu eixo  $x$  estará orientado de modo que o plano  $zx$  (referencial local) deste *cf* esteja contido no plano formado pelas três coordenadas, conforme a Figura 1.10.

Caso a opção selecionada seja o plano  $yz$  o eixo  $y$  do novo *cf* estará sobre a reta formada pelas duas primeiras coordenadas, contudo, dessa vez, o plano  $yz$  formado pelo referencial local do *cf* estará contido no plano formado pelas três coordenadas.

#### d) *Oriented axis to point*

Esta opção permite que o projetista oriente um de duas opções de eixos do *cf* construído, da seguinte forma: define-se a coordenada para orientação, que no caso é um *Hardpoint*, e em seguida o eixo para orientação. No caso, pode ser o eixo  $z$  ou  $x$  do *cf*, conforme a Figura 1.11.

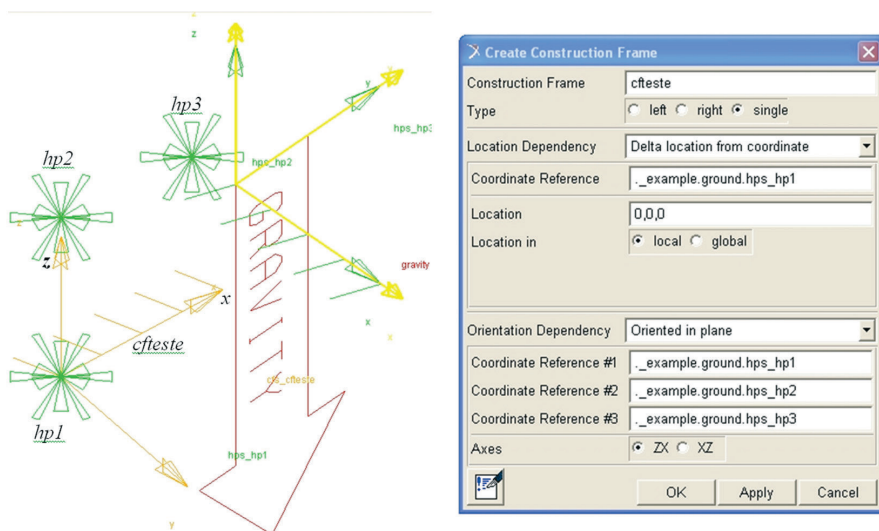


Figura 1.10 – Ilustração da tela referente à criação de um *Construction Frame* com a opção de parametrização de orientação *Oriented in plane*.

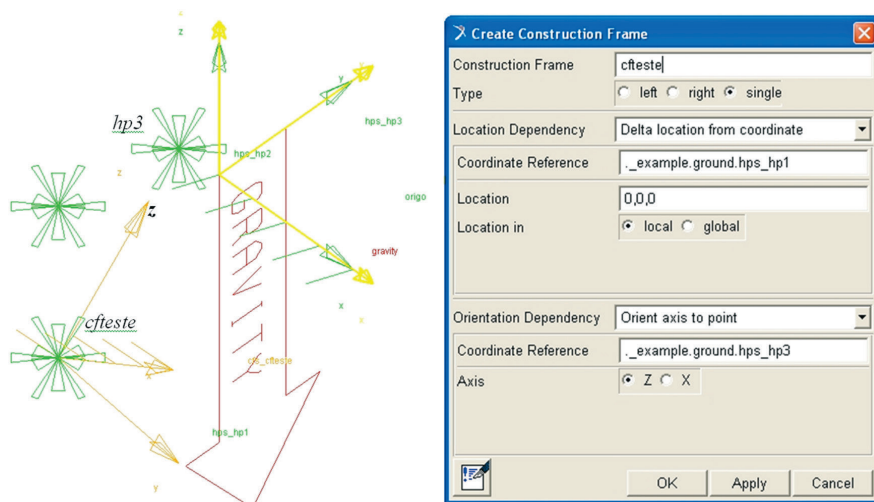


Figura 1.11 – Ilustração da tela referente à criação de um *Construction Frame* com a opção de parametrização de orientação *Orient axis to point*.



e) *Orient to zpoint-xpoint*

Neste caso, o projetista tem a possibilidade de orientar o eixo  $z$  do novo  $cf$  na direção da primeira coordenada fornecida, enquanto o eixo  $x$  orienta-se pela segunda coordenada.

A Figura 1.12 ilustra a tela dessa opção de parametrização de orientação e o resultado em uma janela auxiliar.

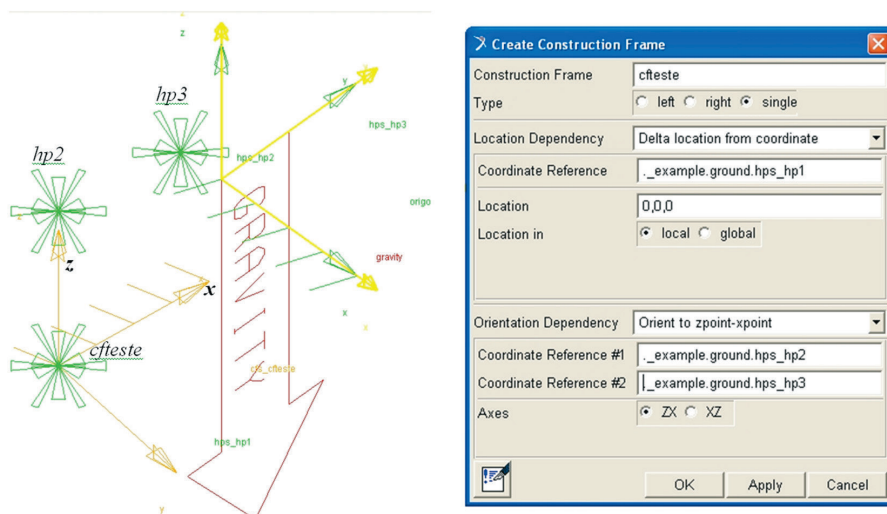


Figura 1.12 – Ilustração da tela referente à criação de um Construction Frame com a opção de parametrização de orientação *Orient to zpoint-xpoint*.

### 1.2.5.2. Construindo partes no ADAMS/Car

Ao começar a construção de um *Template*, o projetista deve decidir pelos elementos mais apropriados para a criação do protótipo virtual; isto inclui a geometria que irá representar uma parte, ou seja, sua topologia/forma.

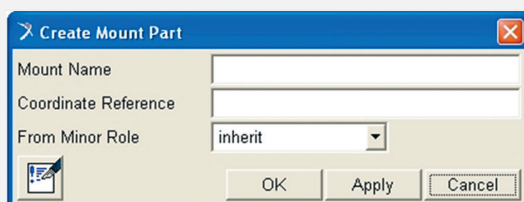
As entidades disponíveis no ADAMS/Car são: *Rigid Bodies*, *Geometry*, *Attachments*, *Springs*, *Dampers*, *Communicators*, *Bumpstops* e *Reboundstops*, além de, finalmente, os *Suspension Parameter Array* (parâmetros de uma suspensão). Os dois últimos serão oportunamente explicados no Capítulo 4.

#### 1.2.5.2.1. Parts e Rigid bodies (corpos rígidos)

As partes ou *Parts* no ADAMS/Car são constituídas por *General Part*, *Flexible Bodies*, *Non Linear Beam*, *Mount* e *Switch*.

**A notar:** Os Mounts são definidos como partes sem massa que funcionam como uma espécie de pseudônimo para outras partes em Templates distintos. Seu uso se justifica como uma forma de substituir (clonar) uma parte real necessária para a criação de juntas (Joints), molas (Spring), contatos (Contacts) e outras. Normalmente, é fixado por default no solo (Ground).

Durante o processo de formação de um Assembly, os Mounts existentes em um dado Subsystem buscam seus correspondentes em outro Subsystem, que normalmente são os Output Communicator (item 1.2.5.3). Sua criação passa pela tela ilustrada a seguir.



As informações demandadas são o nome do Mount (Mount name), a coordenada de referência (Coordinate Reference), onde esse nome será inserido e, informações denominadas from Minor Role que podem ser do tipo inherit, any, front, rear e trailer. Esta última aba define a posição do Mount no assembly. Assim, se a opção any é selecionada na criação deste, no Assembly o ADAMS/Car poderá conectar este Mount em qualquer outro Subsystem ativo por meio da identificação de Communicator (item 1.2.5.3). A opção inherit permite que o Mount herde o Minor Role do Subsystem ao qual ele está se unindo. As opções front e rear são indicadas quando se quer estabelecer papéis (roles) específicos para os mounts que estão sendo criados.

Um corpo rígido no ADAMS/Car não sofre deformações; possui propriedades de massa, inércia, posição inicial definida pelo projetista, orientação e é chamado *General Part*.

É criado por um usuário *expert* no ambiente *Template Builder*, assim, no menu principal, deve-se selecionar a opção *Build* → *Parts* → *General Part* → *New*. Nessa operação, a tela que será exibida encontra-se na Figura 1.13.

Repare que a tela pode ser dividida em quatro áreas. A primeira identifica o *General Part* e dá ao projetista a possibilidade de escolhê-lo como *left*, *right* ou *single*. Os dois primeiros, quando escolhidos, geram entes simétricos, assim, uma vez que se cria um *General Part* à esquerda, automaticamente o da direita é criado e vice-versa; já o terceiro cria uma *General Part* sem simetria, portanto único na coordenada especificada.

A segunda e a terceira áreas seguem o padrão explicado em 1.2.5.1.1 e 1.2.5.1.2, respectivamente, só que ligado à construção de uma *General Part*. A

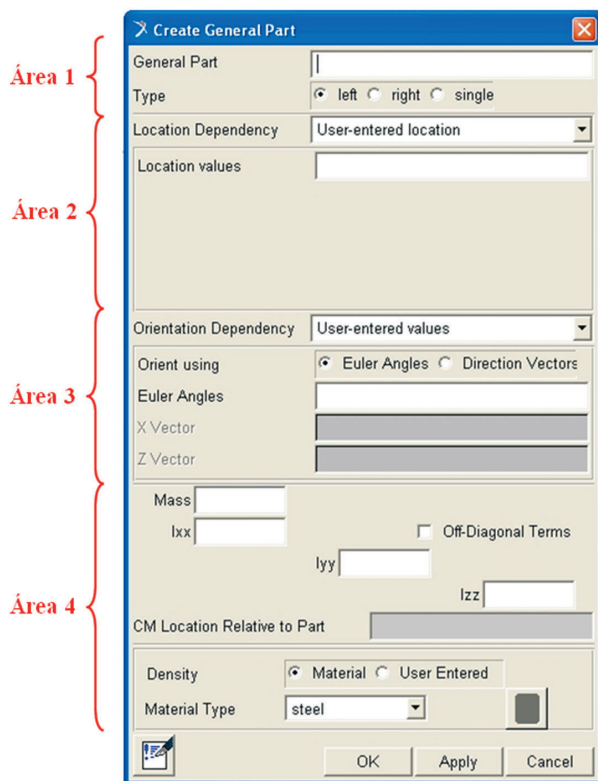


Figura 1.13 – Tela de exibição referente à criação de uma *general part*.

quarta área permite ao projetista definir massa, inércia, densidade do material e tipo do material.

#### 1.2.5.2.2. *Geometry* (geometria)

Uma geometria criada no ADAMS/Car permite a definição de comprimento, raio, largura e espessura tendo como função, apenas, realçar a visualização de uma parte. Na verdade, ela não é necessária para que se faça uma simulação, a parte sim é essencial nesse processo.

As geometrias disponíveis no ADAMS/Car são *Arm*, *Link*, *Cylinder*, *Ellipsoid* e *Outline*. O menu de acesso a essa opção é *Build* → *Geometry* → uma das opções desejadas. Lembrando que esse menu só é acessível no ambiente *Template Builder*.

Na construção de um *Arm*, *Link* e um *Outline* pede-se o *General Part* associado, já para o *Cylinder* solicita-se o *General Part* e o *Construction Frame* associados. Para o *Ellipsoid*, apenas uma coordenada de referência.

### 1.2.5.2.3. Attachments – Joints and Bushings (juntas e buchas)

Estes elementos são aplicados ao modelo virtual a fim de estabelecer como uma parte reage/interage com relação à outra. O acesso se dá pelo menu principal do ambiente *Template Builder*, ou seja, *Build* → *Attachments* → *Joint* ou *Bushing*.

Ao criar uma junta, pedem-se os pontos de fixação entre as partes que interagirão; o tipo (*Type*), se a junta será criada à direita (*right*), à esquerda (*left*) ou de forma não simétrica (*single*); o tipo de junta (*Joint Type*); a aba *Active*, na qual se podem selecionar as opções *always* ou *kinematic mode*, além das áreas de posição e orientação similares ao indicado nos itens 1.2.5.1.2 e 1.2.5.1.3.

A aba *Joint Type* permite a escolha da junta de acordo com a natureza da mobilidade que se quer proporcionar ao modelo virtual. Os tipos disponíveis no

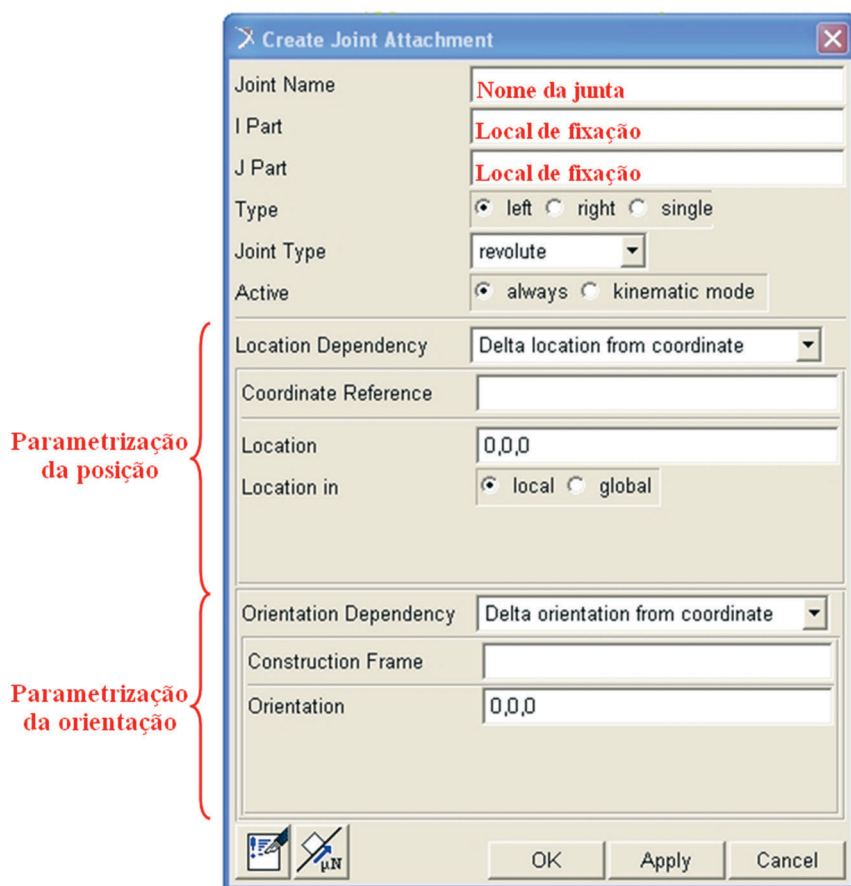


Figura 1.14 – Tela ilustrativa sobre a inserção de juntas.

ADAMS/Car, levando em consideração o número e a natureza de graus de liberdade (gl), são mostrados na Tabela 1.1.

A aba *Active* oferece duas opções de funcionamento. Quando se opta pela opção *kinematic mode*, a interferência da junta no modelo se restringe à análise cinemática; enquanto, a opção *always* terá efeito nas análises cinemática e dinâmica.

A tela de inserção de uma bucha no ADAMS/Car está ilustrada na Figura 1.15. As áreas de posição e orientação permanecem as mesmas mostradas na Figura 1.14. Para sua inserção, pedem-se os pontos de fixação entre as partes que interagirão; o tipo (*Type*), se a bucha for criada à direita (*right*), à esquerda (*left*) ou de forma não simétrica (*single*); a aba *inactive* onde se podem selecionar as opções *never* ou *kinematic mode*, além das abas que definem características de carregamento e geometria.

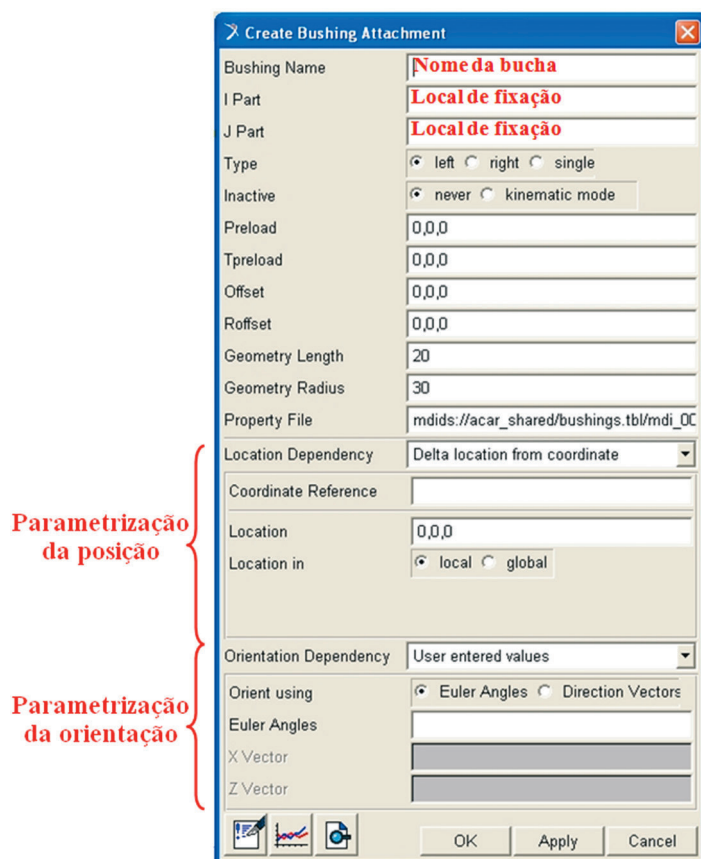


Figura 1.15 – Tela ilustrativa sobre a inserção de buchas.

Na construção de um protótipo virtual, o projetista pode prever, entre duas partes selecionadas, juntas e buchas, no mesmo ponto de conexão. Assim, ambas poderão funcionar, bastando selecionar, coerentemente, as opções disponíveis nos campos *active* para juntas e *inactive* para buchas. Em geral, a alternância de funcionamento depende de ativar-se uma, enquanto a outra se encontra inativa. Assim, pode-se simular cinematicamente e dinamicamente o mesmo modelo. Entretanto, reforça-se que a troca entre junta-bucha em um mesmo modelo só ocorre, se a junta e a bucha foram definidas: ativa e inativa, respectivamente, quando são inseridas no mesmo ponto do modelo.

Normalmente, as juntas são úteis na avaliação do comportamento cinemático do modelo virtual, tornando-se inativas nas análises dinâmicas na presença de buchas. A seguir são mostrados os efeitos das modelagens de buchas e juntas inseridas ou não em um mesmo local do modelo.

<b>Junta</b>	<b>Bucha</b>	<b>Efeito</b>
<i>Active → Kinematic model</i>	<i>Inactive → Kinematic model</i>	<i>Uma junta e uma bucha configuradas desta forma entre duas partes indicam ao ADAMS/Car, que durante a análise cinemática a bucha estará inativa e a junta ativada. Enquanto em uma análise dinâmica o ADAMS/Car deverá substituir a junta pela bucha.</i>
<i>Active → always</i>		<i>Esta configuração define que a junta criada estará sempre ativa nas análises cinemática e dinâmica.</i>
	<i>Inactive → never</i>	<i>Esta configuração define que a bucha criada estará sempre ativa nas análises cinemática e dinâmica.</i>

Tabela 1.1 – Opções de juntas disponíveis no ADAMS/Car

Tipo de junta	Número de gl's disponíveis	Movimento entre as partes
<i>Translational</i>	Um	Movimento de translação de uma parte em relação à outra. Os eixos das partes se mantêm paralelos.
<i>Revolute</i>	Um	Rotação de uma parte em relação à outra ao longo de um eixo comum
<i>Cylindrical</i>	Dois	Translação e rotação de uma parte em relação à outra
<i>Spherical</i>	Três	Três rotações possíveis tendo seccionados pontos coincidentes em cada uma das partes
<i>Planar</i>	Três	O plano $x-y$ de uma parte desliza em relação à outra nas três direções
<i>Fixed</i>	Zero	Sem movimento
<i>Inline</i>	Quatro	Uma translação e três movimentos de rotação de uma parte em relação à outra
<i>Inplane</i>	Cinco	Duas translações e três rotações de uma parte em relação à outra
<i>Orientation</i>	Três	Bloqueia a posição de uma parte em relação à outra deixando os graus de liberdade, referentes à translação, livres
<i>Parallel_axes</i>	Quatro	Permite as três translações e uma rotação de uma parte em relação à outra
<i>Perpendicular</i>	Cinco	Três translações e duas rotações
<i>Convel</i>	Dois	Duas rotações de uma parte em relação à outra, tendo pontos coincidentes nas duas partes, e, ainda, mantendo constante a velocidade
<i>Hooke</i>	Dois	Duas rotações de uma parte em relação à outra, tendo pontos coincidentes em partes distintas

#### 1.2.5.2.4. Springs and Damper (molas e amortecedores)

A tela de criação de uma mola é a mostrada na Figura 1.16. Nela, pede-se o nome a ser atribuído à mola; as partes I e J nas quais a mola irá agir/fixar; as coordenadas I e J que localizam pontos nas partes I e J. Esses pontos podem ser *Hardpoint* ou *Construction Frame*.

A aba Método de Instalação, Figura 1.16, discrimina três possibilidades *Preload*, *Installed Length* e *Use Hardpoint*. A primeira, que dá ao projetista a possibilidade de entrar o carregamento inicial a ser aplicado nas coordenadas dos pontos I e J, pode representar, por exemplo, o peso do veículo em cada uma das rodas. A segunda permite apenas que se considerem as coordenadas dos pontos I e J para o posicionamento da mola e, finalmente, a terceira possibilita a entrada do comprimento da mola, que é igual à distância entre as coordenadas dos pontos I e J.

Características geométricas da mola também podem ser definidas como o diâmetro da mola e o número de espiras (*spring diameter* e *number of coils*). Cabe ressaltar que a inserção de molas e amortecedores no ADAMS/Car equivale à definição de uma força. No ambiente *Template Builder*, escolha, no menu principal, *Build* → *Force* → *Spring*.

A aba *Property File* busca as propriedades da mola, segundo o que está disponível na biblioteca ADAMS/Car. A Figura 1.17 ilustra um arquivo com dados

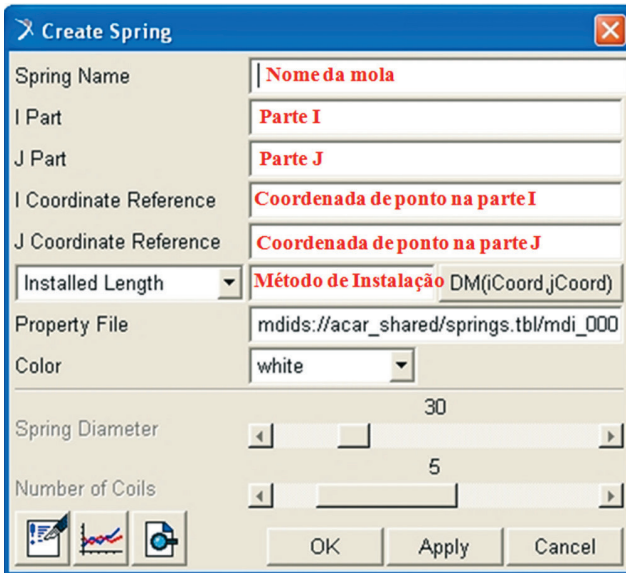


Figura 1.16 – Tela ilustrativa sobre a inserção de molas.



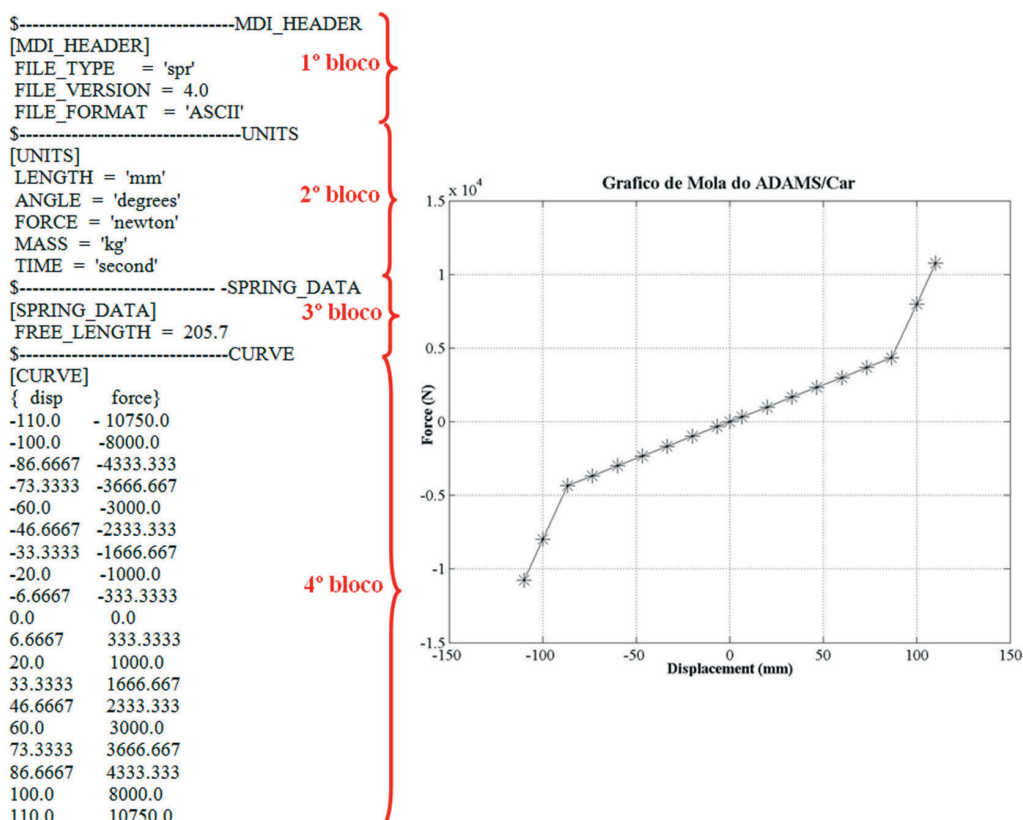


Figura 1.17 – Arquivo das características de mola no ADAMS/Car e seu gráfico.

de uma mola. O primeiro bloco fornece informações sobre o tipo do “rótulo” considerado. O segundo bloco indica as unidades aplicáveis. O terceiro, o comprimento livre entre a 1ª e a última espira da mola, sem levar em conta as extremidades da mola. No quarto bloco, constam os dados de deslocamento e força, da referida mola, ilustrados no gráfico ao lado.

Para a inserção de um amortecedor no ADAMS/Car a tela se assemelha a da mola, obviamente o *Property File* irá buscar, na biblioteca, informações relativas a esse elemento. No ambiente *Template Builder*, escolha no menu principal *Build* → *Force* → *Damper*.

### 1.2.5.3. Communicators no ADAMS/Car

Essas variáveis são responsáveis pela troca de informações entre os diferentes subsistemas que compõem um *Assembly*, como também entre o *Test Rig*

(item 1.2.3). Um *Communicator* pode receber um objeto; uma parte, no caso um *Mount* (item 1.2.5.2.1); uma variável; uma junta; coordenadas de posição ou até mesmo uma mola.

Ao construir um *Assembly*, normalmente, requerem-se informações em duas vias. Neste sentido, os *Communicators* classificam-se em *Input* e *Output*. O *Communicator Input* solicita informações a outros subsistemas e ao *Test Rig*, por exemplo, enquanto o *Communicator Output* fornece informações para outros subsistemas e *Test Rig*.

As principais classes de *Communicators* são: *Mount*; *Marker*; Juntas; Buchas; ou seja, tudo o que é capaz de transferir informação. Um *Communicator* possui um *Minor Role* que abrange as seguintes opções *front*, *rear*, *trailer*, *inherit* e *any*; as funções são semelhantes ao mostrado em 1.2.5.2.1.

Para se criar um *Communicator*, o projetista deverá estar no ambiente *Template Builder* ir ao menu principal opção *Build Communicator* → *Output* ou *Input*. As telas de criação de um *communicator* são mostradas na Figura 1.18.

A aba *Entity* permite a escolha de diversos elementos que poderão receber este *Communicator*, a fim de viabilizar a construção do *Assembly*. Repare que na tela de criação de um *Input communicator* a aba *Minor Role* utiliza a preposição *From*, enquanto a de um *Output* 'To'. Tais definições devem coincidir com o da entidade (*Entity*), que receberá o *Communicator*. A tela de um *Output Communicator* ainda requer os nomes de um *Construction Frame* e de uma *Part*.

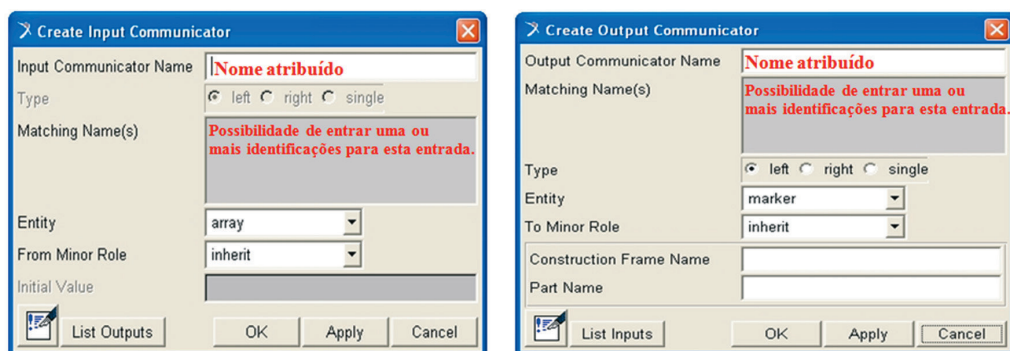


Figura 1.18 – Telas de criação de communicators no ADAMS/Car

### 1.2.6. Nomenclatura de Elementos Construtivos segundo o ADAMS/Car

A convenção dos nomes dos elementos construtivos no ADAMS/Car segue uma nomenclatura própria. Normalmente, a convenção aparece por blocos de le-

tras separados por *underline*. No primeiro bloco, as duas primeiras letras de uma sequência de três se referem ao tipo de elemento e a última a posição com relação a um referencial, ou seja, *r* (*right* – direita); *l* (*left* – esquerda) e *s* (*single* – elemento sem simetria).

Ainda com relação ao primeiro bloco de letras, as duas primeiras identificam o tipo de elemento construído. Assim, no menu principal do ADAMS/Car na aba *Build*, exclusiva do usuário *expert*, encontram-se os elementos que podem ser criados no ambiente. A Tabela 1.2, a seguir, ilustra alguns exemplos.

Tabela 1.2 – Exemplos de nomenclatura de elementos no ADAMS/Car

Nomenclatura ADAMS/Car	Significado do primeiro bloco de letras
gel_arm	General_Part_Left_ ....
hps_lcs_front	Hard_Point_Single_ ...
bkl_mount	Bushing_Kinematic_Left_ ...
nsr_main_spring	Non-linear_Spring_Right_ ...
pvs_toe_angle	ParameterVariable_Visible_Single_ ...

#### 1.2.7. Acessando o *Help* do ADAMS/Car

O acesso ao *Help* do ADAMS/Car é geral, cabendo ao usuário a seleção daquilo sobre o que se deseja informação. Há três formas de acessá-lo pelo menu principal do módulo, e nesse caso, é indiferente se o usuário é padrão ou *expert*; pelo diretório em que o *Help* se encontra instalado, consultando-se assim, os arquivos \*.\*.pdf disponíveis e, por último, pressionando a tecla F1, com o cursor sobre o que se tem dúvida.

Esta última forma de acesso ao *Help* é bastante útil, uma vez que, durante o processo de construção do protótipo, o usuário pode sanar dúvidas de preenchimento de abas, por exemplo, de maneira direta e eficaz.

Alguns links são disponibilizados em sites da própria MSC ADAMS, veja:

<http://support.adams.com/kb>

[http://www.adams.com/mdi/news/dyndim/vol3\\_kbtour.htm](http://www.adams.com/mdi/news/dyndim/vol3_kbtour.htm)

<http://support.adams.com/support/cnsltsrv.html>

<http://support.adams.com/support/suppcent.html>

[http://support.adams.com/support/sla\\_agree.htm](http://support.adams.com/support/sla_agree.htm)

### 1.2.8. Funcionalidades do ADAMS/Car

O ADAMS/Car permite o uso de algumas teclas facilitadoras, as quais são mostradas na Tabela 1.3 que se segue.

Tabela 1.3 – Descrição das teclas de função disponíveis no ADAMS/Car

Teclas	Função da tecla
F1	Aciona o <i>Help</i> do software
F3	Abre uma janela de comando que pode ser editada
F4	Abre uma janela de coordenadas $x,y,z$ que fornece informações sobre qualquer ponto da tela
F8	Abre a janela do ADAMS/PostProcessor tanto para o usuário padrão quanto para o <i>expert</i>
F9	Permite alternância entre os ambientes <i>Template Builder</i> e <i>Standard Interface</i> – possível apenas para o usuário <i>expert</i>
Ctrl+Z	<i>Undo</i> (desfaz um comando dado)
Ctrl+Shift+Z	<i>Redo</i> (refaz um comando anulado)
Ctrl+X	<i>Delete</i> (apaga um elemento selecionado)
Ctrl+D	<i>Deselect all</i> (deseleciona algo selecionado para uma operação)
Esc	Anula a realização de um comando

Algumas funcionalidades encontram-se no próprio mouse, Figura 1.19. Por exemplo, ao apertar o botão direito do mouse sobre a tela do ADAMS/Car, desde que não seja sobre entidades do projeto que se está desenvolvendo, uma série de funções se tornam disponíveis, são elas: vistas do desenho (planas e isométricas); movimentação do desenho por translação ou rotação; visualização por *Zoom*, ajuste dinâmico do desenho em tela pelo *fit*; alteração da aparência de apresentação do desenho por meio de *Wireframe*, *Shaded* e opção de omissão de partes do



Figura 1.19 – Funcionalidades do botão direito do mouse no ADAMS/Car.

Fonte: <http://www.intersolucao.com.br/p/mouse-wireless-microsoft-mobile-1000-reto.html>. Acesso: 22/04/2013

desenho; geração ou não de *grid* e a opção de apresentar ou não a nomenclatura dos elementos construídos (*Toogle Icon Visibility*).

O usuário do ADAMS/Car pode acessar opções do tipo *Pick*, *Browse*, *Guesses* etc. ao pressionar o botão direito do mouse sobre campos a serem preenchidos nas caixas de diálogo do módulo. Essas opções fornecem ao usuário, às vezes, atalhos para construção do modelo. Oportunamente, essa funcionalidade será mostrada ao longo do desenvolvimento dos tutoriais.


### 1.3. Considerações gerais sobre o Módulo ADAMS/View

O módulo ADAMS/View destina-se ao desenvolvimento, além de estudos estático, cinemático e dinâmico de modelos virtuais mecânicos, além de possibilitar o refinamento destes, a partir de resultados de simulações do comportamento, obtidos por meio do ADAMS/Solver ou ADAMS/Postprocessor (item 1.4). A escolha entre os dois ambientes depende do nível de processamento de dados que se deseja, assim, para análise e visualização mais avançadas é recomendado o ADAMS/Postprocessor.

Dessa forma, o presente tópico tem por objetivo apresentar ao leitor, de forma sucinta, o ambiente do módulo ADAMS/View. Para tanto, os itens que se seguem irão apresentar o acesso e a *interface* do software; o processo de construção de *Parts* no ADAMS/View, a criação de corpos rígidos envolvendo geometrias de

construção e sólidos; a inserção de restrições; hierarquia na atribuição de nomes; como salvar modelos virtuais e as principais funcionalidades do ambiente.

### 1.3.1. O acesso a *interface* principal do ADAMS/View

A inicialização do módulo pode ser feita de duas maneiras. A primeira, pela área de trabalho (*Desktop*), onde um duplo clique com o botão esquerdo do mouse sobre o ícone ativa o módulo. A segunda seria pelo menu Iniciar do *Windows* por meio do caminho “Todos os programas” → MSC.Software → MD Adams R3 → AView →  Adams - View.

Acionado o programa, a tela principal de abertura traz a área de trabalho, na qual se desenvolvem os modelos virtuais e, também, uma tela auxiliar, conforme ilustra a Figura 1.20.

Na primeira linha da tela se lê a seguinte questão *How would you like to proceed?* e, em seguida, dá ao usuário quatro alternativas: criar um novo modelo (*Create a new model*); abrir um modelo existente (*Open an existing database*); importar um arquivo (*Import a file*) ou sair do módulo (*Exit*).

A aba *Start in* dá ao usuário a possibilidade de especificar o diretório de trabalho. Assim todos os arquivos gerados na sessão serão armazenados neste local. Cabe ressaltar que ao escolher a opção “abrir um modelo existente”, esta aba servirá para especificar o diretório no qual o modelo será encontrado. A aba *Model name* requer o nome do modelo.

A aba *Gravity* permite ao usuário selecionar a forma como a aceleração da gravidade será considerada. A última aba permite a seleção do sistema de unidades que pode ser escolhido entre: MMKS (comprimento: mm, massa: kg, força: N), MKS (comprimento: m, massa: kg, força: N), CGS (comprimento: cm, massa: g, força: Dina) e IPS (comprimento: polegada, massa: *slug*, força: *poundForce*), além de outros sistemas de unidade disponíveis no software.

A *interface* final do ADAMS/View, após a configuração inicial mostrada na Figura 1.20, é a ilustrada na Figura 1.21.

No item 1.3.1.1, serão mostrados como a alterar os efeitos de cada uma das opções disponíveis para a aba *Gravity*, bem como a forma que o usuário deverá proceder para selecionar novas opções de unidade.

#### 1.3.1.1. Alterando a opção *Gravity* e *Units*

Dentre as opções de alteração da aceleração da gravidade, três possibilidades se apresentam: *Earth Normal*, *No Gravity* e *Other*. A primeira seleciona a gravi-

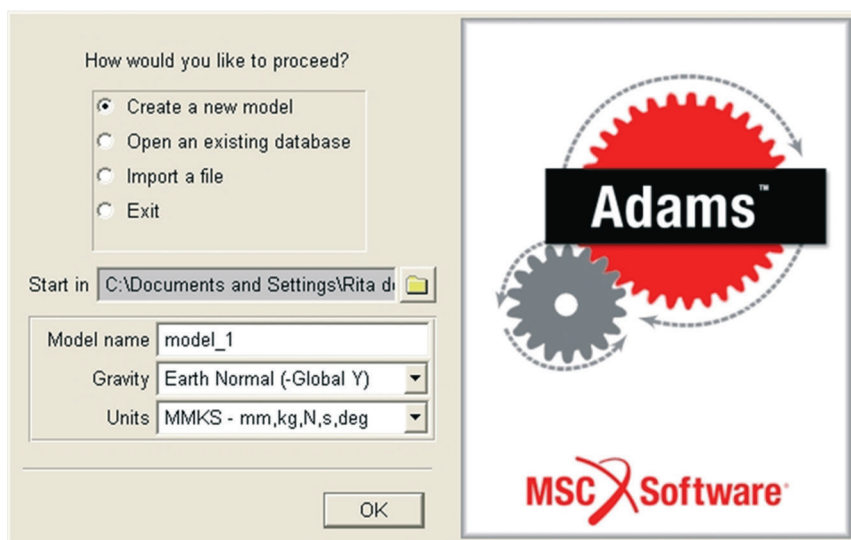


Figura 1.20 – Tela de configuração inicial do ADAMS/View.

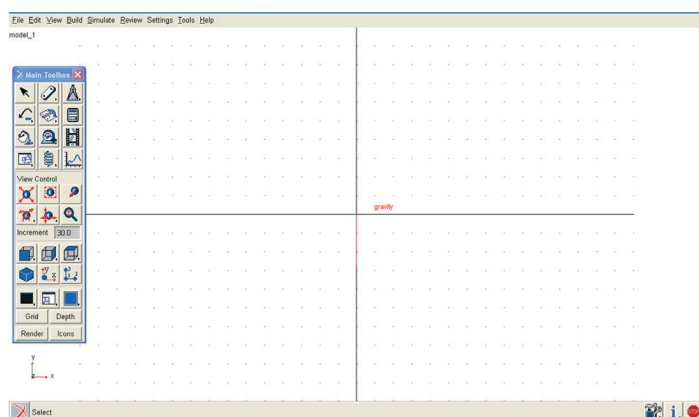


Figura 1.21 – Tela principal de apresentação do ADAMS/View.

dade como sendo igual a 1G e direcionada para baixo. A segunda desativa a força gravitacional que atuará sobre o modelo.

A terceira, por sua vez, permite que o usuário escolha o valor de aceleração que deseja. Nesse momento, ao clicar OK na tela mostrada na Figura 1.20, uma tela auxiliar se abre, conforme Figura 1.22 e, o usuário poderá preenchê-la com o valor desejado, além de escolher o eixo em que essa figura irá atuar. O sistema de coordenadas disponível se refere ao sistema de referência global, e o vetor que

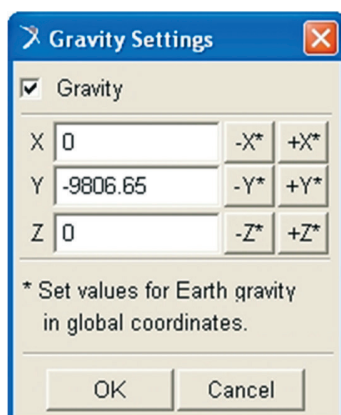


Figura 1.22 – Tela de alteração da orientação e valor da aceleração da gravidade.

representa a força gravitacional poderá estar no sentido positivo ou negativo de cada um dos eixos.

Outra maneira possível de se alterar esse valor é a partir do menu principal do ambiente de trabalho. Seleciona-se a opção *Settings* → *Gravity* e a tela que aparecerá será a mesma da Figura 1.22.

Para selecionar uma unidade de medida diferente das disponíveis na tela mostrada na Figura 1.20, o usuário deverá escolher, no menu principal, a opção *Settings* → *Units*, conforme a Figura 1.23.

Ao ativar a opção do sistema de medidas, que se encontra na parte inferior da janela mostrada na Figura 1.23, nos campos logo acima aparecem as unidades padrão para cada uma das grandezas. Clicando sobre a seta lateral em cada campo, várias opções se apresentam para cada uma delas, então, cabe ao usuário selecionar o que deseja.

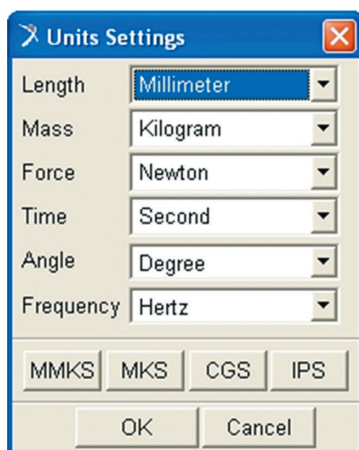


Figura 1.23 – Tela de alteração da unidade a ser adotada no modelo.



### 1.3.1.2. Menu *Main Toolbox*

No canto esquerdo da tela principal do ADAMS/View encontra-se disponível o *Main Toolbox*, Figura 1.21. Nessa área, o usuário irá encontrar as principais opções de criação, edição, seleção e simulação que, normalmente, são utilizadas no módulo para o desenvolvimento de protótipos virtuais.

Essa área será dividida em quatro grupos, conforme mostra a Tabela 1.4, que apresentará, de forma sucinta, as opções disponíveis. Cabe ressaltar que, como no módulo ADAMS/Car, a tecla F1 permite ao usuário obter mais informações sobre funcionalidades do ambiente.

Alguns dos ícones deste menu trazem uma pequena seta na parte inferior à direita. Para ser acionada, o usuário deve clicar com o botão direito do mouse sobre o ícone, o que dará acesso a novas opções. O usuário irá perceber que, ao passar a seta do mouse sobre cada opção, aciona-se uma identificação automática.





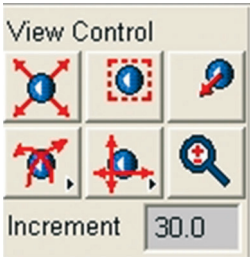
### 1.3.2. Construindo *Parts* no ADAMS/View

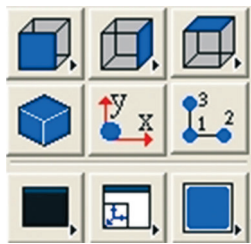
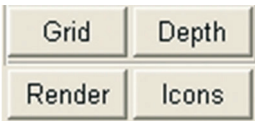
Nesse módulo, é possível identificar três tipos de partes (*Parts*): corpos rígidos (*Rigid Bodies*); corpos flexíveis (*Flexible Bodies*) e pontos de massa (*Point Masses*). Os corpos rígidos são partes que possuem massa e inércia, enquanto os corpos flexíveis, além de possuírem massa e inércia, podem se deformar sob a ação de um sistema de forças externo aplicado. Os pontos de massa são partes que possuem apenas massa. Este Guia abordará apenas, aspectos básicos de criação de corpos rígidos.

*A notar:* Corpos rígidos, de acordo com a Mecânica, são constituídos por número infinito de partículas, ou pontos materiais, que não possuem movimento relativo uma em relação à outra, portanto não se deformam. Contudo, os corpos rígidos podem movimentar-se uns em relação aos outros, o que permite o estudo da Cinemática dos Corpos Rígidos, na qual deslocamentos, velocidade e aceleração podem ser determinados.

Forças externas, assim como as internas, são reconhecidas como forças de interação. Forças de interação externas se estabelecem pelo contato físico direto entre corpos rígidos, normalmente forças de superfície são dadas em unidade de força por unidade de área.

Tabela 1.4 – Descrição dos ícones do menu Main Toolbox

Subdivisão da tela	Funções
	<p style="text-align: center;"><b>1º Grupo</b></p> <p> Este ícone, quando acionado, mostra ícones auxiliares que permitem a inserção de geometrias sólidas (<i>solid geometry</i>); elementos de construção geométrica (<i>construction geometry</i>), ambos relacionadas à construção de corpos rígidos (item 1.3.2.1; elementos booleanos (<i>Booleans</i>) e ferramentas de alteração de forma de corpos rígidos.</p> <p> Este ícone possibilita o usuário escolher as juntas que serão responsáveis por garantir movimentos relativos entre partes, inclusive ground part. Este assunto será mais bem abordado no item 1.3.3.</p> <p> Este ícone denomina-se Interactive Simulation Controls e será abordado no item 1.3.4.</p> <p> Ícone referente à opção Plotting que remete o usuário ao ADAMS/PostProcessor MD ADAMS R3, módulo que será tratado no item 1.4.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>2º Grupo</b></p> <p>Este grupo de ícones permite o controle de visualização da área de trabalho do módulo ADAMS/View. Na primeira linha, da esquerda para a direita, o primeiro ícone permite uma visualização ajustável a uma área ativa. O segundo, uma visualização dinâmica dentro de uma janela especificada pelo usuário. O terceiro, um controle de visualização centralizado em um ponto especificado.</p> <p>Na segunda linha, o primeiro ícone, da esquerda para a direita, dá ao usuário a possibilidade de realizar uma rotação dinâmica 3D, expandindo o menu; a outra opção permite apenas rotação no plano de visualização. O segundo ícone permite a translação dinâmica (mantendo ativo o botão esquerdo do mouse), enquanto o último ícone permite o zoom.</p>

Subdivisão da tela	Funções
	<p><b>3º Grupo</b></p> <p>A primeira linha deste grupo de ícones permite visualizar as vistas frontal/posterior; lateral direita/esquerda e superior/inferior, respectivamente.</p> <p>Na segunda linha, o primeiro ícone permite uma vista isométrica; o segundo estabelece que o plano a ser visualizado pelo usuário será coincidente com o plano 'xy' de um determinado objeto selecionado. O último ícone permite que o usuário escolha três pontos para formação de um plano de visualização.</p> <p>Na última linha deste grupo, o primeiro ícone permite a escolha da cor do fundo da tela. O segundo pode ser expandido apertando-se o botão direito do mouse sobre a seta do ícone. Os ícones auxiliares permitem: a visualização ou não do sistema de coordenadas globais do ambiente; a abertura de uma janela auxiliar para leitura das coordenadas na tela percorridas pelo mouse e uma janela ativa para rotação da área de trabalho no plano de visualização. O terceiro ícone permite a partição da tela em subtelas de acordo com a escolha do usuário.</p>
	<p><b>4º Grupo</b></p> <p>Este grupo permite o acionamento do Grid (gradeamento da área de trabalho), Depth, Renderização (mostra a geometria sólida) e ativação/desativação de Icons.</p>

Há uma peculiaridade no ADAMS/View que é a criação automática de uma parte, denominada *ground part*, no momento em que o usuário cria um modelo virtual. Essa parte não possui massa nem inércia e está sempre em repouso não havendo possibilidade de *atribuir características cinemáticas a ela*.

*A **notar**: O ground part define o referencial global ou sistema de coordenadas global da interface de trabalho, sendo que é a partir dele que os modelos virtuais são criados e são posicionados. O estudo cinemático de um modelo terá como referencial inercial o ground part por default. Normalmente, o que se faz é criar referenciais inerciais auxiliares, mas a atribuição de referencial inercial principal dada ao ground part não pode ser alterada pelo usuário.*

*Ao criar novas partes no ADAMS/View, há sempre um sistema de coordenadas local criado automaticamente, que permite definir seu posicionamento relativamente ao referencial global. Quando se trata de um corpo rígido, normalmente o referencial local se localizará no seu centro de gravidade e durante a avaliação da cinemática desse corpo rígido todas as características serão obtidas a partir desse referencial.*

Para cada parte criada no ADAMS/View, atribuem-se, automaticamente, valores de massa e inércia a partir da densidade e do volume da parte criada. Assim, para alterar ou visualizar características da geometria das massas, com o botão direito do mouse, clique sobre a parte e, em seguida, aparecerá a tela mostrada na Figura 1.24a. Selecione a opção *Modify* e a tela que se apresentará é a mostrada na Figura 1.24b.

Na Figura 1.24b, ao acionar a barra de rolagem da aba *Category* várias opções são mostradas: nome e posição (*Name and Position*), propriedades de massa (*Mass Properties*), condições de posição inicial (*Position Initial Conditions*), condições de velocidade inicial (*Velocity Initial Conditions*) e *ground part*. Cada uma destas opções, quando acionada, atualiza a tela mostrada na Figura 1.24a, de acordo com as informações necessárias, a serem fornecidas pelo usuário.

Com respeito à tela *Modify Body* (Figura 1.24 b), uma das abas a ser preenchida é *Define Mass By*, que apresenta as seguintes opções: entrada de dados por meio do usuário (*User Input*), geometria e densidade (*Geometry and Density*), geometria e tipo de material (*Geometry and Material Type*).

Na primeira opção, o usuário irá fornecer manualmente valores de massa, momento de inércia em torno dos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , além de preencher as opções *Center of Mass Marker* e *Inertia Reference Marker*. Nestes campos, com o botão direito do mouse, o usuário poderá escolher o *Marker* que está associado ao centro de massa e ao referencial inercial.

*A notar: Define-se momento de inércia de área como sendo a integral do produto de um elemento de área,  $dA$ , e o quadrado da distância desse elemento de área a um determinado eixo  $x$  ou  $y$ , no caso de geometrias planas.*

*Matematicamente, o momento de inércia de área assemelha-se ao momento de inércia de massa, porém o significado físico é distinto. Enquanto o primeiro dá uma idéia da rigidez da peça, o segundo se refere à distribuição da massa de um corpo em torno de um eixo de rotação.*

*Os momentos de inércia de áreas planas são dados por:*

$$I_{xx} = \int_A y^2 dA \quad I_{yy} = \int_A x^2 dA$$

*Os momentos de inércia de massa são dados por:*

$$I_{xx} = \sum m(y^2 + z^2) \quad I_{yy} = \sum m(x^2 + z^2) \quad I_{zz} = \sum m(x^2 + y^2)$$

*Centro de massa de um corpo é o ponto no qual toda a massa do corpo está concentrada. O centro de gravidade nasce a partir do momento em que o corpo está sob a influência de um campo gravitacional uniforme.*

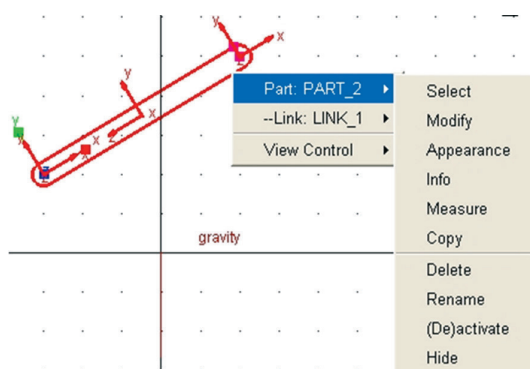
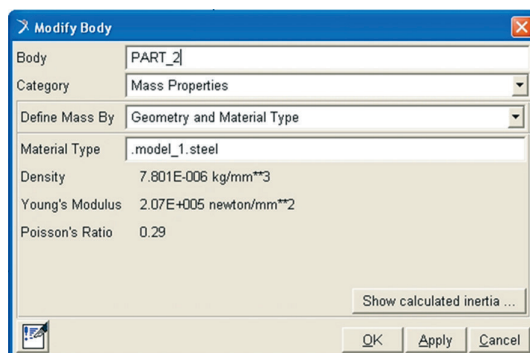


Figura 1.24 – Tela de modificação e visualização de propriedades de massa de uma parte:

(a) abas de acesso com opções aplicáveis a parte selecionada Part:PART\_2;



b) opção Modify.

A opção *Geometry and Density* deixa o usuário entrar com o valor de densidade do material. No canto inferior direito dessa tela, há a opção *Show calculated inertia*. Após escolher o valor da densidade do material, apertando *Apply*, os valores de massa e inércia aparecem para conferência por parte do usuário.

A última opção *Geometry and Material Type* permite que o usuário selecione o material que deseja, com o botão direito do mouse sobre a aba tipo de material (*Material Type*). Para tanto, aparecerá um menu auxiliar, no qual o usuário deverá escolher *Material* → *Browse* e, assim se abre uma tela que o permite escolher o material. Conforme a escolha, os campos densidade (*Density*), módulo de Elasticidade (*Young's Modulus*) e coeficiente de Poisson (*Poisson's Ratio*) serão atualizados. A opção *Show calculated inertia* mostra os valores de massa e inércias atualizados.

### 1.3.2.1. Criação de corpos rígidos no ADAMS/View

No ADAMS/View, existem dois tipos de geometria que podem ser aplicadas na criação de corpos rígidos, são elas: geometrias de construção (*construction geometry*) e a geometria sólida (*solid geometry*), como mostrado na Tabela 1.4. A primeira abrange geometrias que não possuem massa como, por exemplo, pontos (*points*), *markers*, linhas (*lines*), arcos (*arcs*) e *splines*.

A geometria sólida pode ser construída a partir da pré-definição de corpos rígidos como: *links*, cubos (*box*), cilindros (*cylinder*), esferas (*spheres*), tronco de cone (*frustum*), toróide (*torus*), sólido de revolução (*revolution*), placas (*plate*), planos (*plane*).

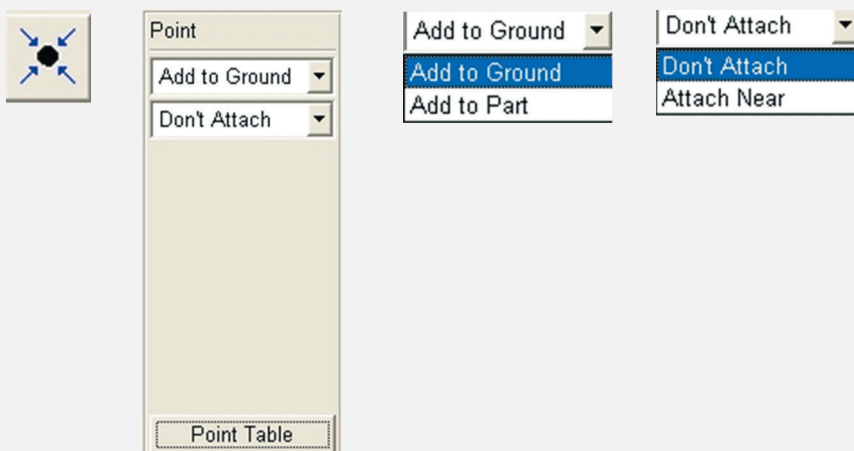
A criação de corpos rígidos exige a criação de geometrias, que podem tanto ser associadas a geometrias existentes como ao *ground part*. Esta escolha depende do usuário, que deve ter em mente a relação entre as geometrias e destas com o *ground part*, ou seja, a configuração do modelo e a cinemática do movimento (graus de liberdade e restrições internas ou externas).

O posicionamento das geometrias de corpo rígido pode ser estabelecido graficamente na tela de trabalho; neste caso ter a opção *Grid* ligada é bastante útil (Tabela 1.4); como também fornecer as coordenadas de posição, relativamente ao referencial global. Os pontos e os *markers* podem ser utilizados para dar o posicionamento de novas geometrias e permitir a parametrização entre elas.

*A notar:* Dentro da categoria das geometrias de construção, o ponto é um elemento que define uma posição qualquer em 3D. Ele permite que se estabeleça uma parametrização ou interdependência entre as geometrias/elementos envolvidos. Isto implica que ao parametrizar uma geometria qualquer a um ponto, mudar este ponto de local acarreta a mudança automática da geometria a ele ligada.

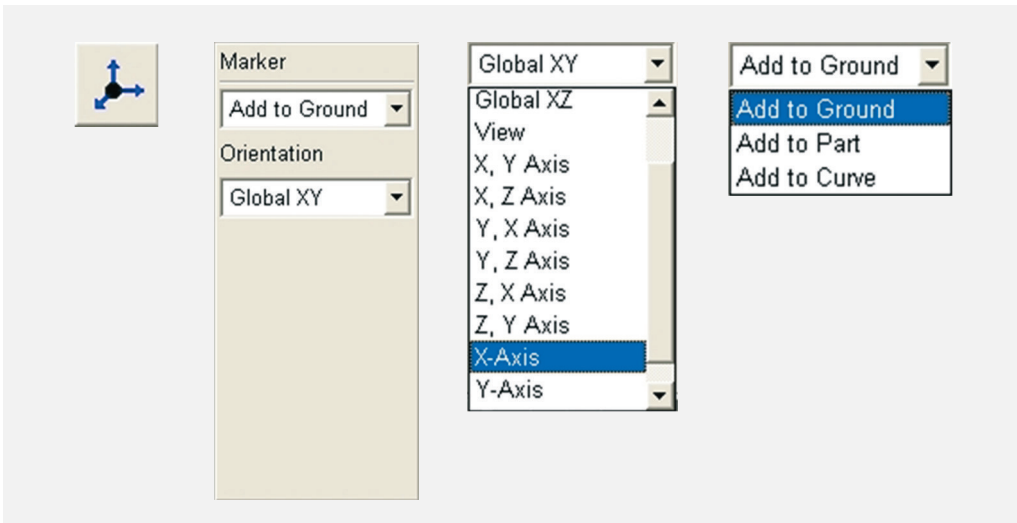
Um ponto também pode ser criado no local onde se colocam as juntas de conexão entre as geometrias de um modelo, neste caso, a parametrização provoca a alteração de posição do elemento de ligação a cada mudança de posição do ponto. Cabe ressaltar que não se parametriza a orientação do elemento por meio de um ponto e nem, a posição do centro de gravidade de uma geometria.

Para criar um ponto, recorra ao menu MainToolbox (item 1.3.1.2) → ícone da 1ª linha/2ª coluna (botão direito do mouse para expandir opções) → ícone mostrado a seguir. Nesse momento, será solicitado ao usuário que indique se o ponto será adicionado ao solo (Add to ground) ou a uma parte (Add to part), assim como se ele deve ser parametrizado ou não, conforme ilustra figura a seguir. A aba Point Table abre o editor de tabelas para edição de informações referentes ao ponto.



Um marker define um sistema de coordenadas local em uma parte (corpo rígido, flexível ou ponto de massa) ou em um ground part. O marker, ao contrário do ponto, tem uma orientação e é, automaticamente, criado no centro de gravidade das geometrias sólidas e nos pontos onde juntas são inseridas.

Para criar um marker se pode utilizar o menu Main Toolbox → ícone da 1ª linha/2ª coluna (botão direito do mouse para expandir opções) → ícone mostrado a seguir. A orientação do marker pode estar atrelada ao sistema de coordenadas global em um dos planos XY, XZ ou YZ, ao sistema de coordenada da vista; ao sistema de eixos definido pelo usuário (X,Y axis; X,Z axis; Y,X axis etc.) ou a um único eixo (X-axis, Y-axis, Z-axis).



a) *Criando linhas (lines/polylines), arcos (arcs) e splines*

O ícone de criação de linha(s) se refere ao *Polyline* no menu *Main Toolbox* (item 1.3.1.2). Quando acionado, solicita-se ao usuário que escolha um ponto onde a linha deve iniciar em seguida novos pontos são solicitados ao usuário, que com o botão esquerdo do mouse deve escolhê-los. O botão direito do mouse cria as linhas que passarão pelos diversos pontos, e finaliza o comando.

A interação do comando com o usuário aparece na parte inferior, canto esquerdo da tela. A Figura 1.25 ilustra a aba de criação de um *Polyline* juntamente com as telas das abas expandidas.

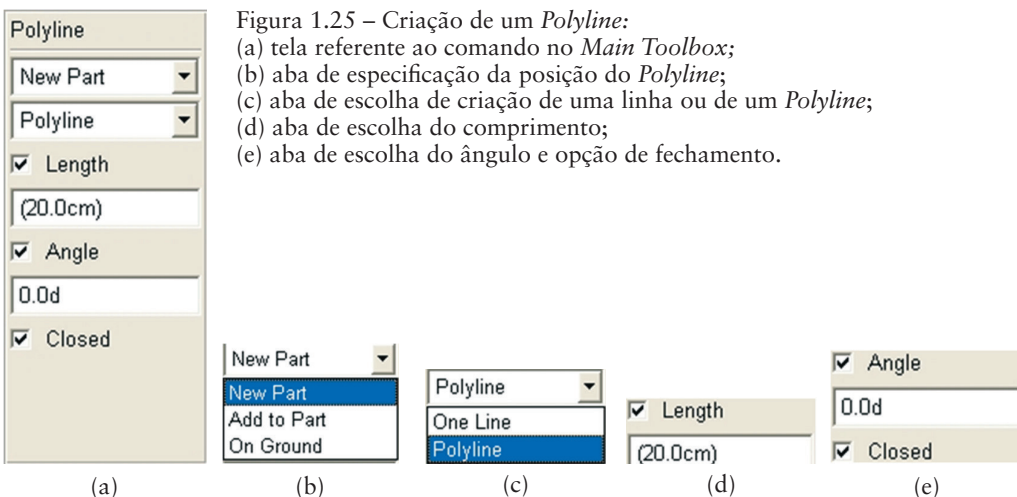


Figura 1.25 – Criação de um *Polyline*:

(a) tela referente ao comando no *Main Toolbox*;

(b) aba de especificação da posição do *Polyline*;

(c) aba de escolha de criação de uma linha ou de um *Polyline*;

(d) aba de escolha do comprimento;

(e) aba de escolha do ângulo e opção de fechamento.



O comando permite a criação da geometria atrelada a uma parte ou ao *ground part* (Figura 1.25b). Em Figura 1.25c, há a possibilidade de se criar uma única linha ou *Polyline*. As Figuras 1.25d e 1.25e permitem que se estabeleçam comprimentos e ângulos para essas linhas. Quando se tratar de um *Polyline*, o usuário poderá decidir pelo fechamento ou não dessas linhas, selecionando a opção *Closed*, na Figura 1.25e.

Para a criação de um arco, o usuário deve recorrer à opção *Arc*, no menu *Main Toolbox*, conforme a Figura 1.26a e Tabela 1.4. Na Figura 1.26b tem-se a possibilidade de criar uma nova parte ou de adicionar essa geometria a uma parte ou ao *ground part*. Na Figura 1.26c e d, escolhem-se o raio, ângulo de início e fim do arco, além de se poder decidir pela criação de um círculo, selecionando a opção *circle*. Neste caso, as opções referentes aos ângulos de início e fim são desativadas.



(a)

Figura 1.26 – Criação de um Arco:

(a) tela referente ao comando no Main Toolbox;

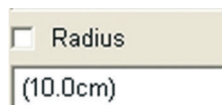
(b) aba de especificação da posição do arco;

(c) aba de escolha do tamanho do raio;

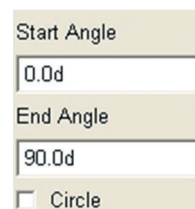
(d) aba de escolha dos ângulos de início, fim e de formação de um círculo.



(b)



(c)




(d)

Para a criação de um *Spline*, primeiramente o usuário deve escolher se ele será adicionado a uma parte ou se no *ground part*. Em seguida, o usuário deve selecionar se o *Spline* será criado pela escolha de pontos, Figura 1.27c, ou por uma curva Figura 1.27d. Neste caso, o usuário deve especificar a curva que receberá o *Spline*. A aba *Spread Points*, se selecionada, distribuirá o *Spline* sobre a curva no número de pontos especificado logo abaixo.

#### b) Criando geometrias sólidas

Este item apresentará aspectos gerais de algumas geometrias sólidas que podem ser criadas no ADAMS/View, citadas no item 1.3.2.1. Neste contexto, segue a descrição sucinta de criação dessas geometrias.

b.1) *link*

Para criá-los recorra ao menu *Main Toolbox* → 1º grupo de ícones da Tabela 1.4 →  *Rigid body: link*.

Na área de trabalho, escolha o ponto inicial para sua construção. Essa escolha pode ser feita aleatoriamente, ou por meio de coordenadas, se o usuário, durante o comando, acionar o botão direito do mouse.

Essa operação abre uma janela auxiliar de coordenadas, conforme a Figura 1.28a. A barra de rolagem dá as seguintes opções: relativamente ao *Grid* (*Relative to Grid*), relativamente à origem (*Relative to Origin*) e relativamente ao objeto (*Relative to Object*). Essa janela pode ser utilizada tanto para a definição do ponto de origem quanto para a extremidade do *link*.

Por *default*, ao criar qualquer geometria sólida, o ADAMS/View considera como uma nova parte (*New Part*).

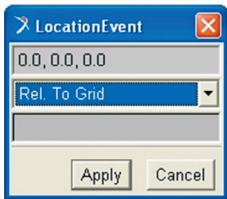
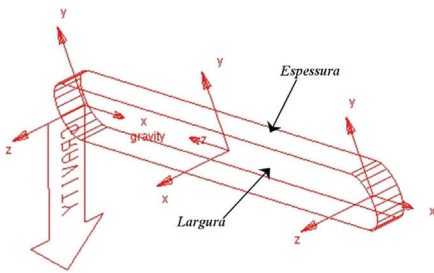


Figura 1.28 – Criação de um link:  
(a) tela auxiliar para entrada de coordenadas para criação de geometrias sólidas;



(b) representação de um link.

Por *default*, a geometria terá largura equivalente a 10% do comprimento e espessura de 5% desse valor, conforme a Figura 1.28b. Os raios das extremidades terão valor igual à metade do valor da largura. Verifica-se, na Figura 1.28b, que a geometria proposta vem acompanhada de três *markers*, um em cada extremidade e outro no centro de gravidade do elemento.

Nota-se, ainda, que os dois *markers* das extremidades, pela regra da mão direita, possuem o eixo *z* perpendicular ao plano da peça, enquanto o do centro de gravidade encontra-se no eixo da peça.

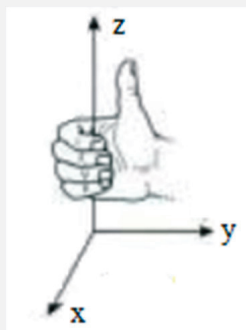
*A **notar**: Pontos quaisquer em um espaço tridimensional podem ser colocados em correspondência bijetora com números reais, usando três retas coordenadas perpendiculares denominados eixo x, eixo y e eixo z. Estes eixos são colocados de tal forma que suas origens coincidam em um ponto denominado origem do sistema. Os três eixos coordenados formam um sistema de coordenadas retangulares ou cartesianas.*

*Este sistema de coordenadas tridimensional se divide em duas categorias: sistemas com a regra da mão direita e sistemas com a regra da mão esquerda.*

*Um sistema com a regra da mão direita tem a seguinte propriedade, posicionando o pulso da mão direita sobre a origem do sistema; em seguida colocando os dedos na direção do eixo x e os curvando (fechando) na direção do eixo y; tem-se que o polegar fornece o sentido positivo do eixo z. Cabe ressaltar que a operação envolvendo os eixos x e y está sempre no sentido positivo desses eixos.*

*Fonte: ANTON, H.A, BIVINS, I., DAVIS, S. Calculo, Vol.2, Bookman Companhia 8ª Ed., 2007.*

*Sistemas com a regra da mão esquerda são construídos analogamente, contudo os eixos x e y têm posições trocadas no sistema.*



## b.2 – Box (caixa)

Para criá-las recorra ao menu *Main Toolbox* → 1º grupo de ícones da Tabela 1.4 → *Rigid*  *body: Box*.

Trata-se de uma caixa (Box) sólida 3D. Na área de trabalho, escolha a coordenada inicial do sólido da mesma forma que a mostrada no item b.1. A geometria gerada tem comprimento, profundidade e altura. Por *default*, a profundidade corresponde a duas vezes a menor dimensão da caixa, ou seja, comprimento ou altura, conforme a Figura 1.29a.

Para alterar dimensões da geometria, clique sobre ela com o botão direito do mouse sobre a opção *Block:Box*, em seguida *Modify*. A tela auxiliar que aparece-

rá permitirá que se modifique os comprimentos ( $x, y, z$ ) da caixa, de acordo com sua orientação relativamente ao referencial global, conforme Figura 1.29b.

Note que a aba *Corner Marker* indica o nome do *marker* (MARKER\_1) em um dos vértices da caixa, o qual é paralelo ao sistema de referência global. A aba *Diag Corner Coords* fornece as dimensões da geometria, de acordo com o sistema de referência localizado no vértice, ou seja, 200 mm ao longo de  $x$ ; 150 mm ao longo de  $y$  e 300 mm ao longo de  $z$ . Este exemplo mostra que a geometria foi construída no plano  $xy$  com dimensões acima especificadas.

### b.3) Plate (placa)

Para criá-las recorra ao menu *Main Toolbox* → 1º grupo de ícones da Tabela 1.4 → *Rigid*  *body: Plate*.

Uma placa (*Plate*) é formada a partir de um polígono triangular que ganha uma espessura (sólido extrudado), além de ter os vértices arredondados. Os vértices são escolhidos a partir do botão esquerdo do mouse na área de trabalho, e a finalização do comando se faz pelo botão direito do mouse. Ressalta-se que é possível fazer a escolha das coordenadas do ponto, conforme ilustrado na Figura 1.28a.

Cada vértice recebe um *marker* com orientação paralela ao sistema de referência global  $x, y, z$ . O quarto *marker* se refere ao centro de gravidade da geometria. A modificação dessa geometria remete ao clique do botão direito do mouse sobre a geometria, opção *Modify*, gerando uma tela semelhante à mostrada em Figura 1.30b.

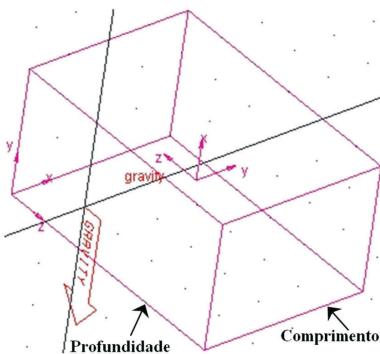
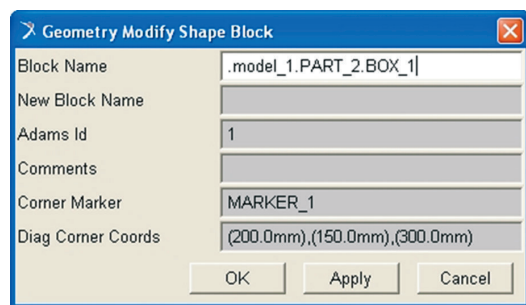


Figura 1.29 – Criação de uma caixa:  
(a) figura representativa de uma Box criado no ADAMS/View;



(b) tela de modificação padrão para esta geometria.

A aba *Marker Name* mostra o nome dos três *markers* situados nos vértices da geometria. A ordem se refere àquela escolhida em sua construção, sendo a primeira o *marker* de referência (*reference marker*). As abas *Width* e *Radius* se referem à espessura e ao raio do círculo dos vértices.

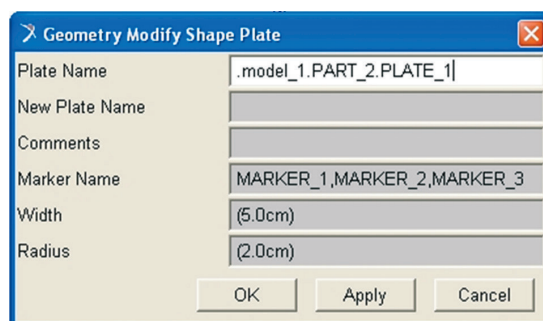
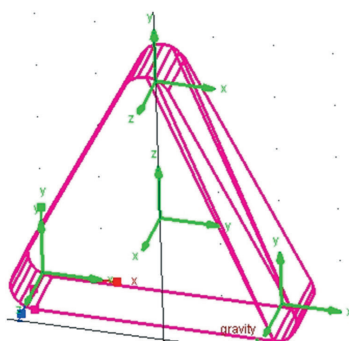



Figura 1.30 – Criação de uma placa Plate:  
(a) representação de um Box;

(b) figura representativa de um Box criado no ADAMS/View.

#### b.4) *Plane (plano)*

Para criá-los recorra ao menu *Main Toolbox* → 1º grupo de ícones Tabela 1.4 → *Rigid*  *body: Plane*

O plano é uma geometria bidimensional que pode ser construída no plano da tela considerando o *grid* ou conforme mostra a Figura 1.28a. O *marker* de origem da geometria é criado no primeiro ponto selecionado para formar a geometria.

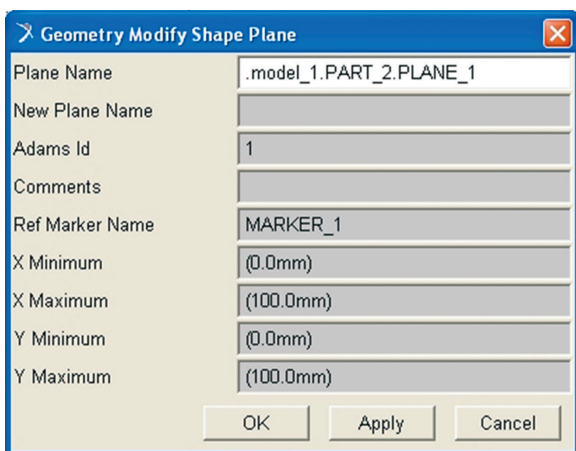


Figura 1.31 – Tela representativa da modificação de um plano.

Ao ser criado, uma mensagem de *Warning* aparece em uma tela auxiliar: *The resulting body is not a valid manifold solid. It does not have any mass.* O conteúdo esclarece que a geometria criada não constituiu um sólido e, portanto, não tem massa.

Para modificá-lo, procede-se da mesma forma que a mostrada nos itens b.2 e b.3. A tela ilustrativa dessa situação é mostrada na Figura 1.31.

A Figura 1.31 mostra que se o usuário deseja alterar o nome da geometria, bastando, para isso, preencher o campo *New Plane Name*. A aba *Ref Marker Name* traz o *marker* que é tomado como referência para a criação da geometria.

Em seguida, os campos *X Minimum* e *Y Minimum* dão ao usuário a possibilidade de transladar as arestas que contêm o *marker* de um valor especificado por ele. As abas *X Maximum* e *Y Maximum* permitem transladar o tamanho das arestas opostas às que contêm o *marker* de origem. A Figura 1.32 ilustra essa situação.

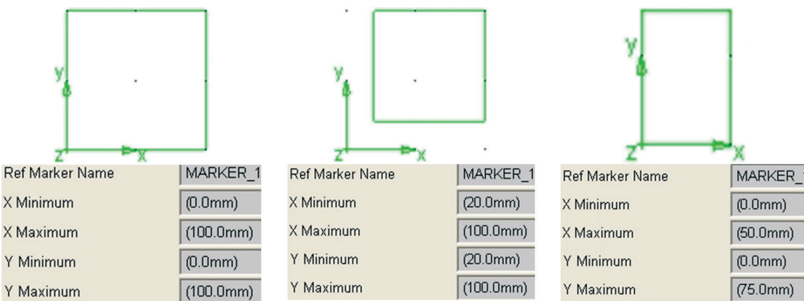


Figura 1.32 – Possíveis alterações das dimensões de um plano.

### b.5) *Sphere* (esfera)

Para criá-las recorra ao menu *Main Toolbox* → 1º grupo de ícones da Tabela 1.4 → *Rigid body*: *Sphere*.

A esfera é criada a partir de um sólido elipsoidal em que se consideram os raios iguais nas três direções *x*, *y* e *z*. O *marker* criado automaticamente, durante a geração da esfera, se situa no centro da geometria, coincidente com seu centro de gravidade.

As coordenadas de localização do centro podem ser estabelecidas no *grid* ou como mostra o item b.2. Durante a criação da geometria, o usuário pode informar o valor de raio desejado.

A Figura 1.33 ilustra a tela de modificação, e esta se compõe conforme descrito nos itens anteriores.

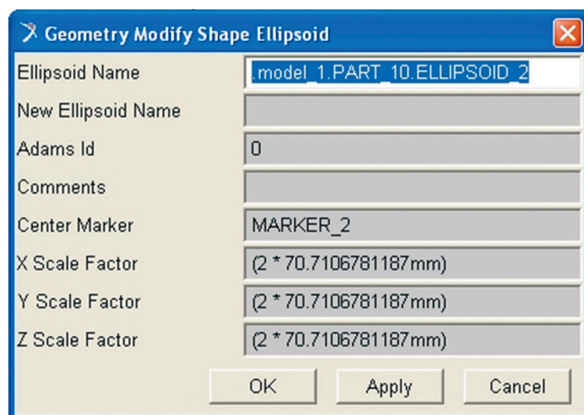


Figura 1.33 – Tela ilustrativa de modificação da geometria sólida: *Sphere*.

As abas *X Scale Factor*, *Y Scale Factor* e *Z Scale Factor* permitem ao usuário trabalhar a geometria, ou seja, se os três fatores de escala forem distintos tem-se um elipsóide; se dois deles forem iguais um elipsóide de revolução.

#### b.6) *Cylinder (cilindro)*

Para criá-los recorra ao menu *Main Toolbox* → 1º grupo de ícones da Tabela 1.4 → *Rigid body*:  *Cylinder*

Ao selecionar esta opção, o usuário cria, na área de trabalho uma geometria, que em vista frontal (no plano da tela) se assemelha a um retângulo. Por *default*, o diâmetro desse cilindro corresponde a 25% do valor do comprimento de seu eixo. Ao selecionar a opção, o usuário pode fornecer o comprimento (*length*) e o raio (*radius*) que desejar. Dois *markers* se formam na geometria, um na extremidade onde o usuário iniciou a construção e outro no centro de gravidade.

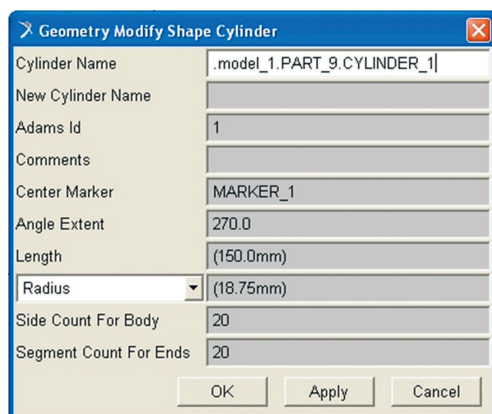


Figura 1.34 – Tela representativa da opção *Modify* aplicada à geometria sólida *Cylinder*.

A aba *Angle Extent*, dependendo de como é preenchida, permite que o cilindro seja completo em  $360^\circ$  ou parcial conforme mostrado em Figura 1.34 ( $270^\circ$ ). Nesta situação, a geometria sólida não terá área de seção transversal plena.

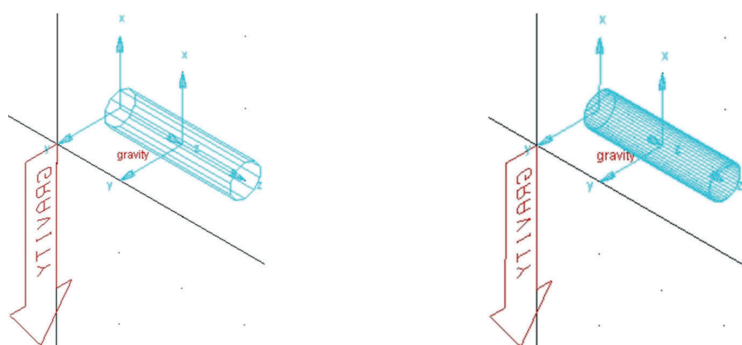


Figura 1.35 – Diferença na construção de um cilindro variando opções *Side Count For Body* e *Segment Count For Ends*.

As duas últimas abas *Side Count For Body* e *Segment Count For Ends* se referem às linhas auxiliares de construção da área correspondente a  $2\pi rL$  (lateral) e de  $\pi r^2$  (seção transversal), respectivamente, Figura 1.35, onde  $r$  é o raio da seção e  $L$  comprimento do cilindro.

### 1.3.3. Restrições no ADAMS/View

As restrições ou vinculações internas, previstas entre as geometrias sólidas ou partes, podem ser definidas pelo usuário no módulo ADAMS/View. A Tabela 1.4 (1º Grupo) mostra o ícone, que, expandido, traz as opções de restrições disponíveis no módulo. Na Mecânica, essas restrições estabelecem a cinemática de uma parte em relação à outra em um modelo virtual. Em suma, as restrições restringem movimentos relativos entre partes e representam um vínculo idealizado.

**A notar:** De acordo com a Mecânica, os vínculos podem ser definidos como um elemento de ligação entre as partes de uma estrutura (elementos estruturais) ou entre a estrutura e o meio externo. Na primeira situação, são denominados vínculos internos, na segunda, externos. A finalidade destes é restringir um ou mais graus de liberdade do corpo rígido.



*Cabe ressaltar que um único vínculo não será responsável por restringir todos os graus de liberdade do modelo, mas sim o conjunto deles. Além disto, há que se considerar sua classificação definida em função do número de graus de liberdade que restringe. Outro aspecto é que, nesse conjunto, sua disposição no modelo também é responsável pelo sucesso da imobilidade ou mobilidade que se deseja dar ao modelo.*

*Os vínculos podem ser inseridos em estruturas nos planos 2D e 3D e suas classificações dependem do plano em que estão. Quando no plano 2D, os vínculos se classificam em vínculo simples ou de 1º gênero, duplo/fixo ou de 2º gênero e engaste ou 3º gênero. No plano 3D, surgem as nuances vínculos cilíndrico e esférico.*

*O número total de graus de liberdade de um sistema de corpos se refere ao número de movimentos possíveis e independentes de cada parte desse sistema, como um corpo livre. O número de graus de liberdade, após a colocação de vínculos, depende do número de restrições efetivas previstas, que verdadeiramente eliminem graus de liberdade.*


*No ADAMS/View, corpos rígidos incluem a geometria sólida tratada no item 1.3.2.1 letra b. Nesse contexto, as restrições aqui tratadas se aplicarão na união desses elementos para compor um modelo, bem como desse modelo com o ground part, que representaria o meio externo.*


No ADAMS/View, existem quatro categorias de restrições juntas idealizadas (*idealized joints*); juntas primitivas (*primitives joints*), geradores de movimento (*motions generators*) e *higher-pair constraints*. Neste guia, serão abordadas apenas algumas juntas idealizadas. No entanto, ao longo do desenvolvimentos dos tutoriais nos capítulos subsequentes, caso essas juntas sejam aplicáveis, elas serão tratadas nos quadros *A notar*.

A convenção adotada pelo ADAMS/View para estabelecer um movimento relativo entre partes é a seguinte: quando se cria uma junta, a primeira parte que se seleciona é a que se movimentará relativamente à segunda. Portanto, o usuário deve atentar a essa operação para que a sequência de movimentação seja a desejada por ele.

Nos locais onde as juntas são colocadas, há sempre a presença de forças de reação, segundo o ADAMS/View. As juntas que não são completamente fixas permitem alguns movimentos, nesse caso as forças de reação, que surgem em decorrência de movimentos restritos, variam em função do local de aplicação.

**A notar:** As forças de reação refletem a reação (resposta) do corpo rígido a um sistema de forças aplicado. Assim ao se restringir um movimento, a ação de forças naquela direção ou sentido, segundo um sistema de referência, irá gerar uma reação. Isto se mostra completamente em sintonia com a 3ª Lei de Newton estendida a corpos rígidos, que considera que a cada ação corresponde uma reação de mesmo módulo, direção e sentidos opostos, no caso:  $F_{AB} + F_{BA} = 0$  e  $M_{AB}^0 + M_{BA}^0 = 0$ .

Para acessar no ADAMS/View os elementos de ligação (juntas) há dois caminhos a seguir pelo menu principal  acessar *Build* → *Joints*. Por meio do menu *Main Toolbox*, ícone referente à junta revoluta, que é o ícone padrão do menu de juntas.

Apertando o botão direito do mouse sobre o ícone, este se expande. Das opções que surgem a denominada *Joint: Palette*  é a mais completa e traz todas as juntas do ADAMS/View divididas em categorias, conforme já comentado aqui. A Figura 1.36 ilustra a referida janela. Note que as últimas abas mostram as informações construtivas necessárias para a inserção da referida junta no modelo virtual.

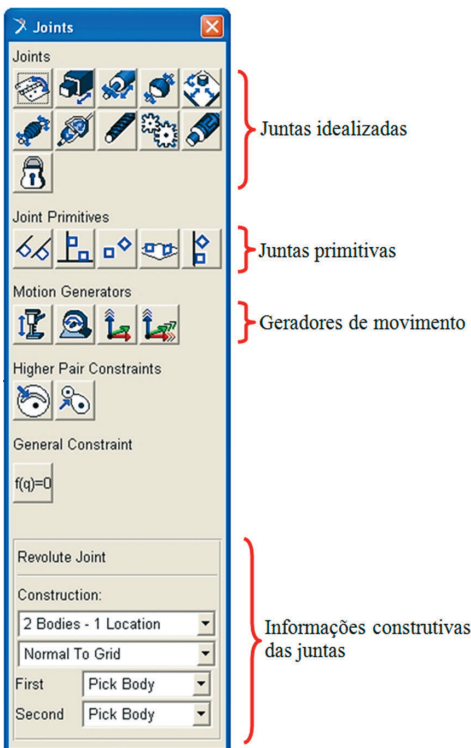


Figura 1.36 – Figura ilustrativa das juntas disponíveis no ADAMS/View.

### 1.3.3.1. Idealized joints (juntas idealizadas)

Essas juntas fornecem uma simbologia que traduz um modelo ou uma gama de movimentos (graus de liberdade), que permitem ao usuário simular e, portanto, avaliar a cinemática/dinâmica multicorpos. Segundo o módulo ADAMS/View, elas podem ser simples ou complexas.

Quanto às juntas idealizadas citam-se: revoluta (*revolute*); de translação (*translational*), cilíndrica (*cylindrical*), esférica (*spherical*), planar; velocidade constante (*Constant-Velocity*); parafuso (*screw*), fixa (*fixed*) e *Hooke/Universal*. A complexa é: *Couplers*. Neste guia, apenas algumas juntas idealizadas simples serão abordadas.

#### a) *Revolute joint* (junta revoluta)

Essa junta permite a rotação de uma parte em relação à outra. A rotação se dá em torno de um eixo comum a ambas as partes e que possui uma dada orientação. A Figura 1.37 ilustra a inserção de uma junta revoluta entre dois *links* e as janelas que o usuário precisa preencher para que ela forneça a cinemática/dinâmica necessária.

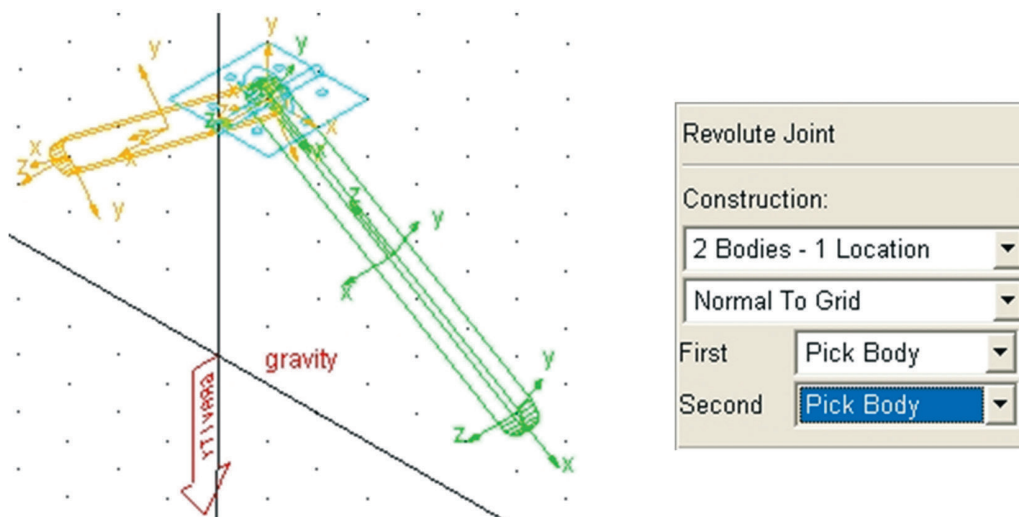


Figura 1.37 – Telas ilustrativas de uma junta revoluta (a) representação no ADAMS/View (vista isométrica) (b) informações necessárias para criação.

A primeira aba, mostrada na Figura 1.37b, quando expandida, fornece três opções: 1 *Location* (1 posição); 2 *Bodies – 1 Location* (dois corpos – uma posição) e 2 *Bodies – 2 Locations* (dois corpos – duas posições).

Na primeira opção, o usuário escolhe o local onde a junta deverá ser inserida e o ADAMS/View automaticamente escolhe as partes que serão unidas por essa junta. Contudo, a escolha se dá por geometrias próximas à junta, e mais, se há apenas uma, a outra será por *default* o *ground part*.

Nesse caso, as abas *First* (primeira) e *Second* (segunda) mostradas na Figura 1.37 desaparecem e resta apenas a de orientação da junta que pode ser *Normal to Grid* (normal ao *grid*) ou *Pick Geometry Feature* (escolha uma forma geométrica). Quando a escolha for normal ao *grid*, a junta será perpendicular a ele (Figura 1.37a); caso a outra opção seja selecionada; a junta será orientada segundo uma direção dada por uma face de uma parte, por exemplo.

Repare que, nessa situação, um primeiro clique com o mouse permite escolher o ponto. Nesse caso, pode ser um *marker* automaticamente criado com as geometrias envolvidas, ou um *marker* inserido pelo usuário para o fim de inserir a junta. Feito isto, uma seta branca associada ao estabelecimento da direção dará ao usuário a possibilidade de escolher a direção que se quer.

A segunda opção, dois corpos – uma posição, permite que o usuário selecione duas partes a serem vinculadas, além da posição da junta. Nesse caso, a junta se fixa na primeira parte (*First Body*). Cabe lembrar que pelas abas *First* (primeira) e *Second* (segunda) a sequência de movimento será da primeira relativamente à segunda. Essas abas dão escolha de um corpo ou uma curva. Esse caso é mostrado na Figura 1.37b. O *marker* associado à referida junta tem o eixo *z* perpendicular ao plano.

A terceira opção permite que o usuário escolha dois corpos e duas posições. As duas posições permitem que o usuário explicita a posição da junta nos dois corpos.

#### b) *Translational joint* (junta de translação)

Essa junta permite que uma parte translate em relação à outra, conforme estabelecido pelo usuário. Este também fornece a direção em que esse movimento deverá ocorrer. Não há rotação, e as abas de construção são as mesmas mostradas em a). A Figura 1.38 ilustra a construção dessa junta considerando a opção de dois corpos – uma posição; escolha uma forma geométrica como orientação para a junta, no caso a face da primeira geometria sólida.

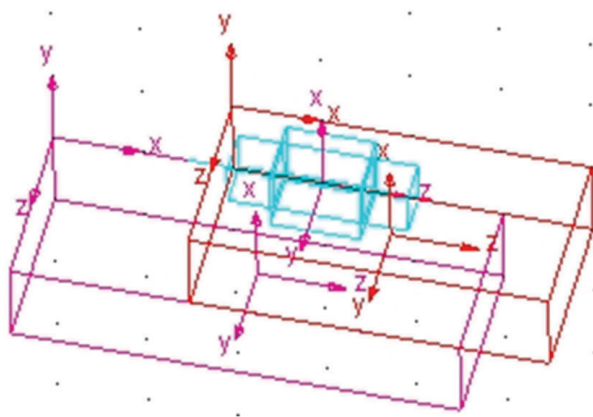


Figura 1.38 – Representação no ADAMS/View de uma junta de translação.

c) *Spherical Joints* (juntas esféricas)

Uma junta esférica permite três graus de liberdade, ou seja, três rotações em torno de um ponto comum às duas partes interligadas. A escolha do ponto de inserção da junta fornece indiretamente o ponto de pivotamento dessa junta. A Figura 1.39 traz a representação gráfica de uma junta esférica entre dois *links*.

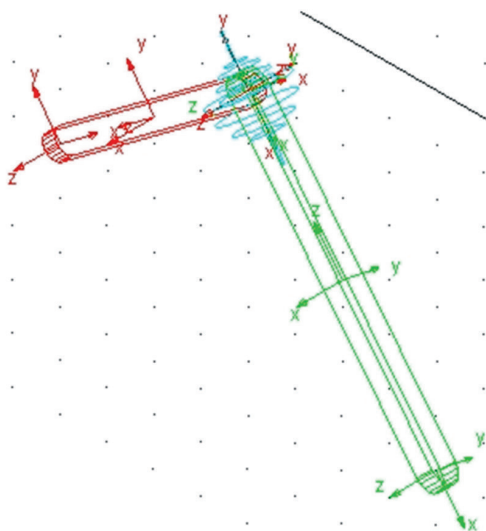


Figura 1.39 – Representação no ADAMS/View de uma junta de esférica.

d) *Planar joint* (junta planar)

A junta plana permite às partes por ela vinculadas três graus de liberdade, quais sejam, duas translações e uma rotação. A translação ocorre nas duas direções do plano  $xy$  e uma rotação em torno do eixo perpendicular a este plano, conforme a regra da mão direita, no caso da Figura 1.40 o eixo  $x$ . As translações também

podem ocorrer de forma aleatória sendo que, nessa situação, configura-se um escorregamento relativo entre as partes. A Figura 1.40 ilustra uma junta planar.

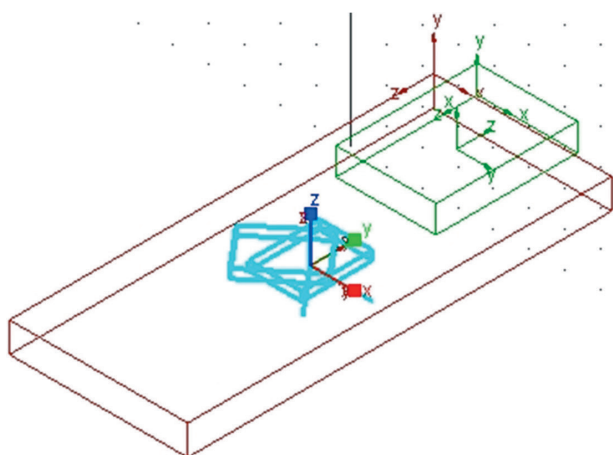


Figura 1.40 – Representação no ADAMS/View de uma junta planar.

e) *Fixed joint* (junta fixa)

Essa junta não permite o movimento relativo entre duas partes, ou seja, não há translações nem rotações, seu efeito é de um engaste em 3D. Normalmente, é aplicada entre uma geometria sólida e o *ground part*.

A Figura 1.41 ilustra a fixação de um *link* ao *ground part*. Repare que a representação gráfica de um cadeado torna a junta bastante perceptível, de modo que, se o usuário desejar modificar as condições de restrição, ele facilmente identificará a junta e poderá substituí-la por outra.

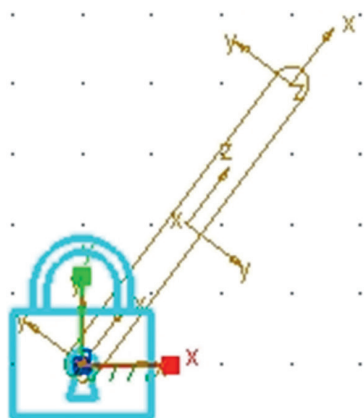
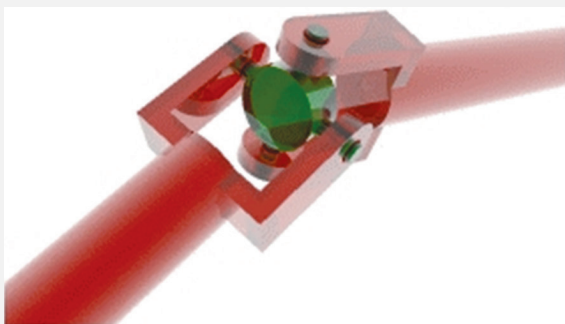


Figura 1.41 – Representação no ADAMS/View de uma junta fixa.

f) *Hooke/Universal joint* (junta Hooke)

Este item aborda a junta Universal ou *Hooke* comumente chamada de cruzeta. Esse tipo de junta permite que a rotação de um corpo rígido seja transferida a outro que também sofra rotação; como é o caso de eixos de transmissão de alguns veículos automotores. Nesses casos, as juntas transferem movimento rotacional entre dois eixos que se conectam e que podem sofrer flexão, em decorrência do movimento de uma suspensão, por exemplo. No ADAMS/View, para selecioná-las têm-se: um clique com o botão esquerdo do mouse sobre o ícone representativo da junta, na paleta, abre a junta *Hooke*, dois cliques abrem a junta *Universal*.

*A notar:* O eixo de transmissão veicular com cardan nas extremidades é um sistema de transmissão de torque cuja função é fornecer independência às forças motrizes. É composto por um tubo metálico suficientemente resistente que transmite potência da caixa de câmbio para o diferencial. Os cardans ou cruzetas presentes nas extremidades do eixo permitem que o ângulo deste varie, enquanto o eixo secundário da caixa de marchas e o pinhão de ataque do diferencial permanecem paralelos. A figura a seguir mostra uma junta Universal/Hooke.



Fonte: Wikipedia. Disponível em: < [http://pt.wikipedia.org/wiki/Eixo\\_card%C3%A3](http://pt.wikipedia.org/wiki/Eixo_card%C3%A3) >. Acesso em: 22/04/2013



### 1.3.3.2. Impondo movimentos em juntas de modelos virtuais



Dois tipos de movimentos podem ser atribuídos às geometrias sólidas: translação e rotação.

Na translação, o ADAMS/View, em regra, permite que a primeira parte selecionada, na janela de criação de juntas (Figura 1.37b), se movimente ao longo de um dos eixos da segunda parte.

Já na rotação, o ADAMS/View permite a rotação da primeira parte selecionada no momento de criação da junta, em torno do eixo  $z$  da segunda. A regra da mão direita dá o sentido da rotação. Na definição desse movimento é necessário que o eixo  $z$  da primeira parte esteja alinhado com o eixo  $z$  da segunda, durante todo o movimento.

Ao definir o movimento de uma junta, uma velocidade constante, que pode ser estabelecida pelo usuário, é atribuída ao longo do tempo. Este valor é fornecido pelo usuário e pode ser numérico, uma função, uma subrotina etc. Para impor esse movimento, proceda da seguinte forma:

- No menu *Main Toolbox*, escolha o ícone .
- Clique o botão direito do mouse sobre ele, a fim de ter acesso a novas opções.
- Selecione a opção no *Joint:Palette* .

A tela que aparecerá é a mostrada na Figura 1.36. Escolha, então, um dos ícones  ou . O primeiro é denominado *Translational Joint Motion (Applicable to Translational or Cylindrical Joint)*, ou seja, junta de movimento translacional (Aplicável em Juntas Translacionais ou Cilíndricas). O segundo é denominado *Rotational Joint Motion (Applicable to Revolute or Cylindrical Joint)*, ou seja, Junta de movimento translacional (Aplicável em Juntas Revolutas ou Cilíndricas). As informações e campos de preenchimento de cada um dos movimentos são mostrados na Figura 1.41a e b.

O valor default de velocidade translacional é de 10 mm/s, enquanto a rotacional é de 30°. Para especificar valores não numéricos, clique com o botão direito do mouse sobre a opção *Trans. Speed* ou *Rot. Speed*, e escolha a opção *Parametrize*. Movimente o cursor na direção da seta, ao final da opção, e ela expandirá, oferecendo novas opções. Selecione assim uma das opções: *Create Design Variable*; *Reference Design Variable*, *Expression Builder* e *Unparametrize*. A opção *Expres-*

(a)

(b)

Translational Joint Motion	Rotational Joint Motion
<b>Construction:</b> Applied to a Joint	<b>Construction:</b> Applied to a Joint
<b>Characteristic:</b>  Trans. Speed <input style="width: 100px;" type="text" value="10.0"/>	<b>Characteristic:</b>  Rot. Speed <input style="width: 100px;" type="text" value="30.0"/>

Figura 1.42 – (a) informações acerca do movimento da junta translacional;  
(b) informações acerca do movimento da junta rotacional.



*sion Builder* mostra o ADAMS/View *function builder*. As opções citadas aqui não serão discutidas neste capítulo.

### 1.3.3.3. Modificando juntas de modelos virtuais

Para modificar algumas características atribuídas às juntas, o usuário pode proceder da seguinte maneira. Sobre a junta, clique com o botão direito do mouse, selecione o elemento *Joint: JOINT\_1* (após os dois pontos especifica-se o nome do elemento, item 1.3.5); movimente o cursor em direção à seta situada ao final da opção e escolha a opção *Modify*.

A tela mostrada na Figura 1.43 irá aparecer, nela o usuário é capaz de alterar o nome da junta (*Name*), as partes envolvidas na sua definição (*First Body*, *Second Body*), o tipo de junta estabelecida entre duas partes (*Type*), local de imposição de forças (*Force Display*), além de poder estabelecer movimentos (*Impose Motion(s)...*) e condições iniciais (*Initial Conditions...*).

Nas abas *Type* e *Force Display*, a barra de rolagem ao lado fornece ao usuário outras opções.

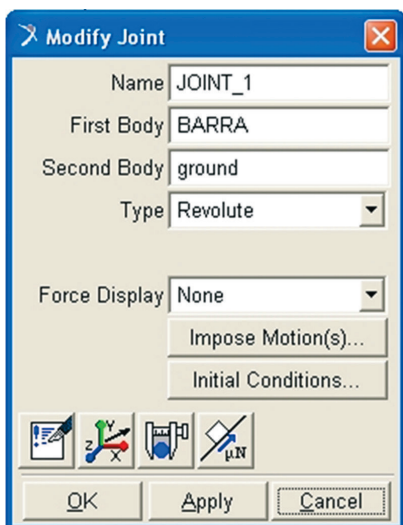


Figura 1.43 – Tela representativa da modificação de juntas.

#### 1.3.3.4. Estabelecendo grandezas a serem medidas nas juntas

Este tópico apresenta ao usuário como ele deve proceder para escolher as grandezas a serem medidas em juntas. Sobre a junta, clique com o botão direito do mouse, selecione o elemento *Joint: JOINT\_1* (após os dois-pontos, é especificado o nome do elemento, item 1.3.5); movimente o cursor em direção à seta situada ao final da opção e escolha a opção *Measure*. A tela correspondente a essa opção é apresentada na Figura 1.44.

O campo *Measure Name* dá nome à medida que será efetuada no modelo. Nesse nome, são identificados o modelo, a junta e a medida propriamente dita. No caso em questão, o modelo se chama *pendulo\_fisico*; o elemento em que será registrada a medida é uma junta identificada por *JOINT\_1* e após o nome atribuído à medida, no caso, *MEA\_1*.

No campo *Joint*, aparecerá o nome da junta. No campo *Characteristic*, a barra de rolagem permite que escolha uma força (*Force*), um torque; um deslocamento (*Displacement*); uma velocidade relativa (*Relative Velocity*); uma aceleração relativa (*Relative Acceleration*); uma velocidade angular relativa (*Relative Angular Velocity*) e uma aceleração angular relativa (*Relative Angular Acceleration*).

No campo *Component*, é escolhida a direção da componente das grandezas vetoriais enumeradas aqui ou a magnitude da resultante vetorial (*mag*). No campo *From/At*, o usuário seleciona em qual dos *markers*, que definem as partes interligadas pela junta, se deseja efetuar a medida.

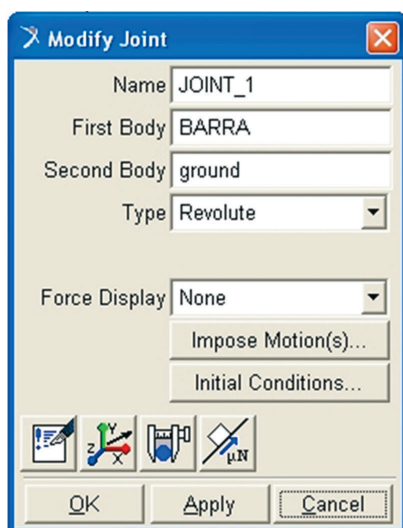



Figura 1.44 – Tela de especificação de grandezas a serem medidas em juntas.

#### 1.3.4. *Interactive Simulation Controls* – área de simulação do ADAMS/View

Segundo a Tabela 1.4, o ícone  permite ao usuário definir parâmetros de simulação no modelo construído. Ao ser selecionado, na tela inferior do menu *Main Toolbox* aparecerão os campos mostrados na Figura 1.45.

As teclas ,  e  representam, respectivamente, *Reset*, *Stop Simulation* e *Start ou Continue Simulation*.

O campo *Default*, quando tem a barra de rolagem lateral acionada, fornece ao usuário outras três opções de simulação: dinâmica (*Dynamic*), cinemática (*Kinematics*) e estática (*Static*).

O campo *End Time* permite ao usuário definir um tempo final de simulação ou um tempo para sua duração (*duration*). Em ambas as possibilidades, o usuário deverá especificar o tempo em segundos. O campo *Steps* (passos) requer que o usuário que estabeleça os incrementos/passos ao longo do tempo de simulação. O campo logo abaixo permite que o usuário especifique esse valor.



Os ícones  e  permitem estabelecer um equilíbrio estático (*Find static equilibrium*) e repetir a última simulação (*Replay last simulation*), respectivamente.



Figura 1.45 – Campos de caracterização da simulação.

#### 1.3.5. *Atribuição dos nomes de objetos no ADAMS/View*

Dar nomes aos diversos elementos aplicados em um modelo virtual desenvolvido no ADAMS/View exige que se siga uma determinada nomenclatura, a fim de se garantir uma identificação precisa do elemento a que se faz referência.

Em linhas gerais, segue-se o seguinte *model\_name.part\_name.geometry\_name* ou *.\*.constructionpoints\_name;.\*.markers\_name*, neste caso, todos são

partes (*parts*). Observando os nomes atribuídos a um modelo, nota-se a seguinte hierarquia:

*.pendulo.ground* → Trata-se de uma parte (*Ground part*).

*.pendulo.Link2* → Trata-se de uma parte (*Part* de nome *Par2*).

*.pendulo.Analysis\_flags* → Trata-se de uma *flag* de análise (*Adams\_Analysis\_Flags*).

*.pendulo.upper\_right\_to\_ground* → Trata-se de uma junta (*Joint*) chamada *upper\_right\_to\_ground*.

*.pendulo.MOT1* → Trata-se de um movimento (*Motion*) chamado *MOT1*, estabelecido no ADAMS/View.

*.pendulo.pendulo\_script* → Trata-se de um script de simulação (*Simulation\_Script*) denominado *pendulo\_script*.

Todos os nomes de objetos são seguidos pelo nome do modelo, ponto (.), nome do elemento.

### 1.3.6. Salvando um modelo virtual no ADAMS/View

As extensões de arquivo mais comuns para se salvar modelos virtuais no ADAMS/View são o (*.\*.bin*) e o (*.\*.cmd*). O primeiro se aplica aos arquivos de dados (*database files*) incluindo tudo o que está associado a uma sessão de trabalho no módulo, ou seja, o modelo propriamente dito, simulação, resultados, gráficos etc. Desta forma o arquivo fica muito grande, além de ser dependente da plataforma utilizada. A segunda extensão salvará os elementos (geometria de construção e sólida, juntas etc.) do modelo e seus atributos, isto porque ele se refere ao arquivo de comandos (*command files*). Normalmente, tem-se um arquivo menor que é independente da plataforma utilizada.

No menu principal, ao se selecionar a opção *File*, as opções: *New database*, *Open database*, *Save database* e *Save database as...* guardam o arquivo com a extensão *.\*.bin*. As opções *Import...* e *Export...* armazenam o arquivo com a extensão *.\*.cmd*. Cabe ressaltar que outras extensões estão disponíveis, basta que o usuário escolha aquela que melhor se adapta a sua necessidade.

Observe que, ao retomar modelos virtuais já iniciados, ao tentar salvá-los, o usuário poderá se deparar com a seguinte caixa de diálogo, mostrada na Figura 1.46.

Nesta tela, adverte-se o usuário da existência do modelo que se quer salvar e lhe é perguntado se ele deseja criar um *backup*.

Se o usuário responde “si” (*Yes*), o ADAMS/View irá criar um arquivo de mesmo nome, no caso, “pendulo”, mas com extensão *.big*.

Caso o usuário queira ter acesso a esse arquivo, ele deverá renomeá-lo, atribuindo um novo nome e também a extensão. Assim, por exemplo, o nome do backup será: pendulo.biq; ao renomear, o usuário deverá escrever: pendulo\_simples.bin”.

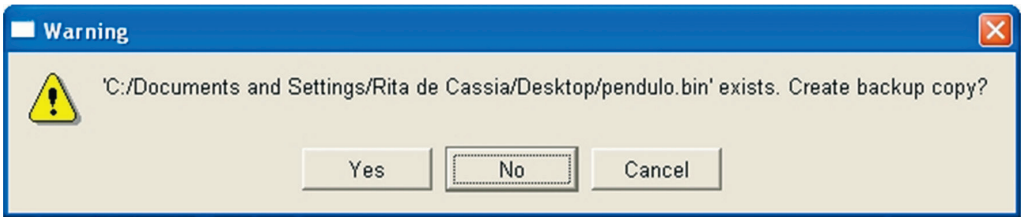


Figura 1.46 – Caixa de diálogo do ADAMS/View para criação de backup.

1.3.7. Funcionalidades no ADAMS/View

O ADAMS/View permite o uso de algumas teclas facilitadoras, as quais são mostradas na Tabela 1.5, a seguir.

Tabela 1.5 – Descrição das teclas de função disponíveis no ADAMS/View.

Teclas	Função da tecla
F1	Aciona o <i>help</i> do software.
F2	Abre uma janela solicitando que o usuário selecione um arquivo de extensão <i>.*.cmd</i> . Em seguida, abre-se uma janela de simulação do modelo.
F3	Abre uma janela de comando ( <i>command window</i> ) em que ocorre uma verificação do modelo.
F4	Abre uma janela de coordenadas que identifica todos os pares ordenados na tela do módulo. É dinâmica, e a mudança do cursor pelo mouse permite o registro das coordenadas.
F8	Abre a janela do ADAMS/PostProcessor para o usuário.
Ctrl+N	<i>New Database</i> (cria novo <i>database</i> ).

Teclas	Função da tecla
Ctrl+O	<i>Open Database</i> (abre um <i>database</i> existente).
Ctrl+S	<i>Save Database</i> (grava um <i>database</i> ).
Ctrl+P	<i>Print</i> (imprime um <i>database</i> ).
Ctrl+Q	<i>Exit</i> (sai do sessão do módulo).
Ctrl+E	<i>Modify</i> (abre uma janela auxiliar denominada <i>Database Navigator</i> , na qual o usuário pode promover modificações no modelo em diversas classes de elementos <i>bodies, constraints, forces, markers, geometry</i> etc.)
Ctrl+C	<i>Copy</i> (copia elemento selecionado).

Como no ADAMS/Car, item 1.2.8, o ADAMS/View possui funcionalidades no próprio mouse. Contudo algumas se diferem, mas, em suma, a maioria permanece a mesma.

O usuário do ADAMS/View pode acessar opções do tipo *Pick, Browse, Gueses* etc. ao pressionar o botão direito do mouse sobre campos a serem preenchidos nas caixas de diálogo do módulo. Essas opções, às vezes, fornecem ao usuário atalhos para construção do modelo.

Por exemplo, a área de visualização o ADAMS/View permite apenas vistas frontais (*Front*), topo (*Top*), direita (*Right*) e isométrica (*Iso*). As manipulações de visualização se diferem nas teclas de ajuste, assim o ADAMS/View permite o ajuste da vista corrente em tela (*Fit to view*) e (*Fit to view – no ground*). Estão disponíveis outras duas opções, que são *Align to 3 points* e *Align to object XY*, ambas tratadas na Tabela 1.4, grupo *View Control*.

Há, ainda, duas outras opções ausentes no ADAMS/Car; são elas: *Save View Settings* e *Restore View Settings*, que permitem salvar e restaurar configurações adotadas no desenvolvimento do modelo.

#### 1.4. Módulo de Pós-processamento do MSC ADAMS

Esse módulo permite que o usuário trate dados obtidos em simulações dos módulos ADAMS/Car e ADAMS/View. Sua *interface* possui quatro modos: de animação (*Animation*), plotagem (*Plotting*), relatório (*Report*) e plotagem 3D (*Plot 3D*).

Esses modos podem ser selecionados na tela do ADAMS/PostProcessor em um campo situado no canto superior esquerdo, conforme mostra Figura 1.47. Para selecioná-los o usuário deve ativar a barra de rolagem que apresentará os modos disponíveis. A cada escolha, a área de trabalho principal (Figura 1.47), assim como algumas opções/comandos são disponibilizados, para que o usuário usufrua das funcionalidades do ambiente.

A área de tela logo abaixo dessa opção mostra uma árvore hierárquica com pastas de nomes *page\_1...page\_n*. O número *n* está associado às simulações realizadas no ADAMS/Car ou no ADAMS/View, pelo usuário, durante uma seção de trabalho, conforme mostra Figura 1.46. Assim, a cada simulação do usuário exportada (item 2.1.1.1) para o ADAMS/PostProcessor gerará uma nova *page*. Clicando com o botão direito do mouse sobre as pastas, o usuário terá acesso a novas opções.

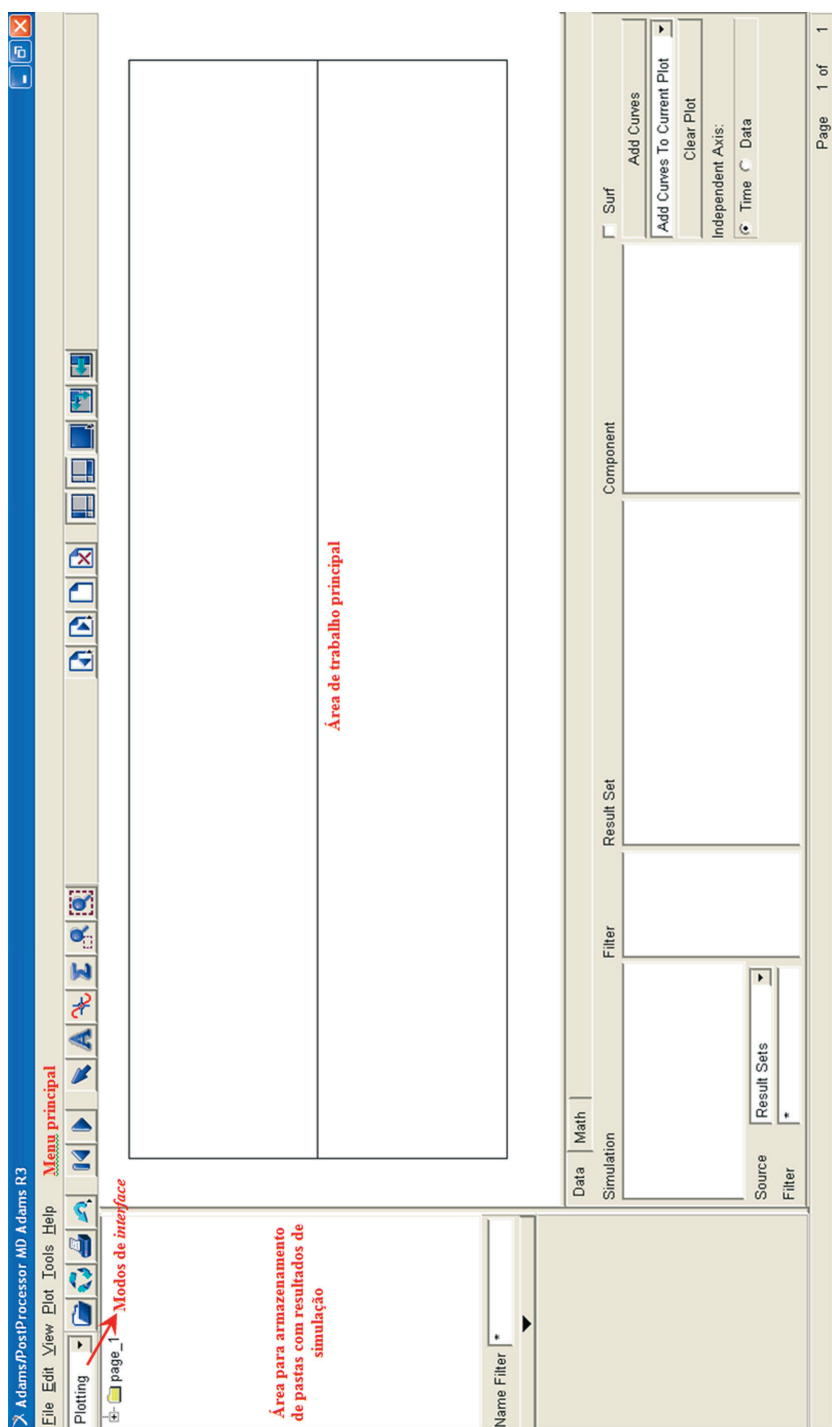





Figura 1.47 – Tela ilustrativa do módulo ADAMS/PostProcessor, opção *Plotting*.





Abaixo do menu principal, há uma série de ícones que dão ao ADAMS/PostProcessor algumas funcionalidades bastante úteis. A Tabela 1.6 traz alguns comentários, sobre cada grupo.

Outras funcionalidades estão disponíveis nesse módulo, contudo, o usuário irá tomar conhecimento delas durante a construção de modelos virtuais apresentados nos Capítulos 2 e 4.

Tabela 1.6 – Apresentação de algumas funcionalidades do ADAMS/PostProcessor.

-	Funções
	<p>1º Grupo</p> <p>Permite a importação de arquivos (Import a file).</p> <p>Possibilita recarregar simulações (Reload simulations).</p> <p>Permite a impressão (Print).</p> <p>Ícone para desfazer (Undo) comandos. A seta lateral direita expande opções apertando o botão direito do mouse sobre esse ícone. Neste caso a nova opção é o refazer (Redo)</p>
	<p>Aplicável às animações, permite que a mesma sofra um Reset animation.</p> <p>Dá início à simulação (Animate page).</p>
	<p>3º Grupo</p> <p>Ícone para seleção (Select). Ao ser utilizado iluminará o elemento da seleção.</p> <p>Ícone de inserção de texto. Para utilizá-lo clique ponto no qual se quer inserir o texto e, em seguida, escreva.</p> <p>Rastreador de plotagem (Plot tracking). Utilizando este ícone, o usuário pode rastrear sobre a curva, pontos específicos de resultado, ou seja, valores de coordenadas.</p> <p>Este ícone abre diversas opções de tratamento de curvas. Para tanto é necessário que o usuário clique sobre ele com o botão direito do mouse e outro menu se abre com as opções de soma (Add curves), subtração (Subtract one to another), multiplicação (Multiply two curves), valor absoluto (Absolute value) entre outras</p> <p>Permite o zoom em uma região específica por meio da criação de uma janela auxiliar em torno da área desejada.</p> <p>Ajusta todo o conteúdo da área de trabalho principal na janela.</p>

-	Funções
	<p>4º Grupo</p> <p>Este ícone quando expandido por meio do botão direito do mouse, permite acessar uma página anterior de pós-processamento ou mesmo acessar a 1ª página.</p> <p>Este ícone, quando expandido, por meio do botão direito do mouse, permite acessar a próxima página de pós-processamento ou mesmo acessar a última página.</p> <p>Cria uma nova página (page) na área de armazenamento de resultados de simulação.</p> <p>Deleta uma página (page) na área de armazenamento de resultados de simulação.</p>
	<p>5º Grupo</p> <p>Estes ícones se prestam à formatação da área de trabalho e visualização de plotagens e animações.</p>

# 2

## CAPÍTULO

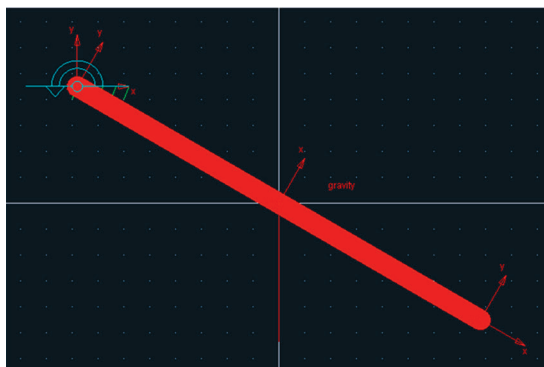
# **Módulo ADAMS/View aplicado ao estudo do MHS**

Este capítulo tem como objetivo iniciar o leitor na utilização do módulo ADAMS/View modelando dois mecanismos clássicos para o estudo do Movimento Harmônico Simples (MHS): o pêndulo físico e o pêndulo simples. Ambos os modelos são criados e a análise dos resultados provenientes das simulações é realizada, utilizando, como aporte, o equacionamento analítico para validação dos mesmos.

Para o pêndulo físico será determinada a força aplicada no vínculo (junta) de rotação. Será realizada uma análise de sensibilidade desta força, alterando-se a massa e velocidade angular do pêndulo. O período de oscilação do sistema também será avaliado em função das variações desses parâmetros.

Já o pêndulo simples será utilizado na determinação numérica da aceleração da gravidade na terra. Equações analíticas validam o modelo virtual.

Os modelos virtuais a serem obtidos ao final deste capítulo estão mostrados a seguir.



Pêndulo Físico



Pêndulo Simples

## 2.1. Desenvolvimento de um modelo virtual de um pêndulo físico

Este item se dedica à construção e à simulação de um pêndulo físico composto de uma barra homogênea e uniforme de 2,0 kg e comprimento igual a 450 mm.

**A notar:** no domínio da Teoria da Elasticidade, diz-se que um corpo é homogêneo quando as propriedades físicas específicas de um elemento infinitesimal deste podem ser extrapoladas para todo o corpo, ou seja, em qualquer ponto desse corpo no espaço as propriedades serão as mesmas.

Diz-se que a mesma é uniforme se não há variação das propriedades geométricas.

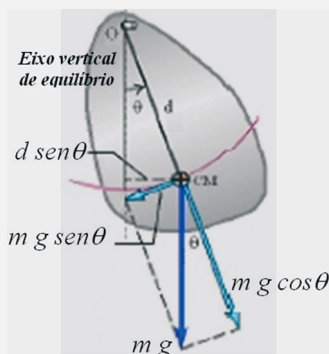
A essa barra será imposta uma velocidade angular inicial constante de valor 3 rad/s. A posição inicial do movimento será de 30° relativamente ao eixo horizontal x.

**A notar:** um pêndulo consiste em um objeto oscilante em torno de um ponto fixo e que tem como principais aplicações estudos da força peso e do movimento oscilatório. Isto lhe garante um caráter de mecanismo de medição ou instrumento. Galileu Galilei, físico, matemático, astrônomo e filósofo italiano foi quem primeiro se dedicou ao estudo da periodicidade do movimento pendular, dando grande contribuição à Mecânica Clássica.

Visto como um objeto oscilante, há duas formas de se tratar um pêndulo: como físico ou simples. O pêndulo físico consiste em um corpo rígido de massa “m”, que oscila em um plano vertical, em torno de um ponto “O” fixo, por onde passa um eixo perpendicular ao plano de oscilação.

Este corpo é sustentado neste ponto, sem atrito e fica a uma distância “d” do seu

centro de massa/centro de gravidade, conforme mostra a figura a seguir. O pêndulo físico é normalmente aplicado na determinação do valor local da gravidade.



Pêndulo físico.

Fonte: UNIDESC. Disponível em: <[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/vitor/materiais/Roteiro\\_7\\_1.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/vitor/materiais/Roteiro_7_1.pdf)>. Acesso em: 22/11/2012

O pêndulo encontra-se em equilíbrio, quando o ponto “O” e o centro de massa “cm” deste se encontram sobre o mesmo eixo na posição vertical. Quando este é levemente afastado desta posição (pequenas oscilações), ele passa a executar um movimento oscilatório em torno dela, esse movimento é denominado movimento harmônico simples, se não há forças de atrito.

Durante esse movimento, um torque restaurador de valor  $\tau = d \times (mg \sin \theta)$  age sobre o pêndulo, no qual  $\theta$  é o ângulo entre o eixo vertical de equilíbrio e a reta que posiciona o pêndulo durante seu movimento. O ângulo e o torque restaurador terão sempre sinal contrário, ou seja, se  $\theta > 0$ ,  $\tau < 0$  e vice-versa, daí a atribuição restaurador. Convenciona-se que valores positivos estão no sentido anti-horário, enquanto valores negativos, no horário.

Com o desenvolvimento deste modelo virtual, deseja-se obter a força aplicada no ponto de apoio no instante  $t_0$ .

### **Etapa 1 – Inicializando o ADAMS/View**

- Inicialize o módulo conforme discutido no item 1.3.1 e escolha a opção *Create a new model*.
- Em seguida, preencha a aba *Model name* com o nome do modelo virtual, no caso, “pendulo\_fisico”. Veja este é o nome do modelo virtual.

A Figura 2.1, a seguir, exibe a tela que o usuário irá obter. Ressalta-se que o nome atribuído não deve conter caracteres especiais, como acentos gráficos, símbolos, formas etc. Mantenha a aba *Gravity* e *Units* nos valores *default*, conforme indicado na Figura 2.1.

Na aba *Start in*, especifique o diretório no qual o *database* será armazenado, quando gravado. No caso, escolheu-se o diretório “Meus documentos” pasta “Minhas Formas”.

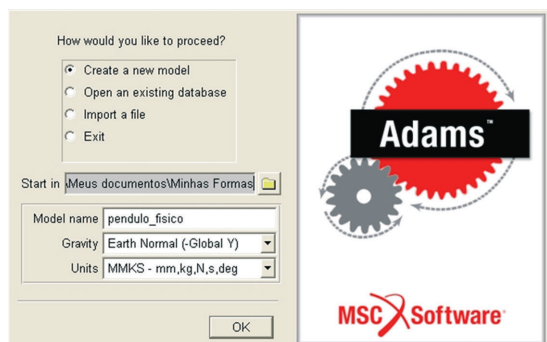


Figura 2.1 – Tela inicial do ADAMS/View.

## Etapa 2 – Ajustando a área de trabalho no ADAMS/View

- Altere o espaçamento do *grid* para 25 mm. Para tanto, recorra ao menu principal opção *Settings* → *Working Grid* aba *Spacing*. A tela auxiliar que aparecerá é a indicada na Figura 2.2.

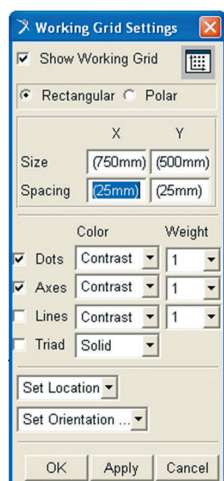



Figura 2.2 – Tela para alteração de espaçamento do *grid* na área de trabalho do ADAMS/View.

## Etapa 3 – Construção do corpo rígido – Barra homogênea e uniforme

- Crie uma geometria sólida, no caso um *link*, conforme tratado no item 1.3.2.1, b.1.

- Escolha no menu *Main Toolbox* o ícone referente ao *Rigid body: link* .
- Após seleção da opção, as abas referentes à criação da geometria aparecem nos campos inferiores do menu *Main Toolbox*, são eles: o comprimento, *Length*, a largura, *Width* e a profundidade, *Depth*, que devem ser preenchidos como ilustrado na Figura 2.3. Cabe ressaltar que para tornar os valores de geometria válidos, o deve-se tornar as abas ativas; isto se faz selecionando cada uma delas com um *tick*. Tenha atenção às unidades, pois o *default* da janela é o “cm” e as unidades mostradas estão em “mm”.

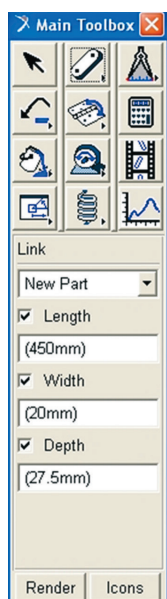
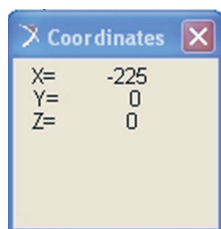
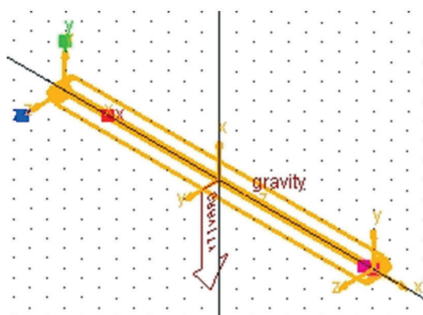


Figura 2.3 – Tela para criação do *link* que representará a barra homogênea do pêndulo físico.



(a)



(b)

Figura 2.4 – (a) tela para criação da coordenada inicial do pêndulo físico;  
(b) *link* criado na área de trabalho (vista isométrica).

- Escolha a coordenada inicial do *link*, segundo as coordenadas (X, Y, Z) iguais a (-225,0,0). Para tanto, posicione o cursor em qualquer ponto da tela e, em seguida, pressione a tecla F4 (Tabela 1.5). Essa operação abrirá uma janela denominada *Coordinates*, conforme a Figura 2.4a.
- Posicione, então, o cursor na posição desejada. Não clique com o mouse sobre a área de trabalho, pois isto dará início ao comando *link*. Outra maneira de estabelecer o ponto inicial da geometria é segundo o indicado na Figura 1.28a.
- Em seguida, arraste o cursor para finalização da criação do *link* até a coordenada (+225,0,0). A Figura 2.4b mostra a geometria finalizada em vista isométrica.
- Após a criação do *link*, Figura 2.4a, selecione-o e pressione o botão direito do mouse sobre ele. A janela que será apresentada é a mostrada na Figura 2.5a. Repare que a seleção se refere à *Part: PART\_2*. Em seguida, como mostrado, selecione a opção *Modify*.

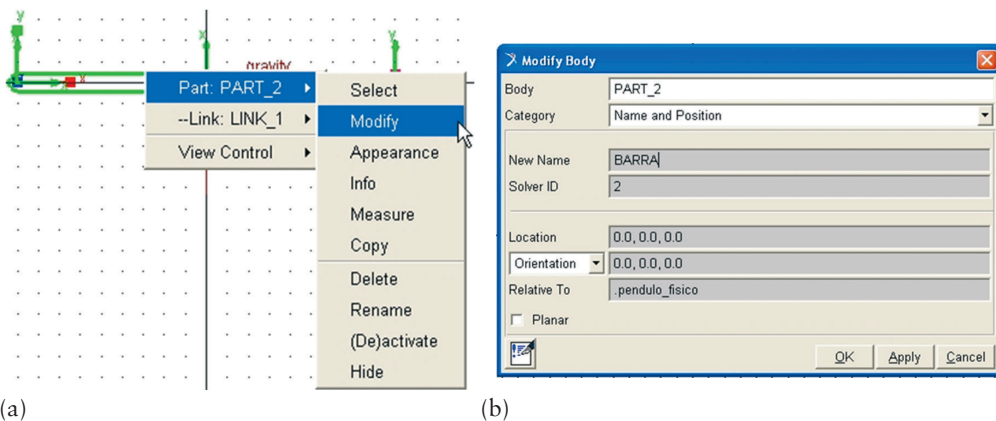



Figura 2.5 – (a) Tela referente à demanda de modificação de parâmetros do link;  
(b) tela referente à opção *Modify*.

- Na aba *Category*, Figura 2.5b, ative a barra de rolagem e escolha a opção *Name and Position*.
- Na opção *Body*, Figura 2.5b, aparece o nome *PART\_2*. Vá à aba *New Name* e digite *BARRA*, como o novo nome da geometria.
- Em seguida, escolha a opção *Apply*. Verifique que a aba *Body* tem seu nome atualizado por *BARRA*. A tela que concretiza as operações descritas aqui é mostrada na Figura 2.5b.
- Tecle na opção *Ok* para finalizar a operação.



- Para atribuir a massa de 2 kg à barra, selecione a geometria, clique com o botão direito do mouse sobre ela e escolha a opção *Part: BARRA* → *Modify*.
- Na aba *Category* escolha a opção *Mass Properties* e na aba *Define Mass By* escolha *User Input*. Repare que para ter acesso a estas opções, deve-se ativar as barras de rolagem ao lado de cada uma das abas. A Figura 2.6 ilustra este passo. Note que a unidade considerada foi o “kg”, por isso o valor 2.0.

#### Etapa 4 – Definindo a posição inicial do pêndulo físico

- Selecione a geometria sólida.
- No menu *Main Toolbox*, selecione a opção *Position: Reposition Position objects relative to view coordinates (x to right, y up, z out of the view)* ícone . Ele se encontra no 1º grupo de ícones, segundo Tabela 1.4, 4ª linha, 1ª coluna.

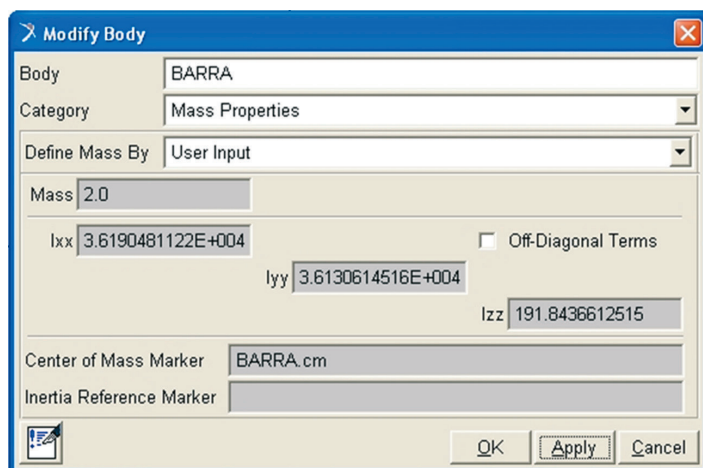


Figura 2.6 – Tela correspondente à atribuição de massa ao modelo virtual.

- Preencha a aba *Angle* com o valor de 30°.
- Escolha a seta da esquerda no campo *Rotate About View Center*, no sentido horário. Esta operação fará com que a barra gire segundo o eixo *x*, exatamente como estabelecido em 2.1. As Figuras 2.7a, b ilustram as abas preenchidas e o posicionamento inicial do pêndulo, respectivamente.

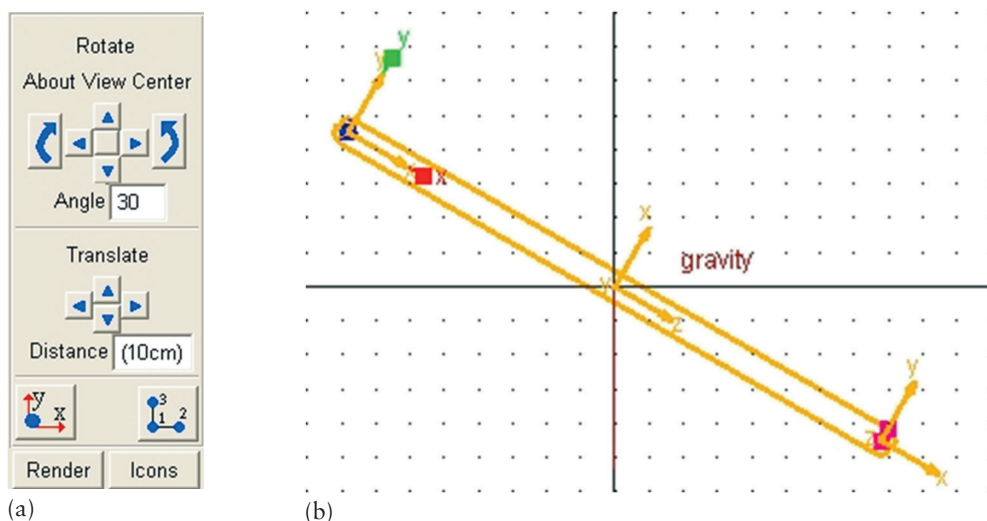



Figura 2.7 – (a) seleção de valores para posicionamento inicial da barra do pêndulo físico;  
(b) posição inicial do pêndulo (vista frontal).

### Etapa 5 – Estabelecendo restrições ao modelo virtual

A junta que será colocada no modelo é uma junta idealizada do tipo junta revoluta tratada em 1.3.3.1a.

- Escolha o ícone referente a esta junta  no menu *Main Toolbox*.
- Preencha as abas referentes a esta junta da seguinte maneira: *Construction* opção *1 Location* e, em seguida, na aba logo abaixo, *Normal to Grid*, Figura 2.8a. Neste caso, ao fornecer a posição de inserção, o ADAMS/View automaticamente selecionará as partes necessárias para inserção da restrição, no caso o *link* e o *ground part*.
- Posicione o mouse sobre a extremidade superior da barra e, com o botão esquerdo do mouse sobre a geometria, selecione o *marker* correspondente a essa extremidade, no presente modelo BARRA: *MARKER\_1*, Figura 2.8b. A Figura 2.8c mostra o resultado final.

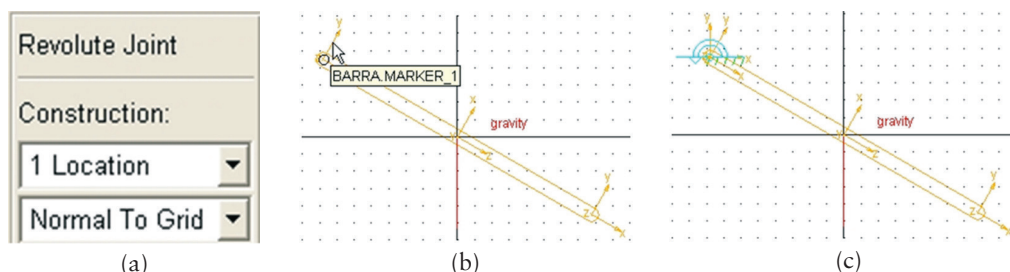


Figura 2.8 – (a) preenchimento das abas para inserção de uma junta revoluta;  
 (b) seleção do *marker* para inserção da junta;  
 (c) resultado final após inserção da junta.

### Etapa 6 – Definição do movimento inicial do modelo



A velocidade angular inicial de  $\omega = 3 \text{ rad/s}$  será atribuída ao modelo a partir da escolha de um *marker* que se encontra no *ground part*. O usuário pode verificar a posição desse *marker* clicando com o botão direito do mouse sobre o centro da junta revoluta inserida. Ao clicar, aparecerão duas informações: *Part: BARRA* e *Part: ground*.

A primeira parte traz um *link* e dois *markers* e a segunda, um *marker* e uma junta (*joint*). O usuário perceberá que para inserir o movimento inicial deverá escolher o *Marker: MARKER\_4* pertencente ao *Part: ground*. Assim,

- Selecione o modelo com o mouse.
- Pressione o botão direito do mouse sobre o mesmo e escolha *Part: BARRA* → *Modify*.
- Na aba *Category*, ative a barra de rolagem e escolha *Velocity Initial Conditions*. Será possível perceber que a janela se divide em duas áreas: *Translational velocity along* e *Angular velocity about*. Vá para a área *Angular velocity about*.
- Selecione a opção *Marker*.
- Uma caixa de texto aparece. Clique com o botão direito do mouse sobre ela. Na janela auxiliar, escolha a opção *Marker*. Expanda esta aba e vá à opção *Guesses*. Expanda esta opção e escolha “.pendulo\_fisico.ground:MARKER\_4”.
- Entre as opções de eixo mostradas, escolha a opção *Z axis*. Preencha a caixa de texto lateral de fundo cinza com o valor de 3.0 r. Não coloque unidades e perceba a letra “r” ao final.
- Clique em *Apply*, neste momento o valor será alterado, e, em seguida, *Ok*. A Figura 2.9 ilustra esta Etapa.

### Etapa 7 – Verificação do modelo

Esta Etapa se destina à análise do modelo antes que ele seja submetido à simulação. Para tanto,

- Clique no ícone  com o botão direito do mouse. Este ícone se situa no canto inferior direito da tela do ADAMS/View.
- Escolha a opção . Ela verifica o modelo, fornece o número de partes e informa o número de graus de liberdade.
- Feche a tela correspondente, se a mensagem ao final for *Model verified successfully*.

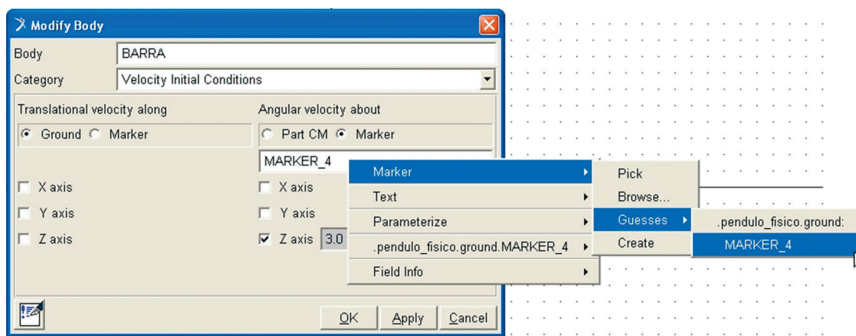


Figura 2.9 – Tela ilustrativa da Etapa 6.

### Etapa 8 – Simulação do modelo

- Clique no centro da junta revoluta e acione o botão direito do mouse.
- Selecione a opção *Joint:Joint\_1* e escolha a opção *Measure*.
- Vá à aba *Characteristic*, acione a barra de rolagem e escolha a opção *Force*.
- Na aba *Component*, selecione *mag*.
- Mantenha as demais abas preenchidas com os valores *default*. A Figura 2.10a exibe como deve ser preenchida a tela.
- Clique em *Apply* e, nesse momento, uma tela indicativa da medida (*Measure*) inserida irá aparecer, conforme a Figura 2.10b. Não feche a tela, pois será nela que aparecerão os resultados requeridos sobre o pêndulo.
- Para finalizar, Clique em *Cancel*. Se clicar em *Ok*, uma nova tela idêntica à anterior (Figura 2.10b) irá aparecer.

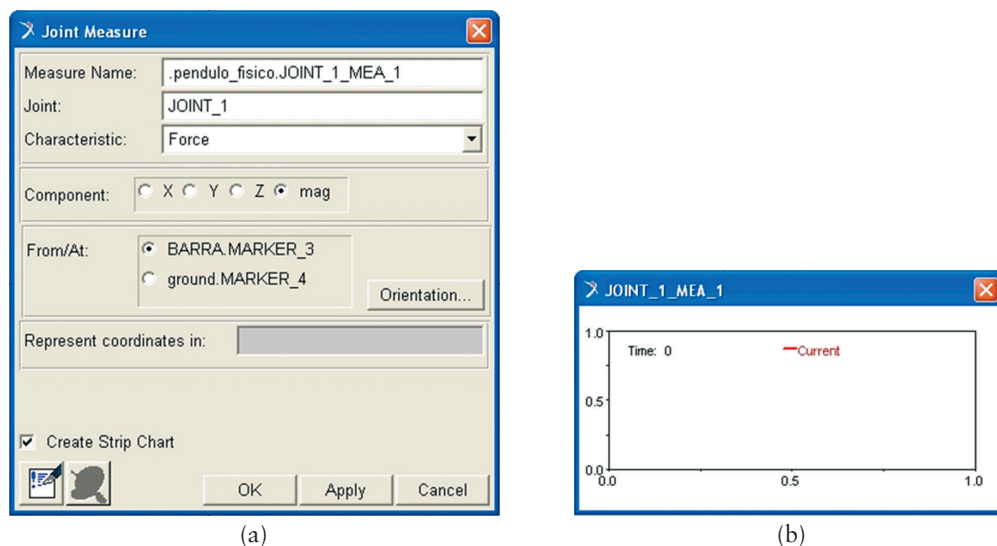




Figura 2.10 – (a) preenchimento correspondente ao início da simulação;  
(b) tela resultante da operação efetuada.

- Em seguida, vá ao menu principal *Main Toolbox* e selecione o ícone , tratado no item 1.3.4, com um simples clique sobre ele.
- Preencha as abas que aparecem na parte inferior do menu *Main Toolbox*, conforme mostrado na Figura 2.11a. Em seguida, clique no botão *Play* . A tela *JOINT\_1\_MEA\_1* será preenchida conforme a Figura 2.11b.

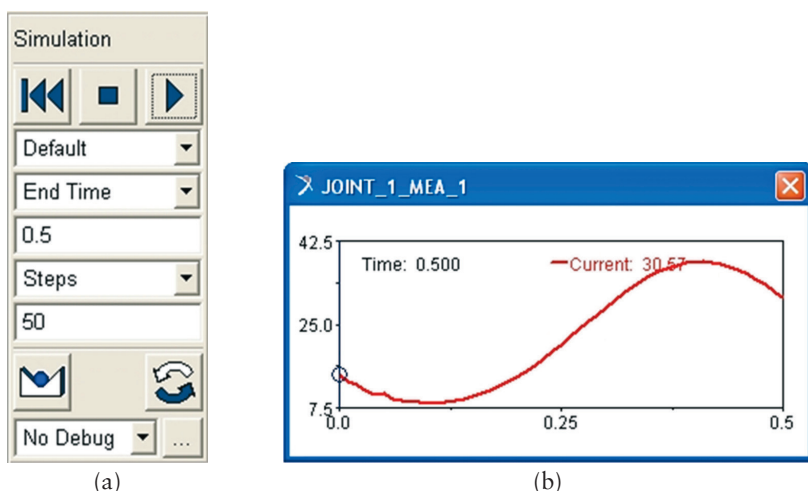



Figura 2.11 – (a) Preenchimento das abas referentes à simulação;  
(b) gráfico gerado após simulação

### Etapa 9 – Determinação da força sobre o ponto de inserção da junta

Para a realização desta Etapa, será necessário recorrer ao ADAMS/PostProcessor, tratado no item 1.4.

- Clique com o botão direito do mouse em qualquer ponto da área do gráfico *JOINT\_1\_MEA\_1*.
- Aparecerá então a opção *Plot:scht1*.
- Expanda e selecione a opção *Transfer to full plot*. Neste momento você irá migrar para o módulo ADAMS/PostProcessor.
- No menu principal deste módulo, selecione a opção *Plot Tracking* representada pelo seguinte ícone . Isto lhe possibilitará rastrear os valores de Força  $x$  Tempo ao longo da curva.

Verifica-se que o pêndulo está submetido a uma força máxima de 38,12N aos 0,41s e a uma força mínima de 8,54N a 0,1s. No ponto em que  $x$  é igual a zero, o valor da força é de 14,54N. A pequena instabilidade no início da curva se deve à entrada em movimento do mecanismo. A Figura 2.12 mostra a aparência dessa janela.

- Pressione a tecla F8 para retornar ao módulo ADAMS/View.

### Etapa 10 – Salvando o modelo virtual

Após finalizar a simulação, o usuário deve salvar seu trabalho procedendo da seguinte maneira:

- Vá ao menu principal do módulo e selecione a opção *File*.

- Clique sobre ela e a faça expandir.
- Escolha a opção *Save Database as...*
- Clique sobre ela e uma tela irá se abrir, conforme a Figura 2.13.

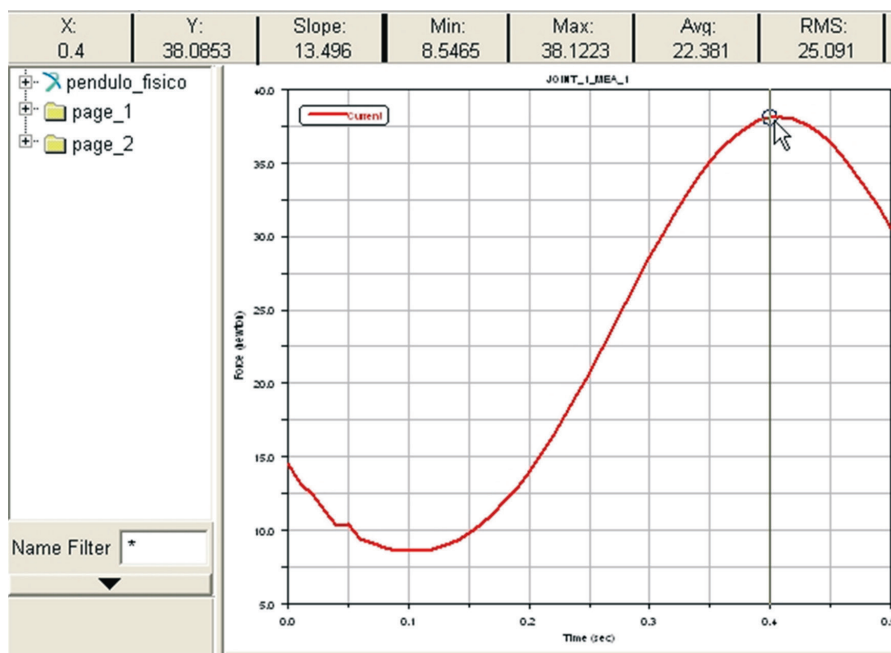


Figura 2.12 – Variação da força no vínculo ao longo de um período de oscilação de 0,5 s.

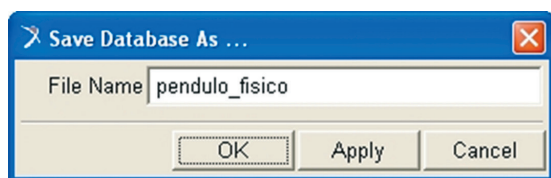


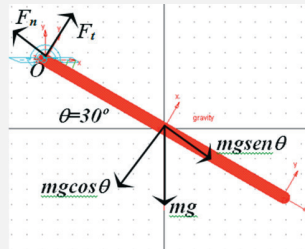
Figura 2.13 – Tela para gravação do modelo virtual.

- Clique na opção *Ok*.

Cabe ressaltar que o nome do arquivo aparece automaticamente e é igual ao nome do modelo com extensão *\*.bin*. O local onde ele será armazenado foi definido no início da seção na aba *Start in*, sendo esta preenchida por *\*/Meus documentos/Minhas Formas*.

### Etapa 11 – Comparação entre os valores de força encontrados pelo ADAMS/View e analiticamente

**A notar:** A resolução analítica do problema do pêndulo físico remete ao seguinte equacionamento do problema.



Considere a figura acima representativa do pêndulo físico em que no ponto “O” agem as forças  $F_t$  e  $F_n$ , que são, respectivamente, forças tangencial e normal ao polo O. A força peso age no centro de massa/centro de gravidade da barra homogênea e uniforme e se decompõe segundo as componentes mostradas:  $mg \cos \theta$  no sentido tangencial e  $mg \sin \theta$  no sentido normal.

O somatório do momento em torno do polo “O” é igual a:

$$\sum M^O = I_O \alpha \quad (1)$$

onde  $I_O$  é o momento de inércia da barra em torno de “O” e  $\alpha$  a aceleração tangencial. A única força capaz de gerar momento em torno desse ponto é a componente do peso  $mg \cos \theta$  que multiplicado pelo braço de alavanca “d”, distância ao longo da barra entre o ponto de aplicação da força até “O”, fornece:

$$mg \cos \theta d = I_O \alpha \quad (2)$$

Sabendo que o momento de inércia de uma barra em seu centro de massa é:  $I_{CM} = \frac{mL^2}{12}$ , onde “m” é a massa da barra e “L” seu comprimento total. Como se precisa do momento de inércia no ponto “O”, aplicando o Teorema dos Eixos Paralelos tem-se:

$I_O = \frac{mL^2}{3}$ . Substituindo este valor em (2) e sabendo que  $m=2\text{kg}$ ;  $L=0,450\text{m}$ ;  $g=9,81\text{m/s}^2$ ;  $d=0,225\text{m}$  e  $\theta=30^\circ$ , obtém-se  $\alpha$  igual a  $28,32 \text{ rad/s}^2$ .

O equilíbrio das forças nas direções tangencial e normal geram:

$$\sum F_t = md\alpha$$

$$mg \cos \theta - A_t = md\alpha \quad (3)$$

$$\sum F_n = md\omega^2$$

$$A_n - mg \sin \theta = md\omega^2 \quad (4)$$

De  $\alpha$  igual a  $28,32 \text{ rad/s}^2$  e  $\omega=3,0 \text{ rad/s}$ , tiram-se de (3) e (4) os valores de  $A_t$  e  $A_n$ , respectivamente, sendo estes iguais a  $4,247\text{N}$  e  $13,86\text{N}$ . A resultante de F é calculada usando o Teorema de Pitágoras, levando ao valor de  $14,5\text{N}$ .



O valor discriminado no quadro acima é aproximadamente o mesmo determinado pela simulação do pêndulo no ponto  $x = 0$ , ou seja, 14,54 N.


### 2.1.1. Estudo de sensibilidade do modelo virtual

Neste tópico será avaliada a sensibilidade do modelo virtual criado a partir da realização do seguinte experimento:

- Dobre a massa da barra, que passará de 2,0 kg para 4,0 kg e velocidade angular inicial de 3 rad/s.
- Mantenha a massa da barra em 2,0 kg e multiplique por um fator de escala 2,0 o valor da velocidade angular inicial, ou seja, a mesma passará de 3,0 rad/s para 6,0 rad/s.

#### 2.1.1.1. Alterando o valor da massa do pêndulo físico

Os resultados destas duas operações serão comparados em seguida. Comece alterando a massa da barra.

- Modifique a massa da barra clicando com o botão direito do mouse sobre a barra.
- Selecione *PART:BARRA* e clique em *Modify*. Será aberta a tela auxiliar correspondente a essa opção, Figura 2.6. Coloque a aba *Category* em *Mass Properties* e a aba *Define Mass By* em *User Input*.
- Na aba *Mass* digite o valor 4.0.
- Repita a Etapa 8.
- Como na Figura 2.10a, crie um novo nome para a aba *Measure Name*. Sugestão: *JOINT\_1\_MEA\_m4kg*.
- Selecione o ícone , no menu *Main Toolbox* e proceda como indicado na Etapa 8. Na Figura 2.11a escolha 1.0 para a aba *End time*.
- Prossiga repetindo o estabelecido na Etapa 9.

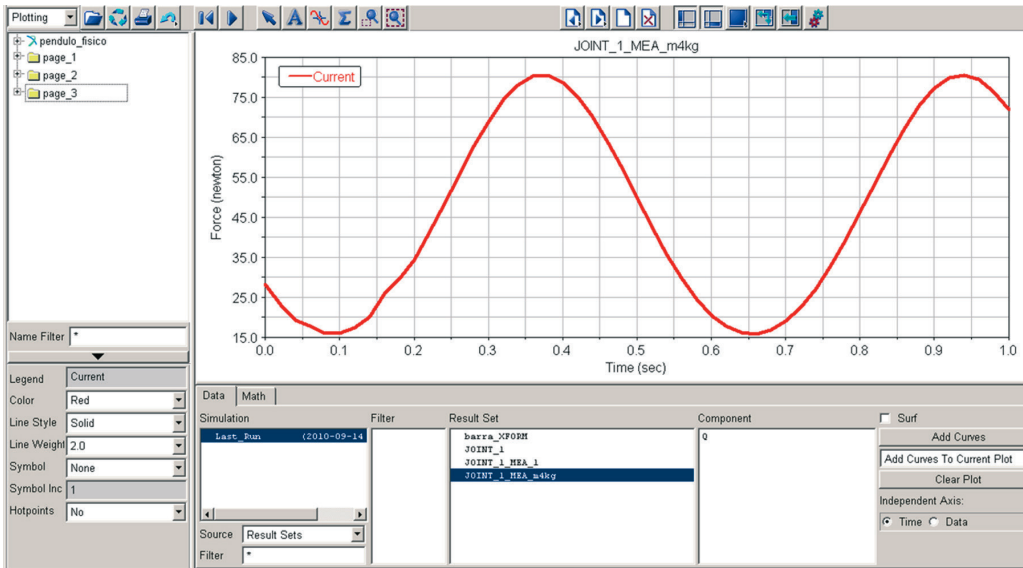


Figura 2.14 – Variação da força no vínculo ao longo de um período de oscilação de 1,0 s considerando a massa da barra igual a 4,0 kg.

Note que à esquerda da tela foi criada uma pasta de nome *page\_3* que contém os dados desta simulação.

- Pressione F8, retornando ao ambiente do ADAMS/View e refaça o dito acima com a massa da barra sendo igual a 2 kg. Esta operação deve ser repetida para que se amplie o período de oscilação, que antes, para essa mesma massa, era de 0,5 s. Ao estabelecer o nome da nova simulação sugere-se que a aba *Measure Name* seja preenchida com *JOINT\_1\_MEA\_m2kg*.

Para comparar os resultados obtidos, variando a massa da barra, exiba as duas curvas no mesmo gráfico. Para tanto, no ambiente ADAMS/PostProcessor:

- Selecione a curva da primeira simulação, ou seja, a curva contendo os resultados da barra de massa igual a 4 kg, a qual está armazenada na *page\_3*. Ela deve ficar iluminada.
- Na caixa de diálogo *Source* → *Result Sets*, localizada no canto inferior esquerdo da tela do ADAMS/PostProcessor, selecione a outra curva de interesse, neste caso a *JOINT\_1\_MEA\_m2kg*, Figura 2.15.
- Na caixa de diálogo *Component*, parte inferior da tela do ADAMS/PostProcessor, selecione a variável de interesse, neste caso a variável Q (Força). Clique em *Add Curves*, aba no canto inferior direito da tela do ADAMS/PostProcessor, Figura 2.15.

Verifique que o valor da nova força para  $m = 4 \text{ kg}$ , no ponto  $x = 0$  é de 28,17 N, praticamente o dobro da força anteriormente encontrada para o mesmo ponto.

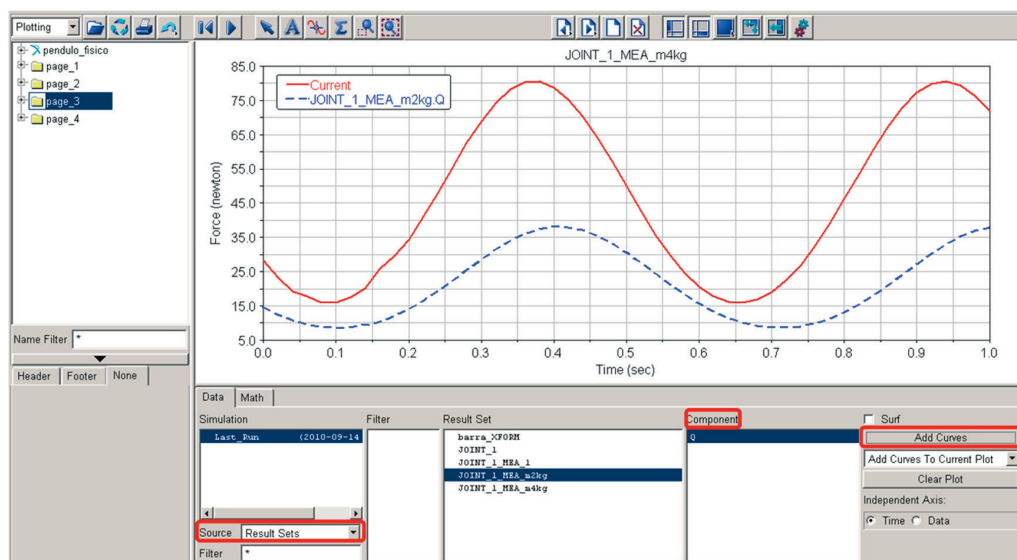




Figura 2.15 – Variação da força no vínculo ao longo de um período de oscilação de 1,0 s considerando as massas das barras iguais a 2,0 e 4,0 kg.

### 2.1.1.2. Alterando o valor da velocidade angular inicial

Em seguida, será guardado o mesmo valor de massa da barra  $m = 2 \text{ kg}$  e a velocidade angular inicial será dobrada, ou seja, passará a 6 rad/s. Para tanto:

- Clique com o botão direito do mouse sobre a barra do pêndulo, selecione *PART: BARRA* e clique em *Modify*. Será aberta uma tela semelhante a Figura 2.6.
- Na aba *Category*, selecione a opção *Velocity Initial Conditions* ativando a barra de rolagem.
- Substitua o valor presente na caixa de texto de fundo cinza, ao lado do *Z axis*, por 6.0 r.
- Clique em *Apply*. Observe que ao fazê-lo o valor em frente à opção muda para 343.7746770795. Em seguida, clique em *Ok*.
- Selecione novamente a barra e clique com o botão direito do mouse sobre ela, selecione, em seguida, *PART: BARRA* e escolha a opção *Modify*.
- Na aba *Category*, selecione a opção *Mass Properties*.

- Na aba *Define Mass By*, escolha *User Input* como opção, por meio da barra de rolagem.
- Na opção *Mass*, escreva 2.0. Clique em *Apply*, em seguida *Ok*.
- Repita a Etapa 8. Sugere-se que a aba *Measure Name* tenha seu nome trocado para *JOINT\_1\_MEA\_w6rads*.
- Selecione o ícone , no menu *Main Toolbox* e proceda como indicado na Etapa 8. Na Figura 2.11a, escolha 1.0 para a aba *End time*.
- Prossiga repetindo o estabelecido na Etapa 9.
- Selecione novamente a barra e refaça colocando a velocidade angular inicial igual a 3.0 rad/s, mantendo a mesma massa.
- Repita a Etapa 8. Sugere-se que a aba *Measure Name* tenha seu nome trocado para *JOINT\_1\_MEA\_w3rads*.
- Selecione o ícone , no menu *Main Toolbox* e proceda como indicado na Etapa 8. Na Figura 2.11a escolha 1.0 para a aba *End time*.
- Prossiga repetindo o estabelecido na Etapa 9.
- Selecione a curva da primeira simulação, ou seja, a curva contendo os resultados da barra de velocidade angular inicial igual a 6 rad/s, a qual está armazenada na *page\_4*. Ela deve ficar iluminada.
- Na caixa de diálogo *Source* → *Result Sets*, localizada no canto inferior esquerdo da tela do ADAMS/PostProcessor, selecione a outra curva de interesse, neste caso, a *JOINT\_1\_MEA\_w3rads*, Figura 2.16.
- Na caixa de diálogo *Component*, parte inferior da tela do ADAMS/PostProcessor, selecione a variável de interesse, neste caso, a variável *Q* (Força).
- Clique em *Add Curves*, aba no canto inferior direito da tela do ADAMS/PostProcessor, Figura 2.16.

A curva em traço cheio, mostrada na Figura 2.16, se refere à velocidade angular inicial de  $\omega = 3,0$  rad/s, enquanto a outra se refere à velocidade de  $\omega = 6,0$  rad/s. Repare que há uma defasagem entre as curvas.

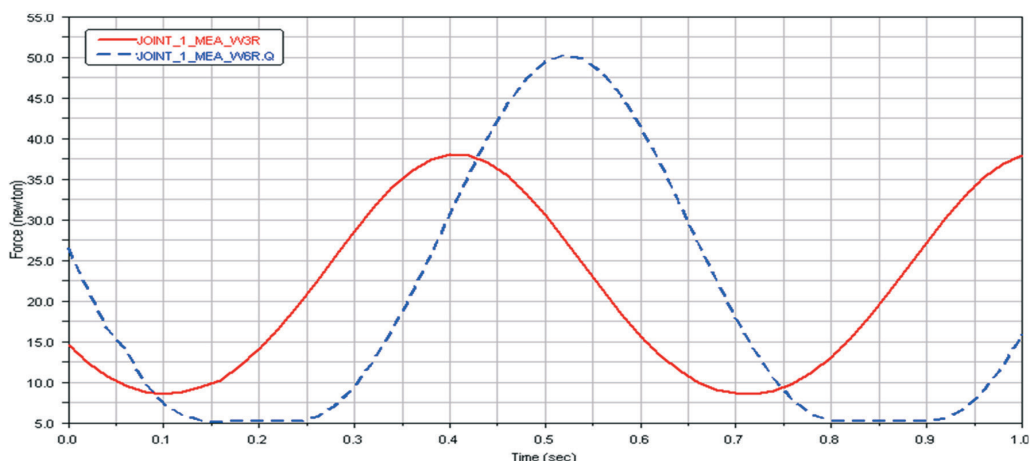


Figura 2.16 – Variação da força no vínculo ao longo de um período de oscilação de 1,0 s considerando as velocidades angulares iniciais da barra iguais a 3 e 6 rad/s.

### 2.1.1.3. Avaliação dos resultados obtidos

Como na situação mostrada no item 2.1.1.1, o valor da força exercida no ponto de apoio do pêndulo físico no caso do item 2.1.1.2, é praticamente o dobro.

A frequência angular e o período de oscilação do pêndulo físico são dados, respectivamente, por:

$$f = \sqrt{\frac{mgd}{I_0}}$$

2.1

$$f = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{mgd}}$$

2.2

onde os valores das variáveis das equações já foram previamente definidos em 2.1 – Etapa 11.

Avaliando as duas situações apresentadas em 2.1.1.1 e 2.1.1.2 relativas à frequência angular e ao período de oscilação do pêndulo, tem-se o mostrado na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1 – Valores de período e de frequência do pêndulo físico sob diferentes situações**

Caso 1 – Valor de $m = 2\text{ kg}$ e $\omega = 3,0\text{ rad/s}$ (caso referência)		Caso 2 – Valor de $m = 4\text{ kg}$ e $\omega = 3,0\text{ rad/s}$		Caso 3 – Valor de $m = 2\text{ kg}$ e $\omega = 6,0\text{ rad/s}$	
$f$	$T$	$f$	$T$	$f$	$T$
5,72Hz	1,10s	5,72Hz	1,10s	5,72Hz	1,10s

A partir dos casos 1, 2 e 3, comprova-se que, como esperado, as frequências e os períodos de oscilação do pêndulo físico são iguais em todos os casos.

Isto porque as grandezas dependem, exclusivamente, do comprimento do pêndulo ( $L$ ) ou da distância de seu centro de massa ao polo “O” ( $d = L/2$ ), que é mantido constante nos três casos. Observa-se que o efeito do fator multiplicativo da massa se anula no quociente da Equação 2.1 e é independente da velocidade angular inicial.

Contudo, percebe-se uma diferença de amplitude entre as curvas (valores máximos e mínimos) com respeito aos valores da força. A Tabela 2.2 traz um comparativo entre esses valores em intervalos de tempo comum.

**Tabela 2.2 – Comparação entre as forças em intervalos de tempo comum no pêndulo físico**

Caso 1 – Valor de $m = 2\text{ kg}$ e $\omega = 3,0\text{ rad/s}$ (caso referência)		Caso 2 – Valor de $m = 4\text{ kg}$ e $\omega = 3,0\text{ rad/s}$	Caso 3 – Valor de $m = 2\text{ kg}$ e $\omega = 6,0\text{ rad/s}$
Tempo (s)	Força (N)	Força (N)	Força (N)
0,0	14,54	28,17	26,38
0,12	8,77	17,51	5,85
0,40	38,16	78,76	31,13
0,70	8,56	19,13	17,41
0,88	24,46	73,32	5,11

Da Figura 2.15 e Tabela 2.2 percebe-se que no caso 2 as forças resultantes ao longo da trajetória no ponto “O” (apoio) são sempre superiores que as obtidas no caso 1. Contudo, em alguns pontos, a razão entre elas varia. Por exemplo, em  $x = 0$  este fator é de aproximadamente 2,0, mas em  $x = 0,88\text{ s}$  essa razão passa a ser 3,0. Isto se deve a diferenças no valor das forças componentes normal e

tangencial provocado pela diferença de massa, em um dado ponto num determinado tempo.

Da Figura 2.16 e Tabela 2, verifica-se que a aceleração tangencial permanece a mesma entre os casos 1 e 3, havendo diferença apenas na componente normal, em razão do valor da velocidade angular inicial que varia.

A defasagem entre as curvas de força com respeito aos casos em que  $\omega = 3,0$  rad/s e  $6,0$  rad/s se explica pela defasagem observada nas curvas de deslocamento ao longo do eixo  $y$ . Isto porque a diferença entre as velocidades angulares iniciais garante que um dos pêndulos esteja sempre à frente do outro por ter uma velocidade maior.

A Figura 2.17 esclarece o dito acima em que a curva de traço contínuo se refere à situação de deslocamento para  $\omega = 3,0$  rad/s e a tracejada para  $\omega = 6,0$  rad/s.

Para obter esse gráfico, recorre-se ao ADAMS/PostProcessor seguindo a sequência de ações semelhante àquela de 2.1.1.2, diferenciando-se apenas nos aspectos mostrados a seguir, além de nomes distintos para os *Measures*. Para tanto,

- Para definir os pontos de medida, não mais escolha *Joint: JOINT\_1*, mas sim a BARRA e no caso, *PART: BARRA*. Clique com o botão direito do mouse sobre ela para definir o tipo de medida por meio da opção *Measure*.
- Na tela *Part Measure*, no campo *Characteristic* selecione ativando a barra de rolagem *CM position*. No campo *Component*, selecione *Y*.

Para a plotagem dos resultados proceda como especificado em 2.1.1.2. Para tanto, atenção aos seguintes pontos:

- Selecione a curva da primeira simulação, ou seja, a curva contendo os resultados do pêndulo com velocidade angular inicial igual a  $6$  rad/s. Ela deve ficar iluminada.
- Na caixa de diálogo *Source*, localizada no canto inferior esquerdo da tela do ADAMS/PostProcessor, escolha a opção *Measures* ativando a barra de rolagem.
- Selecione a outra curva de interesse, tendo atenção ao nome atribuído ao conjunto de valores.
- Clique em *Add Curves*, aba no canto inferior direito da tela do ADAMS/PostProcessor.

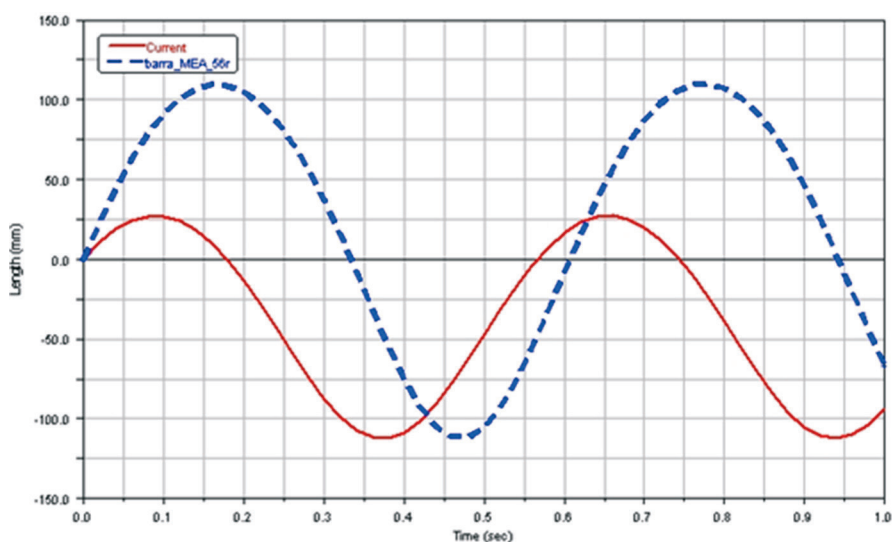


Figura 2.17 – Variação do deslocamento no período de oscilação de 1,0 s considerando as velocidades angulares iniciais da barra iguais a 3 e 6 rad/s.

## 2.2. Desenvolvimento de um modelo virtual de um pêndulo simples

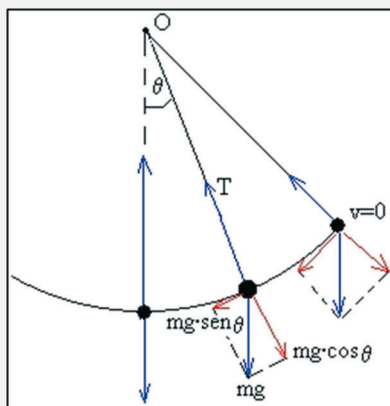
*A notar:* define-se o pêndulo simples como um corpo formado por uma partícula suspensa por um fio inextensível de massa desprezível. Quando afastado de sua posição de equilíbrio e solto, esse pêndulo oscilará em um plano vertical, em torno de um eixo perpendicular ao plano de movimento.

A oscilação se deve à ação da gravidade e o movimento é periódico possibilitando o cálculo da frequência e do período de oscilação.

A figura ao lado mostra um pêndulo simples de comprimento  $L$  e massa da partícula igual a  $m$ . Perceba que comparativamente ao pêndulo físico, o pêndulo simples tem seu centro de massa/centro de gravidade situado na extremidade do fio e, não mais no ponto  $L/2 = d$ , conforme visto anteriormente.

O pêndulo simples é visto como uma massa oscilante pontual. Sendo assim não será mais necessário o cálculo de um momento de inércia polar.





Seu movimento descreve uma trajetória em forma de arco de círculo e as forças que atuam nesse mecanismo são a força peso, que possui duas componentes uma tangencial  $F_n = m g \sin\theta$  e outra normal  $F_n = m g \cos\theta$ , além da força de tração no fio, que se denomina  $T$ . A componente radial é a força centrípeta e a tangencial é a força restauradora, assim como no pêndulo físico.

Fonte ilustração: Universidad del País Vasco. Disponível em: <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/trabajo/pendulo/pendulo.htm>>. Acesso em: 11/12/2012

Este tópico apresenta a construção e simulação de um pêndulo simples composto por uma massa concentrada de 365 g e comprimento de 300 mm; deslocado de sua posição de equilíbrio (eixo vertical) de um ângulo de  $10^\circ$  com a vertical e; com velocidade angular inicial igual  $\omega = 0$ . Com o desenvolvimento desse modelo virtual, deseja-se obter a força aplicada no ponto de apoio no instante  $t_0$  e a determinação da aceleração da gravidade.

### Etapa 1 – Inicializando o ADAMS/View

- Inicialize o módulo, conforme discutido no item 1.3.1, e escolha a opção *Create a new model*.
- Em seguida, preencha a aba *Model name* com o nome do modelo virtual, no caso, “pendulo\_simples”. Veja que este é o nome do modelo virtual.

A Figura 2.18, a seguir, exhibe a tela que o usuário irá obter. Ressalta-se que o nome atribuído não deve conter caracteres especiais, como acentos gráficos, símbolos, formas etc. Mantenha a aba *Gravity* e *Units* nos valores *default*, conforme indicado na Figura 2.18.

A aba *Start in* especifique o diretório no qual o *database* será armazenado, quando gravado. No caso, escolheu-se o diretório “Meus documentos” pasta “Minhas Formas”.

## Etapa 2 – Ajustando a área de trabalho no ADAMS/View

Altere o espaçamento do *grid* para 25 mm. Para tanto, recorra ao menu principal opção *Settings* → *Working Grid* aba *Spacing*. A tela auxiliar que aparecerá é a indicada na Figura 2.19.

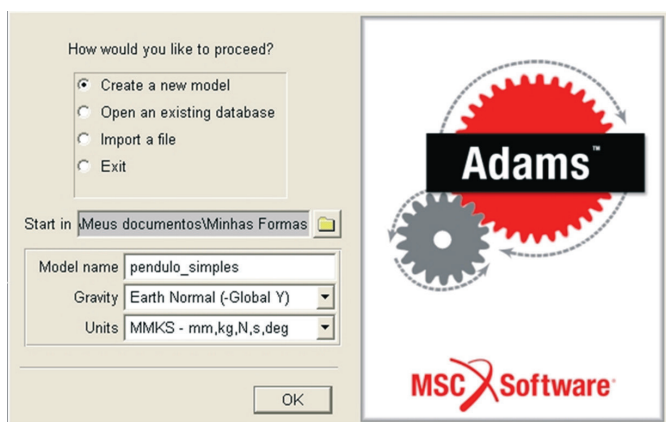


Figura 2.18 – Tela inicial do ADAMS/View.

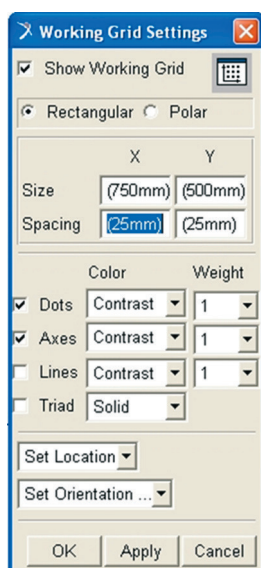




Figura 2.19 – Tela para alteração de espaçamento do *grid* na área de trabalho do ADAMS/View.

## Etapa 3 – Construção da haste de sustentação do pêndulo simples

Para criação dessa parte, será usada a ferramenta *link*.

- No menu *Main Toolbox*, clique com o botão direito do mouse sobre o ícone .

- Dentre as opções mostradas, escolha o ícone  (*Rigid Body: Link*). Ao escolher essa geometria, serão mostradas, na parte inferior do menu *Main Toolbox*, as opções de construção da peça, ou seja, *Length* (comprimento), *Width* (largura) e *Depth* (profundidade). Nelas, deverão ser colocadas as dimensões do *link*. Para acioná-las, deve-se marcá-las com um *tick* e preencher com os valores escolhidos, conforme a Figura 2.20.
- Atenção ao preenchimento, repare que a unidade *default* é o “cm” e no seu preenchimento será alterada por “mm”.

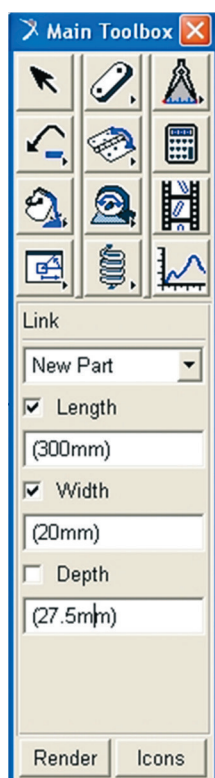


Figura 2.20 – Tela para criação do *link* que representará o fio do pêndulo simples.

- Clique no ponto correspondente à origem do sistema de coordenadas da área de trabalho do módulo. Essa será a coordenada inicial do *link*. Se houver dificuldade na seleção do ponto, posicione o cursor em qualquer região da tela e pressione a tecla F4. Isto fará com que apareça a janela *Coordinates*, conforme discutido na Etapa 3 do item 2.1.
- Arraste o cursor na direção vertical para baixo, para que a geometria *link* seja criada. A Figura 2.21 ilustra o resultado final dessa operação.

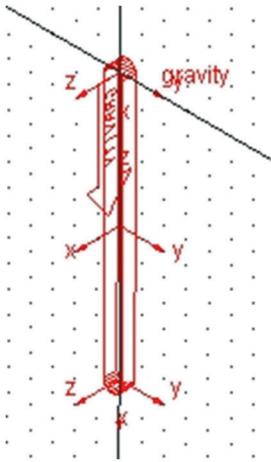




Figura 2.21 – *Link* criado na área de trabalho (vista isométrica).

#### Etapa 4 – Construção da massa pontual do pêndulo simples

A massa que será posicionada na extremidade inferior do *link* criado na Etapa 3 será uma esfera. Para criá-la proceda da forma descrita a seguir.

- No menu *Main Toolbox* clique com o botão direito do mouse sobre o ícone . Isto fará com que ele se expanda.
- Selecione a opção . A Figura 2.22a mostra a operação.
- Preencha as informações sobre a geometria sólida conforme mostra a Figura 2.22b. Repare que, na aba *Sphere*, deve-se ativar a barra de rolagem ao lado e selecionar *Add to Part*.
- Insira a nova geometria na *PART\_2* no ponto de coordenada (X,Y,Z) igual a (0, -300,0), ou seja, na extremidade inferior do link. A Figura 2.23 ilustra esta operação.

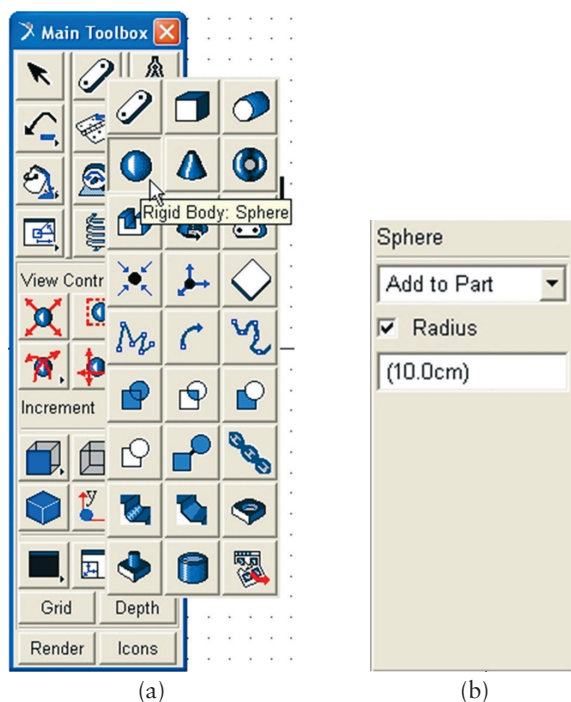
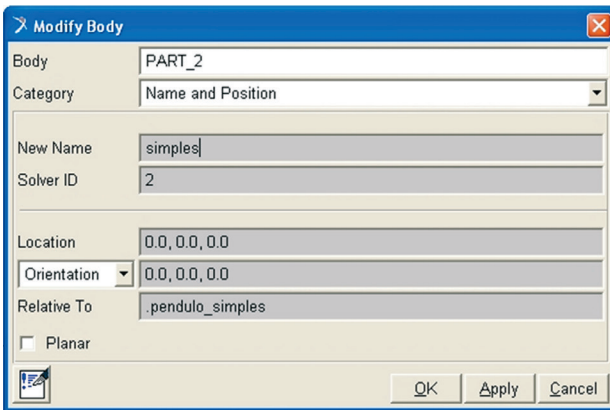


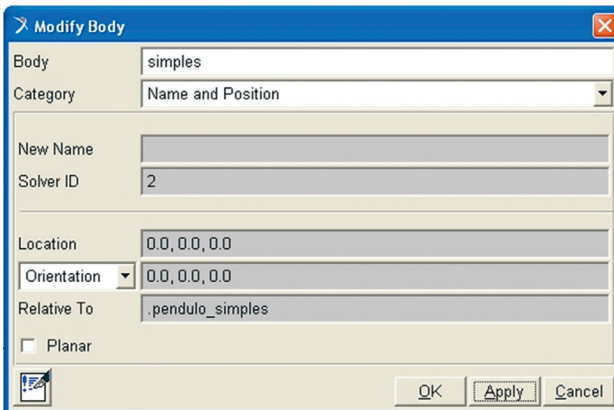
Figura 2.22 – Tela ilustrativa de criação de uma geometria sólida tipo Esfera.

### Etapa 5 – Alterando o nome do modelo

- Selecione a geometria sólida *PART\_2*.
- Em seguida, pressione o botão direito do mouse sobre ela.
- Escolha *Part:Part\_2*, dirija-se à seta em frente à opção. Passe o mouse sobre ela para que apareçam as opções disponíveis.
- Escolha a opção *Modify*.
- Na caixa de diálogo *Modify Body* vá à aba *Category*, ative a barra de rolagem e selecione a opção *Name and Position*.
- Em seguida, vá até a aba *New name* e coloque *simples*.
- Clique em *Apply* e depois *Ok*. Esta Etapa está demonstrada na Figura 2.23.



(a)



(b)

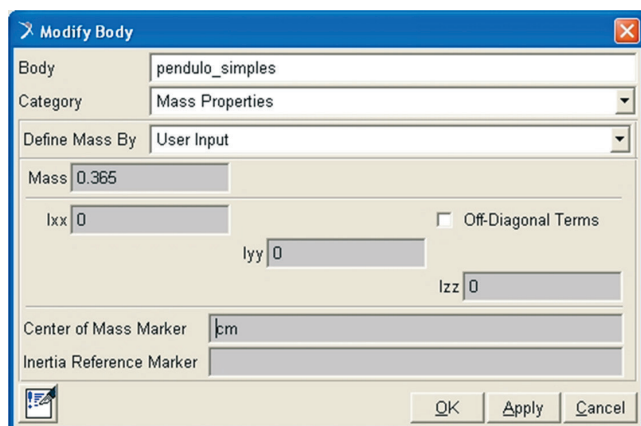
Figura 2.23 –  
(a) tela de modificação do  
nome da parte;  
(b) resultado final da operação.

### **Etapas 6 – Modificando a massa e a posição do centro de massa do pêndulo**

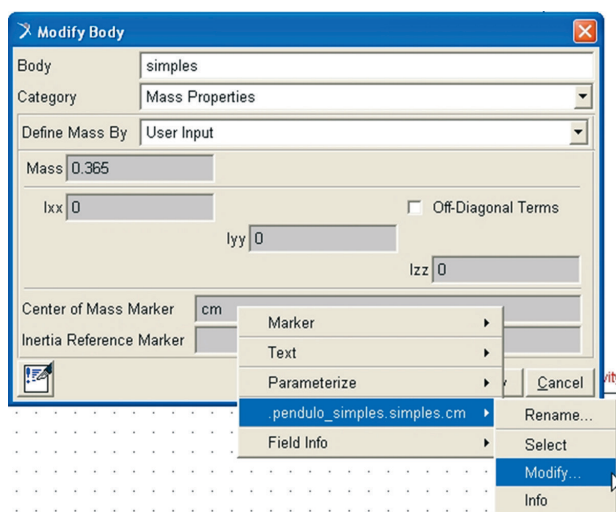
Geometrias criadas no ADAMS/View vêm sempre com um valor de massa *default* associado a um determinado tipo de material. Nesta Etapa, será feita a alteração desse valor de massa. O novo valor, conforme definido, será de 0,365 kg. Para tanto,

- Selecione com o botão direito do mouse a *Part: simples*.
- Corra com o cursor até a seta localizada em frente a essa opção. Ela irá expandir.
- Escolha a opção *Modify*.
- Na caixa de diálogo que se abre, vá à aba *Category* e se certifique de que a opção seja *Mass Properties*. Se não for, acione a barra de rolagem e escolha essa opção.

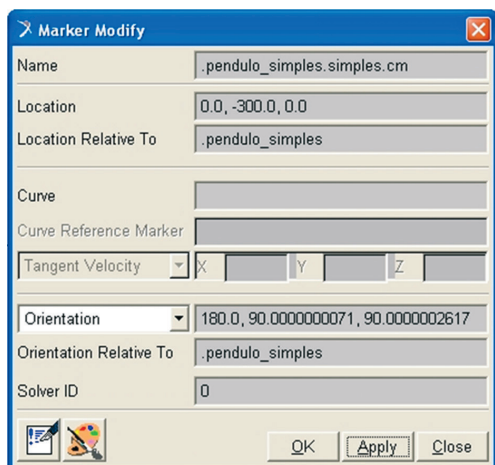
- Na aba *Define Mass By*, acione a barra de rolagem e selecione *User Input*.
- Substitua o valor que está na caixa *Mass* por 0.365, e os valores de *Ixx*, *Iyy* e *Izz* por 0, conforme a Figura 2.24a.
- No campo *Center of Mass Marker*, com o botão direito do mouse, aponte até *.pendulo\_simples.simples.cm*, conforme a Figura 2.24b e selecione *Modify*. Na caixa *Location*, preencha de acordo com a Figura 2.24c. Repare que, se clicar sobre o *Apply*, aparecerá uma tela de *Warning* o alertando da modificação do centro de massa.
- Pressione *Ok* nas duas caixas de diálogo.



(a)



(b)




(c)

Figura 2.24 –  
 (a) tela representativa da modificação de massa do pêndulo simples; (b) tela representativa da modificação do *marker* do centro de massa do *link* para a extremidade inferior; (c) tela representativa da coordenada de alteração do centro de massa.

### Etapa 7 – Inserindo uma junta no ponto de origem do pêndulo

Nesta Etapa, será criada uma restrição entre o *link* do pêndulo e o *ground part*. A restrição será do tipo junta revoluta tratada em 1.3.3.1a.

- Escolha o ícone referente a essa junta  no menu *Main Toolbox*.
- Preencha as abas referentes a essa junta da seguinte maneira: *Construction* opção *1 Location* e, em seguida, na aba logo abaixo, *Normal to Grid*, Figura 2.8a. Neste caso, ao fornecer a posição de inserção, o ADAMS/View automaticamente selecionará as partes necessárias para inserção da restrição, no caso o *link* e o *ground part*. O *marker* a ser escolhido é o *simples.MARKER\_1*, conforme a Figura 2.25.



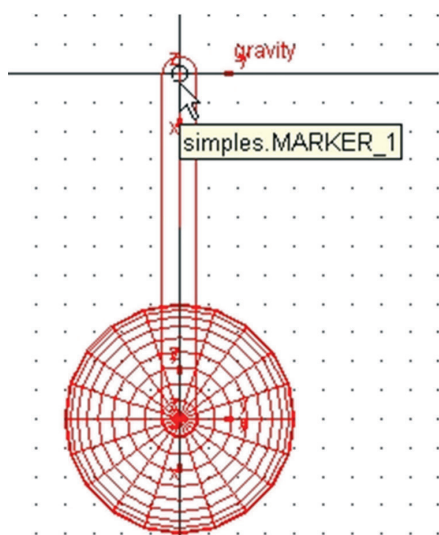


Figura 2.25 – Marcação do ponto de inserção da junta revoluta.

#### Etapa 8 – Alterando o nome da restrição/junta

- Clique com o botão direito do mouse na região próxima à junta inserida na Etapa 7.
- Selecione *JOINT\_1*.
- Avance com o cursor até a seta ao final da opção, e ela irá se expandir.
- Em seguida, escolha a opção *Rename*. A caixa de diálogo ativa deve ser alterada conforme a Figura 2.26.

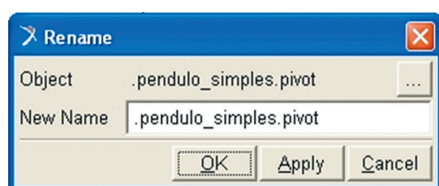


Figura 2.26 – Tela ativa para renomear a junta revoluta.

#### Etapa 9 – Estabelecendo medidas no pêndulo simples

Nesta Etapa, serão estabelecidas os tipos de medidas que se irá determinar no modelo virtual. Para tanto,

- Clique com o botão direito do mouse na região próxima à junta inserida na Etapa 7.
- Selecione *Joint: pivot*.
- Avance com o cursor na direção da seta ao final da opção para expandi-la.

- Selecione a opção *Measure*.
- Preencha a caixa de diálogo conforme a Figura 2.27.
- Clique em *Apply*. Esta opção irá fazer com que apareça uma tela auxiliar de nome pivot\_MEA\_1. Não feche a tela, pois será nela que aparecerão os resultados requeridos sobre o pêndulo.
- Para finalizar, clique em *Cancel*. Se clicar em *Ok* uma nova tela idêntica à anterior irá aparecer.

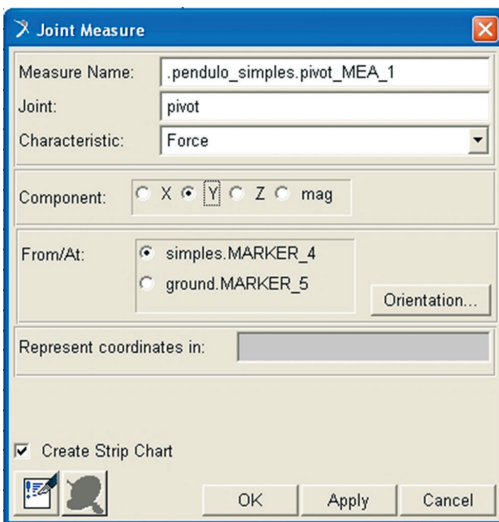




Figura 2.27 – Tela ilustrativa da escolha do tipo de medida a realizar.

### Etapa 10 – Criando um *marker*

Nesta Etapa, serão inseridos *markers* em pontos chaves da geometria sólida.

- No menu *Main Toolbox*, acione o ícone  com o botão direito do mouse.
- Escolha o ícone , referente à opção *Construction Geometry: Marker*.
- Preencha as abas que aparecerem na parte inferior do menu *Main Toolbox*, conforme ilustrado na Figura 2.28.
- Posicione este *marker* na coordenada (0,-300,0). Para identificá-la, recorra à janela *Coordinates*, acionada com o botão F4. As Figuras 2.29a e b ilustram o resultado.

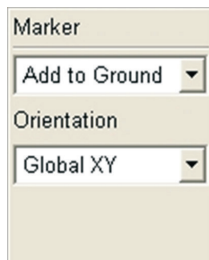


Figura 2.28 – Preenchimento de tela referente à inserção de um *marker*.

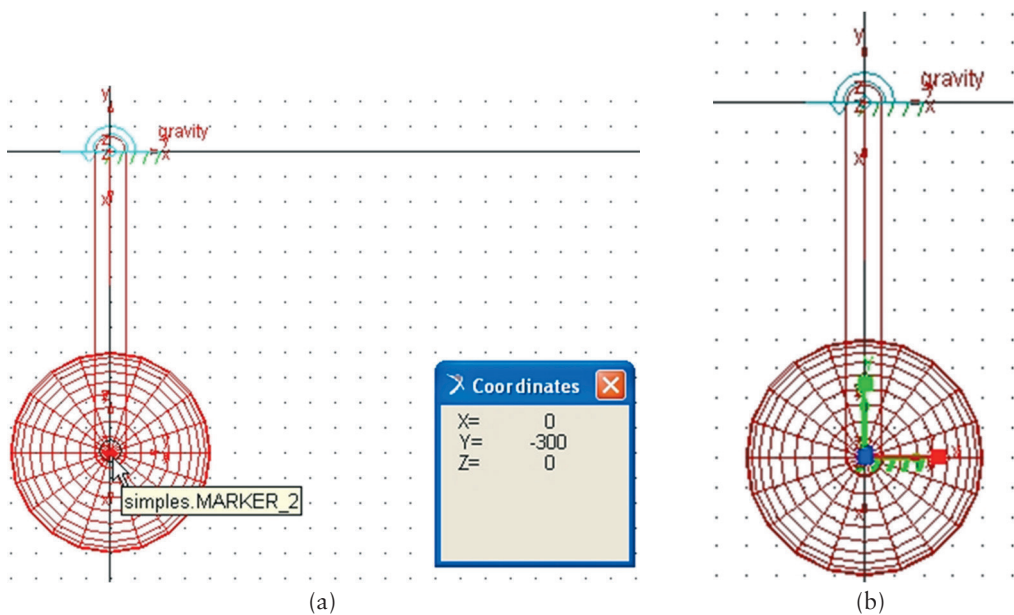


Figura 2.29 – (a) tela e inserção do *marker* com auxílio da função *Coordinates*;  
(b) resultado final com *marker* ao centro da geometria esfera.

### **Etapas 11 – Alterando o nome do *marker***

Nesta Etapa, o *marker* criado na Etapa 10 terá seu nome alterado de *MARKER\_6* para *ponto\_ref*. Para tanto,

- Selecione o *marker* criado.
- Escolha na opção *Part: ground* o *marker* denominado *MARKER\_6* e direcione o cursor até o final da opção para que ela se expanda.
- Escolha a opção *Rename*.
- Digite na aba *New Name*, o novo nome “*ponto\_ref*”.
- Acione a tecla *Apply*.
- Em seguida *Ok*.

### Etapa 12 – Estabelecendo a medida de ângulos do pêndulo simples durante a trajetória

- Vá ao menu principal opção *Build* → *Measure* → *Angle* → *New*.

Na caixa de diálogo acionado, demandam-se as seguintes informações: *First Marker*, *Middle Marker* e *Last Marker*, Figura 2.30a.

- Na primeira aba, *First Marker*, selecione com a ajuda do botão direito do mouse a opção *Marker*. Nesta aba, constará o *marker* correspondente à extremidade inferior do pêndulo. Seu nome é *.simples.MARKER\_2*, Figura 2.30b.
- Na segunda aba, *Middle Marker*, selecione, operando da mesma forma, o *marker* da extremidade oposta onde se tem a junta. O nome da geometria é *simples.MARKER\_1*, Figura 2.30b.
- Para a última aba, selecione, operando da mesma forma, o *marker* criado na Etapa anterior de nome *pont\_ref*, Figura 2.30b.
- Clique em *Ok*.

Para o usuário, a seleção desses *markers* pode ser feita pressionando-se o botão direito do mouse sobre a aba ativa e escolhendo a opção *Pick* ou *Browse*.

Uma nova tabela de registro de medidas se apresenta com o nome de *MEA\_ANGLE\_1*. Não feche a tela, pois será nela que aparecerão os resultados requeridos pelo usuário sobre o pêndulo.

- Para finalizar, clique em *Cancel*. Se clicar em *Ok*, uma nova tela idêntica à anterior irá aparecer.

A Figura 2.30 ilustra as telas referentes às operações descritas aqui.

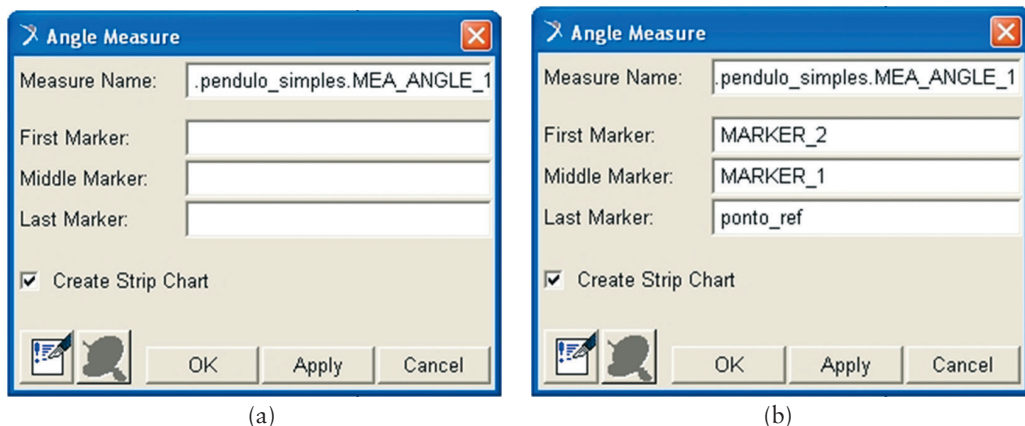


Figura 2.30 – (a) tela representativa da inserção de medidas antes do preenchimento;  
(b) tela final após preenchimento.



### Etapa 13 – Definindo a posição inicial para o movimento do pêndulo simples

Esta Etapa definirá a posição inicial do pêndulo simples para realização do movimento harmônico. Para tanto,

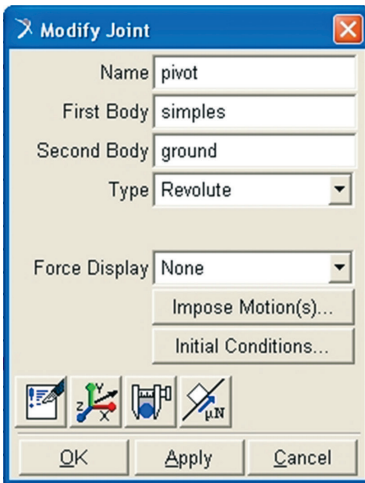
- Clique com o botão direito do mouse sobre a junta revoluta inserida na Etapa 7.
- Selecione a opção *Joint:pivot*.
- Arraste o cursor na direção da seta situada ao final da opção. Novas opções são apresentadas.
- Selecione a opção *Modify*.
- Na caixa de diálogo *Modify Joint*, selecione a opção *Initial Conditions...*, conforme ilustra a Figura 2.31a. Todas as outras abas permanecem com os valores *default*.
- Clique sobre a opção e uma nova caixa de diálogo se apresentará.
- Ative a opção *Rot. Displ. (Rotational Displacement)* por meio de um *tick* no quadrado ao lado.
- Preencha a aba cinza lateral com o valor de  $-10^\circ$ , Figura 2.31b.

### Etapa 14 – Verificação do modelo

Esta Etapa se destina à análise do modelo antes que este seja submetido à simulação. Para tanto,

- Clique no ícone  com o botão direito do mouse. Este ícone se situa no canto inferior direito da tela do ADAMS/View.
- Escolha a opção . Ela verifica o modelo, fornece o número de partes e informa o número de graus de liberdade.
- Feche a tela correspondente se a mensagem ao final for *Model verified successfully*.

O usuário irá perceber que, ao final dessa Etapa, aparecerá uma tela auxiliar de nome *Message Window*. A mensagem é a seguinte: *WARNING: Initial condition specified on JOINT pendulo\_simples.pivot differs from the input configuration specified in the data set by - 10.0 degrees*. A advertência se deve ao fato de terem-se alterado as condições iniciais do sistema a partir da fixação de um ângulo de inclinação inicial de  $-10^\circ$ . Clique em *close*.





(a)



(b)

Figura 2.31 – (a) tela *Modify Joint* contendo a opção *Initial Conditions*;  
(b) tela auxiliar ligada à opção *Initial Conditions*

### Etapa 15 – Efetuando a simulação do modelo virtual proposto

- Vá ao menu principal *Main Toolbox* e selecione o ícone , tratado no item 1.3.4, com um simples clique sobre ele.
- Preencha as abas que aparecem na parte inferior do menu *Main Toolbox*, conforme mostrado na Figura 2.32a.
- Em seguida, clique no botão *Play* . As telas *pivot\_MEA\_1* e *MEA\_ANGLE\_1* serão preenchidas, conforme a Figura 2.32b.
- Repare que, na Figura 2.32a, para tornar ativa a opção *Duration* é necessário ativar a barra de rolagem e a escolher, pois o valor *default* é *End Time*.

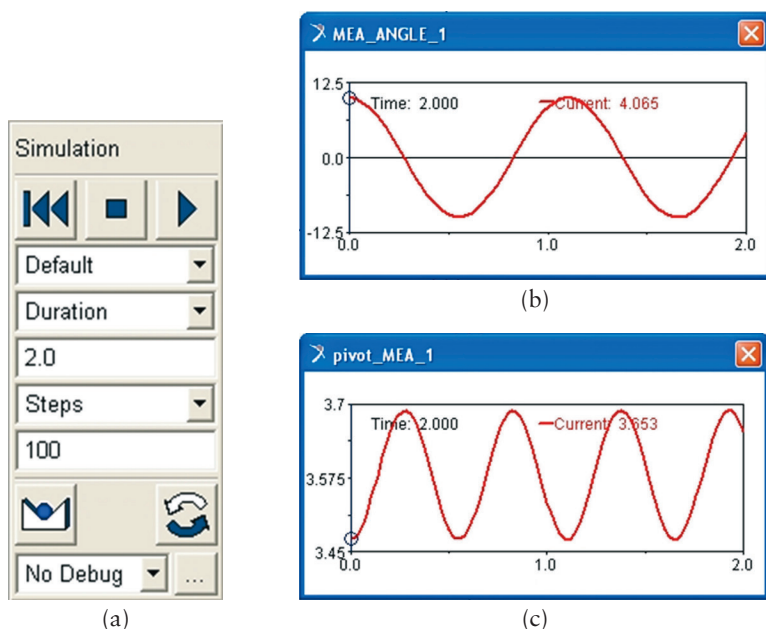



Figura 2.32 – (a) tela ilustrativa da simulação;  
 (b) e (c) telas auxiliares, preenchidas após execução do comando.

#### **Etapas 16 – Determinação da força sobre o ponto de inserção da junta**

Para a realização desta Etapa, será necessário recorrer ao ADAMS/PostProcessor, tratado em 1.4.

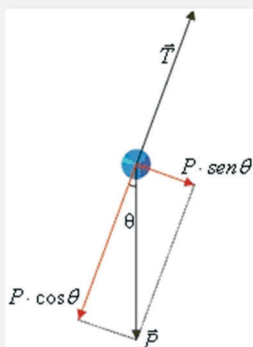
- Clique com o botão direito do mouse em qualquer ponto da área do gráfico *pivot\_MEA\_1*.
- Aparecerá então a opção *Plot:scht1*.
- Expanda e selecione a opção *Transfer to full plot*. Nesse momento, você migrará para o módulo ADAMS/PostProcessor.
- No menu principal desse módulo, selecione a opção *Plot Tracking* representada pelo seguinte ícone . Isso permitirá rastrear os valores de Força  $\times$  Tempo ao longo da curva.

A Figura 2.12 mostra a aparência dessa janela.

Pressione a tecla F8 para retornar ao módulo ADAMS/View.

**A notar:** a figura mostrada a seguir traz as forças atuantes no mecanismo de pêndulo simples que são a tração no fio “T” e a força peso “P” que se decompõe segundo duas componentes.

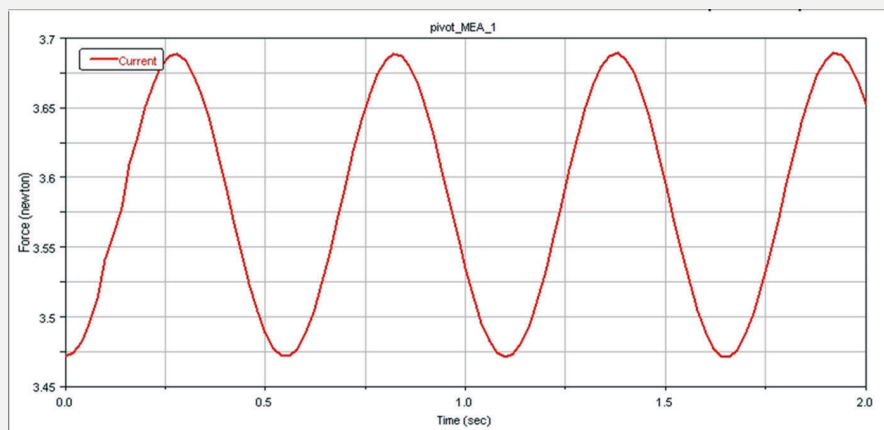
$$P_n = P \cos \theta \text{ e } P_t = P \sin \theta$$



Fonte ilustração: Universidad del País Vasco. Disponível em: <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/trabajo/pendulo/pendulo.htm>>. Acesso em: 11/12/2012

O equilíbrio na direção normal leva a  $P_n = T$  que fornece o valor da tração no fio e, conseqüentemente, a força no ponto de apoio (junta revoluta). Então, analiticamente, na posição  $x = 0$ , coincidente com o eixo vertical, a força é igual a 3,51N, considerando  $m = 0,365$  kg,  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup> e  $\cos(-10^\circ) = 0,98$ . Pela simulação numérica, este valor no mesmo ponto foi igual a 3,47 N, ou seja, bem próximo.

A curva que descreve o movimento harmônico do pêndulo na direção y gerado pelo ADAMS/PostProcessor é a mostrada a seguir. Cabe ressaltar que o movimento harmônico só se confirma no pêndulo se os ângulos considerados forem pequenos.



Ainda da avaliação de forças, nota-se que a única força responsável pelo movimento oscilatório é  $F_t = P \sin \theta$ .

O período de oscilação  $T$  é o tempo necessário para a massa passar duas vezes consecutivas pelo mesmo ponto, movendo-se na mesma direção, isto é, o tempo que a massa leva para sair de um ponto e voltar ao mesmo ponto percorrendo o mesmo arco. O pêndulo descreve uma trajetória circular um arco de circunferência de raio  $L$ . Um pêndulo simples é formalmente equivalente a um oscilador linear. Pode afirmar então que:



$$T = 2\pi(L / g)^{0,5}$$

onde  $L$  é o comprimento da haste de 0,30 m, no caso  $T = 1,10$  s, enquanto a frequência é de 0,91 Hz. Portanto a aceleração da gravidade é dada por  $g = (4\pi^2 L) / T^2$ .

### Etapa 17 – Determinação da aceleração da gravidade

Nesta Etapa a aceleração da gravidade será determinada a partir do período de oscilação do pêndulo simples. Os dados referentes ao período são calculados pelo ADAMS/View no *marker* criado na Etapa 10. Para tanto,


- Feche a janela de medidas *pivot\_MEA\_1*.
- No menu principal *Main Toolbox*, selecione o ícone , tratado no item 1.3.4, com um simples clique sobre ele.
- Preencha as abas que aparecem na parte inferior do menu *Main Toolbox*, conforme mostrado na Figura 2.33.



Figura 2.33 – Tela ilustrativa dos campos de preenchimento para simulação para obtenção do período.

Em seguida, clique no botão *Play* . Nesse instante, a simulação será efetuada e aparecerá a seguinte tela, conforme a Figura 2.34.

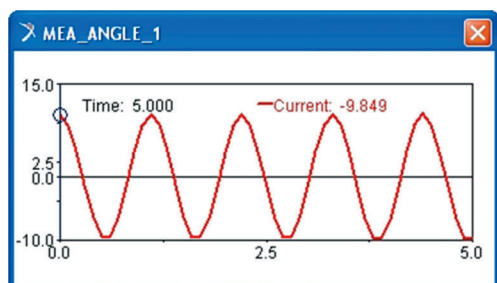


Figura 2.34 – Tela ilustrativa da simulação de obtenção do período.

O usuário irá perceber que, ao final dessa Etapa, aparecerá uma tela auxiliar de nome *Message Window*. A mensagem é a seguinte: *WARNING: Initial condition specified on JOINT pendulo\_simples.pivot differs from the input configuration specified in the data set by - 10.0 degrees*. A advertência se deve ao fato de ter-se alterado as condições iniciais do sistema a partir da fixação de um ângulo de inclinação inicial de  $-10^\circ$ . Clique em *close*.

- Clique com o botão direito do mouse em qualquer ponto da área do gráfico *MEA\_ANGLE\_1*.
- Aparecerá então a opção *Plot:scht1*.
- Expanda e selecione a opção *Transfer to full plot*. Nesse momento, você migrará para o módulo ADAMS/PostProcessor. A Figura 2.35 ilustra o gráfico do período obtido.

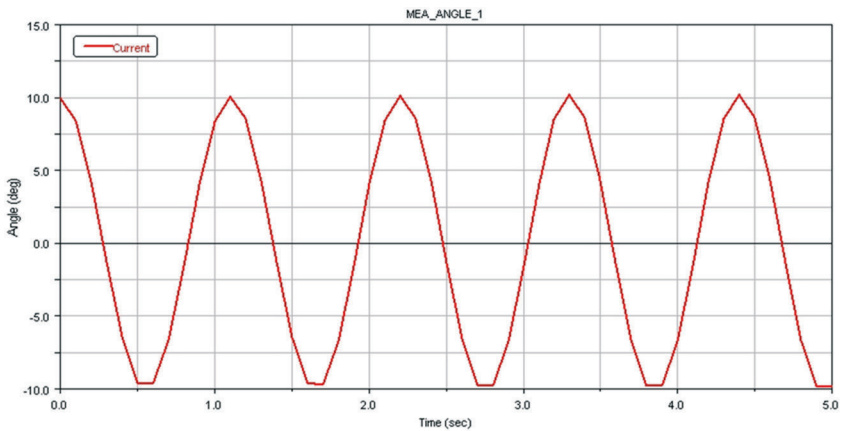



Figura 2.35 – Tela ilustrativa da simulação de obtenção do período no módulo ADAMS/PosProcessor.

- No menu principal desse módulo, selecione a opção *Plot Tracking*, representada pelo seguinte ícone . Isto possibilitará, ao usuário, rastrear os valores de Ângulo  $\times$  Tempo, ao longo da curva. A Figura 2.36 mostra o tempo que o pêndulo leva para percorrer a distância correspondente a dois picos da curva, o que fornece o período.

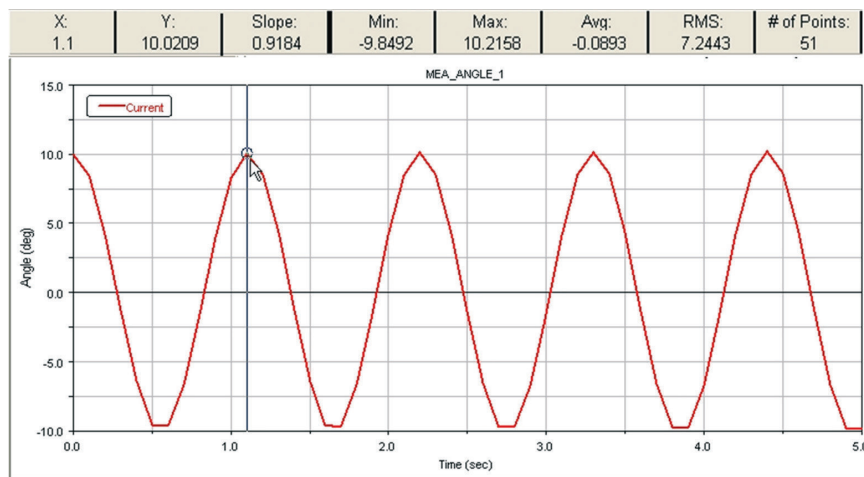


Figura 2.36 – Tela ilustrativa da simulação de obtenção do período no módulo ADAMS/PosProcessor, destacando o ponto de obtenção do período  $X = 1.1$  s

Sabendo que  $g = \frac{(4\pi^2 L)}{T^2}$ ,  $T = 1,1$  s obtido da Figura 2.36,  $L = 0,30$  m, disto tem-se  $g = 9,79 \text{ m/s}^2$ .

### **Etapla 18 – Salvando o modelo virtual**

Após finalizar a simulação, o usuário deverá salvar seu trabalho, procedendo da seguinte maneira:

- Vá ao menu principal do módulo e selecione a opção *File*.
- Clique sobre ela e a faça expandir.
- Escolha a opção *Save Database as...*
- Clique sobre ela, e uma tela irá se abrir, conforme a Figura 2.13.



# 3

## CAPÍTULO

# Módulo ADAMS/View com aplicação em mecanismos automotivos

Ao fim deste tutorial, o usuário estará apto a modelar e simular dois mecanismos clássicos utilizados na área automotiva: o primeiro *came-seguidor*, e o segundo corresponde ao um comando válvulas composto por uma *came*, seguidor, balancim e válvula. Este último é comumente conhecido como *valvetrain*.

### 3.1. Desenvolvimento do mecanismo *came-seguidor* utilizando o módulo ADAMS/View

Este item tem como finalidade modelar um mecanismo *came-seguidor*. À *came* será imposta uma rotação de 360°/s. O deslocamento imposto pela *came* ao seguidor, bem como a velocidade e aceleração deste serão determinados por meio de uma simulação cinemática. A Figura 3.1 ilustra o mecanismo a ser obtido ao final deste tópico.

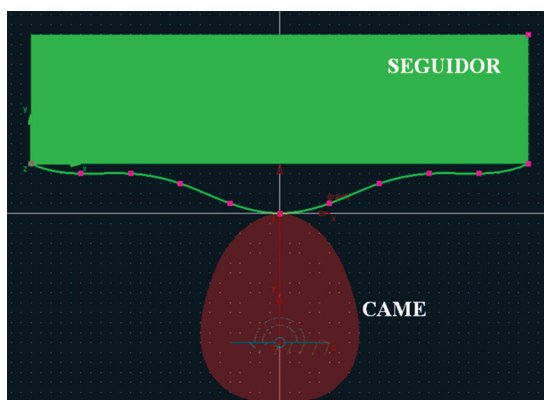
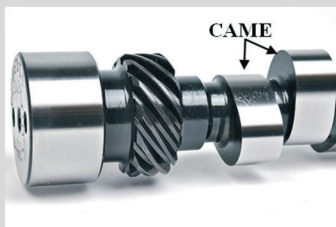


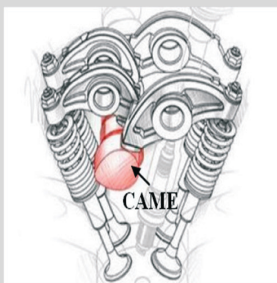
Figura 3.1 – Mecanismo virtual a ser obtido: came-seguidor.

## Came

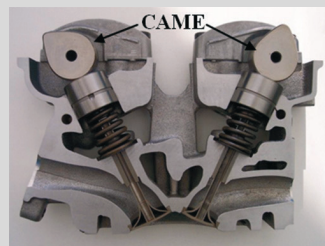
*A notar: A came é um elemento no qual sua superfície externa possui um formato especial, comumente designada por um excêntrico, isto é, essa superfície possui uma excentricidade que produz movimento em um segundo elemento denominado seguidor. Dessa maneira, a partir de sua rotação em torno de um eixo fixo, ela transmite um movimento de translação alternado ou variável a um segundo elemento denominado seguidor. As cames possuem diversas aplicações tais como: máquinas operatrizes, máquinas têxteis, armas automáticas, motores térmicos e comandos de válvulas.*



Fonte: Popular Hot Rodding.



Fonte: Hub Pages.



Fonte: Wikimedia Commons.

Considera-se essa modelagem como requisito fundamental para que o usuário possa avançar para o tópico seguinte, visto que a came é parte integrante do mecanismo valvetrain.

### Etapa 1 – Inicializando o ADAMS/View

- Ao inicializar o módulo do ADAMS/View escolha a opção *Create a new model*.
- Especifique o diretório em que o modelo (*database*) será gravado no campo *Start in*. Você poderá digitar o caminho ou utilizar o ícone na lateral desse campo (pasta amarela).
- Em seguida, atribua um nome ao modelo virtual, preenchendo a aba *Model name*. Nesse caso, denominamos de *came*. É importante ressaltar que o nome do modelo não deve conter caracteres especiais, como acentos gráficos, símbolos, formas etc.
- Os campos *Gravity* e *Units* não devem ser alterados, conforme mostrados na Figura 3.2.

A Figura 3.2 ilustra esta etapa.

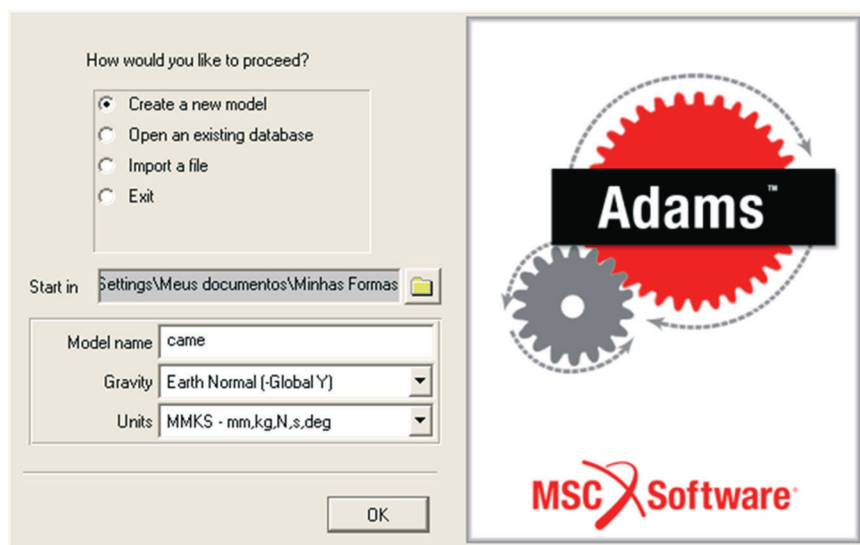


Figura 3.2 – Configuração inicial.

### Etapa 2 – Configurando a área de trabalho

- Para melhor visualização do mecanismo durante a modelagem altere o espaçamento do *grid* do fundo de trabalho para 10 mm. No menu principal clique em *Settings Working Grid*. No campo *Spacing* digite (10 mm) tanto no campo X quanto em Y, conforme ilustrado na Figura 3.3.

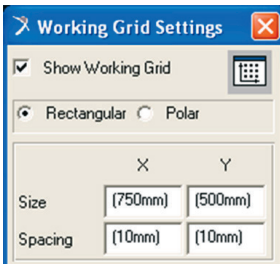


Figura 3.3 – Alterando o espaçamento do grid na área de trabalho.

### Etapas 3 – Construção da came

Nesta etapa, será modelada a geratriz da came. Para isto, será utilizada a ferramenta *spline*. Antes de iniciar a construção da came, sugere-se aplicar um zoom + na área onde será contruída a geratriz, compreendendo a área próxima a origem no sentido negativo de Y. Isto facilitará a marcação de pontos para definição da superfície da peça.

Aconselha-se também ativar a caixa de diálogo *Coordinates* para que as coordenadas dos pontos do *grid* sejam exibidos facilitando, portanto, a construção da *spline*. Para isso posicione o mouse na área de trabalho e ative a função F4 no teclado do seu computador.

A Figura 3.4 mostra a área de trabalho após o zoom + e com a caixa de diálogo *Coordinates*.

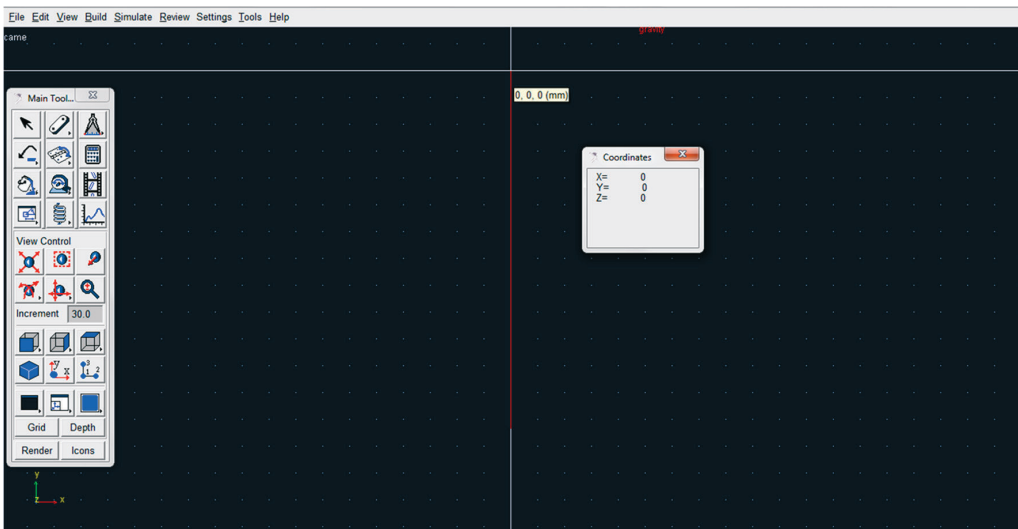




Figura 3.4 – Área de trabalho pronta para construção da *spline*.



- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, clique com o botão direito do mouse sobre o ícone .
- Dentre as opções exibidas, clique com o botão esquerdo no ícone  (*Construction Geometry: Spline*).
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, selecione, no primeiro campo, a opção *New Part*. Ative a opção *Closed*. E, no campo *Create by picking*, selecione *Points* (Figura 3.5).

Dessa forma, a geratriz da came será criada, clicando-se nos pontos de interesse na área de trabalho com o botão esquerdo do mouse. Na Tabela 3.1 estão apresentadas as coordenadas em  $x$  e  $y$  desses pontos (denominados de *hot points*). A coordenada  $z$  será nula para todos os pontos. Note nesta tabela que o primeiro e último ponto possuem a mesma coordenada, de modo a fechar a curva gerada.

- Clique com o botão esquerdo do mouse nos 13 pontos, e finalize a peça clicando com o botão direito do mouse. Uma caixa de diálogo aparecerá, alertando que a geometria (PART) não tem massa. Feche essa caixa de diálogo.

Obs.: Note que, ao ativar uma opção da caixa de diálogo *Main Toolbox*, o software indica, no canto inferior esquerdo, as etapas a serem realizadas para a opção selecionada.

A Figura 3.6 ilustra a geometria resultante. Caso sua geometria não esteja de acordo com a mostrada nessa figura, esta pode ser alterada clicando sobre o *hot point* (quadrados na cor *pink* ao longo da superfície) e arrastado este para a posição desejada.

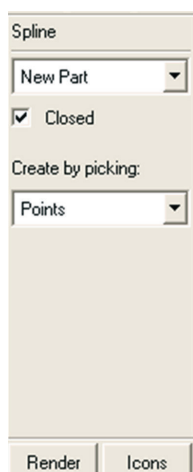


Figura 3.5 - Configurando a *Spline*.

Tabela 3.1 – Pontos para construção da Spline fechada

Pontos	X (mm)	Y (mm)
1	0	0
2	-50	-30
3	-70	-70
4	-80	-120
5	-70	-160
6	-50	-180
7	0	-190
8	50	-180
9	70	-160
10	80	-120
11	70	-70
12	50	-30
13	0	0

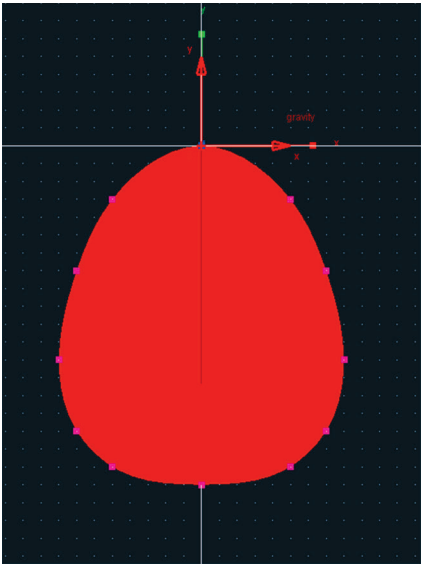


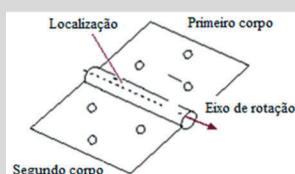
Figura 3.6 – Came.

**Etapa 4 – Inserindo a junta de rotação**



Nesta etapa será inserida uma junta do tipo *revolute*, a qual permite apenas rotação da came em torno de um eixo normal à área de trabalho.

### Junta “Revolute”

*A notar: A junta do tipo “revolute” permite a rotação de um corpo (PART) em relação a outro em torno de um eixo comum aos dois. A junta pode ser localizada em qualquer posição desse eixo. A orientação dessa junta define a direção do eixo ao qual os corpos irão rotacionar. Já o eixo de rotação desta é paralelo ao vetor de orientação e este passa pela localização atribuída.*



*Exemplo de junta Revolute.  
Fonte: ADAMS View help.*

Na caixa de diálogo *Main Toolbox* clique com o botão direito do mouse sobre o ícone  e então selecione com o botão esquerdo a junta  *Joint Revolute*.

Na parte inferior desta caixa de diálogo selecione no primeiro campo a opção *1 Location* e no segundo campo a opção *Normal To Grid*, conforme a Figura 3.7(a).

Com o cursor do mouse, aponte para o ponto com coordenada  $(0, -130, 0)$  e clique uma vez com o botão esquerdo do mouse. A junta será criada neste ponto como ilustrada na Figura 3.7(b).

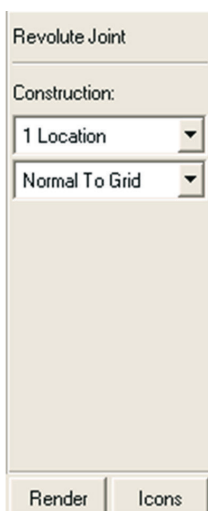


Figura 3.7(a) – Parâmetros definidos para a junta.

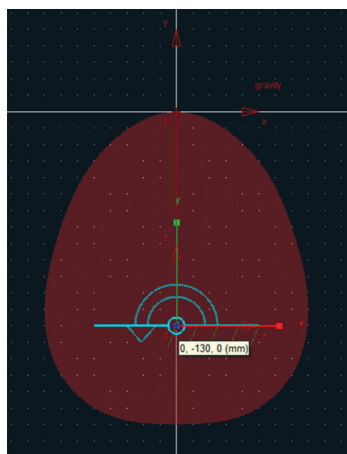



Figura 3.7(b) – Junta de rotação construída.

Etapa 5 – Construção do seguidor

- Nesta etapa, será construído o seguidor que compõe o mecanismo em questão, utilizando novamente a ferramenta spline, porém com característica aberta.
- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, clique com o botão esquerdo do mouse na opção *Spline* .
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, desative a opção *Closed*, conforme ilustrado na Figura 3.8. Os demais campos permanecem sem alteração.

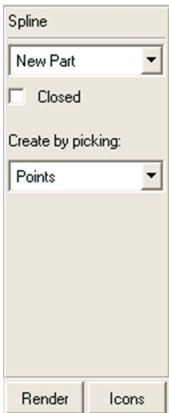


Figura 3.8 – Parâmetros definidos para a *Spline* do seguidor.


- Com o botão esquerdo do mouse, clique nas coordenadas descritas na Tabela 3.2. Ressalta-se novamente que a coordenada em *z* é nula. Para finalizar a construção da curva, após selecionar o último ponto, clique com o botão direito do mouse. A Figura3.9 ilustra a curva resultante (em verde).

Uma caixa de diálogo aparecerá alertando que a *PART* criada não tem massa. Feche essa caixa de diálogo.

Tabela 3.2 – Pontos para criação da *Spline* aberta

Pontos	X [mm]	Y [mm]
1	-250	50
2	-200	40
3	-150	40
4	-100	30
5	-50	10
6	0	0

Pontos	X [mm]	Y [mm]
7	50	10
8	100	30
9	150	40
10	200	40
11	250	50

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, clique com o botão direito do mouse sobre o ícone , para que as demais opções de construção de geometria sejam exibidas.

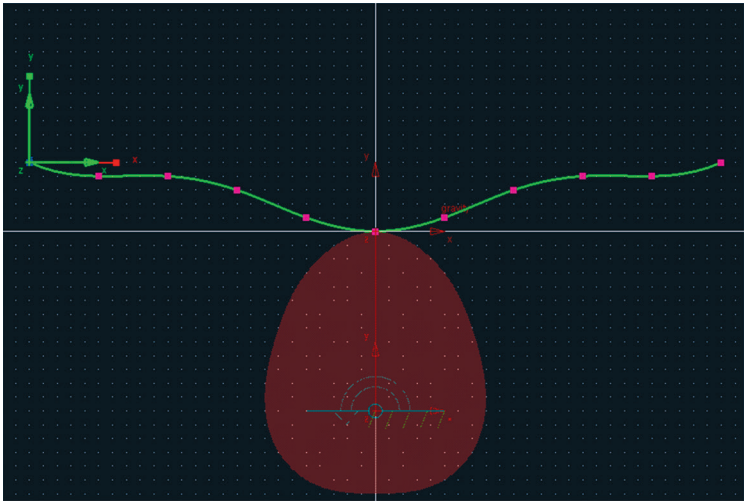



Figura 3.9 – *Spline* construída.

- Clique sobre o ícone  (*Rigid Body: Box*), conforme ilustrado na Figura 3.10(a).
- Na parte inferior da caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione, no primeiro campo, a opção *Add to Part*, pois assim esta caixa pertencerá ao PART já criado e definido pela *spline* aberta. Os demais campos deverão ser mantidos desativados, conforme ilustrado na Figura 3.10(b).
- Clique sobre a *spline* aberta, informando que o PART, neste caso o *box*, a ser construído pertencerá a ela.
- Para definir a dimensão do *box*, clique no ponto (-250, 50, 0) localizado na extremidade esquerda da *spline*. Mantenha o mouse apertado e arraste até a ponto localizado na coordenada (250, 180, 0). A geo-

metria resultante é o que denominamos de seguidor e está ilustrada na Figura 3.11.



Figura 3.10(a) – Selecionando a ferramenta para construção do *box*.



Figura 3.10(b) – Parâmetros de construção do *box*.

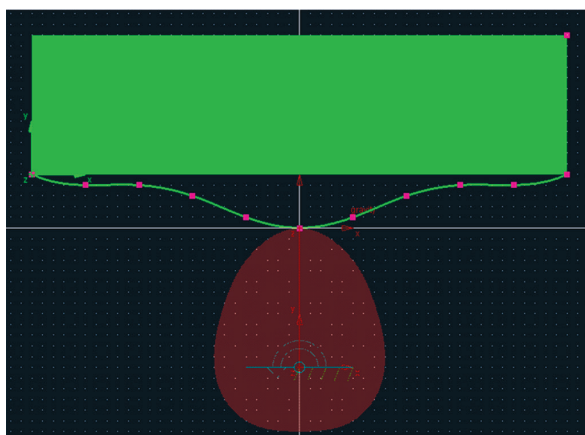


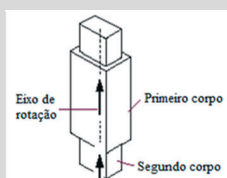
Figura 3.11 – Geometria do seguidor (em verde).

### Etapas 6 – Inserindo a junta de translação

O seguidor se movimentará segundo o perfil da came na direção vertical, ou seja, ao longo do eixo Y, sendo necessário atribuir uma junta de translação a esse seguidor.

### Junta “Translational”

*A notar: A junta “translational” permite a translação de um corpo (PART) em relação a outro, ao longo de uma direção definida por um vetor. Nenhum corpo pode rotacionar em relação ao outro. Para criar a junta de translação é necessário especificar a localização e orientação desta. A localização da junta não afeta o movimento, ela simplesmente informa onde o software irá localizá-la. Contudo, a orientação determina a direção do eixo ao longo do qual os corpos irão transladar com relação ao outro. A direção do movimento da junta é paralela ao vetor de orientação, e passa pela localização atribuída.*



Exemplo de junta Translational.

Fonte: ADAMS View help.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, clique com o botão direito do mouse no ícone . Clique no ícone , selecionando uma junta de translação (*Joint: Translational*), conforme ilustrado na Figura 3.12(a).
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, selecione no primeiro campo a opção *1 Location* e no segundo campo *Pick Feature* (Figura 3.12(b)).

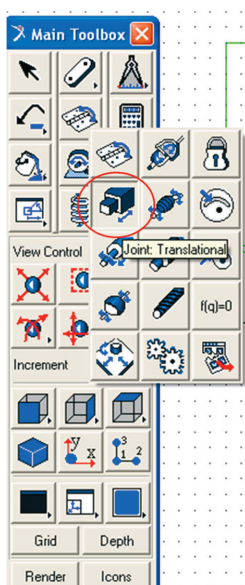


Figura 3.12(a)-  
Selecionando a junta  
de translação

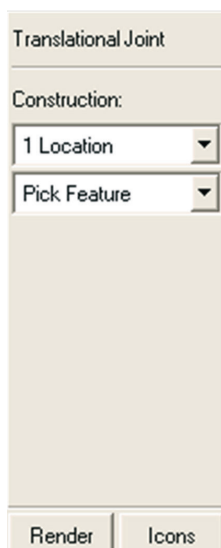


Figura 3.12 (b) -  
Parâmetros de cons-  
trução da junta de  
translação.

- O próximo passo é selecionar a coordenada onde a junta será localizada. Para facilitar a seleção desse ponto, sugere-se rotacionar levemente a peça, conforme ilustrado na Figura 3.13, uma vez que o *box* construído compreende um volume. E, então, selecione o ponto localizado na coordenada (0,160,0). Lembre-se sempre de deixar ativa a caixa de diálogo *Coordinates*, de modo a ajudar na localização dos pontos.
- Mova o cursor do mouse na direção vertical no sentido positivo de Y até que uma seta seja mostrada, conforme ilustrado na Figura 3.13. Clique com o botão esquerdo do mouse para que ele defina a direção de translação da junta. Na Figura 3.14 está mostrada a junta construída.

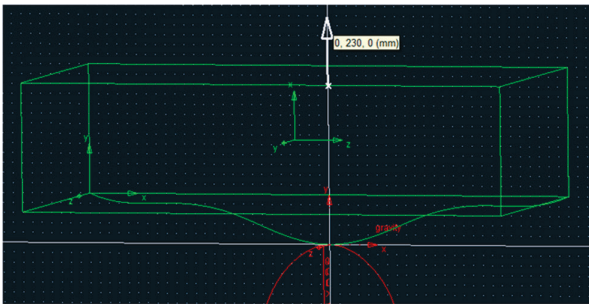


Figura 3.13 – Peça levemente rotacionada e o sentido de translação da junta

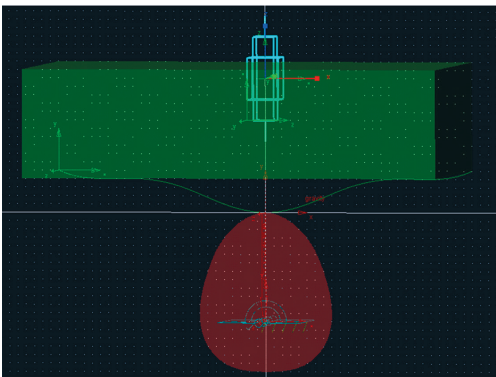


Figura 3.14 – Junta de translação construída.

### **Etapas 7 – Definindo o contato entre came e seguidor**

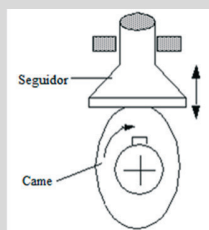
Sugere-se que, antes de prosseguir nesta etapa, o usuário retorne a visualização do mecanismo para a vista frontal, clicando com o botão direito do mouse sobre a área de trabalho e selecionando a opção *Front*.

Nesta etapa, será definido o contato entre as duas peças: a came e o seguidor, para que, assim o movimento translação resultante da rotação da came possa ser transmitido ao seguidor.



### Contato tipo “2D curve-curve constraint”

*A notar: O contato tipo “2D curve-curve constraint ou ainda definido como No lift-off restringe uma curva definida no primeiro corpo a permanecer em contato com uma segunda curva definida no segundo corpo. Esse tipo de restrição possui aplicação direta na modelagem de cames onde o ponto de contato entre os dois corpos muda durante o movimento do mecanismo. Esse tipo de restrição elimina três graus de liberdade do modelo. As duas curvas selecionadas precisam estar necessariamente no mesmo plano. Durante a simulação, ambas as curvas estarão sempre em contato.*



Exemplo de contato Curve-Curve.

Fonte: ADAMS View help.



- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, clique no ícone  com o botão direito do mouse. Selecione a opção  (2D curve-curve constraint), conforme ilustrado na Figura 3.15(a).
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, certifique-se de que, nos dois campos, estejam selecionadas as opções *Curve* (Figura 3.15(b)).



Figura 3.15(a) – Selecionando o tipo de contato.

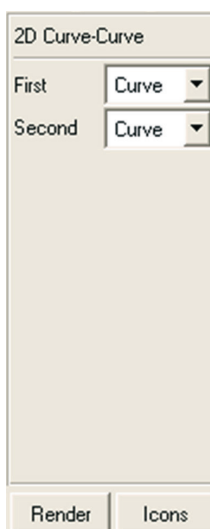


Figura 3.15(b) - Configurações do contato.

- O próximo passo é informar onde ocorrerão os contatos. Clique primeiramente na curva da came (*spline* fechada) e em seguida na curva do seguidor (*spline* fechada). O resultado dessa operação pode ser visualizado na Figura 3.16.

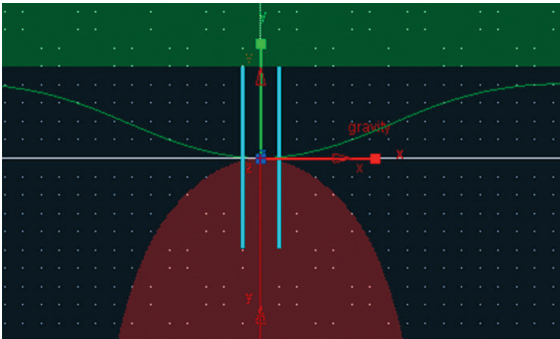



Figura 3.16 – Definição do contato entre came e seguidor.

#### Etapa 8 – Definindo a velocidade de rotação da came

Nesta etapa será imposta uma velocidade de rotação à came.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox* clique no ícone  (*Rotational Joint Motion*).
- Na parte inferior desta caixa de diálogo, defina a velocidade de rotação no campo *Speed* como sendo 360d (onde *d* se refere a *degrees*), a qual corresponde a 360°/s (Figura 3.17).

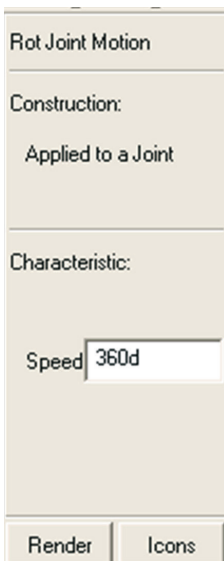


Figura 3.17 – Definindo a velocidade de rotação da came.

- O próximo passo é informar em que ponto essa velocidade será aplicada. Para isso, clique sobre a junta de rotação (*revolute joint*) a qual foi definida na came (Figura 3.18(a)). A Figura 3.18(b) ilustra o resultado desta etapa.

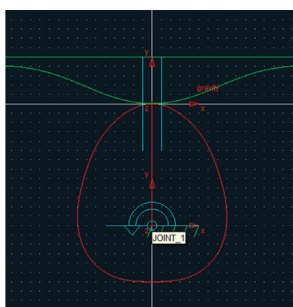


Figura 3.18(a) – Junta na qual a velocidade será imposta.

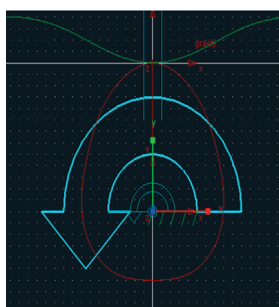


Figura 3.18(b) – Velocidade de rotação definida.

### Etapa 9 – Verificação do modelo

Nesta etapa será verificado se o modelo foi construído adequadamente. O software verifica se há erros de construção e avisa sobre possíveis erros de modelagem.

- Clique com o botão direito do mouse no ícone , localizado no canto inferior direito da tela, e selecione o ícone .
- Uma janela com as informações do modelo aparecerá, conforme mostrado na Figura 3.19. Analise as informações exibidas e feche a janela clicando em *Close*.

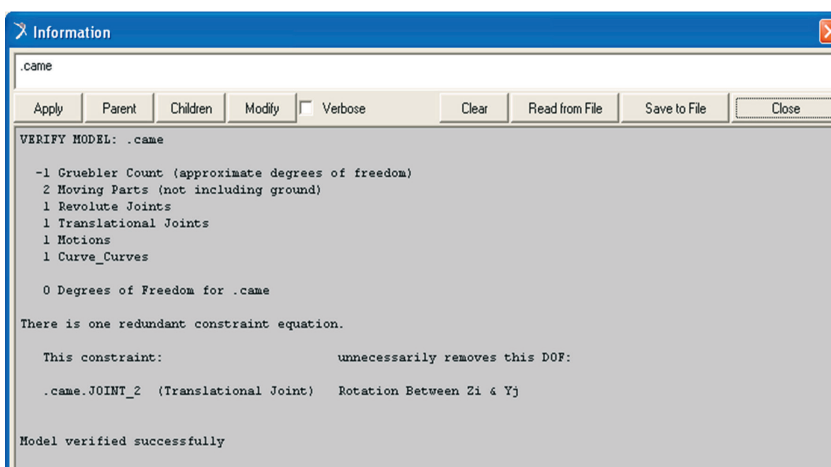


Figura 3.19 – Verificação do modelo.

## Etapa 10 – Simulação

Nesta etapa o mecanismo modelado será simulado numericamente a fim de obter-se o deslocamento, velocidade e aceleração do centro de massa da came.

### Etapa 10.1 – Definindo as variáveis de saída da simulação

Nesta etapa, serão definidas as variáveis de interesse na simulação, ou seja, as variáveis de saída do modelo. Neste caso, serão: deslocamento, velocidade e aceleração no centro de massa do seguidor.

- Clique com o botão direito do mouse sobre a geometria do seguidor. Uma caixa de diálogo aparecerá. Selecione a *PART* correspondente ao seguidor e então selecione a opção *Measure*, conforme ilustrado na Figura 3.20(a).
- Uma nova caixa de diálogo denominada *Part Measure* abrirá (Figura 3.20(b)).
- No campo *Measure Name* modifique o nome para *desloc\_CM*. Observe que apenas o texto final pode ser alterado (após o ponto “.”).
- No campo *Characteristic* selecione a opção *CM position*.
- No campo *Component* selecione a opção *Y*.
- Clique em *Apply*. Uma janela gráfica se abrirá onde o gráfico da variável em questão será exibido, após a simulação.

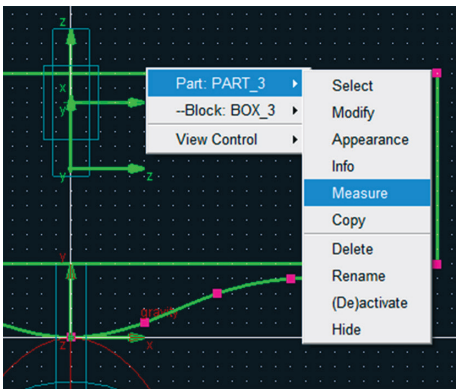


Figura 3.20(a) – Selecionando o seguidor.

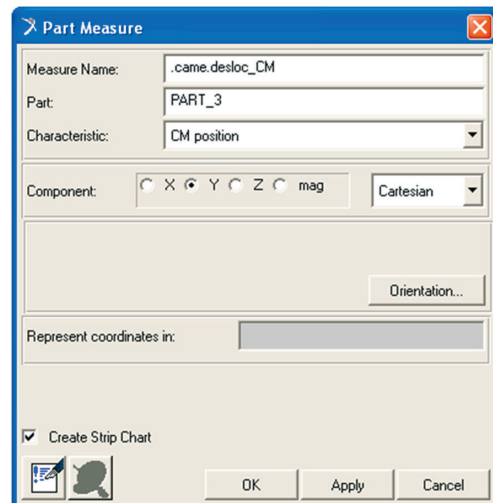


Figura 3.20(b) – Criando janela gráfica para o deslocamento do seguidor.

- O próximo passo é criar uma janela gráfica para mostrar a variação da velocidade do seguidor. Ainda na caixa de diálogo *Part Measure*, altere o *Measure Name* para “*veloc\_CM*”. No campo *Characteristic* selecione a opção *CM velocity*. No campo *Component* mantenha selecionada a opção Y (Figura 3.21). Clique em *Apply*.

Uma nova janela gráfica se abrirá na área de trabalho.

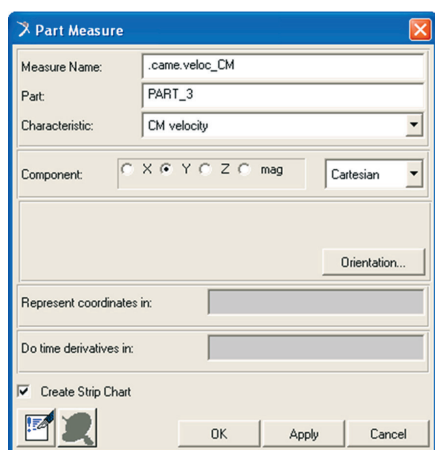


Figura 3.21 – Criando janela gráfica para a velocidade do seguidor.

- Para finalizar, o próximo passo é criar a janela para mostrar a variação da aceleração do seguidor. Na caixa de diálogo *Part Measure*, altere o *Measure Name* para “*accel\_CM*”. No campo *Characteristic* selecione a opção *CM acceleration*. No campo *Component* mantenha selecionada a opção Y (Figura 3.22). Clique em *OK*.

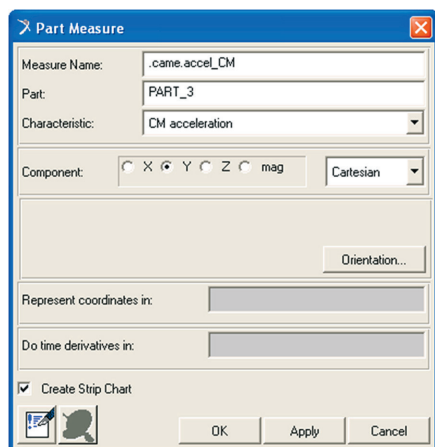


Figura 3.22 – Criando janela gráfica para a aceleração do seguidor.

Na Figura 3.23 estão mostradas as três janelas gráficas criadas nesta etapa.

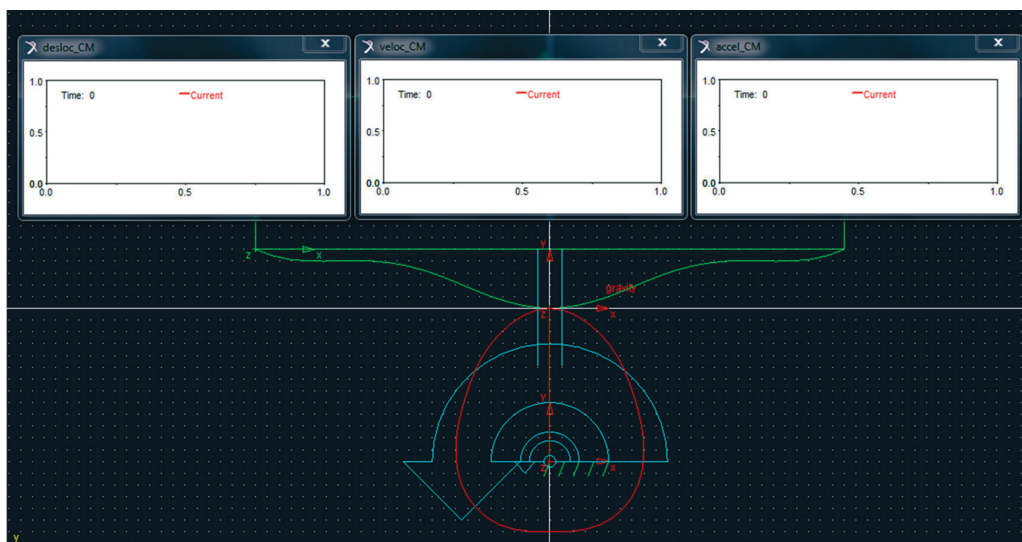




Figura 3.23 – Janelas gráficas para visualização do deslocamento, velocidade e aceleração do seguidor.

### Etapa 10. 2 – Simulação e visualização dos resultados

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, clique no ícone  (*Interactive Simulation Control*).
- Na parte inferior desta caixa de diálogo, preencha os campos, conforme ilustrado na Figura 3.24(a). O parâmetro *End Time* é definido como 1.0 e o parâmetro *Steps* é igual a 50.
- Para executar a simulação, clique no ícone  dessa caixa de diálogo.

Durante a simulação pode-se observar o movimento do mecanismo e a geração dos gráficos previamente definidos (Figura 3.24(b)).

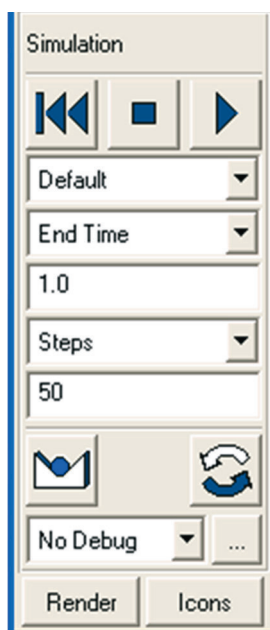


Figura 3.24(a) – Parâmetros da simulação.

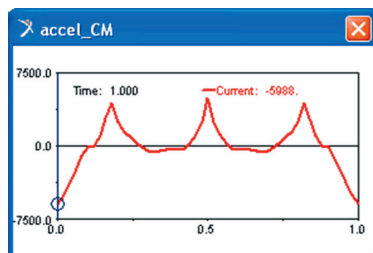
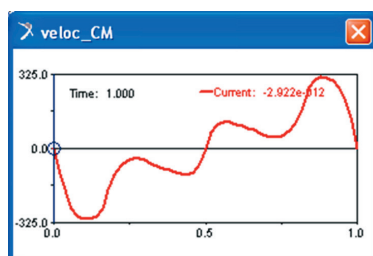
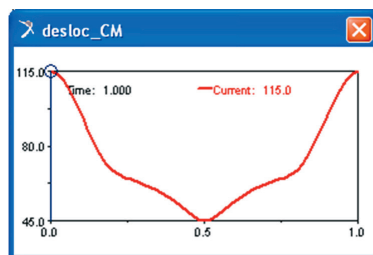


Figura 3.24(b) – Gráficos gerados na simulação.

Para manipular os resultados gráficos obtidos, sugere-se a ativação do módulo ADAMS/PostProcessor. Nesse módulo, será possível visualizar as três curvas simultaneamente em um só gráfico, facilitando sua análise.

- Clique, com o botão direito do mouse, sobre a janela gráfica do deslocamento (*desloc\_CM*). Selecione a opção *Transfer To Full Plot*, conforme a Figura 3.25. O módulo do ADAMS/PostProcessor se abrirá em uma nova janela.

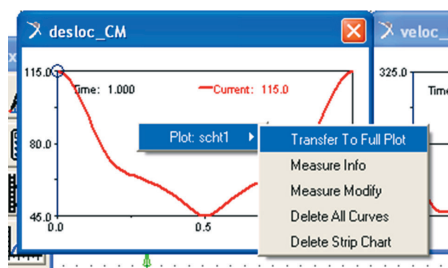


Figura 3.25 – Ativação do módulo ADAMS/PostProcessor.

- Para exibir a curva da aceleração neste mesmo gráfico clique sobre o texto *accel\_CM*, no campo *Result Set*. No campo *Component*, selecione a opção *Q*. Clique em *Add Curves*, conforme mostrado na Figura 3.26.

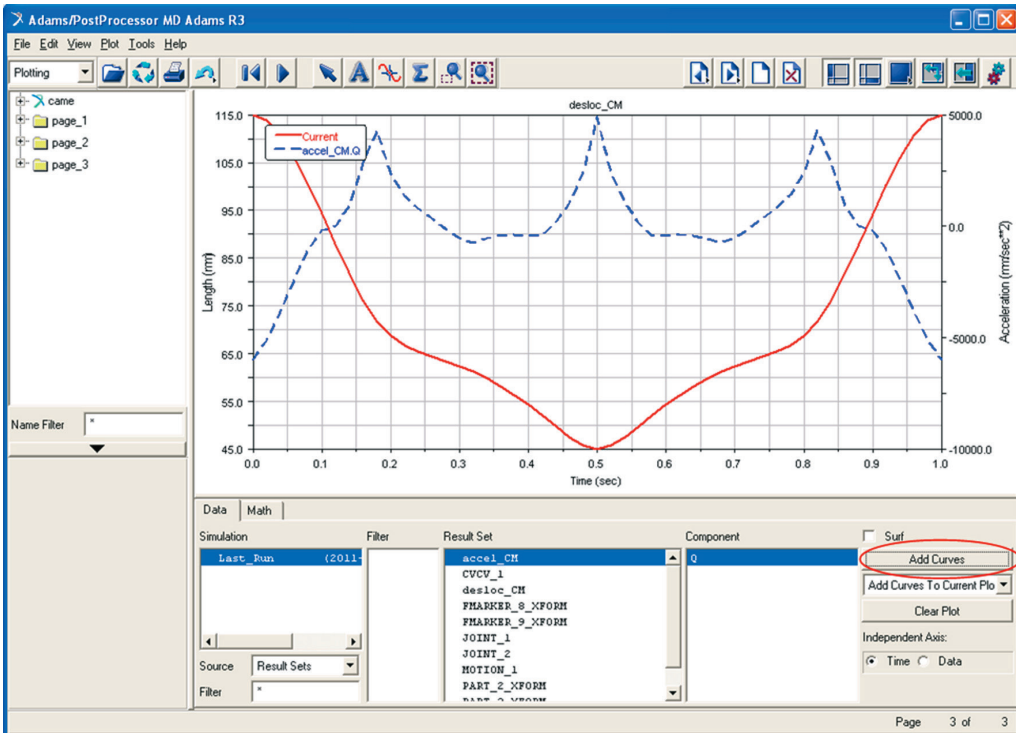


Figura 3.26 – Visualização de duas curvas no mesmo gráfico.

- O mesmo procedimento pode ser repetido para inserir, neste gráfico, a curva da velocidade. Para isso clique sobre o texto *veloc\_CM* no campo *Result Set* (observe que há uma barra de rolagem nesse campo, indicando que há mais parâmetros do que os exibidos na tela). No campo *Component*, selecione a opção *Q*. Clique em *Add Curves*. O gráfico resultante está mostrado na Figura 3.27.



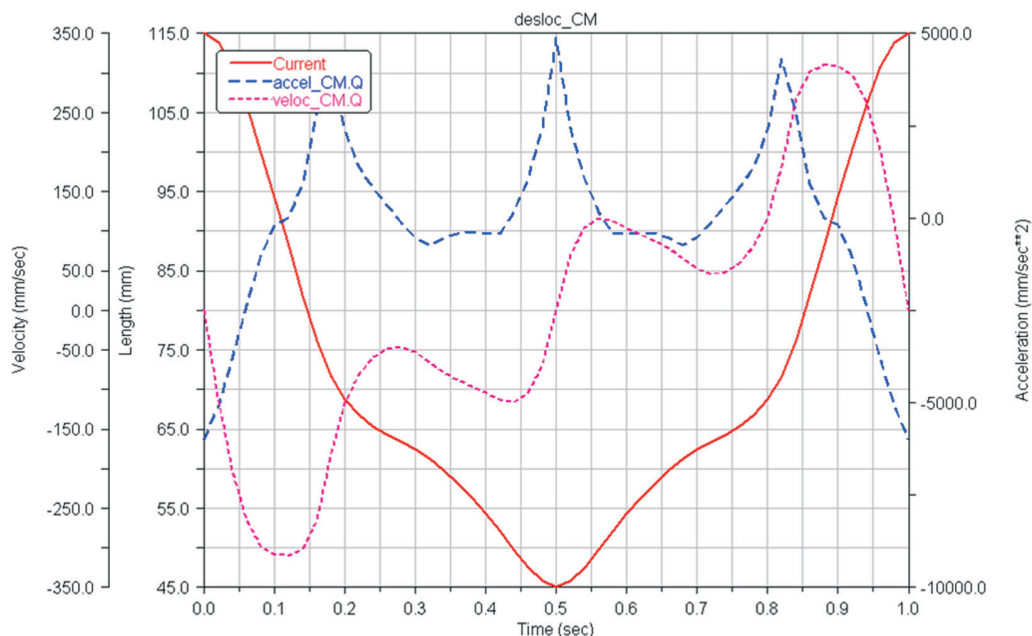


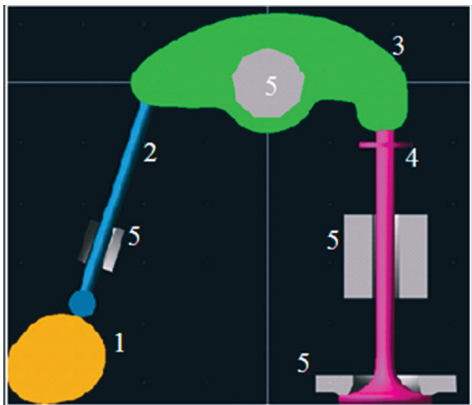
Figura 3.27 – Visualização de todos os resultados em um mesmo gráfico.

Neste módulo estão disponíveis várias opções, visando tratar os resultados obtidos, cabendo ao usuário sua exploração.

Para retornar à área de trabalho do ADAMS/View, feche a janela do ADAMS/PostProcessor.

### 3.2. Desenvolvimento do mecanismo *valvetrain*, utilizando o módulo ADAMS/View

Este tópico tem por finalidade a modelagem e simulação de um mecanismo denominado comando de válvula, comumente conhecido por *valvetrain*. Este será composto pelas seguintes geometrias: came, seguidor, haste do seguidor (*Rod*), balancim (*rocker*) e válvula. À came, será imposta uma rotação de 360°/s. Como resultado, serão obtidos: o deslocamento, a velocidade e a aceleração na válvula, além do torque na came. A análise desses resultados será apresentada. A Figura 3.28 ilustra o mecanismo a ser obtido ao final deste item.



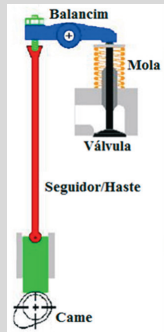
Parte	Denominação
<u>1</u>	Came
<u>2</u>	Seguidor/Haste (Rod)
<u>3</u>	Balancim
<u>4</u>	Válvula
<u>5</u>	Suportes

Figura 3.28 – Modelo virtual do mecanismo *valvetrain*.

Obtenha as coordenadas cartesianas das partes mostradas na Figura 3.28 no link: [http://www.blucher.com.br/materiaisdeapoio/mscadams/dados\\_valvetrain.zip](http://www.blucher.com.br/materiaisdeapoio/mscadams/dados_valvetrain.zip)

*Comando de válvula (Valvetrain)*

*A notar:* O comando de válvulas comanda as válvulas de admissão e as válvulas de escapamento do cabeçote do motor, por meio das cames (lóbulos ou ressaltos). Esse comando pode ser definido simplesmente como uma roda excêntrica montada em um eixo que converte movimento rotatório em movimento linear. As cames são as partes mais importantes do eixo de comando, pois são os responsáveis pelo acionamento das válvulas do cabeçote. O perfil da came determina as cotas de abertura e fechamento dessas válvulas. Além do comando, existe todo o resto do conjunto do cabeçote, ou seja, válvula, mola, balancim, vareta ou haste e seguidor. O comando de válvulas é conectado ao virabrequim pela corrente de comando, engrenagens ou correia dentada (mais comum em motores de alto desempenho). O projeto desse mecanismo é altamente sensível e diretamente impactante no desempenho do automóvel, sendo, portanto, de extrema viabilidade seu estudo por meio da modelagem virtual



Fonte: Advanced Actuators Research Group of University of South Carolina.  
Fonte: Second Chance Garage. Disponível em: <<http://www.secondchancegarage.com/public/156.cfm>>. Acesso em:15/12/2012

### Etapa 1 – Iniciando o ADAMS/View

- Inicialize o módulo ADAMS/View e selecione a opção *Create a new model*.
- No campo *Start in*, especifique o diretório no qual seu modelo será salvo.
- No campo *Model name*, insira o nome do seu modelo, nesse caso, *Valvetrain*.
- Mantenha os demais campos inalterados, conforme ilustrado na Figura 3.29.

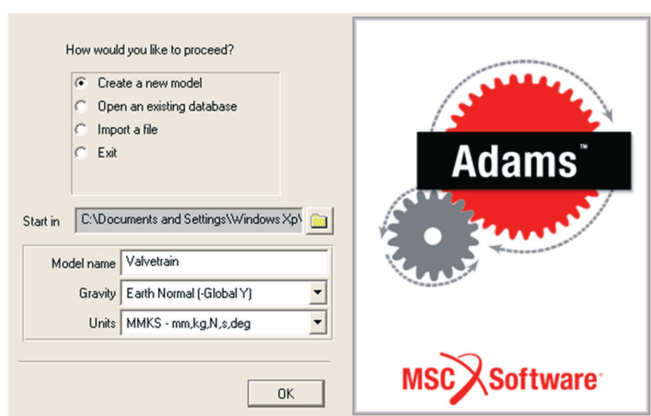


Figura 3.29 – Tela de abertura.

### Etapa 2 – Alterando as unidades de medidas

Em virtude do fato de o modelo ter dimensões pequenas, sugere-se alterar o sistema de unidades de modo a facilitar a visualização do mecanismo durante a modelagem.

- No menu principal, selecione *Settings* e, em seguida, *Units*, conforme a Figura 3.30(a).
- Uma caixa de diálogo, denominada *Units Settings*, será aberta e seus campos deverão ser selecionados, conforme ilustrado na Figura 3.30(b).

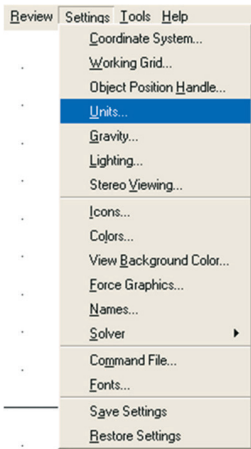


Figura 3.30(a) – Configurando unidades.

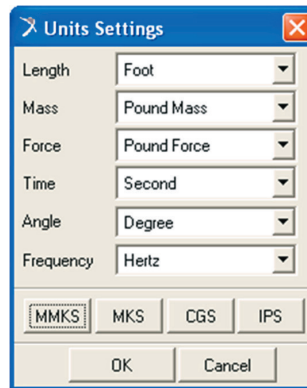


Figura 3.30(b) – Unidades definidas

### Etapa 3 – Modelagem do balancim


- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione o ícone 

Figura 3.31(a) – Selecionando *Spline*.

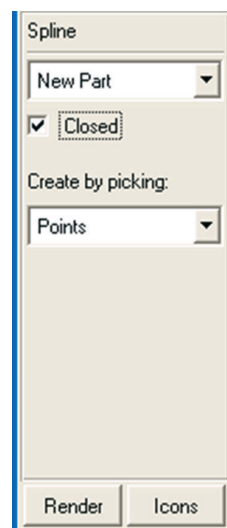


Figura 3.31(b) – Parâmetros da *Spline*.

- Clique na área de trabalho (pontos do *grid*) em oito pontos, de forma aleatória, de modo a construir uma *spline* fechada. Lembre-se que o primeiro ponto e o último devem ser os mesmos. Para finalizar, clique com o botão direito do mouse. Uma caixa de diálogo se abrirá alertando que a *spline* não tem massa. Feche essa janela.

Observe que o software recomenda (no canto inferior esquerdo da área de trabalho) a seleção de, no mínimo, oito pontos na tela, de forma aleatória.

A Figura 3.32 ilustra a geometria resultante.

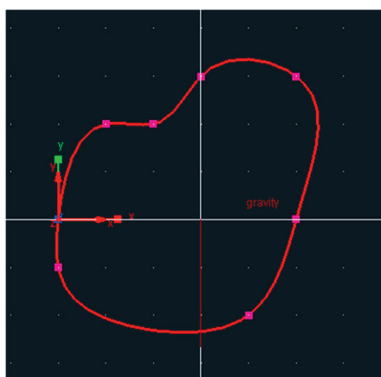


Figura 3.32 –  
*Spline* fechada.

### Etapa 3.1 – Definindo o formato externo do balancim

- Clique com o botão direito do mouse sobre a geometria construída (também denominada de *PART*).
- Selecione a *Spline* construída, nesse caso, *BSpline: GCURVE\_1* → *modify*, conforme a Figura 3.33.

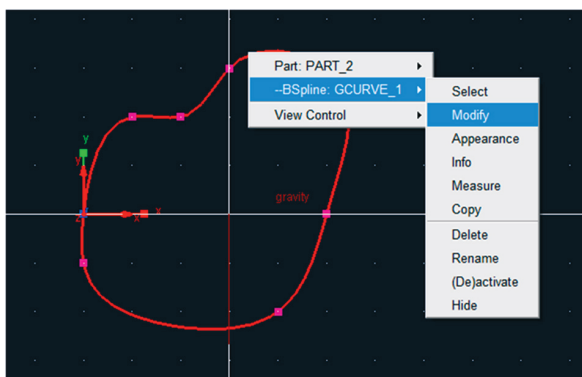



Figura 3.33 –  
Modificando a *Spline*.

- Uma caixa de diálogo *Modify Geometric Spline* será aberta. No campo *Values* selecione o ícone  (Figura 3.34(a)). Uma nova janela se abrirá denominada *Location Table* (Figura 3.34(b)).

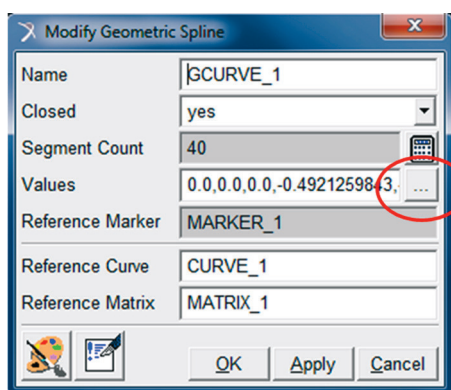


Figura 3.34(a) – Alterando a posição dos pontos da *Spline*.

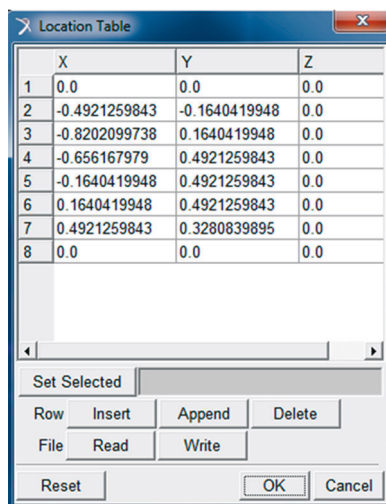


Figura 3.34(b) – Alterando a posição dos pontos da *Spline*.

Obs.: Existem duas maneiras de modificar a localização dos pontos que definem a *Spline*: Importando um arquivo com as coordenadas desses pontos (item 3.1.1) ou inserindo manualmente (item 3.1.2) de acordo com as tabelas fornecidas neste capítulo.

### Etapa 3.1.1 – Importando a posição dos pontos da *Spline*

Nesta etapa, é necessário utilizar um arquivo texto (extensão txt) previamente editado, com as coordenadas dos pontos que definem a geometria do balancim. No arquivo, cada linha corresponde à localização de um ponto nas coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Cada coordenada é separada por espaço, gerando, então, três colunas.

- Na caixa de diálogo *Location Table*, selecione a opção *Read*.
- A janela *Select File* aparecerá, conforme a Figura 3.35.
- Selecione o arquivo “balancim.txt” e clique em *Abrir*.

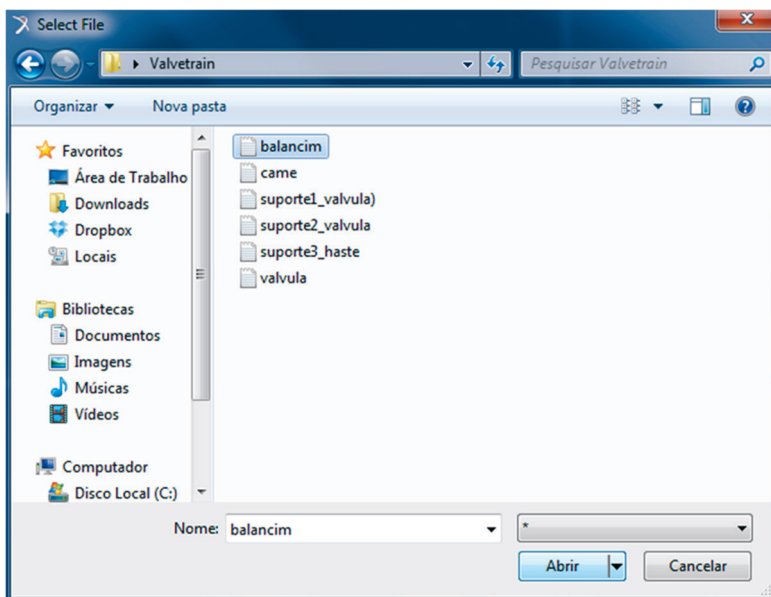


Figura 3.35 – Selecionando o arquivo com os pontos do balancim.

Note que a janela “*Location Table*” será atualizada com as coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$  de cada ponto que compõe a *spline* do balancim. C

- Feche as duas janelas, clicando em OK. Clique na área de trabalho para que a geometria seja alterada.

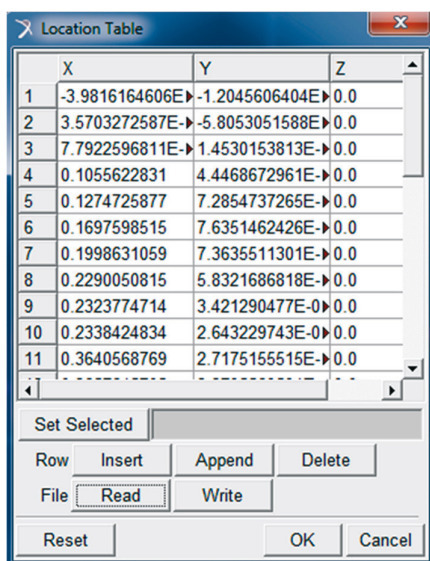


Figura 3.36 – Lista de pontos importados do arquivo balancim.txt.

### Etapa 3.1.2 – Modificando manualmente a posição dos pontos da *Spline*

Outra opção é inserir manualmente as coordenadas dos pontos que compõem a *spline* do balancim. Para isso, os procedimentos do item 3.1.1 não devem ser realizados previamente.

- Ao final do item 3.1 a janela *Location Table* é aberta na área de trabalho, conforme ilustrado na Figura 3.34(b).
- No campo *Set Selected*, digite o número “0”. Selecione todas as células da tabela e, então, clique em *Set Selected*. Dessa maneira, todas as células serão preenchidas com o valor zero. Mais linhas podem ser inseridas na tabela, selecionando-se as linhas existentes e clicando em *Insert*, totalizando 30 linhas.

Selecione cada célula e digite a coordenada do ponto conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Pontos para o *rocker*

Pontos	X	Y	Z
1	-3.98E-003	-1.20E-002	0.0
2	3.57E-002	-5.81E-003	0.0
3	7.79E-002	1.45E-002	0.0
4	0.1055622831	4.45E-002	0.0
5	0.1274725877	7.29E-002	0.0
6	0.1697598515	7.64E-002	0.0
7	0.1998631059	7.36E-002	0.0
8	0.2290050815	5.83E-002	0.0
9	0.2323774714	3.42E-003	0.0
10	0.2338424834	2.64E-003	0.0
11	0.3640568769	2.72E-002	0.0
12	0.3657645705	3.38E-002	0.0
13	0.3672717487	7.17E-002	0.0
14	0.3578145468	0.1559180655	0.0
15	0.2855237486	0.2313290021	0.0
16	0.2056898364	0.2810098793	0.0
17	0.1241466417	0.3073070066	0.0
18	9.16E-004	0.3158621211	0.0
19	-0.1064987061	0.3023844535	0.0
20	-0.1956887924	0.2715248233	0.0
21	-0.2821637068	0.2256255374	0.0
22	-0.3345648037	0.1873309893	0.0



Pontos	X	Y	Z
23	-0.3673198097	0.1282151613	0.0
24	-0.3618349064	9.59E-002	0.0
25	-0.3420651281	7.18E-002	0.0
26	-0.3053776919	6.00E-002	0.0
27	-0.1476710471	5.64E-002	0.0
28	-0.1339959806	5.39E-002	0.0
29	-9.62E-002	2.41E-002	0.0
30	-4.63E-002	-6.31E-003	0.0

- Clique em OK. A geometria resultante está apresentada na Figura 3.37.

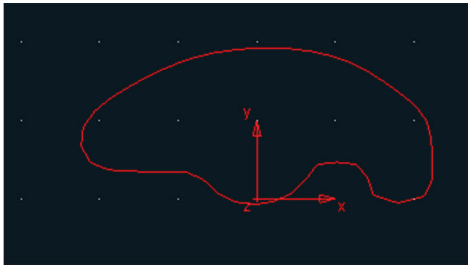


Figura 3.37 – Balancim

**Etapa 3.2 – Reposicionando o balancim**

A fim de facilitar a construção das demais geometrias o balancim será re-posicionado na área de trabalho. O objetivo é posicionar o centro do suporte do balancim (peça 5 da Figura 3.28) na origem da coordenada global.

- Clique com o botão direito do mouse próximo ao sistema de coordenadas, local da *spline*.
- Selecione *Marker: MARKER\_1* → *Modify*, conforme ilustrado na Figura 3.38(a).

Na janela *Marker Modify*, preencha o campo *Location* com as coordenadas: (4.6011020907E-003, - 0.1239571525,0.0) conforme a Figura 3.38(b).

Note que a geometria foi deslocada em relação à posição inicial, conforme ilustrado na Figura 3.39.

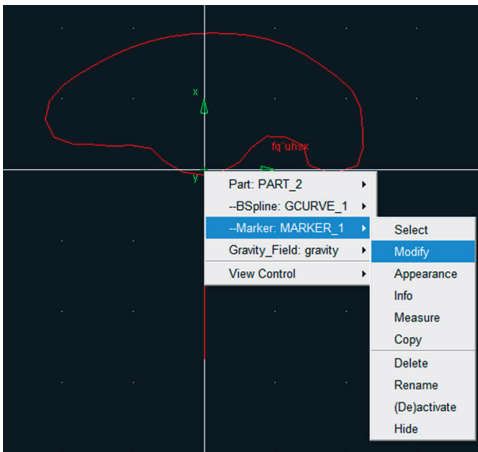


Figura 3.38(a) – Caminho para modificar a posição.

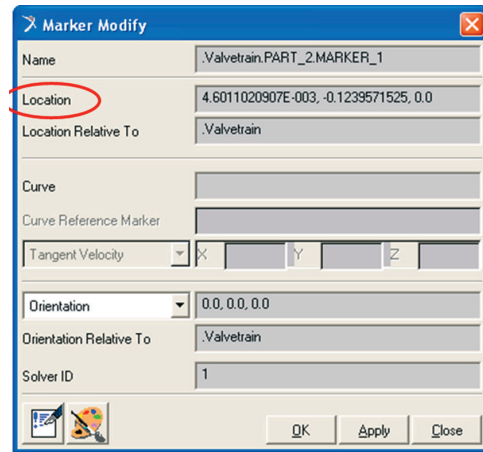


Figura 3.38(b) – Preenchimento.

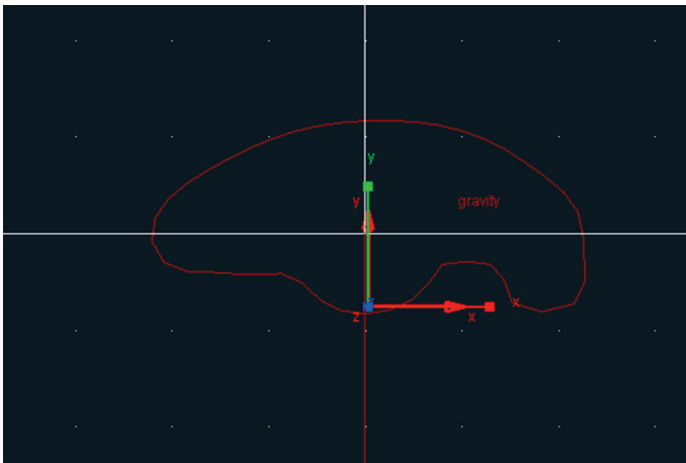




Figura 3.39 – Balancim reposicionado.

### Etapa 3.3 – Construção da geometria de ligação entre o balancim e a haste

Nesta etapa será construída uma geometria que servirá de ligação entre o balancim e a haste, ou seja, a haste será conectada ao balancim por esta geometria.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, com o botão direito do mouse, selecione o ícone  e, então, selecione a opção  (*Construction Geometry: Arc/Circle*), conforme a Figura 3.40(a).
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, preencha os campos, conforme mostrado na Figura 3.40(b). Antes de iniciar o preenchimento, a opção *Circle* deve ser selecionada. No primeiro campo, selecione a opção

*Add to part.* Selecione a opção *Radius* e digite o raio do círculo a ser construído: 4.9067565294E-002.

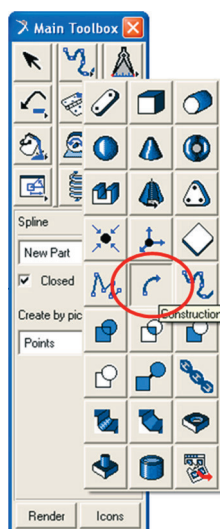


Figura 3.40(a) – Seleção da geometria *circle*.

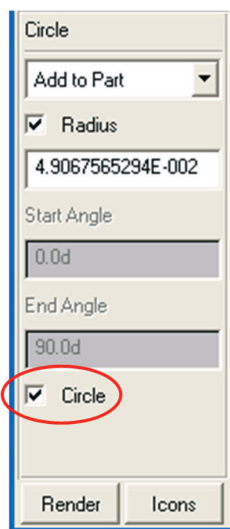


Figura 3.40(b) – Parâmetros da geometria *circle*

- Selecione o *PART* ao qual esse círculo pertencerá, nesse caso, clique na geometria do balancim.
- O próximo passo é informar a localização do centro do círculo. Para isso sugere-se selecionar algum ponto próximo à extremidade esquerda do balancim. Essa localização poderá ser aleatória, uma vez que no próximo passo será feito o reposicionamento do círculo. Feche a caixa de diálogo que se abrirá alertando que a geometria criada não tem massa. O resultado será similar ao mostrado na Figura 3.41.

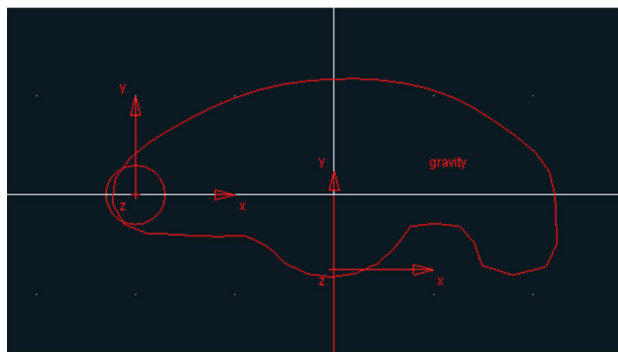


Figura 3.41 – Construção do círculo.

### Etapa 3.3.1 – Reposicionamento da geometria de ligação entre o balancim e a haste

- Com o botão direito do mouse, clique sobre o círculo construído na etapa anterior. Selecione *Marker: MARKER\_2* → *Modify*, conforme ilustrado na Figura 3.42(a).
- A caixa de diálogo *Marker Modify* será aberta. Preencha o campo *Location*, conforme mostrado na Figura 3.42(b).

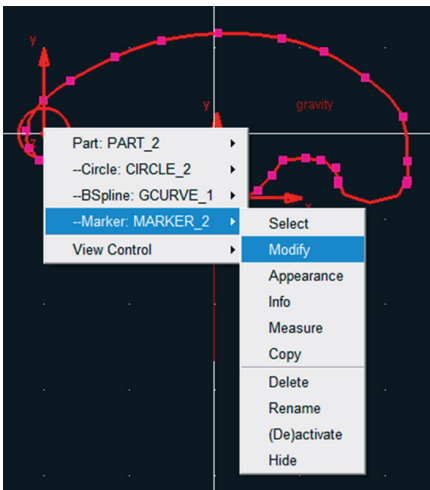


Figura 3.42(a) – Caminho para modificar

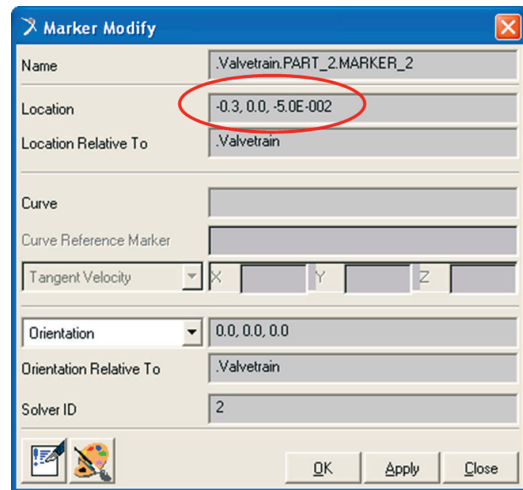


Figura 3.42(b) – Parâmetros de preenchimento.

A Figura 3.43 ilustra o círculo na posição correta.

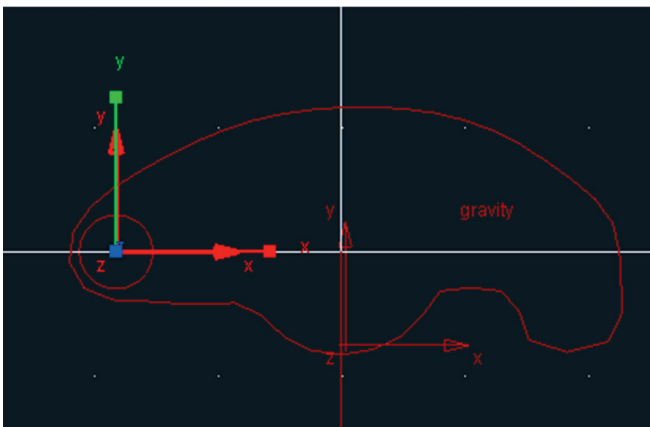



Figura 3.43 – Círculo construído.

### Etapa 3.4 – Construção do eixo do balancim

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione o ícone  (*Construction Geometry: Arc/Circle*).
- Nessa mesma caixa de diálogo, preencha os campos, conforme mostrado na Figura 3.44(a). Observe que esta geometria será adicionada na geometria já existente do balancim.
- Selecione a geometria à qual pertencerá o círculo a ser construído, nesse caso, o balancim.
- Selecione, na área de trabalho, a localização do centro desse círculo, que, nesse caso, será a origem do sistema de referência global (0,0,0). Fecha a caixa de diálogo que informa a não existência de massa no círculo criado.

O resultado pode ser observado na Figura 3.44(b).

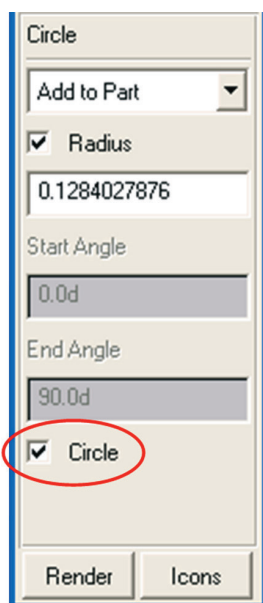


Figura 3.44(a) – Construção da geometria do círculo.

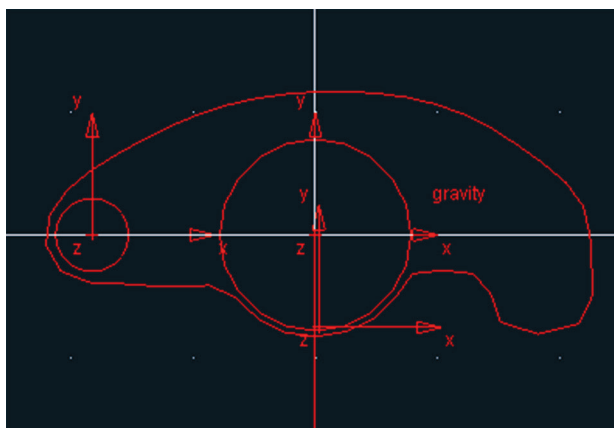



Figura 3.44(b) – Círculo construído na origem (0,0,0).

- Para construir o eixo, selecione a ferramenta  (*Rigid Body:Cylinder*) na caixa de diálogo *Main Toolbox*, conforme mostrado na Figura 3.45(a).
- Preencha os campos inferiores dessa caixa de diálogo, conforme mostrado na Figura 3.45(b). Note que o cilindro a ser construído terá com-

primeto e raio igual a 0,2 e 0,1 pés, respectivamente. Vale ressaltar também que essa geometria pertencerá ao *Ground*, conforme pode ser observado no primeiro campo.



Figura 3.45(a) – Seleção da ferramenta *cylinder*.

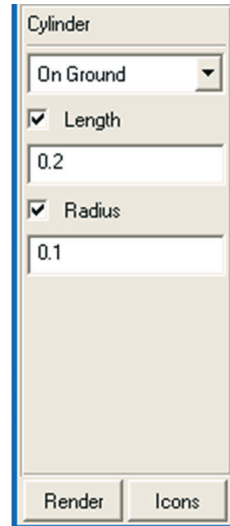


Figura 3.45(b) – Parâmetros do cilindro.

- Clique na coordenada (0,0,0) da área de trabalho, ou seja, na origem do sistema de coordenadas e arraste o cursor do mouse na direção *y* e no sentido negativo desse eixo. Caso haja dificuldade em selecionar a localização, clique com o botão direito do mouse nas proximidades do ponto, e uma caixa de diálogo será aberta com as opções que poderão ser selecionadas.

A geometria resultante está mostrada na Figura 3.46.

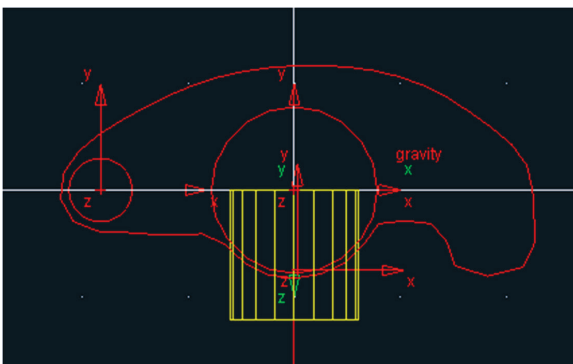


Figura 3.46 – Cilindro construído.

### Etapa 3.4.1 – Reposicionando o eixo

Nesta etapa, a geometria cilíndrica construída terá sua orientação modificada.

- Clique sobre o cilindro com botão direito do mouse e selecione *Marker: MARKER\_4* → *Modify*, conforme a Figura 3.47(a). Preencha o campo *Orientation*, conforme mostrado na Figura 3.47(b): 90,180,0.

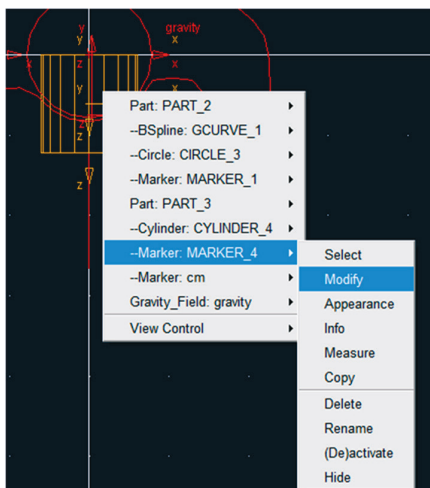


Figura 3.47(a) – Rotação do cilindro.

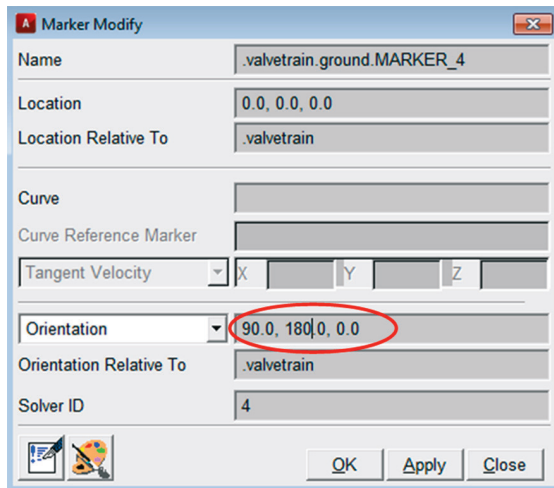


Figura 3.47 (b) – Definindo a orientação do cilindro

A peça será rotacionada de modo a apresentar a visualização mostrada na Figura 3.48.

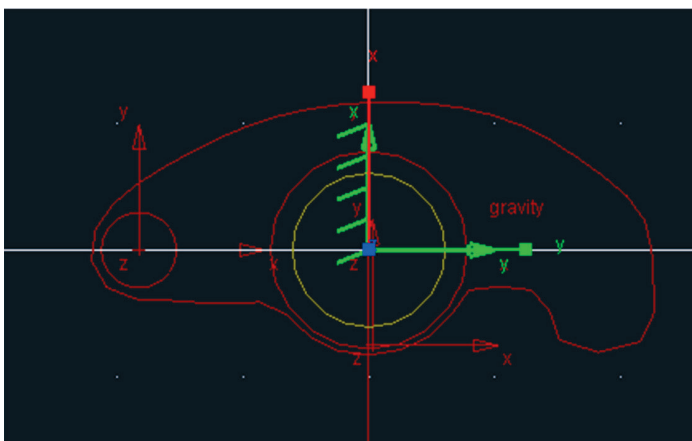



Figura 3.48 – Balancim e eixo.

#### Etapa 4 – Construção da haste

Para construção da haste será utilizada uma geometria cilíndrica.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione o corpo rígido *cylinder*  e preencha os campos inferiores dessa caixa de diálogo, conforme mostrado na Figura 3.49(a).
- Clique no centro do círculo, localizado à esquerda do *balancim*, e arraste o mouse no sentido negativo do eixo Y. Ao arrastar o mouse na direção horizontal, a peça pode também ser construída com uma inclinação, conforme ilustrada na Figura 3.49(b). Nessa etapa, a orientação será arbitrária, pois será definida nos próximos passos.

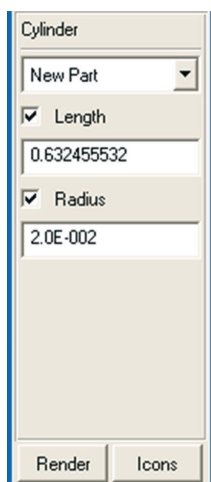


Figura 3.49 (a) – Parâmetros para construção da haste.

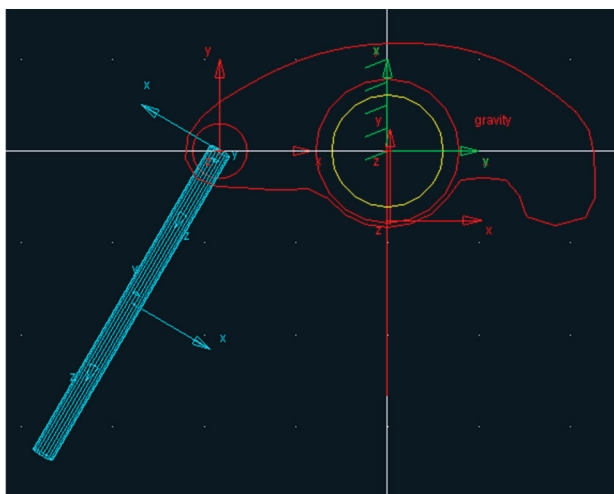


Figura 3.49 (b) – Haste construída.



#### Etapa 4.1 – Renomeando o corpo rígido correspondente à haste

- Clique com o botão direito do mouse sobre o cilindro previamente construído o qual representa a haste. Selecione *Part: PART\_3* → *Modify*, conforme a Figura 3.50(a).
- Na caixa de diálogo *Modify Body* selecione no campo *Category* a opção *Name and Position*. No campo *New Name*, insira ROD (nomenclatura em inglês), conforme Figura 3.50 (b). Clique em OK.

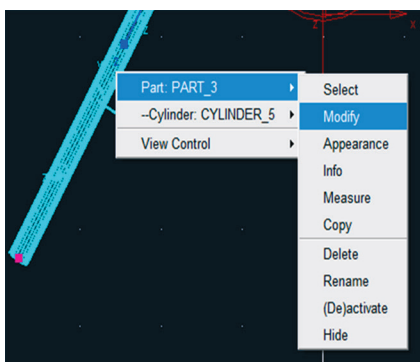


Figura 3.50(a) – Modificando o nome do corpo rígido.

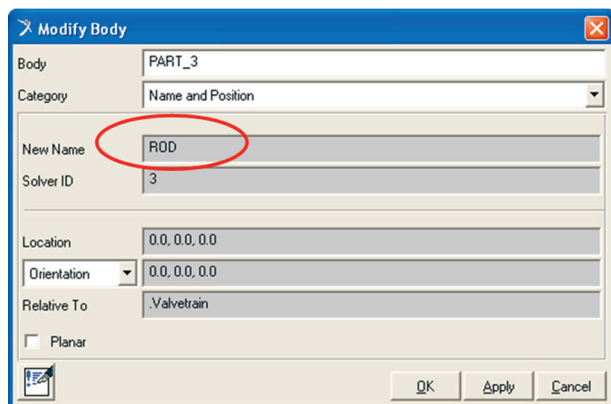


Figura 3.50(b) – Alteração do nome.

#### Etapa 4.2 – Definindo a orientação da haste

- Clique com o botão direito do mouse sobre a haste e selecione *Marker: MARKER\_5* → *Modify*, conforme Figura 3.51(a).
- Na caixa de diálogo *Marker Modify* altere o campo *Location* e *Orientation* conforme mostrado na Figura 3.51(b).

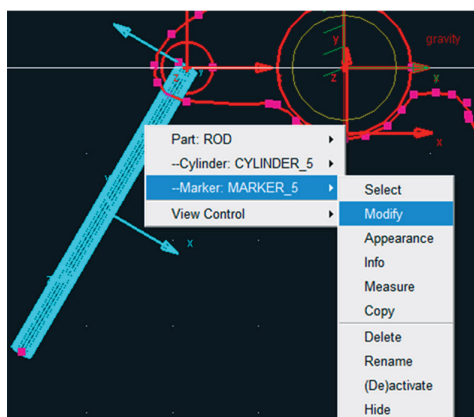


Figura 3.51(a) – Modificando a inclinação da haste.

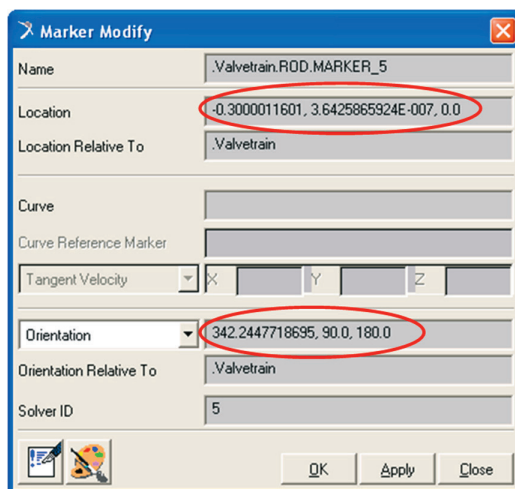


Figura 3.51(b) – Alterando a orientação da peça.

O resultado está apresentado na Figura 3.52.

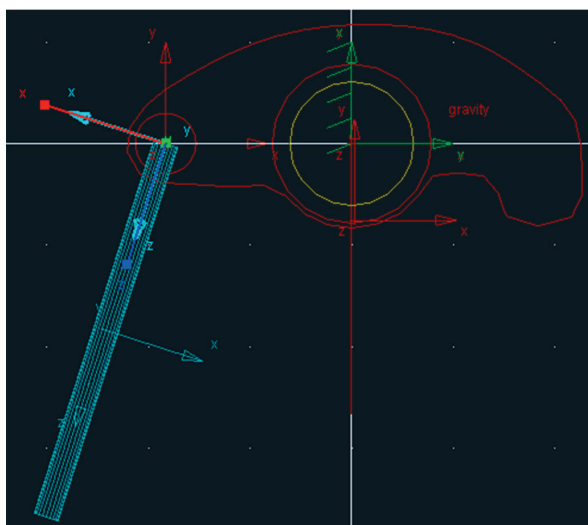



Figura 3.52 – Haste na sua posição e orientação final.

### Etapla 4.3 – Construção do círculo superior da haste

Na extremidade superior da haste (Rod) será inserido um círculo, de modo a facilitar a construção do mecanismo em etapas futuras, uma vez que o marker dessa geometria terá um de seus eixos orientado ao longo da haste.

- Selecione a ferramenta *arc/circle* , na caixa de diálogo *Main Toolbox*, conforme mostrado na Figura 3.53(a).
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, selecione primeiramente a opção *Circle*. No primeiro campo, selecione *Add to Part* (este corpo rígido será adicionado ao balancim). Selecione a opção *Radius* e, na caixa de texto, insira o valor mostrado na Figura 3.53(b).

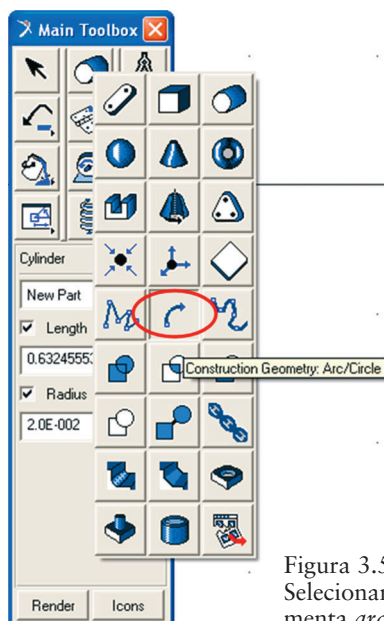


Figura 3.53(a) – Selecionando a ferramenta *arc/circle*.

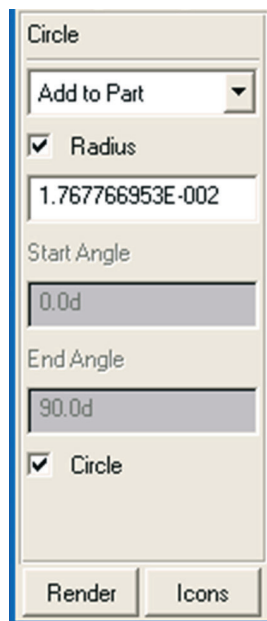


Figura 3.53(b) – Parâmetros do círculo.

- Primeiramente, selecione a geometria do balancim, de modo a informar que o círculo pertencerá a essa geometria. Posteriormente, selecione a localização do centro do círculo, que será o *MARKER\_2* (*marker* do círculo já existente na extremidade superior da haste). Feche a caixa de diálogo que informa que a geometria não possui massa.

A Figura 3.54 ilustra o círculo construído.

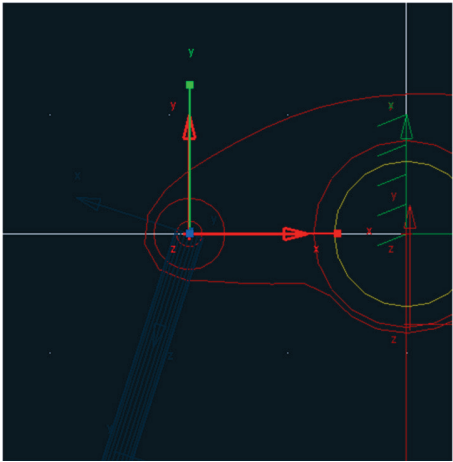


Figura 3.54 – Círculo construído.

**Etapas 4.3.1 – Definindo localização e orientação do *Marker* do círculo superior da haste**

- Clique com o botão direito do mouse e selecione *Marker: MARKER\_6* → *Modify*, conforme mostrado na Figura 3.55(a).
- Preencha o campo *Location* e *Orientation*, conforme mostrado na Figura 3.55(b).

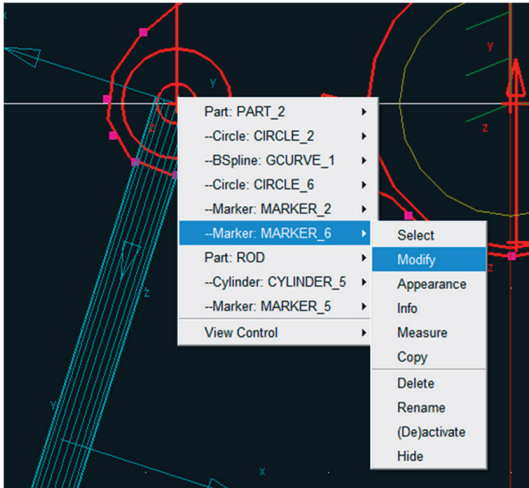


Figura 3.55(a) – Modificando a orientação do *Marker*.

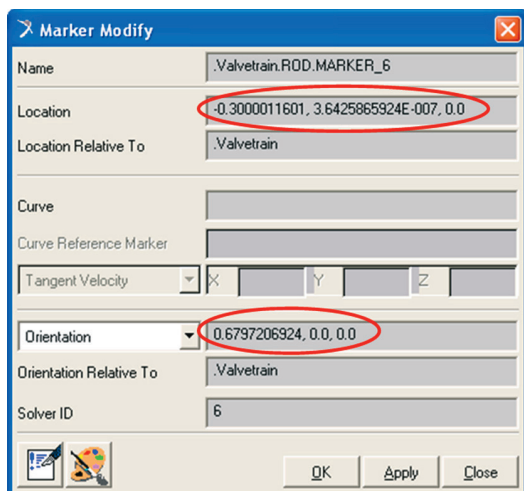

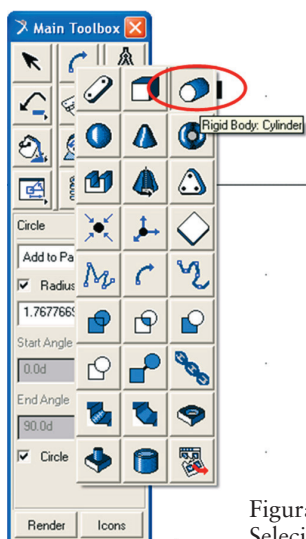
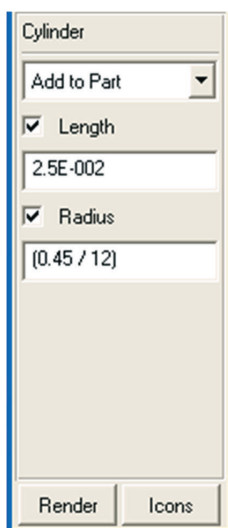


Figura 3.55(b) – Parâmetros do Marker.

#### Etapa 4.4 – Construção do seguidor

- Na extremidade inferior da haste, será construído o seguidor. Este será constituído de dois cilindros.
- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta *Cylinder* , conforme a Figura 3.56(a).
- Selecione as opções *Length* e *Radius*, e preencha os campos de acordo com a Figura 3.56(b). Note que essa geometria será adicionada ao corpo rígido *Rod*.

Figura 3.56(a) –  
Selecionando *Cylinder*.Figura 3.56 (b) –  
Parâmetros do cilindro.

- Primeiramente, selecione a geometria do *Rod*.
- Selecione a extremidade inferior do *Rod* e arraste o cursor do mouse na direção vertical para baixo. O resultado está apresentado na Figura 3.57.

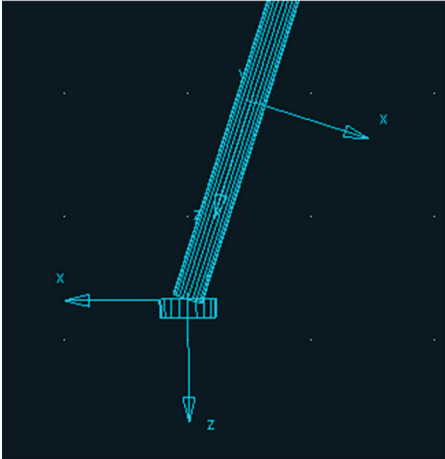


Figura 3.57 – Construção do primeiro cilindro.

#### Etapa 4.4.1 – Reposicionando o primeiro cilindro do seguidor

- Selecione o cilindro recém-criado. Com o botão direito do mouse, selecione *Marker: MARKER\_7* → *Modify*, conforme a Figura 3.58(a).
- Na caixa de diálogo *Marker Modify* preencha os campos *Location* e *Orientation*, de acordo com a Figura 3.58(b).

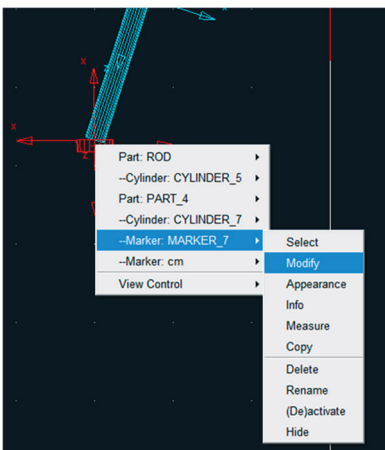


Figura 3.58(a) – Modificando o cilindro 1 do seguidor.

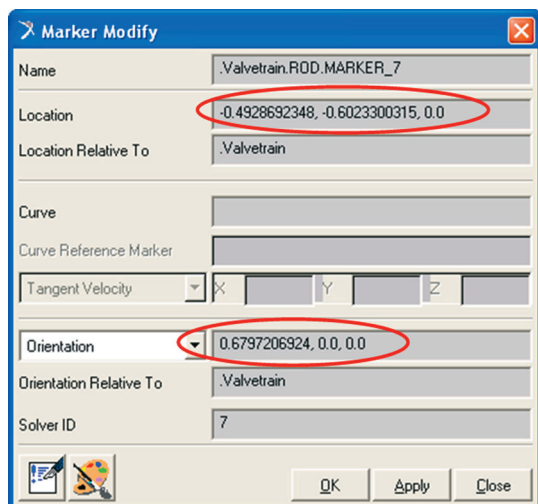


Figura 3.58(b) – Parâmetros do cilindro 1 do seguidor.

A Figura 3.59 ilustra o resultado dessa modificação.

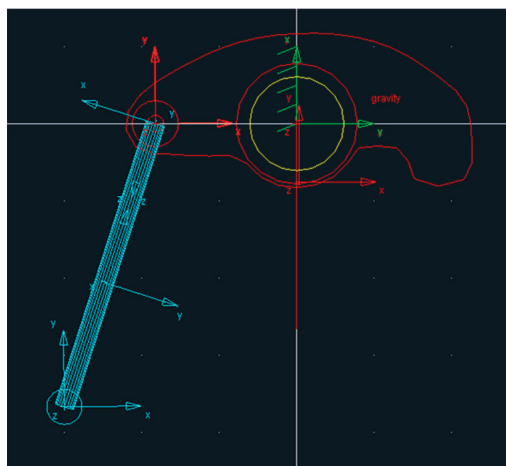


Figura 3.59 – Cilindro 1 reposicionado.

- Repita os passos descritos no item 4.4 e 4.4.1, de modo a obter um novo cilindro idêntico ao já criado nesses tópicos. No entanto, atente ao fato de que ao reposicionar o cilindro 2 deve-se selecionar o *marker* correspondente a este último, nesse caso, o *MARKER\_8*, conforme ilustrado nas Figuras 3.60(a) e 3.60(b).

A Figura 3.61 ilustra o mecanismo em vista isométrica, permitindo o usuário visualizar que ambos os cilindros ocupam a mesma posição.

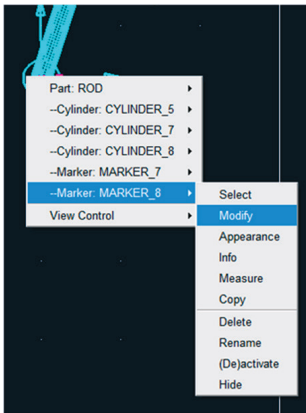


Figura 3.60(a) - Modificando o cilindro 2.

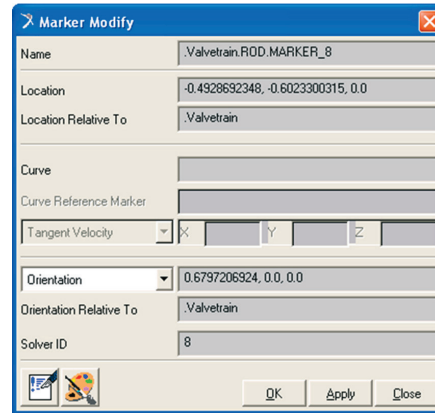


Figura 3.60(b) - Parâmetros do cilindro 2.

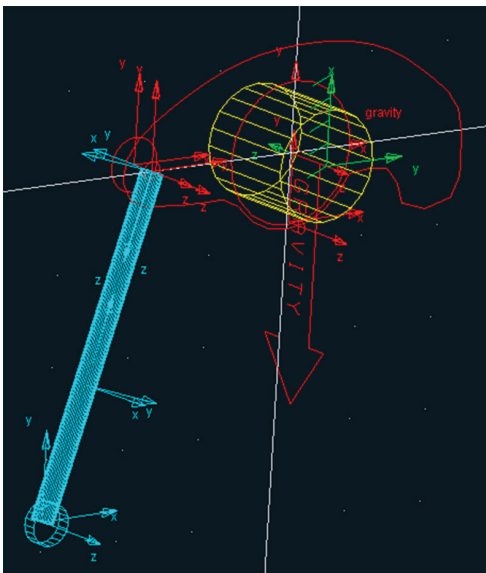


Figura 3.61 – Cilindros do seguidor construídos.

#### Etapa 4.4.2 – Reposicionando o segundo cilindro do seguidor

No segundo cilindro, será alterada a orientação do seu comprimento, de modo que ambos os cilindros fiquem adjacentes.

- Clique com o botão direito do mouse sobre os cilindros e selecione *Cylinder:CYLINDER\_8* → *Modify*, conforme mostra a Figura 3.62(a).
- A caixa de diálogo para alterar a geometria do cilindro será aberta, conforme mostrado na Figura 3.62(b). No campo *Length* insira um sinal



negativo antes do valor corrente. O resultado da operação é apresentado na Figura 3.63.

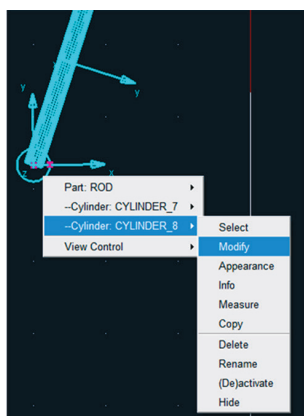


Figura 3.62(a) – Modificando a geometria do cilindro 2.

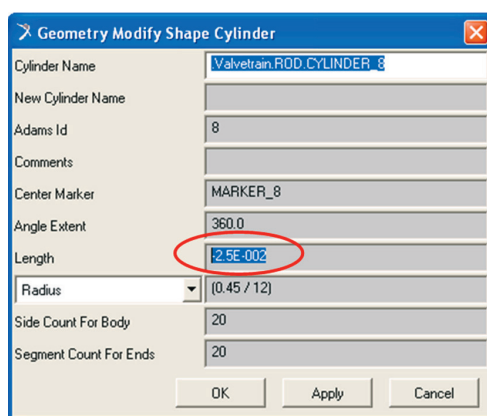


Figura 3.62(b) – Alterando o sentido do vetor comprimento do cilindro 2.

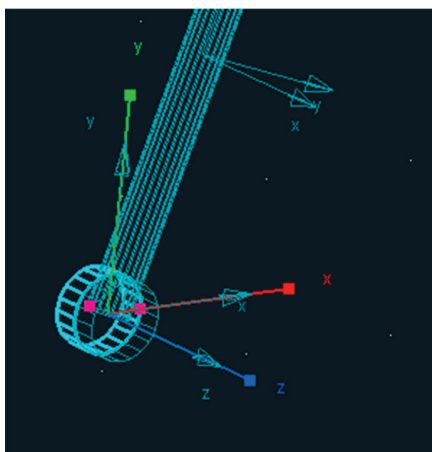



Figura 3.63 – Seguidor finalizado.

### Etapa 5 – Construção da came

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta *Spline* , conforme mostrado na Figura 3.64(a).
- Na parte inferior dessa janela, selecione a opção *Closed* e, no primeiro campo, selecione *New Part*. No campo *Create by picking*, selecione a opção *Points*.(Figura 3.64(b)).

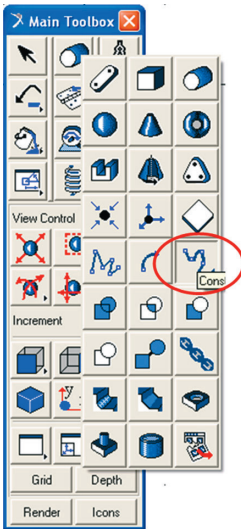


Figura 3.64(a) –  
Selecionando a fer-  
ramenta *Spline*.

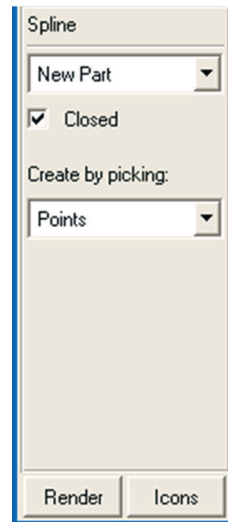


Figura 3.64(b) -  
Parâmetros da *Spline*.

- Na área de trabalho, selecione oito pontos aleatórios, lembrando que o primeiro ponto e o último deverão ser coincidentes. Para finalizar a geometria, clique com o botão direito do mouse. Feche a caixa de diálogo que informa que a geometria construída não tem massa.

Um exemplo está apresentado na Figura 3.65.

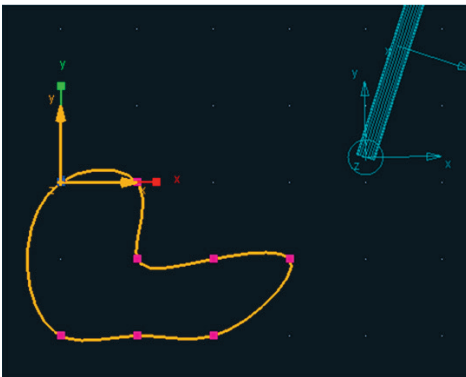


Figura 3.65 – Geometria criada aleatoriamente.

### Etapa 5.1 – – Definindo a forma da came

De maneira análoga à construção do balancim, a *spline* criada será modificada para o formato correto, conforme a sequência ilustrada nas Figuras 3.66(a), 3.66(b) e 3.67. Observe que, nesse caso, os pontos corretos da spline serão importados de um arquivo de dados chamado *came.txt*. Caso não tenha esse arquivo

disponível, os pontos poderão ser inseridos manualmente, na caixa de diálogo *Location Table*, segundo a Tabela 3.4, totalizando 202 pontos.

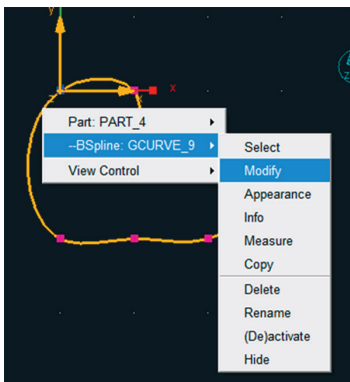


Figura 3.66(a) – Caminho para modificar a *Spline*.

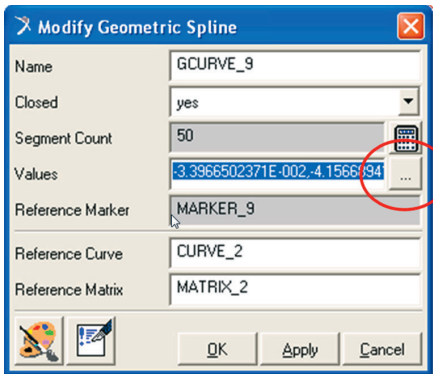


Figura 3.66(b) – Modificando a *Spline*.

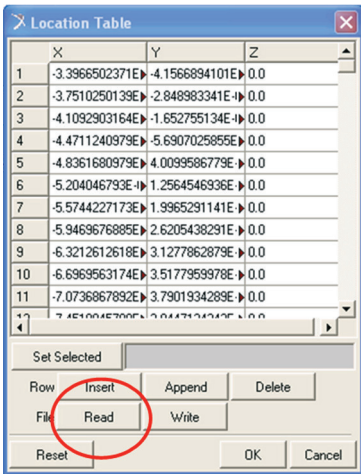


Figura 3.67 – *Location Table*.

Pontos	X	Y	Z
1	-3,40E+08	-4,16E+07	0.0
2	-3,75E+08	-2,85E+06	0.0
3	-4,11E+08	-1,65E+06	0.0
4	-4,47E+08	-5,69E+06	0.0
5	-4,84E+08	4,01E+06	0.0
6	-5,20E+07	1,26E+07	0.0
7	-5,57E+08	2,00E+07	0.0
8	-5,95E+08	2,62E+07	0.0
9	-6,32E+08	3,13E+07	0.0
10	-6,70E+08	3,52E+07	0.0
11	-7,07E+08	3,79E+07	0.0
12	-7,45E+08	3,94E+07	0.0
13	-7,83E+08	3,98E+07	0.0
14	-8,21E+08	3,90E+07	0.0
15	-8,58E+08	3,70E+07	0.0
16	-8,96E+08	3,38E+07	0.0
17	-9,34E+08	2,95E+07	0.0
18	-9,71E+08	2,40E+06	0.0
19	-0.1008058773	1,73E+07	0.0
20	-0.1045006998	9,43E+06	0.0
21	-0.1081692053	4,40E+05	0.0
22	-0.1118078094	-9,70E+06	0.0
23	-0.115412957	-2,10E+07	0.0
24	-0.1189811254	-3,34E+07	0.0
25	-0.1225088282	-4,69E+07	0.0
26	-0.1259926187	-6,14E+07	0.0
27	-0.1294290928	-7,71E+07	0.0
28	-0.1328148928	-9,39E+07	0.0
29	-0.1361467104	-1,12E+07	0.0
30	-0.1394212903	-1,30E+07	0.0
31	-0.1426354329	-1,50E+08	0.0
32	-0.1457859977	-1,71E+08	0.0
33	-0.1488699062	-1,93E+08	0.0
34	-0.1518841454	-2,16E+08	0.0
35	-0.15482577	-2,39E+08	0.0
36	-0.1576919057	-2,64E+08	0.0

Pontos	X	Y	Z
37	-0.1604797522	-2,90E+08	0.0
38	-0.1631865854	-3,16E+08	0.0
39	-0.1658097606	-3,43E+08	0.0
40	-0.1683467147	-3,71E+08	0.0
41	-0.1707949688	-4,00E+08	0.0
42	-0.1735955481	-4,34E+08	0.0
43	-0.1769386674	-5,11E+08	0.0
44	-0.1797915609	-5,11E+08	0.0
45	-0.1827356	-5,48E+08	0.0
46	-0.1856286247	-5,85E+08	0.0
47	-0.1884613803	-6,23E+08	0.0
48	-0.1912292033	-6,60E+08	0.0
49	-0.1939273333	-6,97E+08	0.0
50	-0.1965508616	-7,35E+08	0.0
51	-0.1990946879	-7,73E+08	0.0
52	-0.2015534906	-8,11E+08	0.0
53	-0.2039217119	-8,50E+08	0.0
54	-0.2061935568	-8,89E+08	0.0
55	-0.2083630069	-9,29E+08	0.0
56	-0.2104238463	-9,69E+07	0.0
57	-0.2123696979	-0.1009680174	0.0
58	-0.2141940684	-0.1050939064	0.0
59	-0.2158904	-0.1092725812	0.0
60	-0.2174521269	-0.1221064247	0.0
61	-0.2188727356	-0.1177816539	0.0
62	-0.2201458269	-0.1221064247	0.0
63	-0.2212651795	-0.1264727668	0.0
64	-0.2222248143	-0.1308756531	0.0
65	-0.2230190574	-0.13530922	0.0
66	-0.2236426033	-0.1397667988	0.0
67	-0.2240905771	-0.1442409512	0.0
68	-0.2243585942	-0.1487235062	0.0
69	-0.2244428202	-0.1532056005	0.0
70	-0.2243400277	-0.1576777212	0.0
71	-0.2240476521	-0.1621297513	0.0
72	-0.2235638459	-0.1665510183	0.0

Pontos	X	Y	Z
73	-0.2228875308	-0.1709303449	0.0
74	-0.2220184479	-0.1752561044	0.0
75	-0.2209572063	-0.1795162782	0.0
76	-0.2197053296	-0.1836985185	0.0
77	-0.2182652992	-0.1877902144	0.0
78	-0.2166405958	-0.1917785638	0.0
79	-0.2148357369	-0.1956506505	0.0
80	-0.21285631	-0.1993935276	0.0
81	-0.2107090003	-0.202994308	0.0
82	-0.2083989285	-0.206444865	0.0
83	-0.2058930063	-0.2097966503	0.0
84	-0.2031925763	-0.2130477378	0.0
85	-0.2003217639	-0.2161708771	0.0
86	-0.1972843235	-0.2191653826	0.0
87	-0.1940903141	-0.2220237557	0.0
88	-0.1907501663	-0.2247392196	0.0
89	-0.1872744148	-0.22730593	0.0
90	-0.1836736218	-0.2297189657	0.0
91	-0.179958303	-0.2319743122	0.0
92	-0.1761388562	-0.2340688425	0.0
93	-0.1722254931	-0.2360002934	0.0
94	-0.1682281726	-0.2377672377	0.0
95	-0.1641565369	-0.2393690541	0.0
96	-0.1600198501	-0.2408058936	0.0
97	-0.1558269383	-0.242078643	0.0
98	-0.1515861331	-0.2431888862	0.0
99	-0.1473052163	-0.2441388631	0.0
100	-0.1429913677	-0.2449314264	0.0
101	-0.1386511157	-0.2455699965	0.0
102	-0.1342902908	-0.2460585154	0.0
103	-0.1299139825	-0.2464013987	0.0
104	-0.1255265008	-0.246603488	0.0
105	-0.1211313423	-0.2466700032	0.0
106	-0.1167311619	-0.2466064948	0.0
107	-0.1123277521	-0.2464187988	0.0
108	-0.1079220303	-0.2461129933	0.0

Pontos	X	Y	Z
109	-0.1035140366	-0.2456953594	0.0
110	-9,91E+08	-0.245172345	0.0
111	-9,47E+08	-0.2445505349	0.0
112	-9,03E+08	-0.2438366256	0.0
113	-8,58E+08	-0.2430374053	0.0
114	-8,14E+08	-0.2421597387	0.0
115	-7,69E+08	-0.241210554	0.0
116	-7,24E+08	-0.2401968293	0.0
117	-6,79E+08	-0.239125574	0.0
118	-6,34E+08	-0.2380037993	0.0
119	-5,88E+08	-0.2368384713	0.0
120	-5,41E+08	-0.2356364393	0.0
121	-4,94E+08	-0.2344043349	0.0
122	-4,49E+08	-0.2331801714	0.0
123	-4,17E+08	-0.2322370132	0.0
124	-3,80E+08	-0.2310257877	0.0
125	-3,44E+08	-0.2297091184	0.0
126	-3,09E+08	-0.2283042951	0.0
127	-2,74E+08	-0.2267905743	0.0
128	-2,40E+08	-0.2251694349	0.0
129	-2,06E+08	-0.2234424611	0.0
130	-1,73E+08	-0.2216113401	0.0
131	-1,41E+08	-0.2196778612	0.0
132	-1,09E+08	-0.2176439136	0.0
133	-7,80E+07	-0.2155114845	0.0
134	-4,75E+07	-0.2132826575	0.0
135	-1,77E+07	-0.2109596105	0.0
136	1,14E+06	-0.2085446131	0.0
137	3,96E+07	-0.2060400252	0.0
138	6,71E+07	-0.2034482937	0.0
139	9,38E+07	-0.2007719512	0.0
140	1,20E+08	-0.1980136127	0.0
141	1,44E+08	-0.1951759731	0.0
142	1,69E+08	-0.1922618052	0.0
143	1,92E+08	-0.1892739564	0.0
144	2,14E+08	-0.1862153459	0.0

Pontos	X	Y	Z
145	2,35E+08	-0.1830889626	0.0
146	2,55E+08	-0.1798978608	0.0
147	2,74E+08	-0.1766451588	0.0
148	2,93E+08	-0.1733340346	0.0
149	3,10E+08	-0.1699677234	0.0
150	3,26E+08	-0.1665495146	0.0
151	3,41E+08	-0.1630827479	0.0
152	3,55E+08	-0.1595708106	0.0
153	3,67E+08	-0.1560171343	0.0
154	3,79E+08	-0.1524251911	0.0
155	3,90E+08	-0.1487984907	0.0
156	3,99E+08	-0.1451405768	0.0
157	4,07E+08	-0.1414550232	0.0
158	4,14E+08	-0.1377454314	0.0
159	4,20E+08	-0.1340154257	0.0
160	4,25E+08	-0.1302686505	0.0
161	4,29E+08	-0.1265087672	0.0
162	4,31E+08	-0.122739449	0.0
163	4,33E+08	-0.1189643791	0.0
164	4,33E+08	-0.1151872462	0.0
165	4,31E+08	-0.1114117405	0.0
166	4,29E+08	-0.1076415514	0.0
167	4,26E+08	-0.1038803624	0.0
168	4,21E+08	-0.1001318485	0.0
169	4,15E+08	-9,64E+08	0.0
170	4,08E+08	-9,27E+08	0.0
171	4,00E+08	-8,90E+08	0.0
172	3,91E+08	-8,53E+08	0.0
173	3,80E+08	-8,17E+08	0.0
174	3,69E+08	-7,81E+08	0.0
175	3,56E+08	-7,46E+08	0.0
176	3,42E+08	-7,10E+08	0.0
177	3,28E+08	-6,76E+08	0.0
178	3,12E+08	-6,41E+07	0.0
179	2,95E+08	-6,08E+08	0.0
180	2,77E+08	-5,74E+07	0.0



Pontos	X	Y	Z
181	2,58E+08	-5,42E+08	0.0
182	2,37E+08	-5,10E+08	0.0
183	2,16E+08	-4,79E+08	0.0
184	1,94E+08	-4,48E+08	0.0
185	1,71E+08	-4,18E+08	0.0
186	1,47E+08	-3,89E+08	0.0
187	1,23E+08	-3,60E+08	0.0
188	9,68E+05	-3,33E+08	0.0
189	7,03E+07	-3,06E+07	0.0
190	4,29E+07	-2,80E+08	0.0
191	1,47E+07	-2,55E+08	0.0
192	-1,42E+07	-2,30E+08	0.0
193	-4,39E+07	-2,07E+08	0.0
194	-7,43E+07	-1,85E+08	0.0
195	-1,05E+07	-1,63E+08	0.0
196	-1,37E+08	-1,43E+08	0.0
197	-1,70E+08	-1,23E+08	0.0
198	-2,03E+08	-1,05E+07	0.0
199	-2,36E+08	-8,73E+07	0.0
200	-2,70E+07	-7,10E+07	0.0
201	-3,05E+08	-5,57E+07	0.0
202	-3,40E+08	-4,16E+07	0.0

- Após especificar os novos pontos da *Spline*, a geometria da peça terá a aparência mostrada na Figura 3.68.

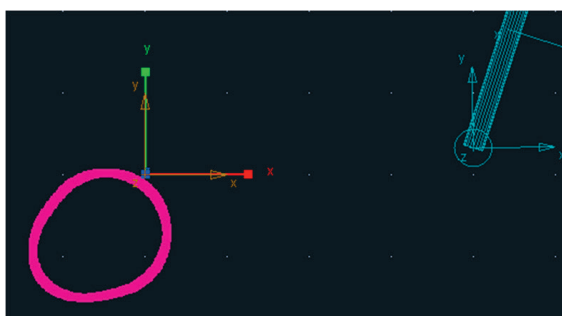


Figura 3.68 – Came editada.

### Etapa 5.2 – Reposicionando a *came*

O próximo passo é posicionar a geometria da *came* no local adequado. Este reposicionamento deve ser feito alterando-se a localização do *marker*.

- Clique, com o botão direito do mouse, sobre a *came*, e selecione *Marker: MARKER\_9* → *Modify*, conforme mostrado na Figura 3.69(a). A caixa de diálogo *Marker Modify* será aberta (Figura 3.69(b)). No campo *Location* digite:  $-0.4724334605$ ,  $-0.633147181$ ,  $0.0$ . A Figura 3.70 ilustra a *came* reposicionada.

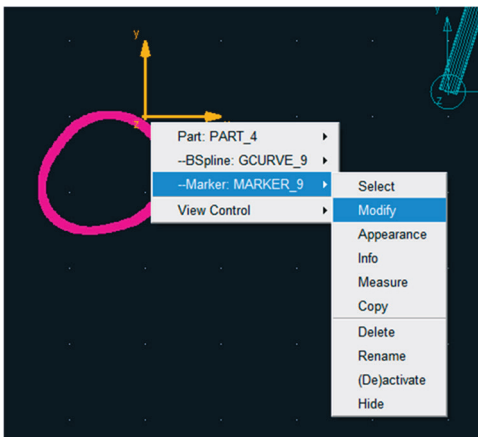


Figura 3.69(a) – Caminho para modificação.

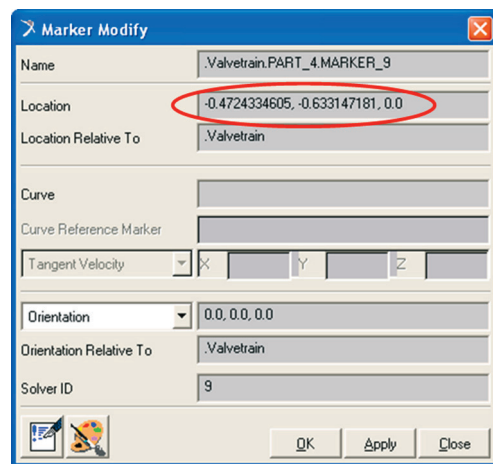


Figura 3.69(b) – Parâmetros para modificação.

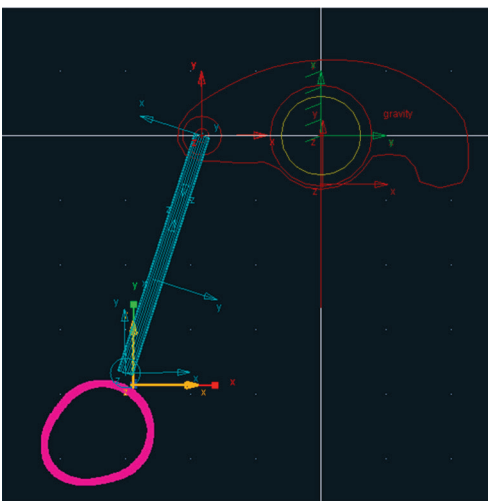



Figura 3.70 – Came reposicionada.

### Etapa 5.3 – Construção do eixo da *came*

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox* selecione a ferramenta *Cylinder*  conforme mostrado na Figura 3.71(a).
- Na parte inferior dessa janela, selecione as opções *Length* e *Radius*, preenchendo os respectivos campos com: 0.1 e 5.0E-002, conforme ilustrado na Figura 3.71(b). No campo *Cylinder*, selecione *Add to Part*.
- Selecione a geometria da *came*, de modo a informar que o cilindro pertencerá a esta.
- Selecione uma localização para criar o cilindro. Lembre-se que é necessário deslizar o mouse a fim de definir sua orientação. Ambas as informações podem ser aleatórias visto que o mouse será reposicionado.

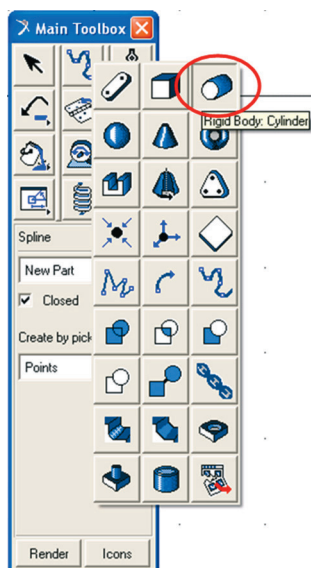


Figura 3.71(a) – Selecionando a ferramenta *Cylinder*.

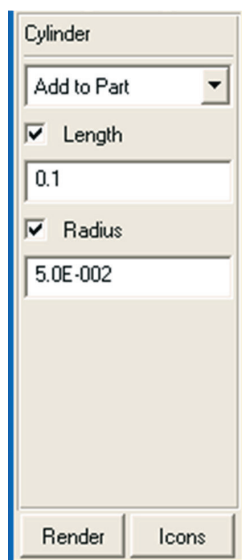


Figura 3.71(b) – Parâmetros do *Cylinder*.

A Figura 3.72 apresenta o resultado desta etapa.

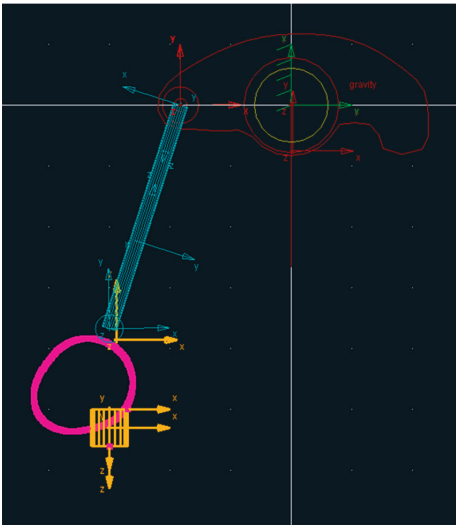


Figura 3.72 – Eixo construído.

**Etapa 5.4 – Reposicionamento do eixo da came**

De maneira análoga ao reposicionamento de geometrias já descritas anteriormente, o reposicionamento desse cilindro, representando o eixo da came, pode ser realizado seguindo a sequência ilustrada nas Figuras 3.73(a) e 3.73(b).

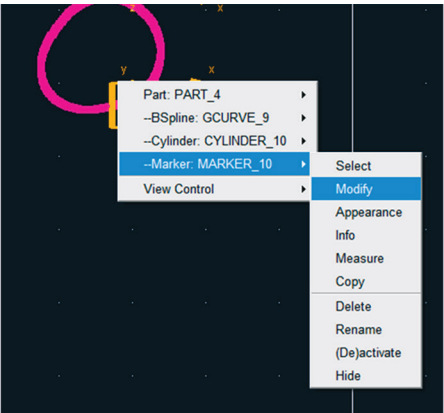


Figura 3.73(a) – Modificando a posição do cilindro.

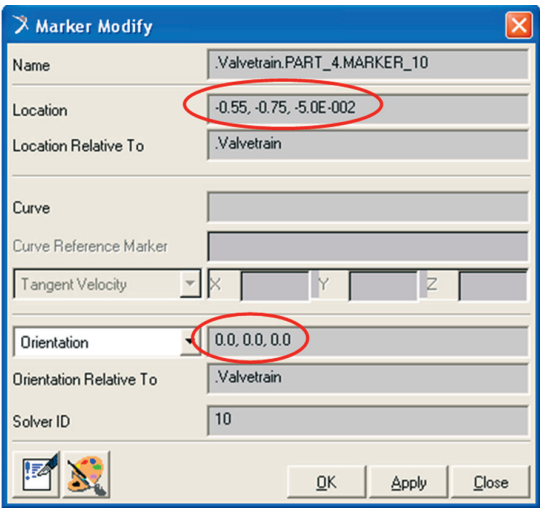


Figura 3.73(b) – Alterando a localização do cilindro.

A Figura 3.74 ilustra a *came* finalizada.

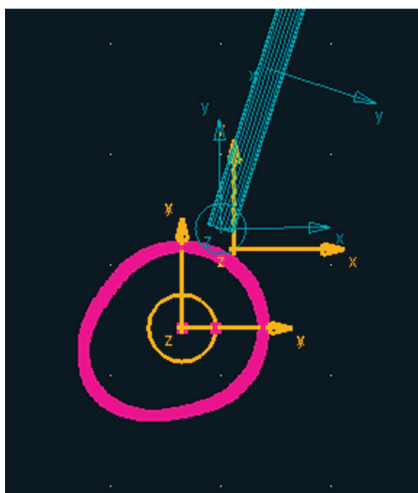



Figura 3.74 – Came finalizada.

#### Etapa 6 – Construção da válvula

A partir desta etapa uma nova ferramenta do ADAMS/View será utilizada para construção de geometrias, denominada de *Revolution*. Esta será empregada na construção da válvula, bem como na construção das geometrias de apoio do mecanismo.

##### Ferramenta *Revolution*

*A notar:* A ferramenta de criação de corpos rígidos, denominada *Revolution*, é utilizada para construir sólidos de revolução. Essa ferramenta está disponível na caixa de diálogo *Main Toolbox* cujo nome é *Rigid Body: Revolution*. Primeiramente, define-se o eixo no qual a superfície será rotacionada. Posteriormente, a superfície deverá ser definida pelo usuário, por meio de pontos selecionados na área de trabalho. A peça é finalizada, resultando em um sólido de revolução.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta *Revolution*  conforme ilustrado na Figura 3.75(a).
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo selecione as opções *Closed* e *Analytical*. No primeiro campo, selecione *New Part* e, no campo *Create by picking*, selecione *Points*, conforme ilustrado na Figura 3.75(b).

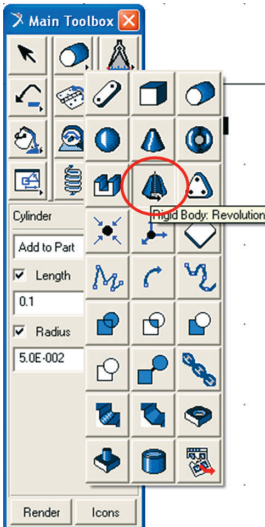


Figura 3.75(a) –  
Selecionando a ferramenta  
*Revolution*.

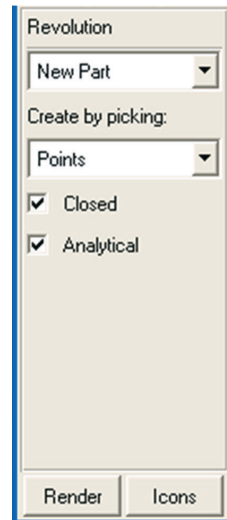


Figura 3.75(b) –  
Parâmetros da ferra-  
menta *Revolution*.

- Primeiramente, deve ser definido, na área de trabalho, o eixo no qual a superfície será rotacionada. Em uma posição aleatória do *grid*, selecione dois pontos, de modo a definir uma reta vertical (direção do eixo vertical), nesse caso, pontos 1 e 2, respectivamente (Figura 3.76(a)). Note que o software indica a ação a ser realizada no canto inferior esquerdo.
- Após selecionado os dois pontos definindo o eixo de rotação, selecione os dois próximos pontos (3 e 4 da Figura 3.76(a)) que irão constituir a superfície a qual será rotacionada em torno do eixo definido pelos pontos 1 e 2. Para finalizar a peça clique com o botão direito do mouse. Feche a caixa de diálogo que alerta que a geometria não tem massa.

A Figura 3.76(b) ilustra o sólido de revolução construído.

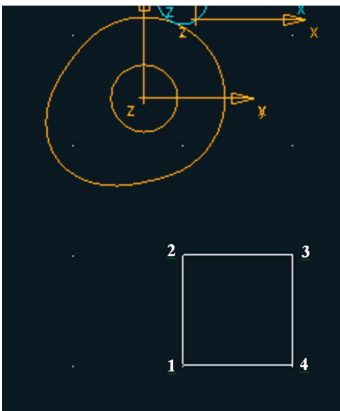


Figura 3.76(a) – Criação do eixo de rotação e da superfície.

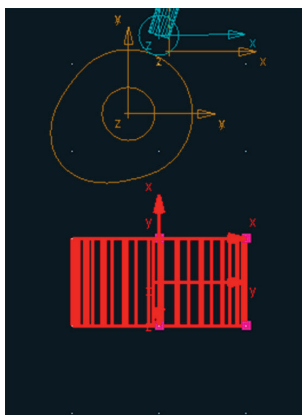



Figura 3.76(b) – Sólido de revolução construído.

### Etapa 6.1 – Atribuindo formato à válvula

- Clique com o botão direito do mouse sobre o sólido de revolução construído no passo anterior, selecione *Revolution: REVOLUTION\_11* → *Modify*, conforme mostra a Figura 3.77(a).
- Na caixa de diálogo *Modify Surface of Revolution* selecione o ícone  (Figura 3.77(b)).
- Na janela *Location Table* que se abrirá edite os pontos de acordo com a Tabela 3.3. Ou importe estes pontos do arquivo *valvula.txt* selecionando o comando *File* → *Read*.

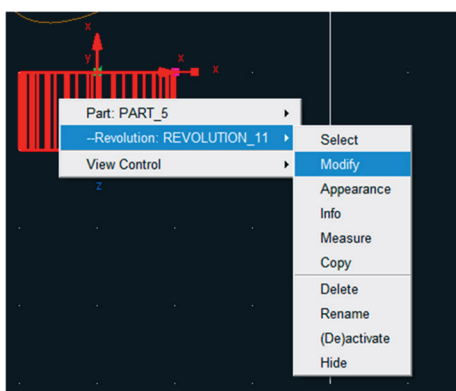


Figura 3.77(a) – Modificando a forma geométrica da válvula.

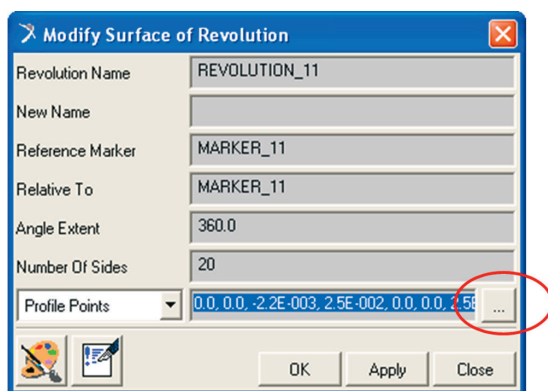


Figura 3.77(b) – Modificando o sólido de revolução.

Tabela 3.3 – Pontos da geometria da válvula.

Pontos	X	Y	Z
1	0.0	0.0	-2.2E-003
2	2.5E-002	0.0	0.0
3	2.5E-002	0.0	0.6
4	2,78E+08	0.0	0.6556142179
5	3,27E+08	0.0	0.6763197432
6	4,81E+08	0.0	0.6958073136
7	7,16E+08	0.0	0.7136710095
8	0.1	0.0	0.725
9	0.1248146525	0.0	0.7270687569
10	0.1248146525	0.0	0.75
11	0.0	0.0	0.75
12	0.0	0.0	-2.2E-003

A válvula com o formato correto está apresentada na Figura 3.78.

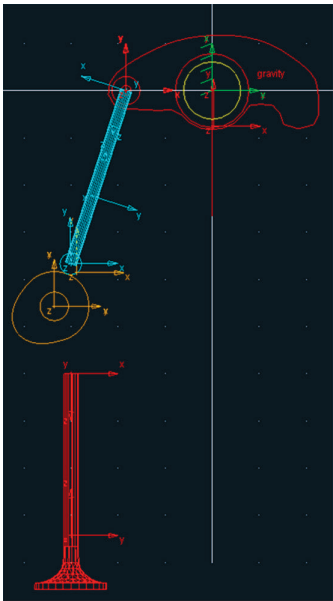


Figura 3.78 – Válvula construída.

**Etapa 6.2 – Reposicionamento da válvula**

As Figuras 3.79(a) e 3.79(b), respectivamente, ilustram o reposicionamento da válvula para a posição correta no mecanismo em questão. A Figura 3.80 ilustra a válvula na posição correta.



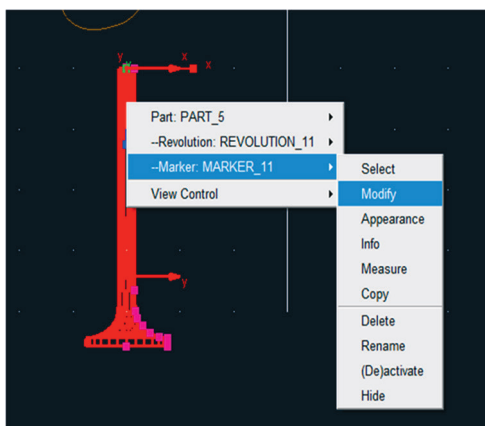


Figura 3.79(a) – Modificando posição da válvula.

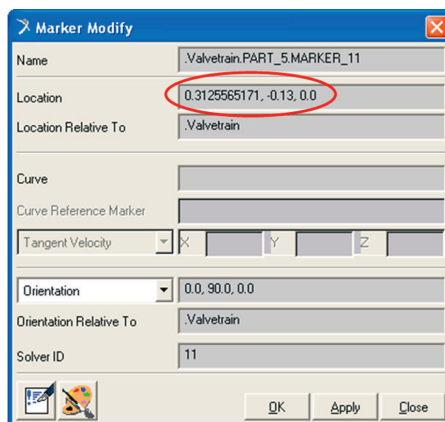
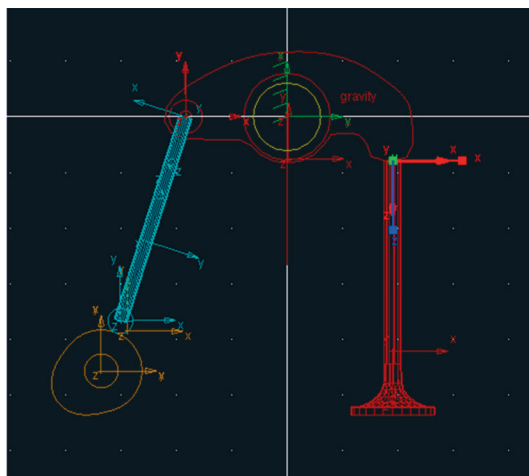

Figura 3.79(b) – Localização do *marker* da válvula.

Figura 3.80 – Válvula na posição correta.

### Etapa 7 – Criação dos suportes

Nesta etapa, serão construídos os suportes do mecanismo, conforme definidos na Figura 3.28. Ressalta-se que esses suportes serão geometrias definidas no *Ground*, totalizando três peças (duas na válvula e uma na haste).

#### Etapa 7.1 – Criando os suportes da válvula

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta *Polyline*  conforme a Figura 3.81(a).

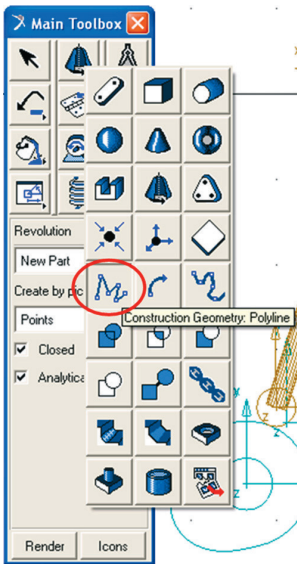


Figura 3.81(a) – Selecionando a ferramenta *Polyline*.

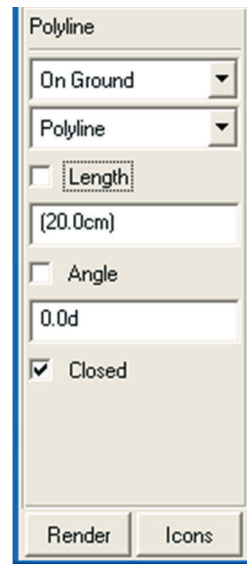


Figura 3.81(b) – Parâmetros da ferramenta *Polyline*.

- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, no primeiro campo, selecione a opção *On Ground*. Selecione a opção *Closed*. As configurações dessa ferramenta devem estar de acordo com a Figura 3.81(b).
- Clique em quatro pontos da área de trabalho (posição aleatória) formando um quadrado, conforme mostra a Figura 3.82(a).
- Repita essa operação (segundo as Figuras 3.81(a) e 3.81(b), novamente construindo um segundo quadrado, conforme ilustrado na Figura 3.82(b).

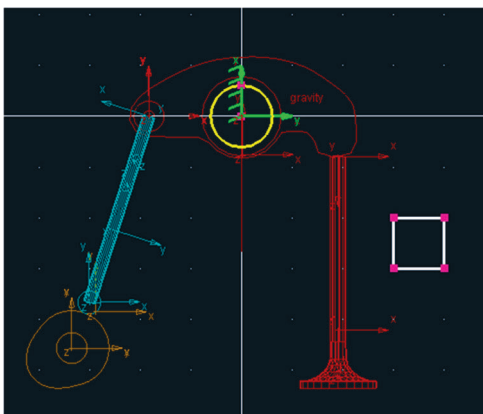


Figura 3.82(a) – Construindo a superfície *polyline*.

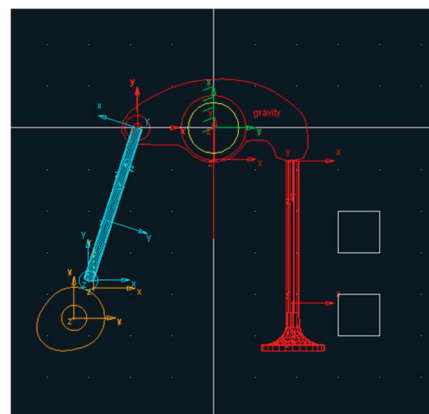


Figura 3.82 (b)- Duas superfícies *polyline* construídas.

### Etapa 7.2 – Modificando a geometria e reposicionando os suportes da válvula

As Figuras 3.83(a) e 3.83(b) ilustram a modificação da forma geométrica para o primeiro suporte (superior) da válvula. Já as Figuras 3.84(a) e 3.84(b) ilustram a modificação da forma geométrica do segundo suporte (inferior) da válvula.

As posições desses pontos podem ser importadas diretamente dos arquivos “suporte1\_valvula.txt” e “suporte2\_valvula.txt” respectivamente. Ou, ainda, podem ser editadas manualmente, conforme os pontos mostrados nas Figuras 3.83(b) e 3.84(b) respectivamente.

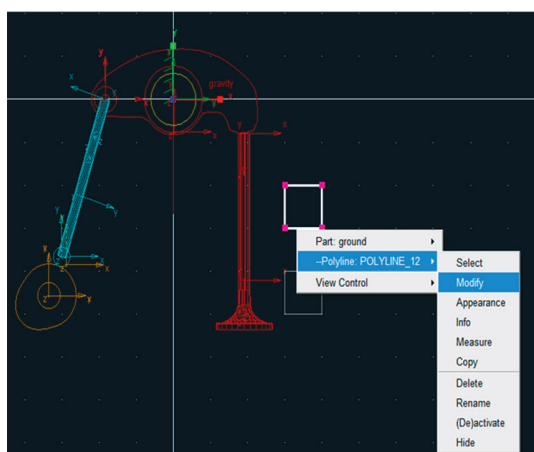


Figura 3.83(a) – Modificando a forma geométrica do primeiro suporte.

Location Table			
	X	Y	Z
1	0.4	-0.8	0.0
2	0.4	-0.825	0.0
3	0.4115885638	-0.855382529	0.0
4	0.4356502236	-0.8567077714	0.0
5	0.45	-0.85	0.0
6	0.5	-0.85	0.0
7	0.5	-0.8	0.0
8	0.4	-0.8	0.0

Set Selected

Row Insert Append Delete

File Read Write

Reset OK Cancel

Figura 3.83(b) – Localização dos pontos do primeiro suporte da válvula.

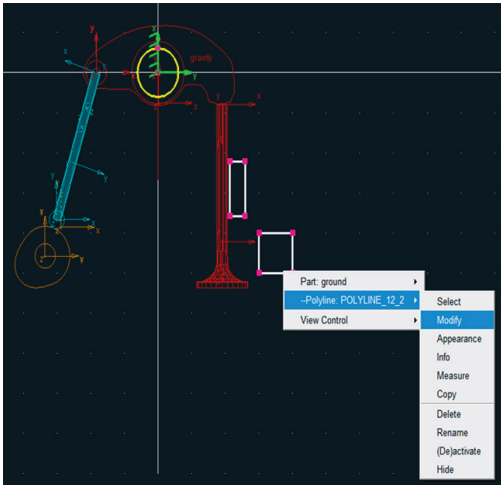


Figura 3.84(a) – Modificando a forma geométrica do segundo suporte.

Location Table			
	X	Y	Z
1	0.4	-0.8	0.0
2	0.4	-0.825	0.0
3	0.4115885638	-0.855382529	0.0
4	0.4356502236	-0.8567077714	0.0
5	0.45	-0.85	0.0
6	0.5	-0.85	0.0
7	0.5	-0.8	0.0
8	0.4	-0.8	0.0

Set Selected

Row Insert Append Delete

File Read Write

Reset OK Cancel

Figura 3.84(b) – Localização dos pontos do segundo suporte da válvula.

A Figura 3.85 ilustra as duas geometrias após as alterações realizadas nesta etapa.

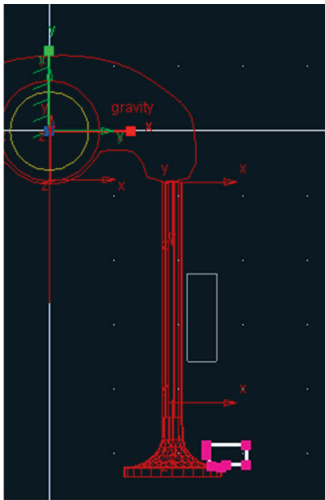



Figura 3.85 – Suportes da válvula reposicionados.

### Etapa 7.3 – Atribuindo volume aos suportes da válvula

- Até o momento, foram construídas as superfícies que resultarão no volume dos suportes. Para isto, se recorrerá novamente à ferramenta *Revolution*.
- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta *Revolution* , conforme mostrado na Figura 3.86(a).
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, selecione no primeiro campo a opção *Add to Part*. No campo *Create by picking*, selecione *Curve*. Certifique-se de que a opção *Analytical* está ativada, conforme ilustrado na Figura 3.86(b).

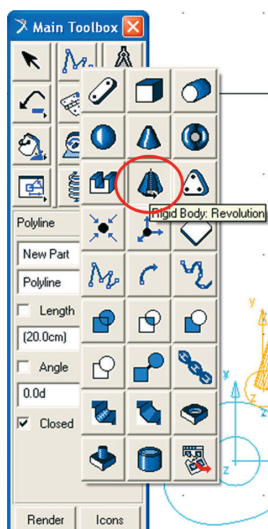


Figura 3.86(a) - Selecionando a ferramenta *Revolution*.

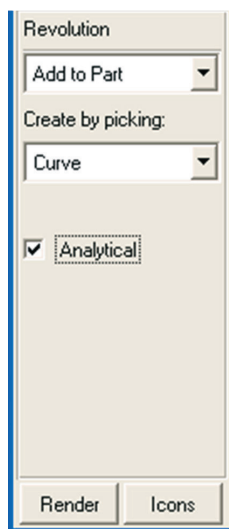


Figura 3.86 (b) – Parâmetros da ferramenta *Revolution*.

- Siga as instruções fornecidas pelo software no canto inferior esquerdo da área de trabalho (para que essas informações estejam visíveis, é necessário que o curso do mouse esteja sobre o *grid*) para construção do sólido de revolução.
- Selecione a geometria a qual será transformada em um sólido de revolução. Para isto, selecione a *polyline* referente ao suporte superior.
- Defina o eixo em torno do qual a superfície do suporte será rotacionado. Este eixo deverá ser definido na linha de centro da válvula, ao longo de seu comprimento. Para isso, clique no ponto central da linha superior da válvula (Ponto 1 da Figura 3.87) e, posteriormente, clique no ponto central da linha inferior (Ponto 2 da Figura 3.87). Note que, para esses pontos, o software reconhece automaticamente os *markers* localizados nessas linhas.

- Após definido o eixo, clique sobre a curva que define a superfície do suporte. Ao clicar com o botão direito do mouse a peça é finalizada e um sólido de revolução é gerado.

O resultado é apresentado na Figura 3.87.

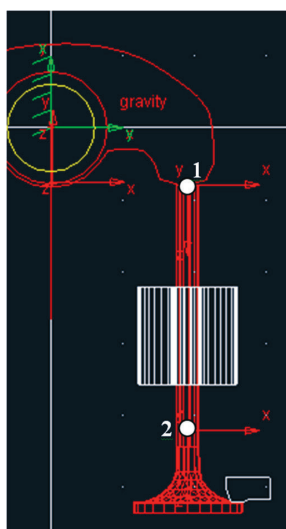


Figura 3.85 – Suportes da válvula reposicionados.

A mesma operação deve ser realizada para geração do sólido de revolução correspondente ao suporte inferior da válvula. A Figura 3.88 ilustra o segundo suporte finalizado.

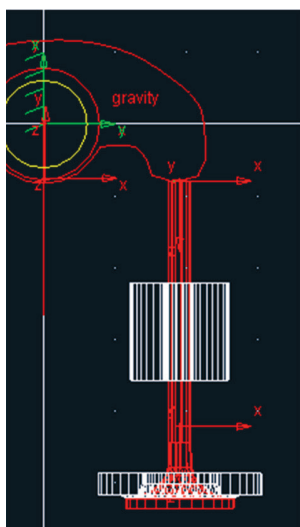


Figura 3.88 – Suporte inferior finalizado.

#### Etapa 7.4 – Visualização em corte dos suportes da válvula

Apenas para efeito de visualização os dois suportes da válvula serão modificados para uma vista em corte. Para isso, o ângulo no qual a superfície foi rotacionada em torno do eixo deverá ser alterado, uma vez que a superfície foi rotacionada em 360°.

- Clique com o botão direito do mouse sobre o suporte superior e selecione *Revolution: REVOLUTION\_12* → *Modify* conforme a Figura 3.89(a). Na caixa de diálogo *Modify Surface of Revolution*, altere o campo *Angle Extent* para -180.0 (Figura 3.89(b)). Para melhor visualização do resultado gire o mecanismo usando o comando *Rotate* (o atalho corresponde à letra R no teclado e utilize o mouse para rotacionar o mecanismo).

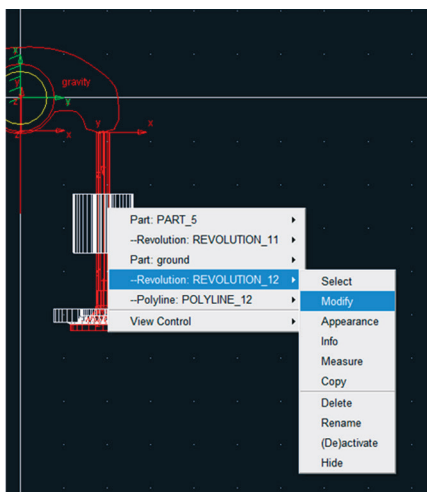


Figura 3.89(a) – Modificando o suporte superior da válvula.

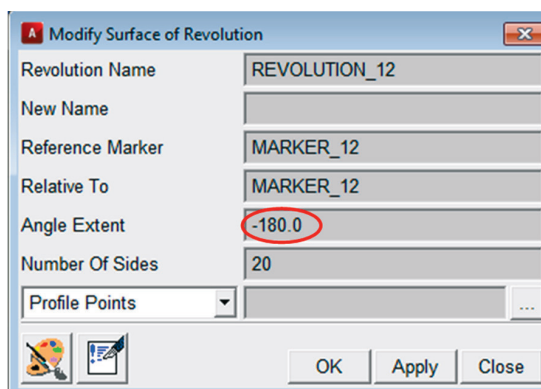


Figura 3.89(b) – Alterando o ângulo de revolução do suporte superior da válvula.

O mesmo procedimento deve ser seguido para o suporte inferior da válvula, conforme ilustrado nas Figuras 3.90(a) e 3.90(b).

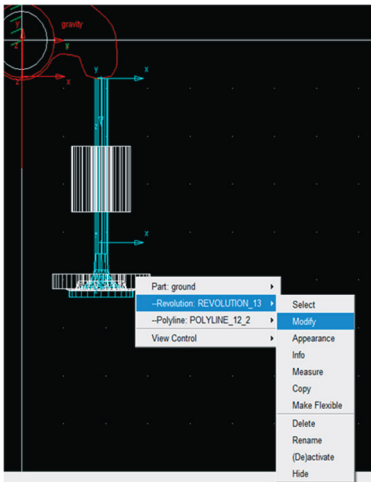


Figura 3.90(a) – Modificando o suporte inferior da válvula.

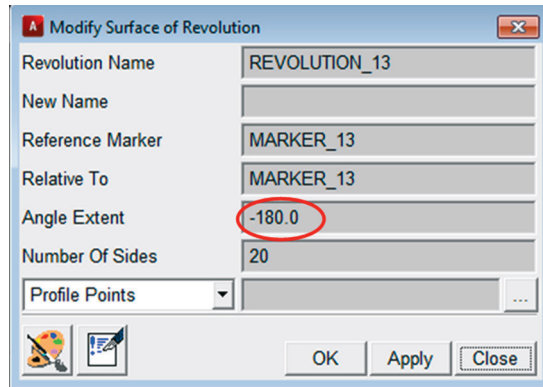


Figura 3.90(b) – Alterando o ângulo de revolução do suporte inferior da válvula.

O resultado está ilustrado na Figura 3.91, o qual está sendo visualizando no formato *Shaded* (clique com o botão direito do mouse no *grid* e selecione a opção *Shaded*).

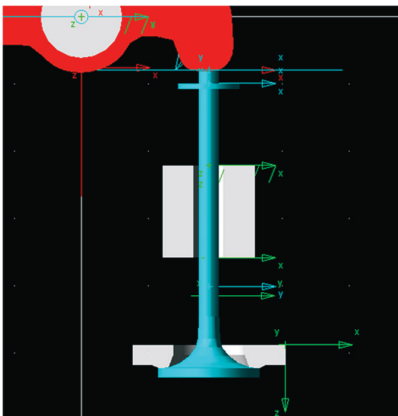


Figura 3.91 – Suportes da válvula em visualização de corte.

### Etapa 7.5 – Criando o suporte da haste

- Selecione a ferramenta *Revolution* na caixa de diálogo *Main Toolbox*. (Figura 3.92(a)).
- Na parte inferior desta caixa de diálogo selecione a opção *On Ground* no primeiro campo e no segundo campo selecione a opção *Points*. Ative as opções *Closed* e *Analytical*, conforme a Figura 3.92(b).



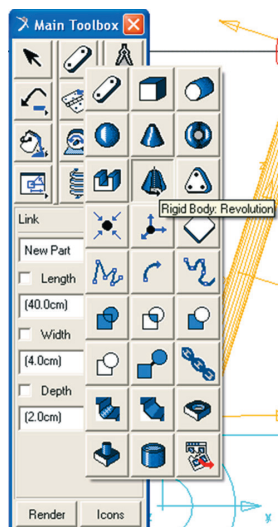


Figura 3.92(a) -  
Selecionando a ferramenta *Revolution*.

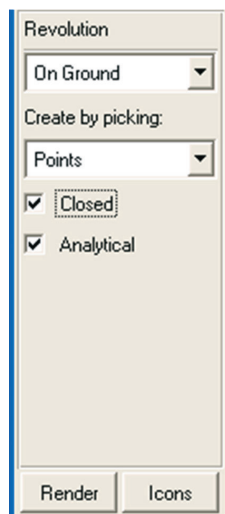


Figura 3.92(b) -  
Parâmetros da ferramenta *Revolution*.

- Crie um quadrado, selecionando quatro pontos próximo à haste, conforme ilustrado na Figura 3.93(a). A priori, a localização dessa peça pode ser aleatória, pois na próxima etapa ela será reposicionada. Note que, primeiramente, deverá ser definido o eixo (linha 1-2) no qual a peça será rotacionada gerando o volume. Posteriormente, defina os pontos 3 e 4. Para finalizar a superfície clique com o botão direito do mouse.

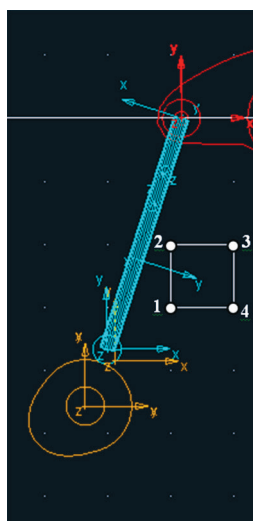


Figura 3.93(a) -  
Criando a superfície do suporte.

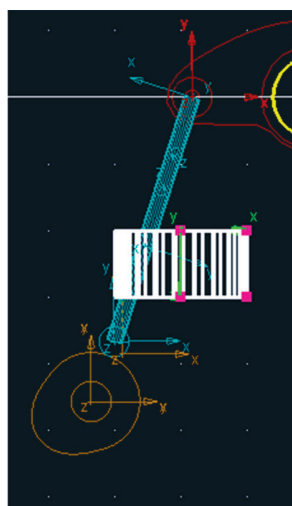



Figura 3.93(b) -  
Volume do suporte da haste criado.

### Etapa 7.6 – Reposicionando o suporte da haste

- Selecione a geometria criada no passo anterior, utilizando o botão direito do mouse.
- Selecione a opção *Revolution: REVOLUTION\_12\_3* → *Modify*, conforme ilustrado na Figura 3.94(a).
- Na caixa de diálogo que se abrirá, selecione o ícone , localizado à direita do campo *Profile Points*. A caixa de diálogo *Location Table* será aberta e as coordenadas dos pontos deverão ser preenchidas, conforme ilustrado na Figura 3.94 (b). Essas coordenadas também poderão ser importadas do arquivo *suporte3\_haste.txt*. Para isto deve-se seleccionar a opção *Read*, localizado na parte inferior da janela *Location Table*.

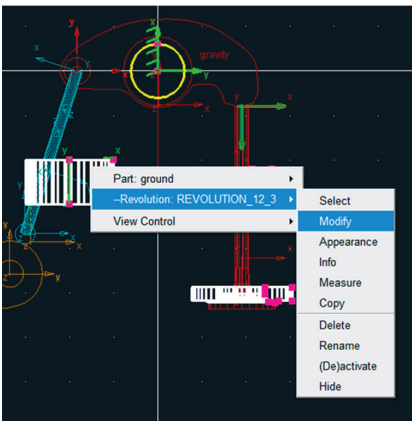


Figura 3.94 (a) – Modificando posição do suporte da haste.

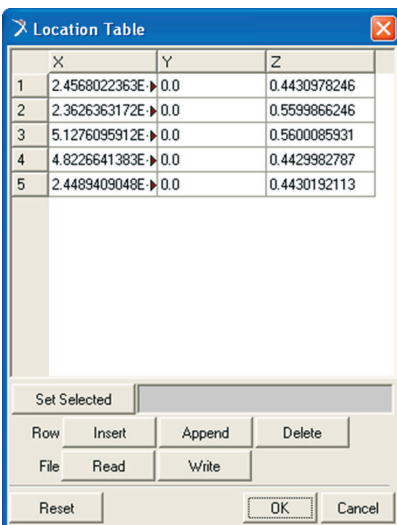


Figura 3.94 (b) – Localização dos pontos do suporte da haste.

A Figura 3.95 apresenta o resultado a ser obtido, ou seja, o suporte teve sua geometria alterada.

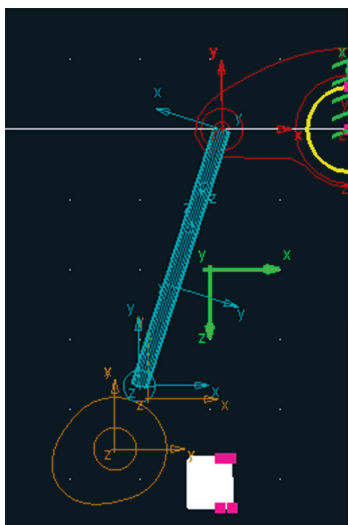


Figura 3.95 - Alteração geométrica do suporte da haste.

O próximo passo é reposicionar o suporte. Para isso, o *marker* dessa geometria deverá ser modificado.

- Com o botão direito do mouse, selecione o *marker* da geometria em questão, conforme ilustrado na Figura 3.96(a). Note que o *marker* está localizado fora da geometria definida (na Figura 3.95 este *marker* está na cor verde). Selecione a opção *Marker: MARKER\_14* → *Modify*.
- A caixa de diálogo *Marker Modify* será aberta. Preencha os campos, conforme mostrado na Figura 3.96(b).

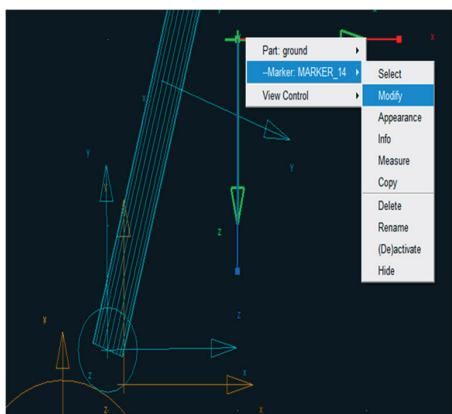


Figura 3.96(a) - Modificando o *marker* do suporte da haste.

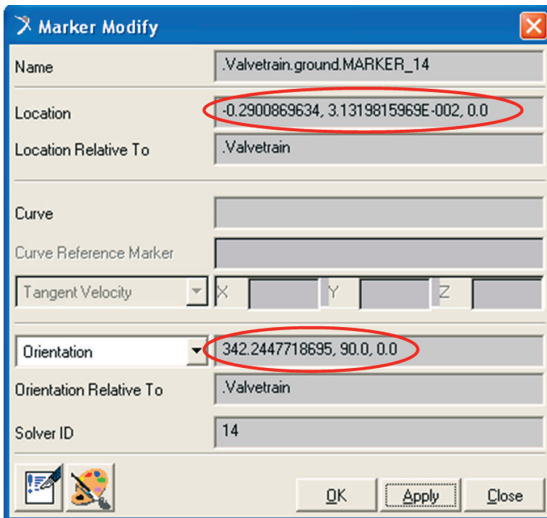


Figura 3.96(b) – Parâmetros do *marker* do suporte da haste

A Figura 3.97 ilustra o suporte da haste finalizado.

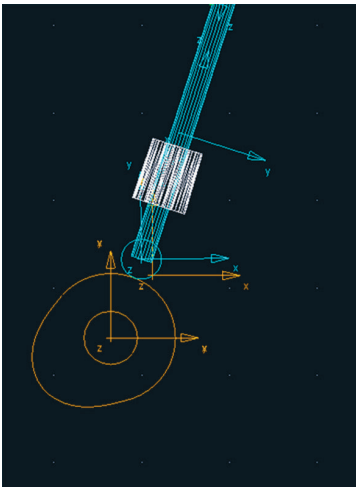


Figura 3.97 – Resultado da operação

## Etapa 8 – Construção da mola

### Etapa 8.1 – Criando o apoio da mola


- O apoio da mola possui uma geometria cilíndrica. Para isto, na caixa de diálogo *Main Toolbox* selecione a ferramenta *Cylinder*  (Figura 3.98(a)) e preencha os campos da parte inferior dessa janela, conforme a mostrado na Figura 3.98(b).



Figura 3.98(a) – Selecionando a ferramenta *Cylinder*.

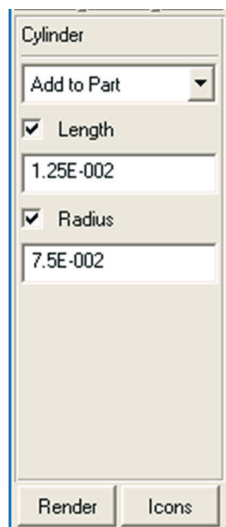


Figura 3.98(b) – Parâmetros da ferramenta *Cylinder*.

- Uma vez que está definido o comprimento e o raio do cilindro a ser construído, selecione no mecanismo a que *Part* essa geometria pertencerá, que, nesse caso, é a válvula. Clique sobre a geometria da válvula perto de sua extremidade superior (este ponto pode ser aleatório pois a peça será reposicionada na próxima etapa). Com o cursor do mouse, defina a direção do eixo longitudinal do cilindro (mova o cursor do mouse na direção vertical para baixo).

A Figura 3.99(a) ilustra o cilindro construído. Note que este foi construído inclinado apenas para ilustração. Na próxima etapa, sua localização e orientação serão definidas.

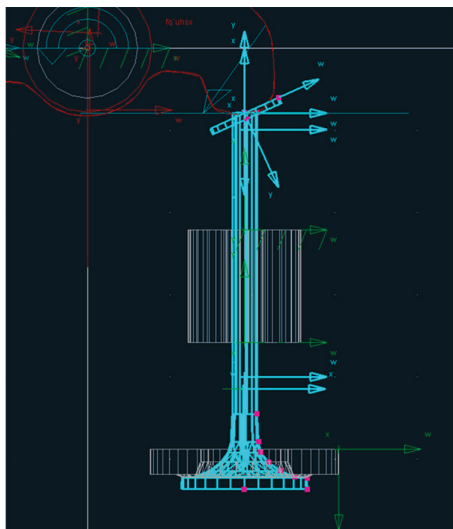


Figura 3.99 – Cilindro construído.

- Para reposicionar o apoio da mola, selecione a geometria recém-construída com o botão direito do mouse, conforme ilustrado na Figura 3.100(a). Selecione o *Marker:Marker\_15*→*Modify*. Na caixa de diálogo *Marker Modify*, preencha os campos *Location* e *Orientation*, conforme ilustrado na Figura 3.100(b).

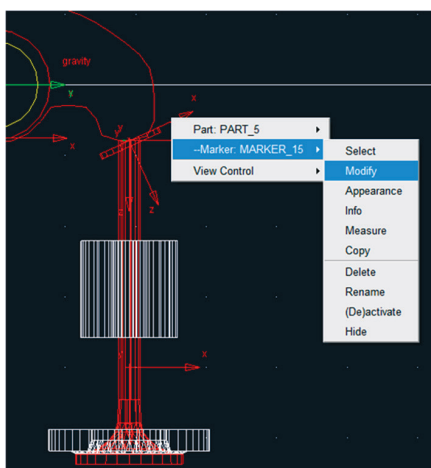


Figura 3.100(a) – Selecionando o apoio da mola.

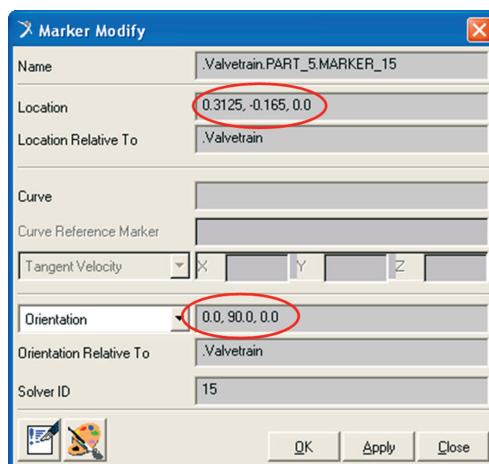


Figura 3.100(b) – Parâmetros de modificação

O resultado pode ser visualizado na Figura 3.101.

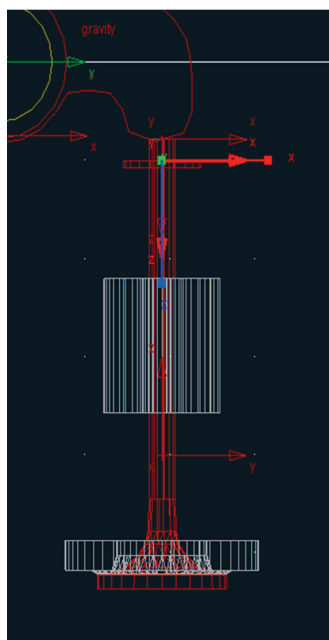



Figura 3.101 – Apoio da mola construído.

### Etapa 8.2 – Inserindo a mola no mecanismo

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta  (*Connector: Translational Spring-Damper*), como ilustrado na Figura 3.102(a). Os campos inferiores dessa caixa de diálogo deverão permanecer sem alterações, como mostrado na Figura 3.102(b).

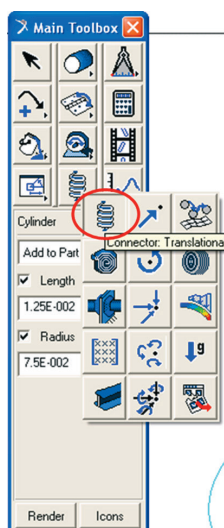


Figura 3.102 (a) – Selecionando a ferramenta mola.

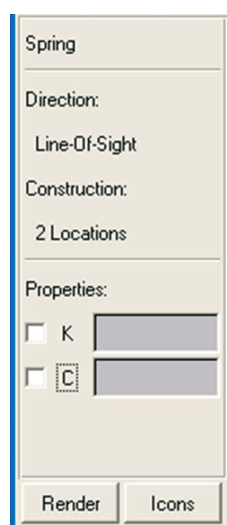


Figura 3.102 (b) – Parâmetros da ferramenta mola.

- Para criar a mola, é necessário selecionar os dois pontos extremos desta, e que sejam pertencentes a dois *PARTS* diferentes, nesse caso, a válvula e o *ground*. Primeiramente, defina o ponto superior, selecionando o *marker* pertencente ao cilindro de apoio da mola (Figura 3.103(a)). Em seguida, defina o ponto inferior, selecionando o *marker* pertencente ao suporte superior da válvula (Figura 3.103(b)), o qual está localizado no *ground*.

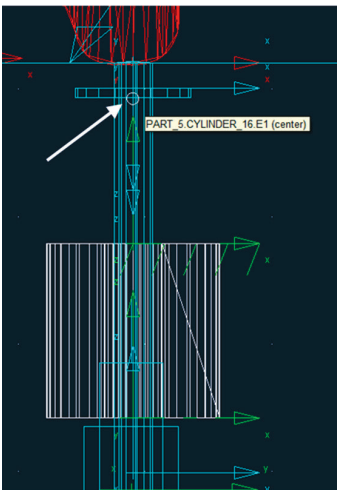


Figura 3.103 (a) – Definindo ponto superior da mola.

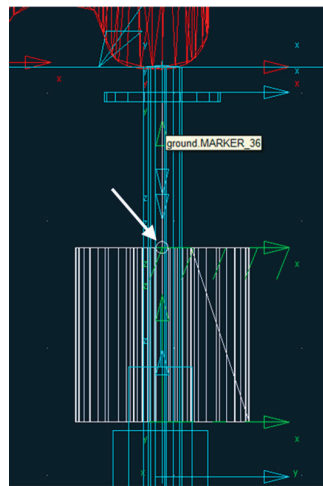


Figura 3.103 (b) – Definindo ponto inferior da mola.

A Figura 3.104 ilustra a mola construída (em azul).

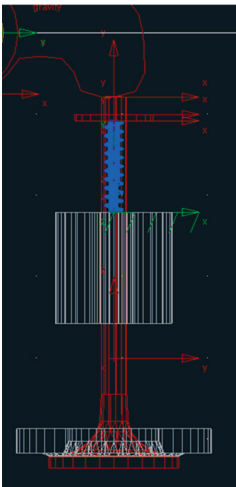


Figura 3.104 – Mola construída.



### Etapa 8.3 – Definindo parâmetros da mola

Nesta etapa, serão definidos os valores da constante elástica (K) e o coeficiente de amortecimento (C).

- Clique com o botão direito do mouse sobre a mola e selecione *Spring: SPRING\_1* → *Modify* conforme a Figura 3.105(a).
- A caixa de diálogo *Modify a Spring-Damper Force* será aberta. Esta deverá ser preenchida conforme a Figura 3.105(b). Note que, nessa janela, deverão ser inseridos os parâmetros K (100 lbf/foot), C (0.1 lbf.sec/foot) e a pré-carga (*preload*) de 100 lbf.

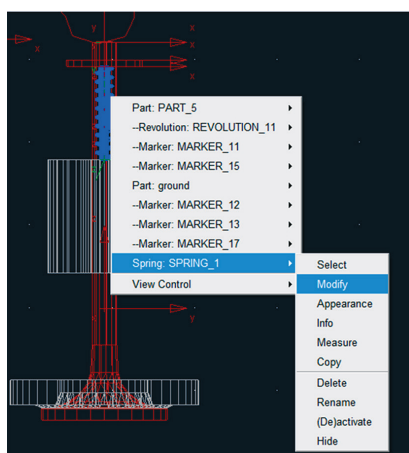


Figura 3.105(a)- Modificando a mola.

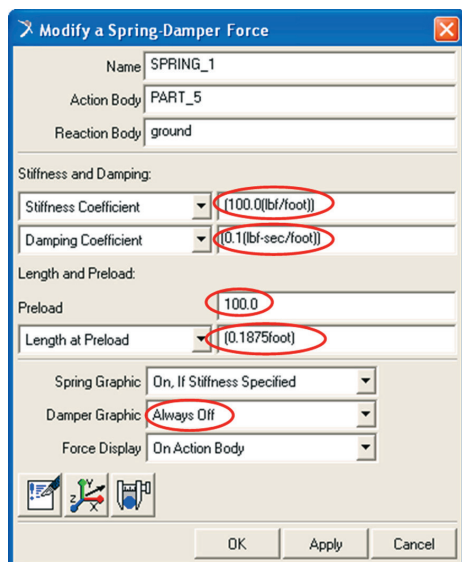


Figura 3.105(b) – Atribuindo parâmetros à mola.

A mola sofrerá uma pequena modificação visual, conforme mostrado na Figura 3.106.

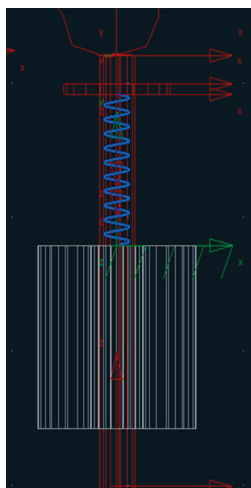


Figura 3.106 – Mola finalizada.

### Etapa 9 – Construção das juntas

Serão criadas um total de 8 juntas. Destas, duas serão do tipo *revolute*, três serão juntas primitivas do tipo *inplane*, uma junta também primitiva do tipo *orientation*, uma junta do tipo *translational* e, por fim, uma junta de restrição do tipo *No lift-off (2D curve-curve constraint)*.

Vale ressaltar que, na criação das juntas, é necessário selecionar os *markers* que serão atribuídos a elas. Por isso, o leitor não deve se prender ao fato de que a numeração dos *markers* apresentados neste capítulo (inclusive nas figuras) seja idêntico ao do modelo que ele esteja criando, pois alguns detalhes e sequência na construção são suficientes para que haja alteração nessa numeração. O importante é definir o *marker* correspondente à peça que receberá a junta, ou seja, é necessário, antes de tudo, compreender o mecanismo para que se obtenha um bom modelo.

#### Etapa 9.1 – Criação das juntas tipo *revolute*

A primeira junta *revolute* será definida na came.


- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta *revolute joint* , conforme mostrado na Figura 3.107(a). Preencha os campos inferiores dessa caixa de diálogo, conforme apresentado na Figura 3.107(b).



Figura 3.107(a) – Criando a junta *revolute* na came.

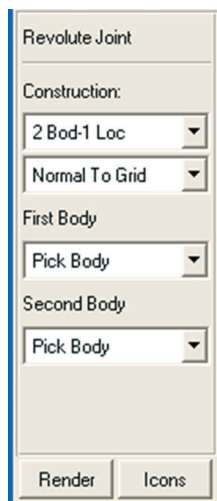


Figura 3.107(b) – Parâmetros da junta *revolute* da came.

- Note que, no campo *Construction*, está definida a opção *2 Bod-1 Loc*. Dessa maneira, é necessário seleccionar os dois corpos (*body*) que serão interligados pela junta. Para isso, clique primeiramente com o botão esquerdo do mouse na came e, depois, no *ground*.
- O próximo passo é seleccionar a localização da junta. Selecione o *marker* localizado no centro da came (eixo em torno do qual a came rotaciona). Note que o segundo campo da Figura 3.107(b) está definido como *Normal to Grid*, sendo assim, o eixo de rotação dessa junta será definido normal à área de trabalho.

A Figura 3.108 ilustra a junta construída.

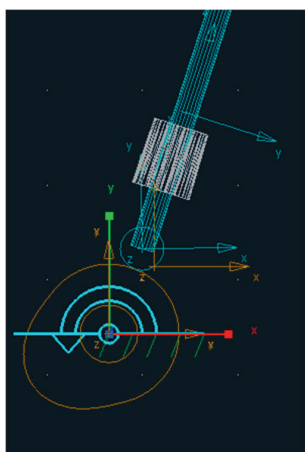


Figura 3.108- Junta *revolute* na came.

A segunda junta *revolute* deverá ser inserida no balancim, de modo que este possa rotacionar em torno de seu eixo.

A mesma operação descrita anteriormente para criação da junta revolute da came deverá ser refeita. Os dois corpos a serem conectados serão o balancim e *ground*. E a junta será localizada no *marker* definido no eixo dessa peça. A Figura 3.109 ilustra a junta *revolute* criada no balancim.

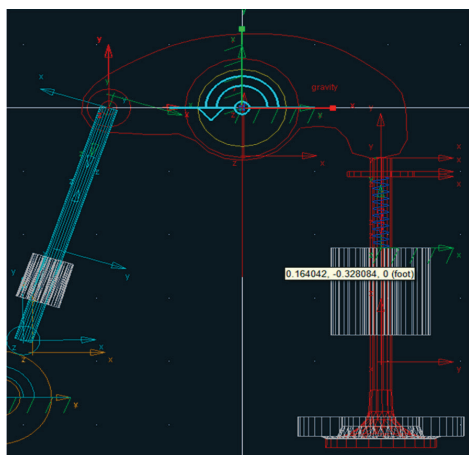


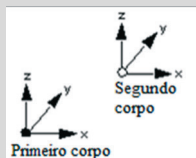
Figura 3.109 – Junta revolute criada no balancim.

### Etapa 9.2 – Criação da junta primitiva tipo *orientation*


Para construção dessa junta, será necessário criar um *marker*, o qual será utilizado no processo de construção para definir sua localização. Ressalta-se que essa junta estará interligando a haste e o *ground*.

#### Junta Primitiva “Orientation”

*A notar:* Uma junta primitiva estabelece uma restrição no movimento relativo entre corpos, tal como restringir que um determinado corpo sempre se mova paralelamente em relação a outro corpo. A junta primitiva do tipo “Orientation” restringe o *marker* do primeiro corpo tal que ele não possa rotacionar em relação ao segundo corpo, removendo assim três graus de liberdade de rotação do modelo. Os eixos do sistema de coordenadas precisam estar na mesma orientação. A localização da origem dos sistemas de coordenadas não é importante.



Exemplo de junta primitiva Orientation.  
Fonte: ADAMS View help.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox* selecione a ferramenta *marker*  conforme ilustrado na Figura 3.110(a).
- Na parte inferior dessa caixa de diálogo, selecione no primeiro campo a opção *Add to Part*. No segundo campo (*Orientation*), deverá estar selecionado a opção *GlobalXY*, conforme ilustrado na Figura 3.110(b). Note que esse *marker* será adicionado à geometria da haste, sendo localizado em seu centro de massa.

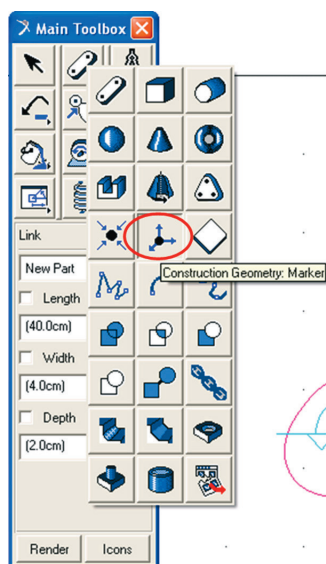


Figura 3.110(a) - Selecionando a ferramenta *marker*.



Figura 3.110(b) – Parâmetros de construção do *marker*.

- Para criar o *marker*, primeiramente deve-se selecionar o corpo a que ele será atribuído. Selecione o corpo rígido correspondente à haste. Posteriormente, informe a localização do *marker*. Para isso, selecione o centro de massa da haste (ao deslizar o mouse sobre a haste o centro de massa será identificado automaticamente e a ele estará atribuído a extensão .cm). A Figura 3.111(a) ilustra o centro de massa da haste.

O *marker* criado está apresentado na Figura 3.111(b).

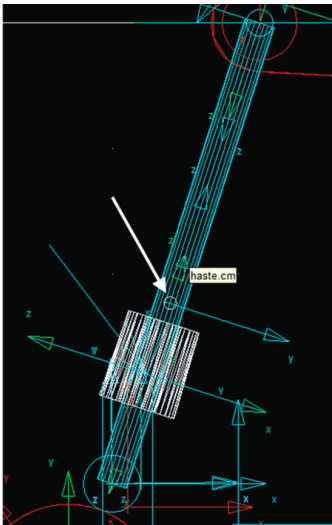


Figura 3.111(a) – Seleção do centro de massa da haste.

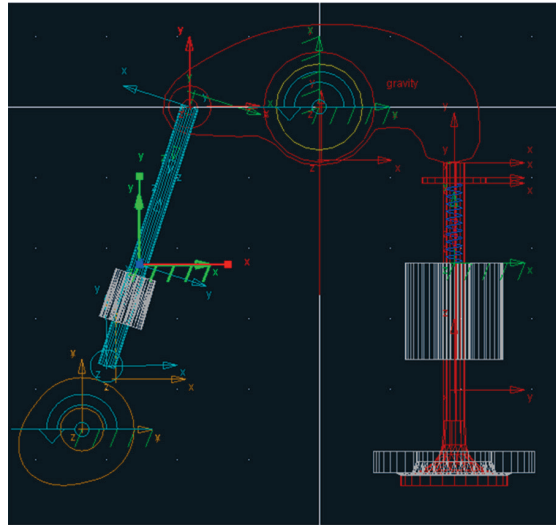


Figura 3.111(b) – Marker criado na haste.

Recomenda-se renomear este *marker* de modo a facilitar sua identificação nos passos futuros.

- Clique com o botão direito do mouse selecionando *Marker*: *MARKER\_22* → *Rename*, conforme mostrado na Figura 3.112(a).
- Altere o nome deste na caixa de diálogo que será aberta. No campo *New Name*, deverá ser inserido o novo nome após o último ponto (note que, neste exemplo, a haste é denominada de *ROD*). Ao *marker* será atribuído o nome: *Joint\_Orientation* (Figura 3.112(b)).

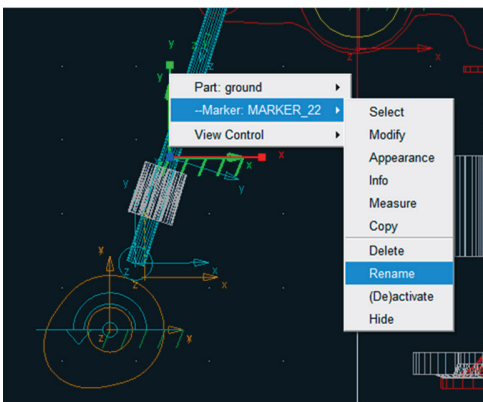


Figura 3.112(a) – renomeando o *marker*

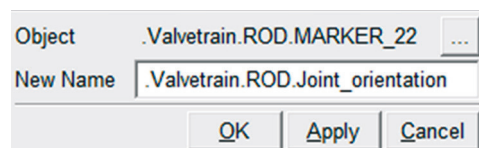


Figura 3.112(b) – Renomeando o *marker*.

A próxima etapa é definir a orientação deste *marker*. As Figuras 3.113(a) e 3.113(b) ilustram essa modificação.

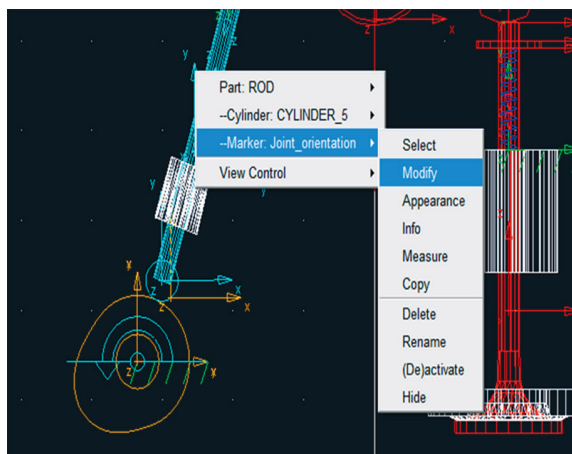


Figura 3.113 (a) – Alterando a orientação do *marker*.

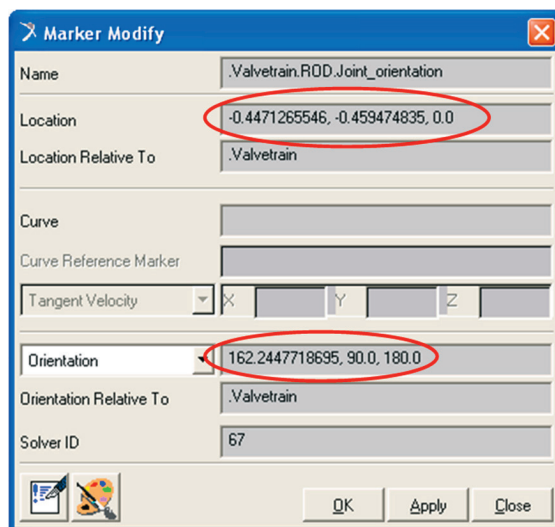



Figura 3.113(b) – Parâmetros do *marker*.

- Para criar a junta, selecione a ferramenta *Joint: Palette* na caixa de diálogo *Main Toolbox* conforme a Figura 3.114(a).
- A caixa de diálogo *Joints* se abrirá. Selecione o ícone  correspondente à *Orientation Joint*. Preencha a parte inferior da janela, conforme mostrado na Figura 3.114(b).

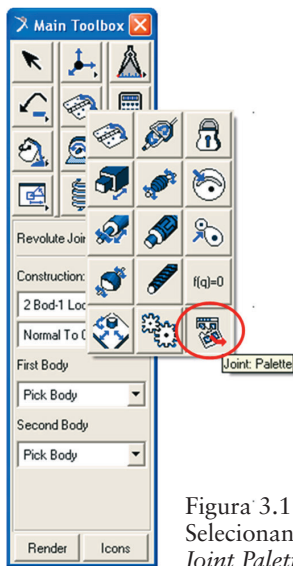


Figura 3.114(a) -  
Selecionando a ferramenta  
*Joint Palette*.

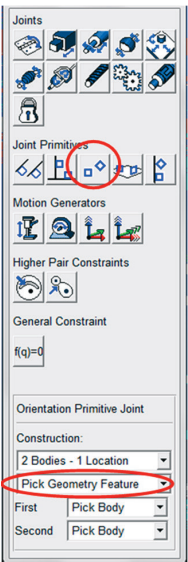


Figura 3.114(b) –  
Parâmetros para constru-  
ção da junta *Orientation*.

- Para construir a junta, selecione primeiramente o corpo rígido correspondente à haste. O segundo corpo a ser selecionado deve ser o *ground*. E, por fim, selecione a localização dessa junta, clicando no marker definido anteriormente, denominado de *Joint\_Orientation* (Figura 3.115(a)). Por fim, deverá ser informada a orientação da junta. Para isso, mova o cursor do mouse até que uma seta seja exibida na direção denominada *Joint\_orientation.Z*, conforme ilustrado na Figura 3.115(b).

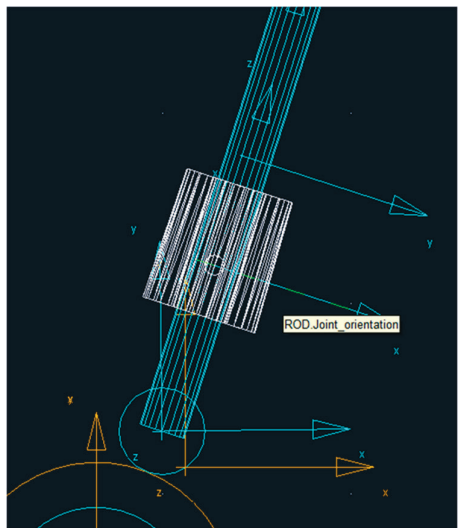


Figura 3.115(a) – Selecionando a localização  
da junta *Orientation*.



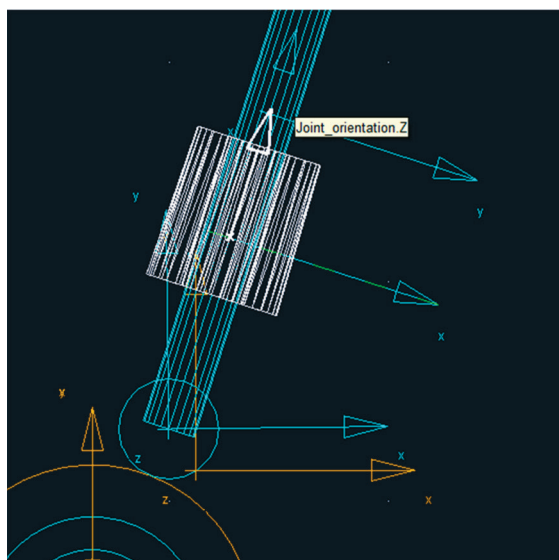


Figura 3.115(b) – Definindo a direção da junta *Orientation*.

A Figura 3.116 ilustra a junta *Orientation* construída (para uma melhor visualização desta junta recomenda-se rotacionar o mecanismo).

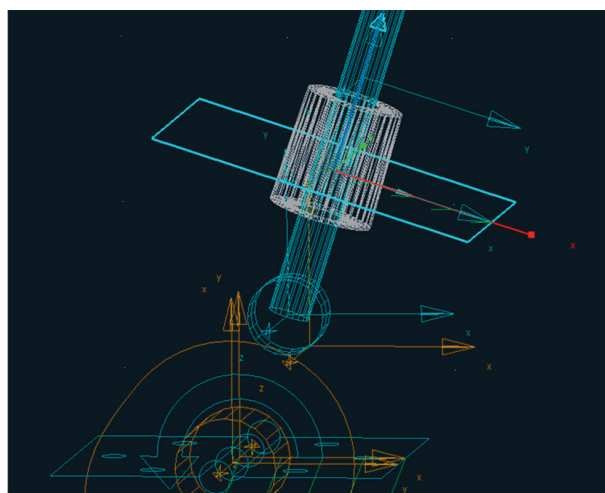
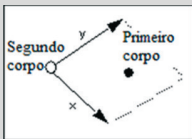


Figura 3.116 – Junta *Orientation* finalizada.

Etapa 9.3 – Criação das juntas primitivas tipo *Inplane*

Junta Primitiva *Inplane*

*A notar: Restringe um corpo tal que ele somente possa se mover em um plano do segundo corpo. O primeiro corpo é restringido com relação ao segundo. A origem da junta no primeiro corpo precisa permanecer no plano xy do segundo corpo.*



*Exemplo de junta primitiva Inplane.  
Fonte: ADAMS View help.*

Para criação destas juntas deverão ser criados os *markers* que serão atribuídos a elas.

Para a primeira junta *Inplane* (ligação entre a haste e o *ground*) o *marker* deverá ser criado conforme ilustrado nas Figuras 3.117(a) e 3.117(b). Esse *marker* pertencerá ao corpo rígido “haste” e será localizado em seu centro de massa.



Figura 3.117(a) – Parâmetros para construir o *marker* na haste.

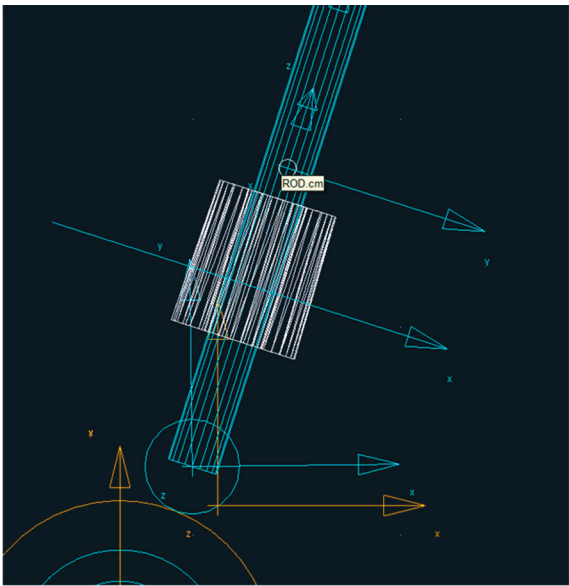


Figura 3.117(b) – Selecionando a posição do *marker* (CM da haste).

As Figuras 3.118(a) e 3.118(b) ilustram os passos para renomear o *marker* criado.

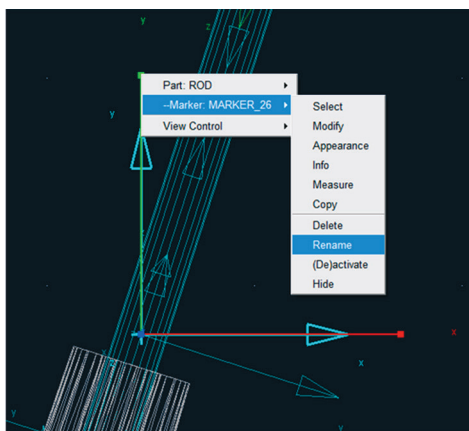


Figura 3.118 (a) – Renomeando o *marker*

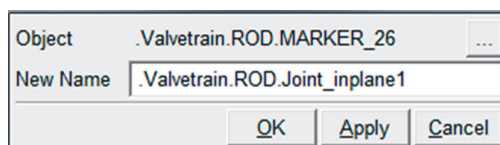


Figura 3.118 (b) – Novo nome atribuído ao *marker*.

Nas Figuras 3.119(a) e 3.119(b) são mostrados os passos para reposicionar o *marker* bem como definir sua orientação.

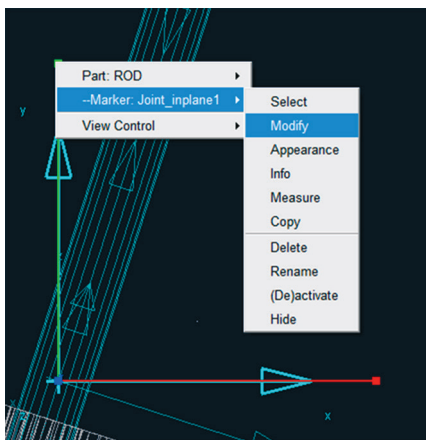


Figura 3.119(a) – Modificando o *marker*.

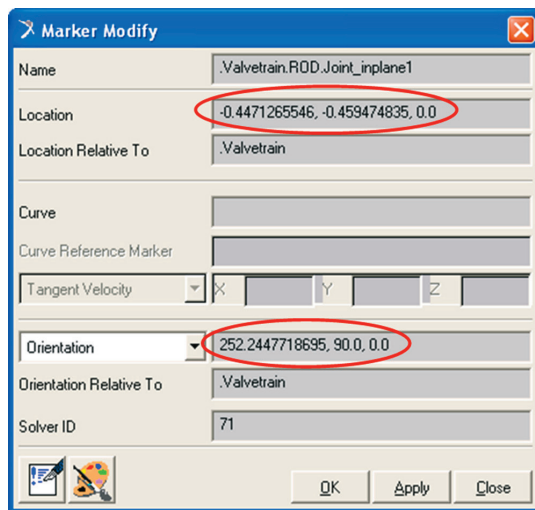


Figura 3.119(b) – Definindo localização e orientação do *marker*.

A Figura 3.120 apresenta o resultado obtido.

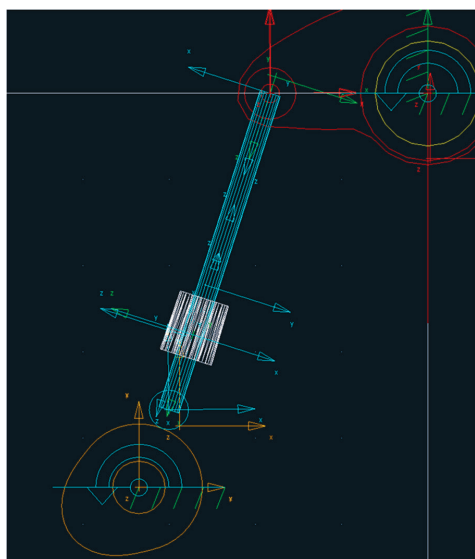



Figura 3.120 – Marker “Joint\_inplane1” construído.

Depois de construído o *marker*, a junta será criada nos passos a seguir.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta  (*Joint Primitive: Inplane*), a qual é encontrada expandindo-se o ícone *Joint:Palette*.
- O campo inferior da caixa de diálogo *Joints* deverá ser preenchido, conforme ilustrado na Figura 3.121.

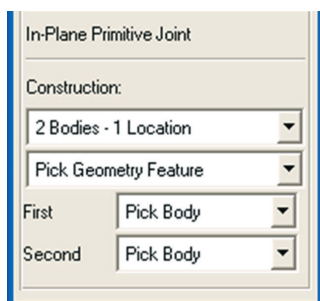


Figura 3.121 – Parâmetros da junta *Inplane*.

- Conforme as instruções fornecidas pelo software no canto inferior esquerdo, selecione o primeiro corpo rígido como sendo a haste e o segundo corpo deverá ser o *ground*. Posteriormente, selecione a localização dessa junta como sendo o *marker Joint\_inplane1* (Figura 3.122(a)). Para fornecer a orientação, deslize o mouse para a esquerda até que auto-

maticamente uma seta apareça com a denominação *Joint\_inplane1.Z* (Figura 3.122(b)). Selecione para construir a junta primitiva.

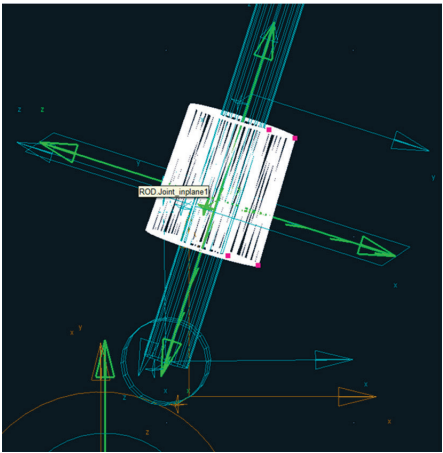


Figura 3.122(a) – Localização da primeira junta *Inplane*.

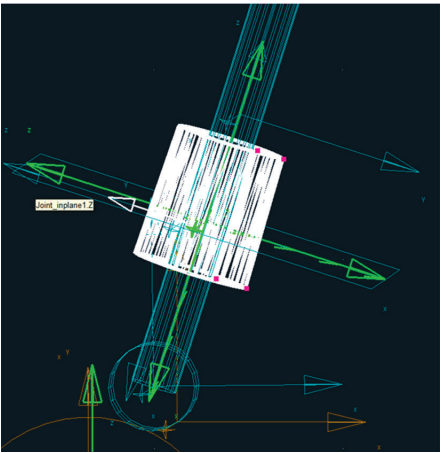


Figura 3.122(b) – Direção da primeira junta *Inplane*.

As Figuras 3.123(a) e 3.123(b) ilustram a primeira junta *Inplane* construída. Para uma melhor visualização, rotacione o mecanismo. Note que essa junta é perpendicular à junta construída anteriormente, denominada de *Orientation*.

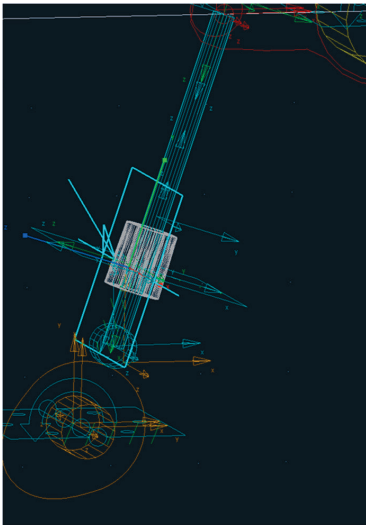


Figura 3.123(a) – Vista isométrica da junta *Inplane*.

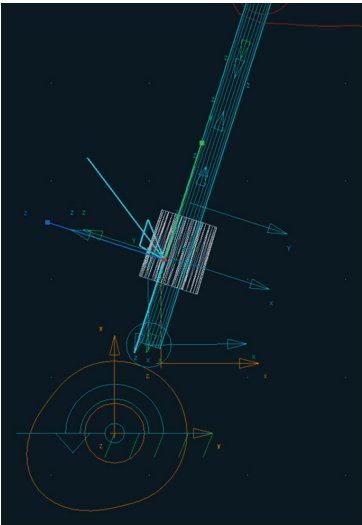


Figura 3.123(b) – Vista frontal da junta *Inplane*.

Para construção da segunda junta primitiva *Inplane* (ligação entre balancim e a haste) será construído um novo *marker* que será atribuído a ela.

As Figuras 3.124(a) e 3.124(b) ilustram a criação desse *marker*. Este será adicionado ao corpo rígido correspondente ao balancim. Observe que esse *marker* foi criado na extremidade esquerda do balancim. A priori, a posição e orientação do *marker* é irrelevante, pois a seguir ele será reposicionado. O importante é que ele seja atribuído ao balancim.

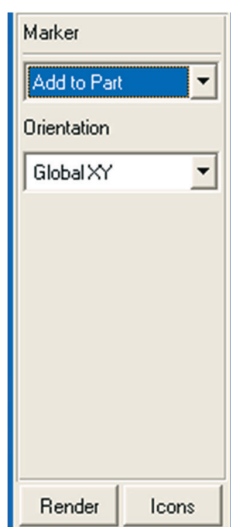


Figura 3.124(a) – Criação do *marker*.

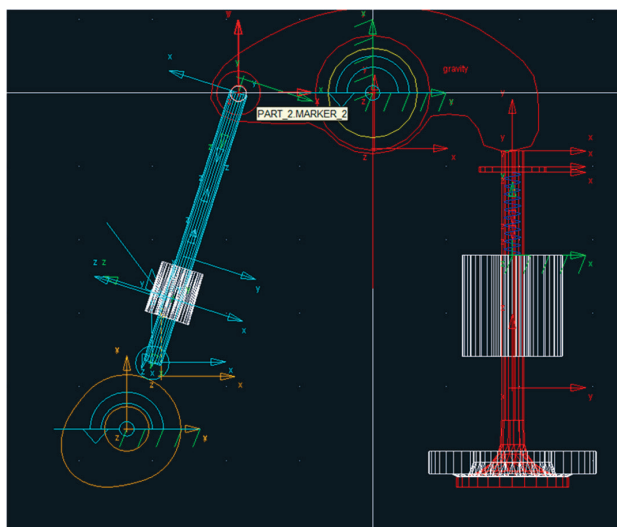


Figura 3.124(b) – Posição de criação do *marker* no balancim.

A Figura 3.125 ilustra o *marker* construído no balancim.

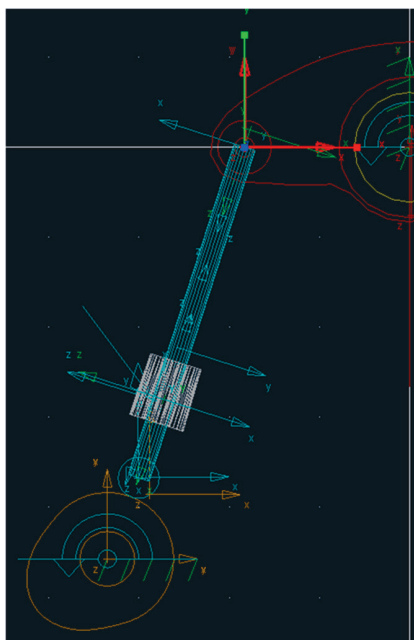


Figura 3.125– *Marker* criado no balancim.

A Figura 3.126 ilustra o procedimento para renomear o *marker*. Com o botão direito do mouse, selecione o *marker* recém-criado e, então, selecione a opção *Rename*.

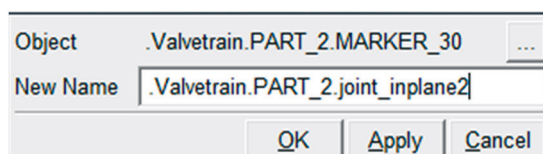


Figura 3.126 – Renomeando o *marker*.

Nas Figuras 3.127(a) e 3.127(b) estão mostrados os procedimentos para re-posicionar o *marker*, bem como a definição de sua orientação.

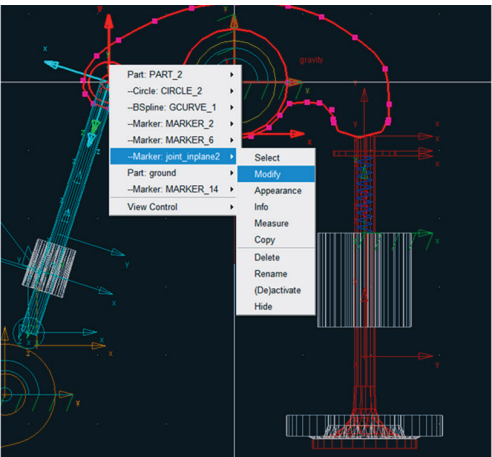


Figura 3.127(a) – Modificando o marker.

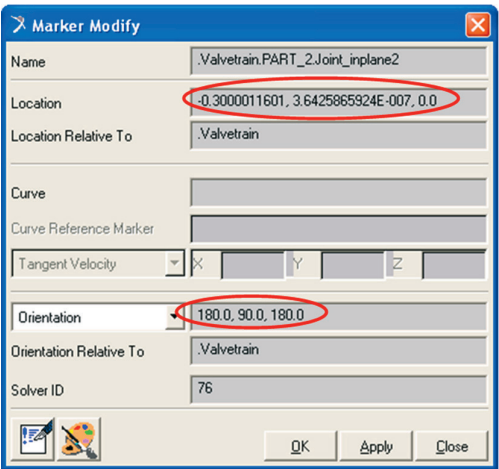


Figura 3.127(b) – Posição e orientação do marker.

A Figura 3.128 ilustra o *marker* finalizado.

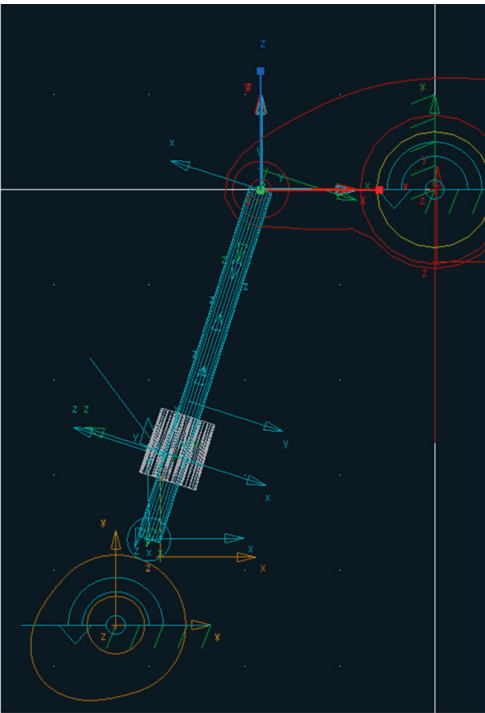



Figura 3.128 – Marker criado.



A segunda junta *Inplane* será construída de forma análoga à anterior.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta  (*Joint Primitive: Inplane*) a qual é encontrada expandindo-se o ícone *Joint:Palette*. Os campos inferiores da caixa de diálogo *Joints* deverão ser preenchidos, conforme mostrado na Figura 3.129.

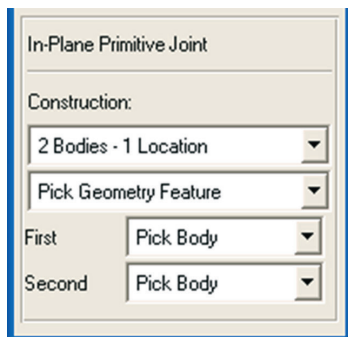


Figura 3.129 – Parâmetros para a segunda *Joint Inplane*.

- Primeiramente, selecione os dois corpos rígidos que serão interligados pela junta: o balancim e a haste.
- Selecione a localização para construção da junta, neste caso, o *marker Joint\_inplane2*. Para facilitar a seleção, aproxime o mouse da região onde foi construído o *marker* e clique com o botão direito do mouse. Uma caixa de diálogo *Select* (Figura 3.130) será aberta e, então, selecione o *marker* desejado.

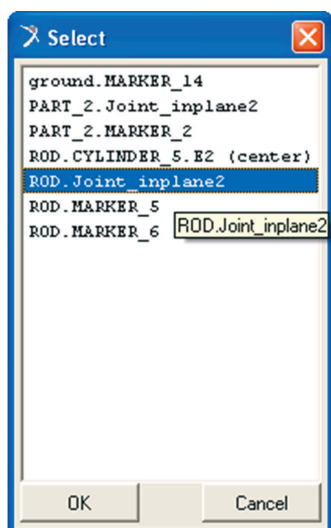


Figura 3.130- Selecionando o *marker Joint\_inplane2*.

- Para atribuir a direção dessa junta, deslize o mouse na vertical até que uma seta na cor branca seja exibida com a indicação *Joint\_inplane2.Z*. Para auxiliar na escolha dessa direção pode-se optar também por clicar com o botão direito do mouse e selecionar a opção *PART\_2.Joint\_inplane2.Z* na caixa de diálogo *Select*, conforme ilustrado na Figura 3.131(a). A Figura 3.131(b) ilustra a junta construída.

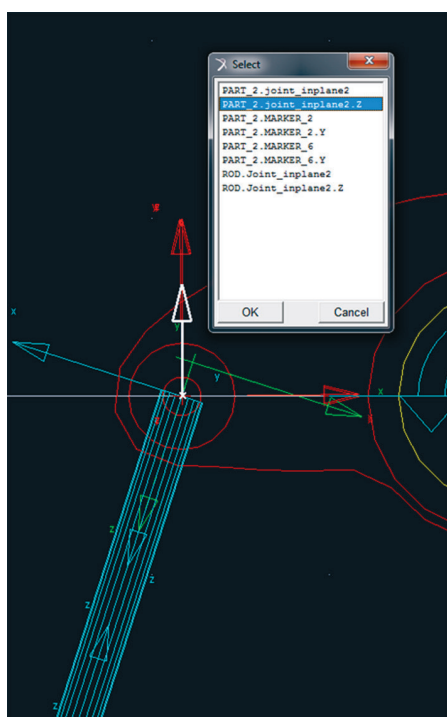


Figura 3.131(a) – Direção da junta segunda junta *Inplane*.

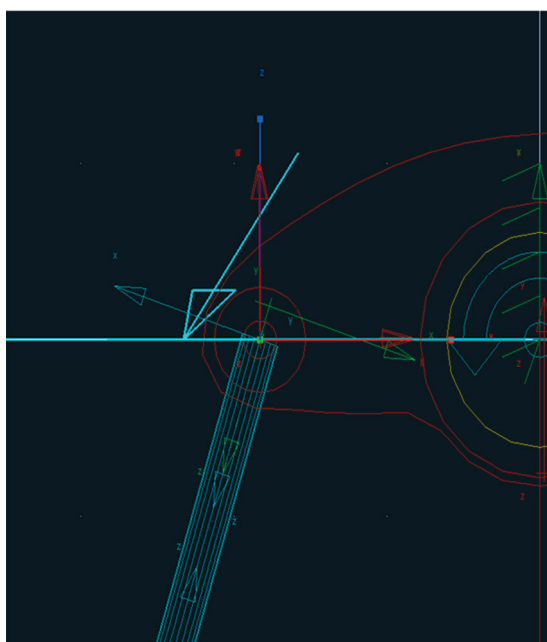


Figura 3.131(b)– Segunda junta *Inplane* construída.

A terceira junta *Inplane* será construída interligando os corpos rígidos, balancim e válvula.

Primeiramente, crie o *marker* a ser utilizado na construção dessa junta, conforme ilustrado nas Figuras 3.132(a) e 3.132(b). Esse *marker* pertencerá à válvula. Com relação à localização dele, a priori, selecione um ponto aleatório identificado automaticamente pelo software, desde que pertença à válvula. Posteriormente, o *marker* será reposicionado e receberá a orientação correta.



Figura 3.132(a) - Parâmetros do *marker*.

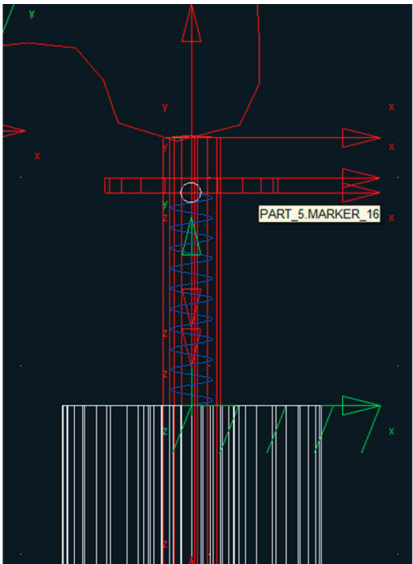


Figura 3.132(a) - Posição do *marker*.

A Figura 3.133 ilustra o *marker* construído.

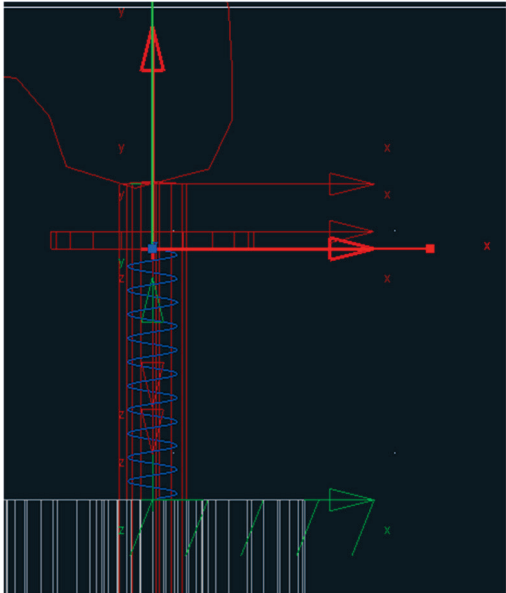


Figura 3.133 - *Marker* construído.

As Figuras 3.134(a) e 3.134(b) ilustram o procedimento para renomear o *marker*, que nesse caso receberá o nome de *Joint\_inplane3*.

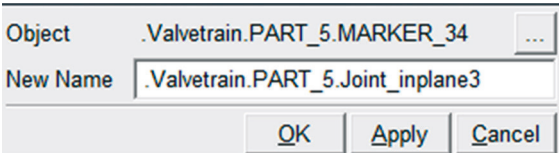
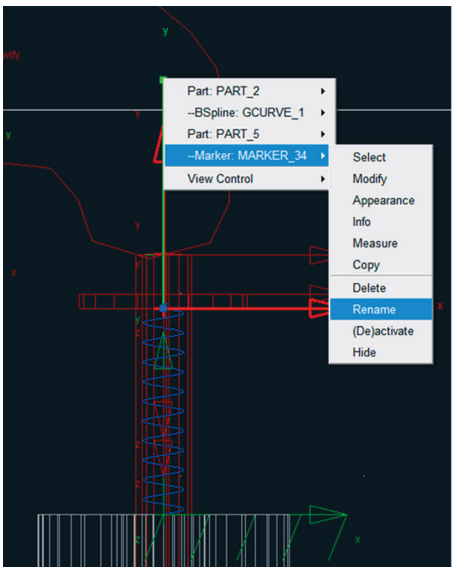


Figura 3.134(a) – Renomeando o *marker*.      Figura 3.134(b) – Novo nome do *marker*.

O reposicionamento e a definição da orientação do *marker* são mostrados nas Figuras 3.135(a) e 3.135(b).

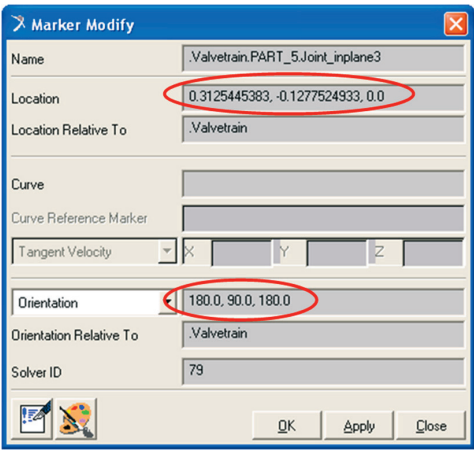
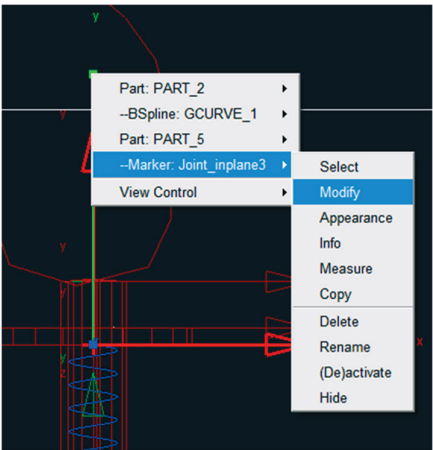



Figura 3.135(a) – Modificando o *marker*.      Figura 3.135(b) – Localização e orientação do *marker*.

De posse do *marker* criado, será construída a terceira junta *inplane*.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione a ferramenta  (*Joint Primitive: Inplane*) a qual é encontrada expandindo o ícone *Joint:Palette*. Os campos inferiores da caixa de diálogo *Joints* deverão ser preenchidos, conforme mostrado na Figura 3.136(a).
- Selecione como primeiro corpos rígido a válvula e como segundo o balancim.
- Selecione o *marker Joint\_inplane3* para definir a localização da junta (Figura 3.136(b)).

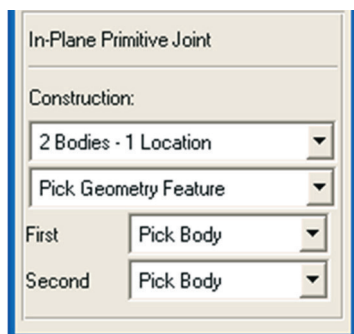


Figura 3.136(a) – Parâmetros da terceira junta *inplane*.

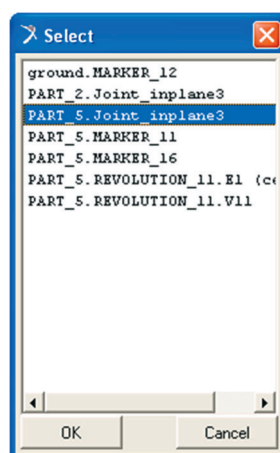


Figura 3.136(b) – Selecionando o *marker Joint\_inplane3*.

- Para selecionar a direção da junta, selecione *Joint\_Inplane3.Z* conforme mostrado na Figura 3.137(a). A Figura 3.137(b) ilustra a junta construída. Para melhor visualizá-la, rotacione o mecanismo.

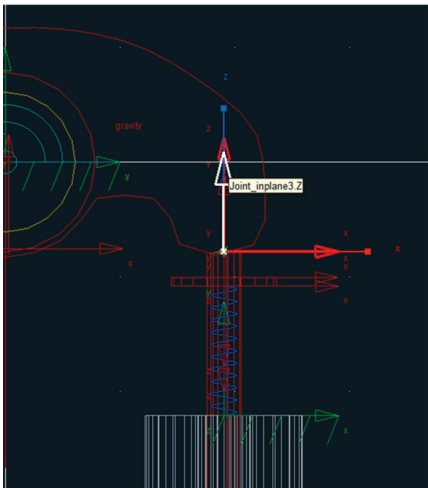


Figura 3.137(a) – Direção da terceira junta *Inplane*.

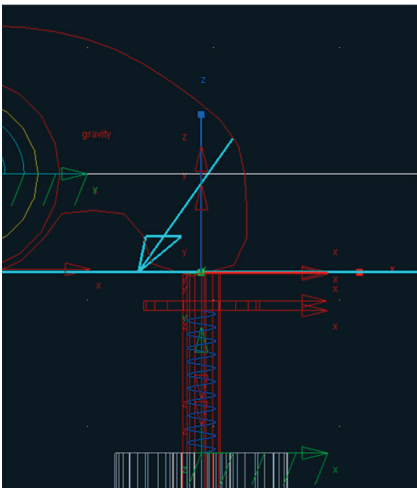


Figura 3.137(b) – Terceira junta *Inplane* criada.

**Etapa 9.4 – Criação da junta translacional**

Será construída apenas uma junta translacional que interligará a válvula com o *ground*.

Primeiramente, o *marker* a ser atribuído a essa junta será criado. Vale ressaltar que esse *marker* pertencerá à válvula.

As Figuras 3.138(a) e 3.138(b) ilustram a criação do *marker* que, inicialmente, estará localizado no centro de massa da válvula.



Figura 3.138(a) – Inserindo o *marker*.

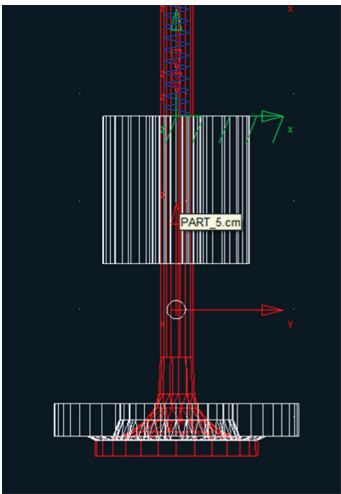


Figura 3.138(b) – Posicionando o *marker*.

A Figura 3.139 ilustra o *marker* construído.



Figura 3.139 - *Marker* construído.

Renomeie o *marker*, conforme ilustrado nas Figuras 3.140(a) e 3.140(b).

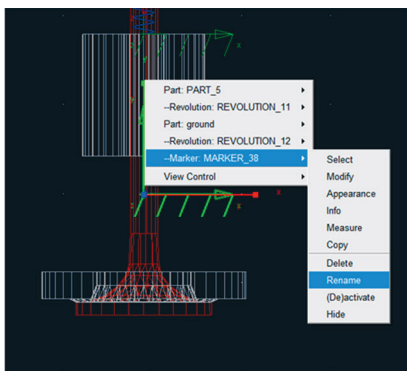


Figura 3.139(a) – Renomenado o *marker*.

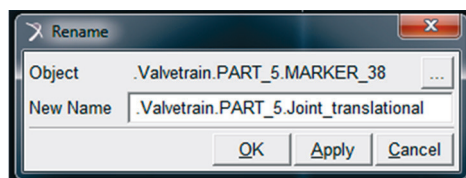


Figura 3.139(b) – Novo nome atribuído ao *marker*.

- Para finalizar a construção desse *marker*, modifique a localização e a orientação, conforme ilustrado na Figuras 3.140(a) e 3.140(b).

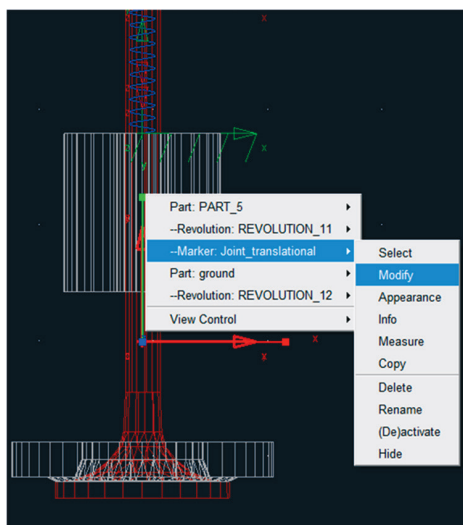


Figura 3.140(a) – Modificando o marker.

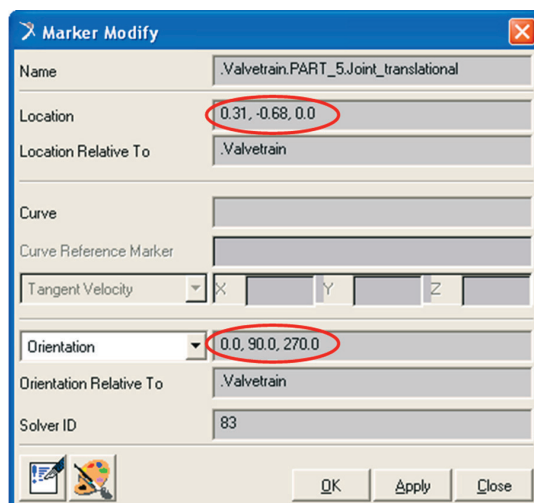


Figura 3.140(b) – Localização e orientação do marker

- Para criar a junta translacional, selecione o ícone referente a esta, na caixa de diálogo *Main Toolbox* (Figura 3.141(a)).
- Preencha os campos da parte inferior dessa caixa de diálogo, conforme mostrado na Figura 3.141(b).

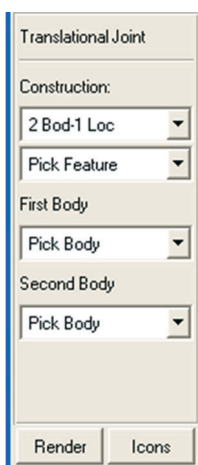
Figura 3.141(a) - Selecionando a ferramenta *Joint:Translational*.

Figura 3.141(b) – Parâmetros para construção da junta translacional.



- Selecione os dois corpos pertencentes a essa junta: a válvula e o *ground*.
- Ao ser solicitado (no campo inferior esquerdo da área de trabalho) a localização da junta, selecione o *marker Joint\_Translational* (Figura 3.142(a)).
- A direção da junta será definida deslizando o mouse até o software exibir a coordenada *Joint\_translational.Z* (Figura 3.142(b)). Clique com o mouse selecionando esta direção.

A Figura 3.142(c) ilustra a junta construída.

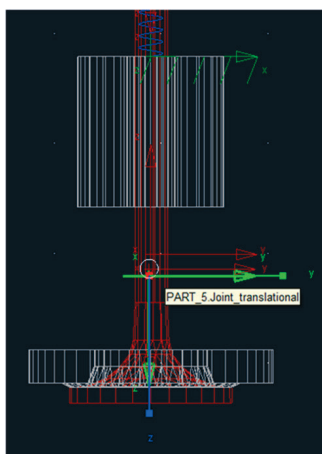


Figura 3.142(a) –  
Localização da junta  
translacional.

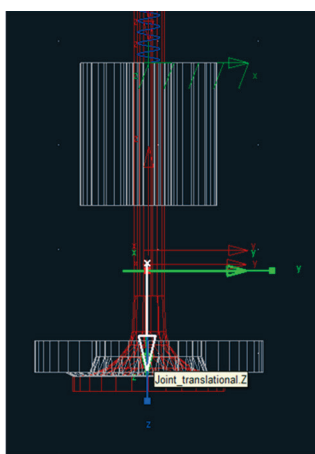


Figura 3.142(b) –  
Direção da junta  
translacional.

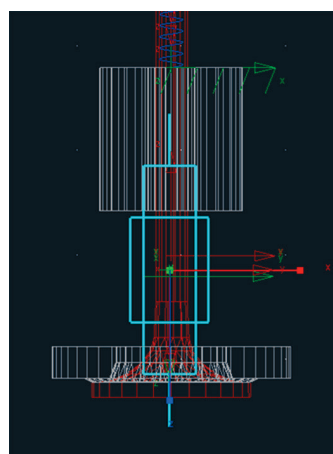


Figura 3.142(c) –  
Junta translacional  
construída.

### Etapa 9.5 – Criação da junta de restrição tipo *No lift-off*

Esta junta será construída de modo que o contato entre a came e o seguidor seja realizado de acordo com a curva da superfície definida para esta última.


- Na caixa de diálogo *Main Toolbox* selecione o ícone  conforme mostrado na Figura 3.143(a). Na parte inferior desta caixa de diálogo altere ambos os campos para a opção *Edge* (Figura 3.143(b)).



Figura 3.143(a) -  
Selecionando a  
junta *No lift-off*.



Figura 3.143(b) –  
Parâmetros da junta  
*No lift-off*.

- Selecione as duas bordas solicitadas para construção da junta. A primeira corresponde à do cilindro construído na extremidade da haste, ou seja, o seguidor. A segunda é a borda da came. Ao apontar o ponteiro do mouse algumas opções serão exibidas automaticamente. A junta criada está ilustrada na Figura 3.144.

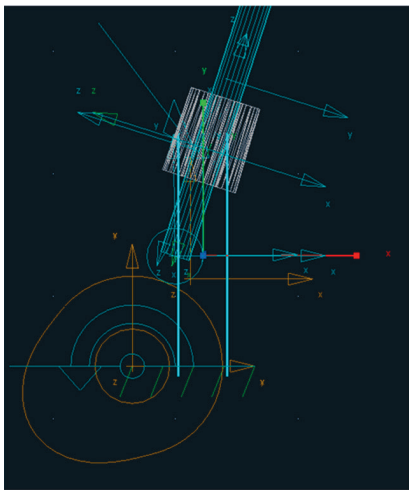


Figura 3.144 – Junta *No lift-off* criada.

### Etapa 10 – Atribuindo movimento ao mecanismo

Uma velocidade angular no valor de  $360^\circ/s$  será imposta à came.

- Clique com o botão direito do mouse sobre a *came* e selecione a junta *revolute* denominada *Joint: JOINT\_1*→*Modify*, conforme a Figura 3.145(a).

Na caixa de diálogo *Modify Joint* selecione a opção *Impose Motion(s)*.

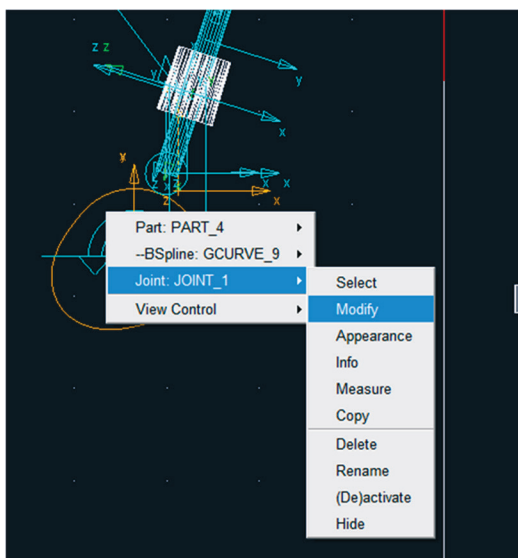


Figura 3.145(a) – Caminho para modificar a junta.

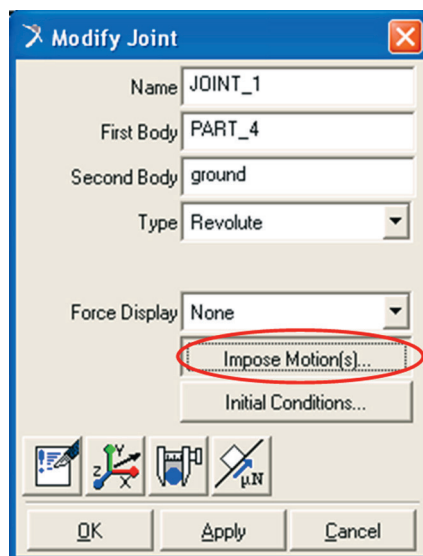


Figura 3.145(b) – Atribuindo movimento à junta.

A caixa de diálogo *Impose Motion(s)* será aberta.

- No campo *RotZ* selecione a opção *disp(time)*= . No campo ao lado, insira o valor:  $360d * time$ . A Figura 3.146 ilustra o preenchimento dessa janela.

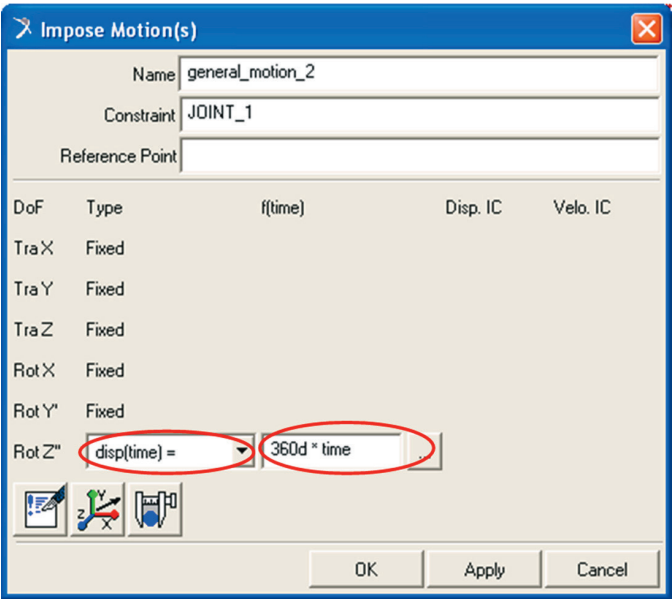


Figura 3.146 – Inserindo o valor da velocidade angular na came.

Na Figura 3.147 está mostrado o resultado dessa etapa na visualização do mecanismo. Uma seta curva (na cor verde) é mostrada em torno da came.

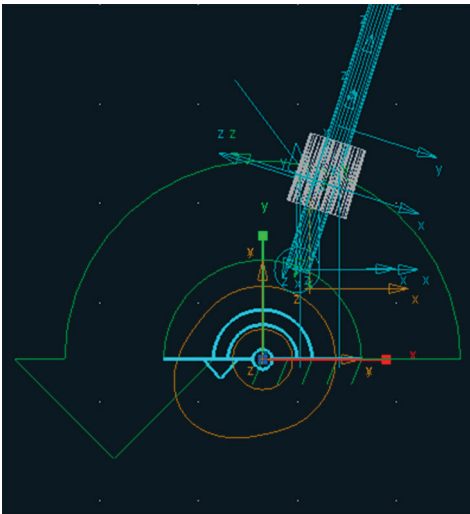



Figura 3.147– Visualização do mecanismo após inserção da velocidade angular.

### Etapa 11 – Verificação do modelo

A verificação do modelo é realizada selecionando-se o ícone , o qual está localizado no canto direito inferior da área de trabalho. Primeiramente, clique com o botão direito do mouse no ícone com a letra *i* e, posteriormente, selecione o ícone supracitado. A Figura 3.148 ilustra o procedimento.

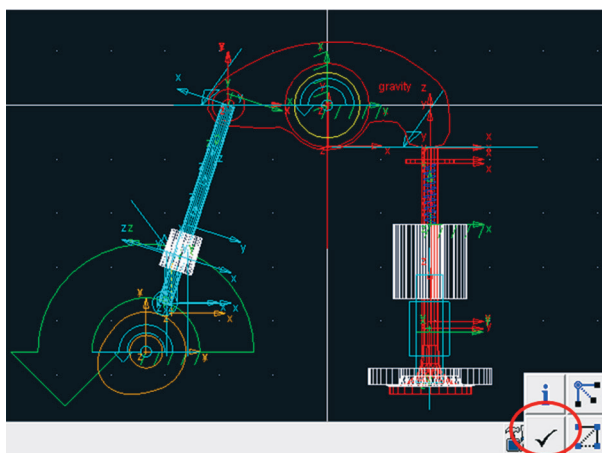


Figura 3.148 – Verificando o modelo.

A janela mostrada na Figura 3.149 será aberta com as informações a cerca do modelo.

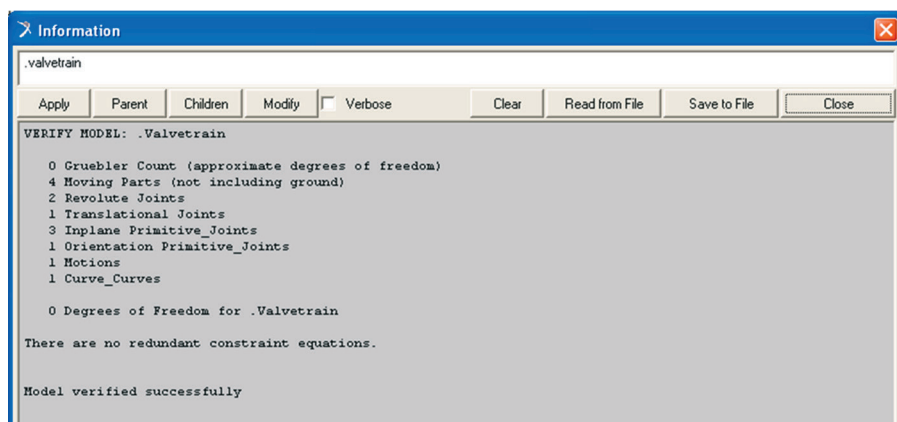


Figura 3.149 – Informações sobre a verificação do modelo.

## Etapa 12 – Simulação

Na simulação do mecanismo, serão obtidos os seguintes parâmetros: deslocamento, velocidade e aceleração do centro de massa (CM) da válvula; torque na came.

### Etapa 12.1 – Determinação do deslocamento, da velocidade e da aceleração na válvula

- Clique com o botão direito sobre a válvula e selecione o *marker* localizado em seu centro de massa (*cm*). Selecione a opção *Measure*, conforme ilustrado na Figura 3.150(a) (*Marker: cm → Measure*).
- Na caixa de diálogo *Point Measure*, selecione a opção *Translational displacement*, no terceiro campo denominado *Characteristic*. No campo *Component*, selecione a opção *Y*. Os demais campos não precisam ser alterados, mas, caso queira, o nome desse ponto de medição pode ser alterado no primeiro campo (altere o texto contido após o último ponto). Clique em *Apply*. A Figura 3.150(b) ilustra este passo.

Note que a janela gráfica para exibição do deslocamento do cm da válvula aparecerá na área de trabalho.

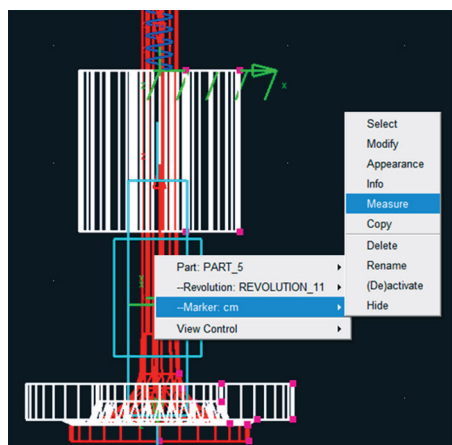


Figura 3.150 (a) – Criando um ponto de saída de dados.

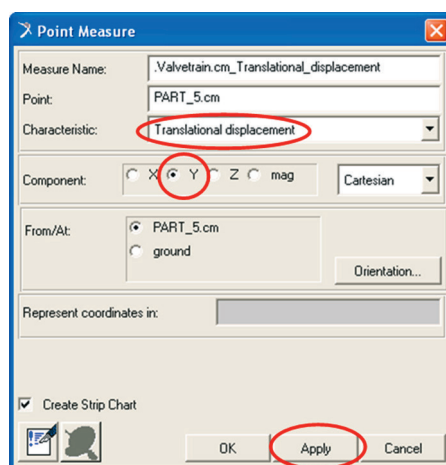


Figura 3.150 (b) – Parâmetro de saída: deslocamento linear na direção Y.

- Para inserir as demais janelas gráficas, neste caso da velocidade e aceleração, selecione a opção *Translational velocity* no campo *Characteristic* da caixa de diálogo *Point Measure*. Novamente selecione a opção *Apply*.

Uma segunda janela gráfica será aberta, na qual será exibida a curva da velocidade após simulação do mecanismo.

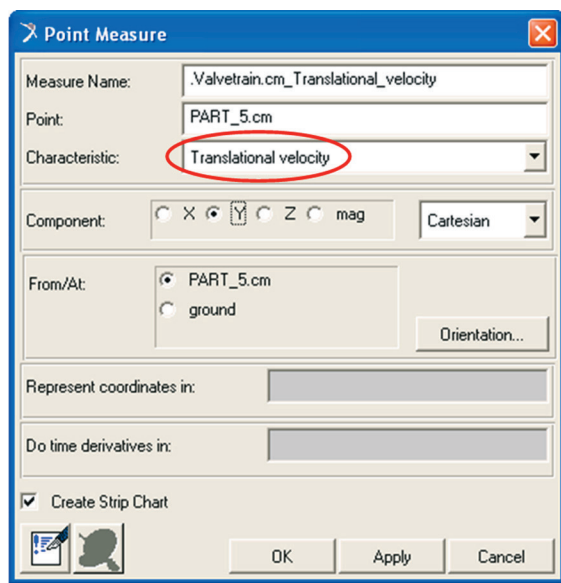




Figura 3.151 (b) – Parâmetro de saída: velocidade linear na direção Y.

O mesmo procedimento deverá ser repetido para criação da janela gráfica para exibição da aceleração linear. Clique em Ok, na caixa de diálogo *Point Measure*, para finalizar a definição dos parâmetros de saída referentes à válvula.

- Na caixa de diálogo *Main Toolbox*, selecione o ícone  (*Interactive Simulation Controls*). Na parte inferior desta caixa de diálogo defina os campos, como mostrado na Figura 3.150(a). Note que o tempo de simulação será de 5 segundos (*End Time*) com 500 incrementos de tempo (*Steps*).
- Selecione o ícone  para dar início à simulação (Figura 3.152(a)).

Automaticamente, as curvas (no *marker* selecionado) serão exibidas nas janelas gráficas. A Figura 3.152(b) ilustra o gráfico do deslocamento no *cm* da válvula.

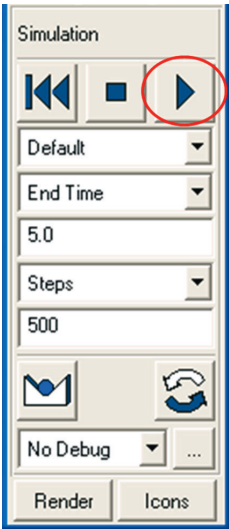


Figura 3.152(a) – Parâmetros da simulação

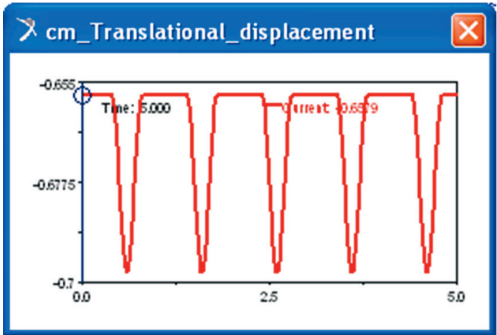


Figura 3.152(b) – Gráfico do deslocamento.

- Para manipulação das curvas geradas é necessário migrar para o módulo ADAMS/PostProcessor. Para isto, basta selecionar a tecla F8 do teclado. Será exibida a janela mostrada na Figura 3.153.

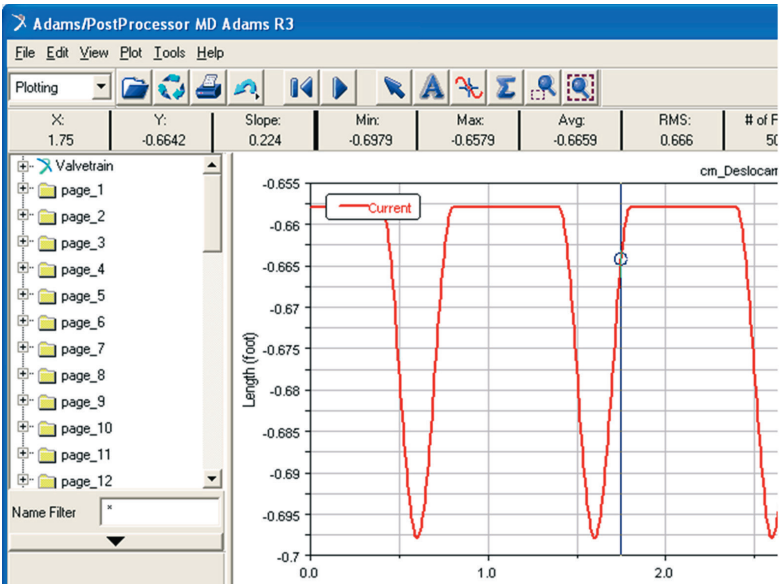


Figura 3.153 – Curva de deslocamento exibido no módulo ADAMS/PostProcessor.



### Etapa 12.2 – Determinação do torque na came

- Para gerar a curva do torque na came selecione a junta tipo *revolute* atribuída a este corpo rígido. Selecione a opção *Measure* conforme ilustrado na Figura 3.154 (a).
- A Figura 3.154(b) ilustra o preenchimento da caixa de diálogo *Joint Measure*. Note que será obtido a magnitude do torque. Uma janela gráfica aparecerá na tela de trabalho.

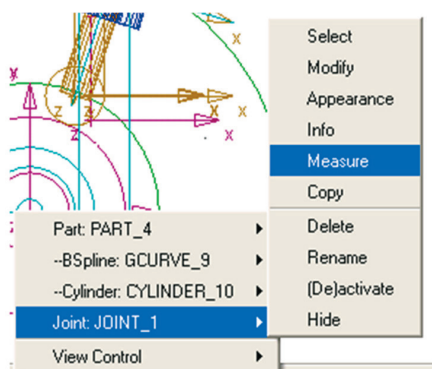


Figura 3.154(a) – Seleção da junta para obtenção do torque.

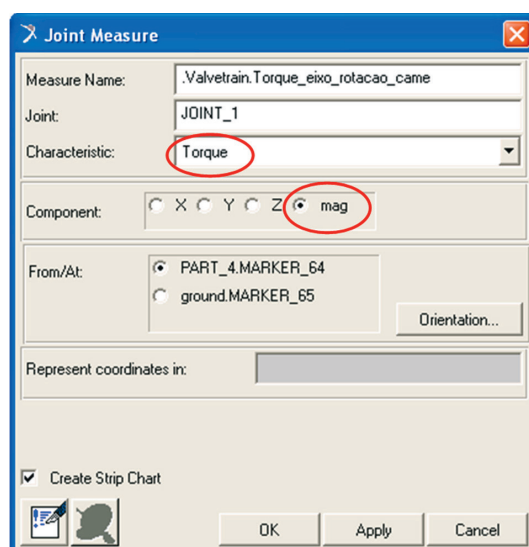


Figura 3.154(b) – Parâmetros para determinação do torque na came.

A Figura 3.155 ilustra a curva do torque na came, exibida no módulo ADAMS/PostProcessor.

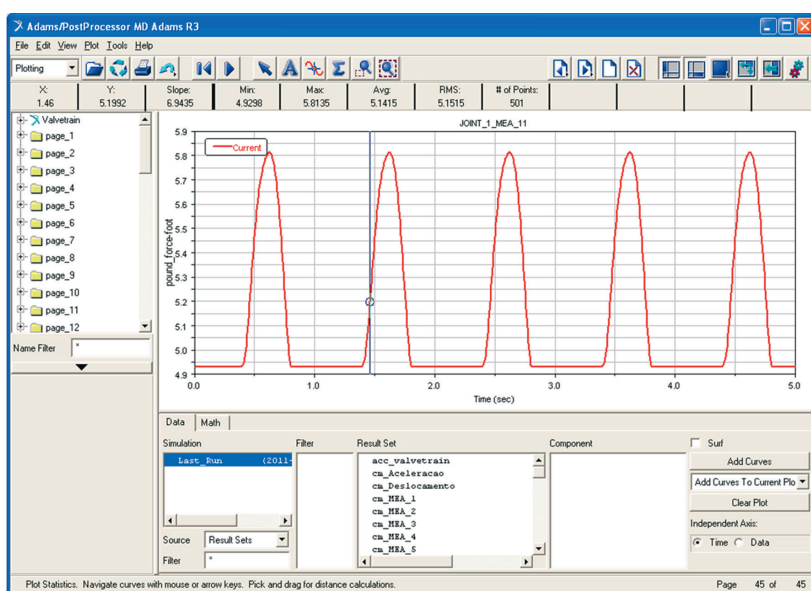


Figura 3.155 – Curva do torque obtido na came.

Ainda no módulo ADAMS/PostProcessor, duas curvas podem ser exibidas no mesmo gráfico, tal como mostrado na Figura 3.156.

- Para exibir as duas curvas no mesmo gráfico, selecione a variável de interesse, nesse caso, *cm\_Translational\_displacement* no campo *Result Set*.
- No campo *Component*, selecione *Q*.
- Selecione a opção *Add Curves*.

Outras manipulações poderão ser realizadas utilizando este módulo, não sendo, portanto o escopo deste capítulo.

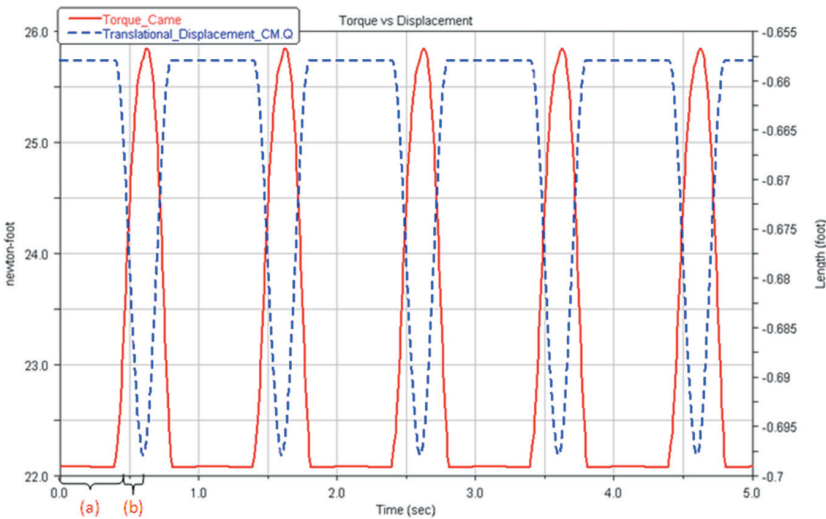


Figura 3.156 – Curvas do torque na came e deslocamento no CM da válvula.



# 4

## CAPÍTULO

# **Módulo ADAMS/Car aplicado ao desenvolvimento de uma suspensão automotiva do tipo *Macpherson***

*A notar: Em meados dos anos 1930, o engenheiro automotivo norte-americano Earle Steele MacPherson desenvolveu um inovador sistema de suspensão que une um amortecedor em formato de torre a uma mola do tipo helicoidal, formando assim uma estrutura resistente, leve e compacta, atendendo perfeitamente as necessidades dos veículos de pequeno e médio porte, de tração dianteira ou traseira. A utilização da mola do tipo helicoidal não é uma regra, pois a estrutura poderá ser equipada também com molas do tipo pneumáticas ou hidropneumáticas. Uma de suas vantagens é a independência entre uma roda e outra, que resulta em superior nível de conforto, quando comparada a uma suspensão com eixos interligados e dependentes. Já uma desvantagem do sistema é a limitação quanto ao porte e peso do veículo que a utiliza.*

*A construção da suspensão MacPherson pode ser considerada como uma das opções mais compactas, simples e baratas disponíveis. Projetar um sistema de suspensão é um grande desafio, pois além de oferecer robustez, níveis aceitáveis de conforto, facilidade*

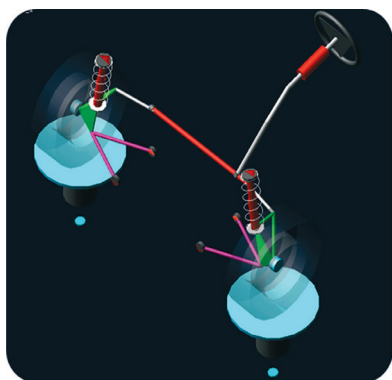
*de manutenção, dimensões compactas e custo economicamente viável para produção em larga escala, o projeto escolhido deve também ser indiscutivelmente seguro. Neste capítulo será construída uma suspensão dianteira do tipo Macpherson.*



Suspensão Macpherson.

*Fonte: Subaru Portugal. Disponível em: <[http://www.subaru.pt/novo/10impreza\\_drivability.html](http://www.subaru.pt/novo/10impreza_drivability.html)>. Acesso em: 22/04/2013 )*

Ao fim deste capítulo o leitor estará apto a criar um modelo virtual multicorpos de um subsistema suspensão do tipo Macpherson. *Simulações* utilizando uma plataforma de testes virtual serão realizadas e os resultados analisados. O subsistema de direção, proveniente da biblioteca do software, será adicionado ao modelo criado com o intuito de realizar simulações e análises adicionais. O modelo final a ser obtido está apresentado na figura a seguir:



Subsistemas suspensão Macpherson e direção sob

Obtenha o arquivo da suspensão Macpherson no seguinte link: [http://www.blucher.com.br/materiaisdeapoio/mscadams/tutorial\\_macpherson.cdb.zip](http://www.blucher.com.br/materiaisdeapoio/mscadams/tutorial_macpherson.cdb.zip)

### **Etapas 1 – Inicializando o Módulo ADAMS/Car**

Ao inicializar o módulo ADAMS/Car, as seguintes opções estarão disponíveis na janela de abertura: *Standard Interface* e *Template Builder* (item 1.2.1),

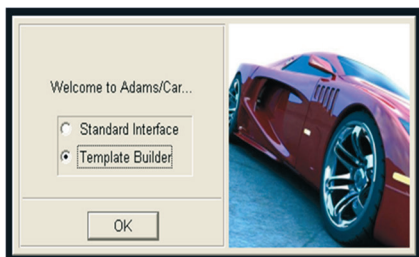


Figura 4.1 – Tela de inicialização do Módulo ADAMS/Car.

conforme mostra a Figura 4.1. O usuário deverá marcar a opção *Template Builder* uma vez que um novo projeto será criado, depois clicar na opção OK.

### Etapa 2 – Criando o *Template*

- Abra o menu *File* e clique na opção *New*.
- Na caixa de diálogo aberta, digite o nome do projeto na caixa *Template Name*.
- Especifique o tipo de *Subsystem* a ser construído na opção *Major Role*, conforme ilustrado na Figura 4.2.

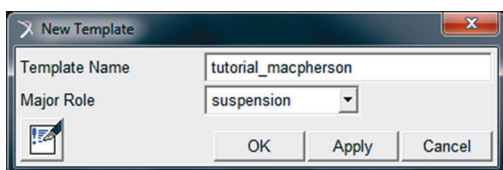


Figura 4.2 – Definição do *New Template*.

### Etapa 3 – Definição do Diretório de Trabalho

- Abra o menu *Tools* e clique na opção *Database Management*.
- Em seguida, clique em *Create Database*. A Figura 4.3 ilustra a Etapa 3.

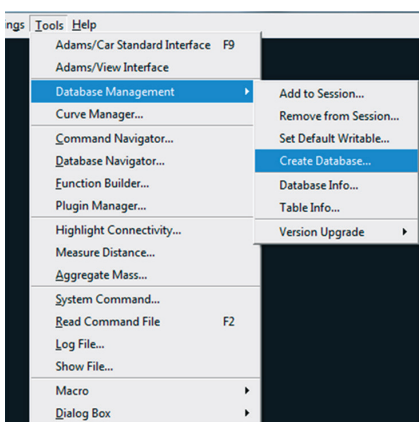


Figura 4.3 – Etapa 3.

- Na caixa de diálogo *Create New Database*, preencha o campo *Database Alias* com o nome do diretório de trabalho, e, no campo *Database Path*, informe o caminho desse diretório (Figura 4.4).

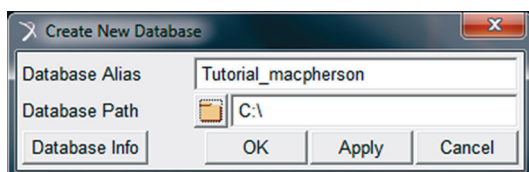


Figura 4.4 – Criação do diretório de trabalho.

- Clique em *OK*.

Uma nova janela será aberta para que o usuário aceite a criação do diretório de trabalho definido nas etapas anteriores, conforme ilustra a Figura 4.5.

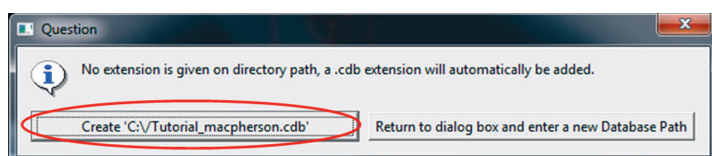


Figura 4.5 – Confirmação da criação do diretório de trabalho.

- Uma mensagem de confirmação da criação do diretório será aberta apenas para verificação por parte do usuário (Figura 4.6). Caso a tarefa tenha sido executada com sucesso, clique em *Close*.

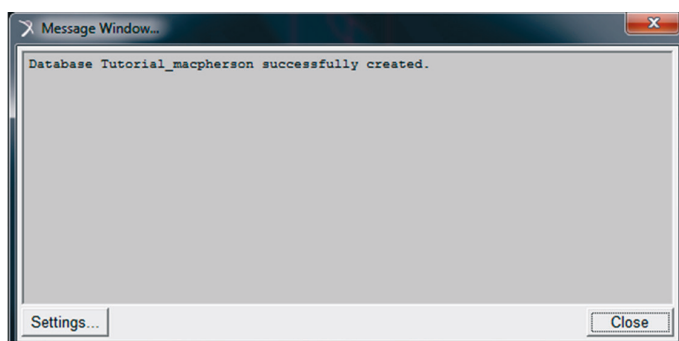


Figura 4.6 – Mensagem de alerta referente à criação do diretório de trabalho

Para obter informações sobre o diretório de trabalho criado, abra o menu *Tools*, clique em *Database Management* e, em seguida, clique em *Database Info* (Figura 4.7).



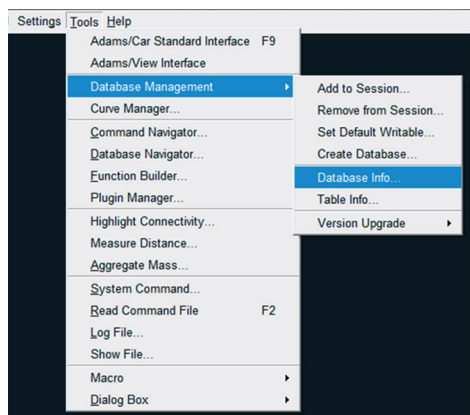


Figura 4.7 – Obtendo informações sobre o diretório de trabalho.

- A próxima etapa é definir o diretório de trabalho criado como sendo o diretório padrão onde os arquivos referentes ao projeto executado serão salvos. Para isso, abra o menu *Tools*, clique em *Database Management* e, em seguida, clique em *Set Default Writable* (Figura 4.8).

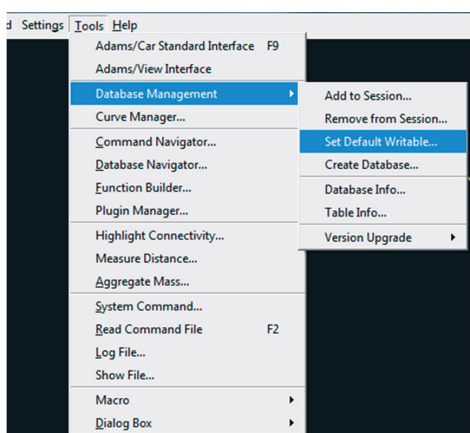


Figura 4.8 – Definindo o diretório padrão.

- Uma caixa de diálogo será aberta (*Set Default Writable Database*). No campo *Database Name*, selecione o diretório de trabalho criado anteriormente.

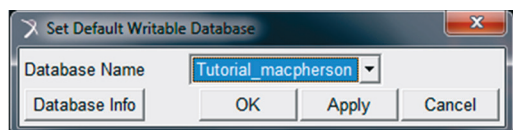


Figura 4.9 – Definindo o diretório padrão.

Etapa 4 – Parametrização da Geometria da Suspensão

*A notar: Para alterar/verificar unidades de medidas no ADAMS/Car, acesse o menu Settings → Units.*

O primeiro passo para a construção da geometria da suspensão é a criação dos *Hardpoints*. Dessa maneira, o modelo se torna parametrizado, facilitando, portanto, a realização de alterações geométricas, evitando assim o desenvolvimento de um novo projeto. Na Figura 4.10 é mostrado um esquema dos *Hardpoints* a serem definidos e sua respectiva representação em uma suspensão *Macpherson*.

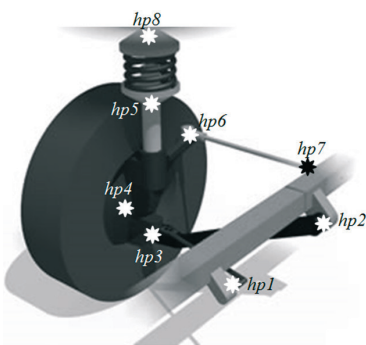


Figura 4.10 – Esquema dos *Hardpoints* a serem construídos.

- Para criação dos *Hardpoints* ilustrados na Figura 4.10 acesse o menu *Build*, clique em *Hardpoints* e, em seguida, clique em *New* (Figura 4.11).

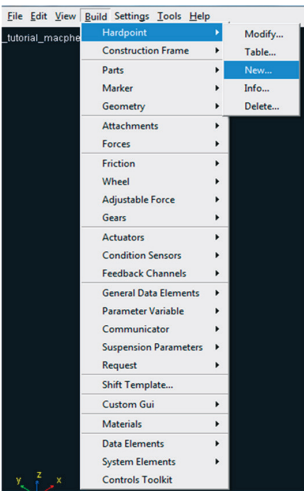
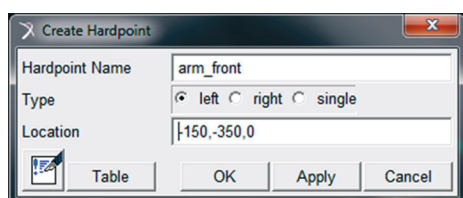


Figura 4.11 – Criação de *Hardpoints*.

- Na caixa de diálogo *Create Hardpoint*, defina o nome (*Hardpoint Name*) e selecione o tipo (*Type*): simetria à esquerda – *left* –, à direita – *right* – ou, caso não haja simetria, defina como *single*. A localização dos *Hardpoints* com relação às coordenadas globais (*x*, *y* e *z*) do sistema deverá ser inserida no campo *Location* (Figura 4.12). Caso haja algum erro nos campos preenchidos, esse erro se destacará na cor amarela, para alertar o usuário. Após o preenchimento dos campos, clique em *Apply* para inserir os demais *Hardpoints* (Tabela 4.1) ou, para finalizar, clique em *OK*.

Figura 4.12 – Definindo o *Hardpoint*.Tabela 4.1 – Nomes e coordenadas dos *Hardpoints*

	Nome	Coordenadas (x,y,z)
1	<i>arm front</i>	(-150,-350,0)
2	<i>arm rear</i>	(150,-350,0)
3	<i>LBJ</i>	(0,-700,0)
4	<i>Wheel_Center</i>	(0,-800,100)
5	<i>Strut_Lower</i>	(0,-650,250)
6	<i>Tierod_Outer</i>	(150,-650,250)
7	<i>Tierod_Inner</i>	(200,-350,250)
8	<i>Strut_Upper</i>	(0,-600,600)

- Após criar os oito *Hardpoints*, poderão ser feitas alterações em suas coordenadas acessando-se o menu *Build*, clicando em *Hardpoint* e, em seguida, em *Table*. Uma tabela com o nome do *Hardpoint* e as respectivas localizações *x*, *y* e *z* abrirá na tela principal, possibilitando sua edição (Figura 4.13).

*A notar:* O termo *hpl* ou *hpr* é inserido automaticamente no nome do *Hardpoint* pelo próprio software, de modo a indicar sua simetria.

	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_arm_front	-150.0	-350.0	0.0
hpl_arm_rear	150.0	-350.0	0.0
hpl_LBJ	0.0	-700.0	0.0
hpl_strut_lower	0.0	-650.0	250.0
hpl_strut_upper	0.0	-600.0	600.0
hpl_tierod_inner	200.0	-350.0	250.0
hpl_tierod_outer	150.0	-650.0	250.0
hpl_wheel_center	0.0	-800.0	100.0

Figura 4.13 – Tabela de modificação da coordenada do Hardpoint.

A Figura 4.14 ilustra a tela do software após criação dos *Hardpoints*.  
Etapa 5 – Criação da bandeja da suspensão (*Control Arm*)

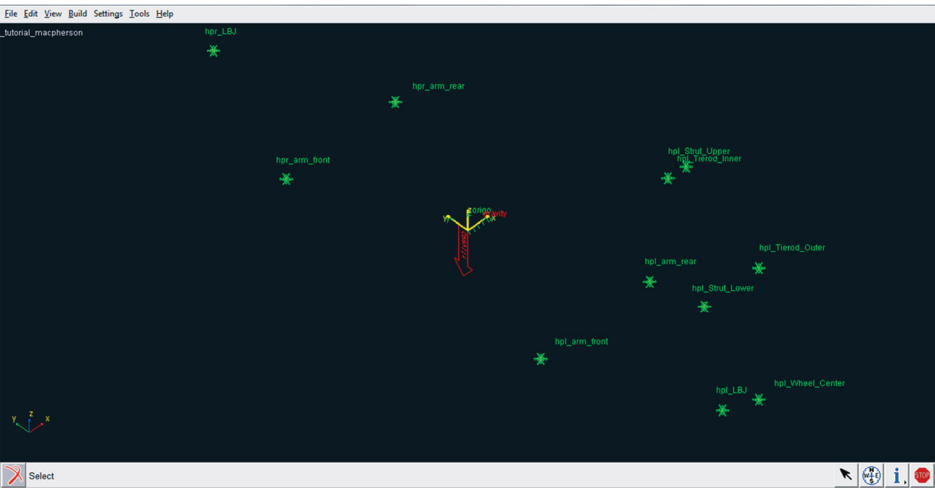


Figura 4.14 – *Hardpoints* definidos.

**A notar:** A bandeja ou braço de suspensão oscilante é um subconjunto do sistema de suspensão. Em condições ideais, ela trabalha em harmonia com os demais componentes da suspensão, ligando a roda ao chassi do veículo, e participa na estabilidade, do conforto e da segurança do sistema. Sua construção é formada por sua estrutura estampada, forjada ou fundida, buchas e pivô. A bandeja, por ser o componente de suspensão mais próximo do solo, é a primeira a receber o choque de um impacto sofrido pela suspensão, a qual está intimamente ligada à segurança do veículo e de seus ocupantes.



Bandeja da suspensão.  
Fonte: ADAMS View help.  
Subaru Portugal. Disponível em: <[http://www.subaru.pt/novo/10impreza\\_drivability.html](http://www.subaru.pt/novo/10impreza_drivability.html)>. Acesso em: 22/04/2013)

A bandeja da suspensão é definida por três *Hardpoints*: *arm\_front*; *arm\_rear* e *LBJ*, sendo esta uma bandeja triangular.

Para criação da bandeja, será necessário criar um *General Part* (item 1.2.5.2.1), o qual, no ADAMS/Car, é indicado pela abreviação *gel* (*general part left*) ou *ger* (*general part right*).

Para criação do *General Part* é possível utilizar-se de dois tipos de construtores: *New* (criação do corpo rígido sem atribuir uma geometria a ele) ou *Wizard* (criação do corpo rígido e da geometria simultaneamente). Ambos serão mostrados neste capítulo.

- Para criação do *General Part* acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New* (Figura 4.15).

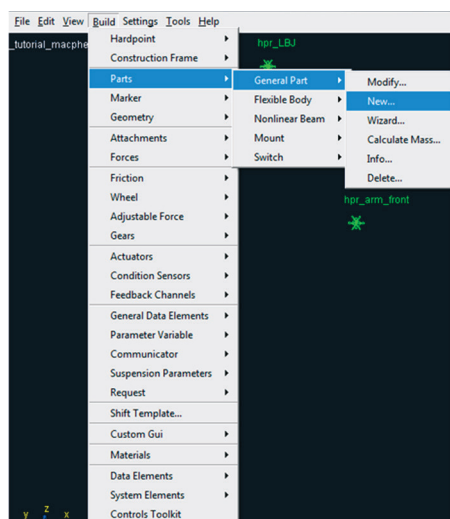


Figura 4.15 – Construção de um *General Part*.

- A janela mostrada na Figura 4.16 será aberta e deverá ser preenchida conforme mostrado. O preenchimento dos campos pode ser manual ou pode-se clicar com o botão direito do mouse no campo de interesse e optar por umas das opções disponíveis, sendo essa segunda opção um atalho.

Os dados relativos à geometria deste *General Part*, como massa, e momentos de inércia, inclusive o centro de massa, foram definidos, a priori, por um valor aleatório (como pode ser observado na Figura 4.16). Após inclusão da geometria (próxima etapa), esses dados serão recalculados. Caso o usuário já possua os valores corretos, estes já podem ser inseridos sem a necessidade de recalculá-los posteriormente.



### Etapa 6 – Criação da geometria relacionada ao *General Part* “Control Arm”

A bandeja da suspensão “Control Arm” a qual está relacionada ao *General Part* criado na etapa anterior será composta por duas geometrias cilíndricas do tipo *Link* e três esféricas do tipo *Ellipsoid* localizadas nas extremidades dos *Links*.

*A notar:* Para definir a geometria *Link* é necessário dois *Hardpoints* localizados em ambas as extremidades e um raio, em virtude de sua forma cilíndrica.

- Para construção do primeiro *Link*, o qual será formado pelos *Hardpoints* *hpl\_arm\_front* e *hpl\_LBJ*, acesse o menu *Build Geometry Link New* como mostrado na Figura 4.18.

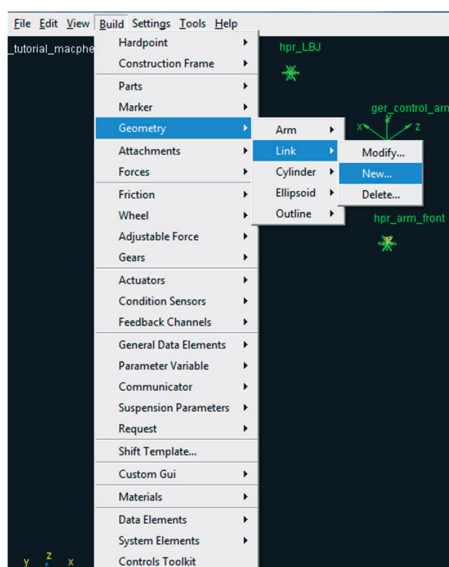


Figura 4.18 – Criação do primeiro *Link* da bandeja da suspensão.

- A janela *Create Link Geometry* será aberta e deverá ser preenchida conforme ilustrado na Figura 4.19. Observe que o item para recalcular as propriedades de massa do *General Part* deve estar ativado caso o usuário deseje atualizar os dados de propriedades de massa inseridos na Etapa 5.
- Clique em *Apply*.

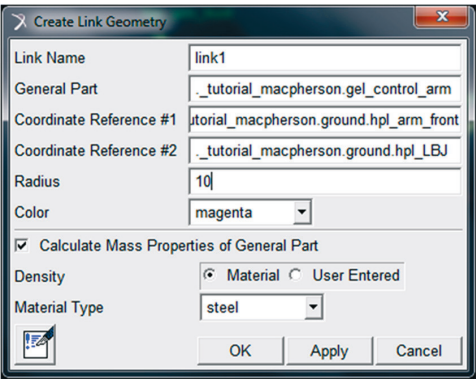


Figura 4.19 – Criação do *Link* 1.

O *Link* construído está ilustrado na Figura 4.20.

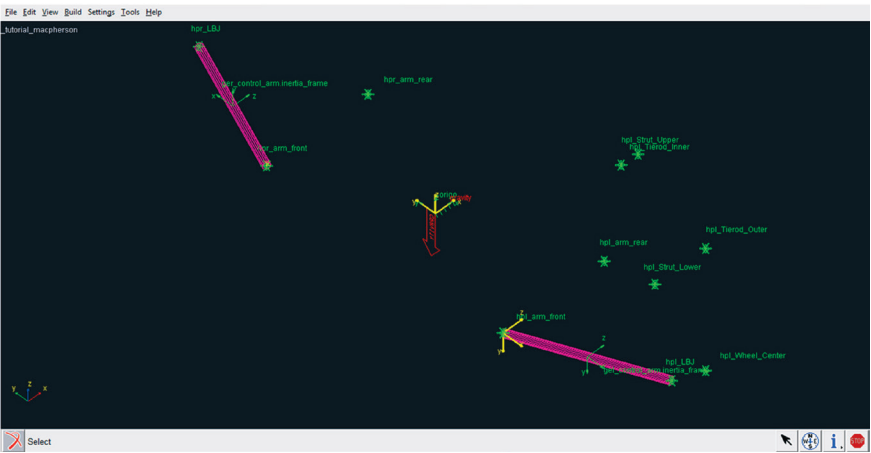


Figura 4.20 – *Link* 1 construído.

- Repetir o mesmo procedimento relatado anteriormente para construção do *Link* 2, o qual terá em suas extremidades os *Hardpoints* *hpl\_arm\_rear* e *hpl\_LBJ*. A Figura 4.21 ilustra os campos da janela *Create Link Geometry* preenchidos para construção do *Link* 2.
- Clique em OK.



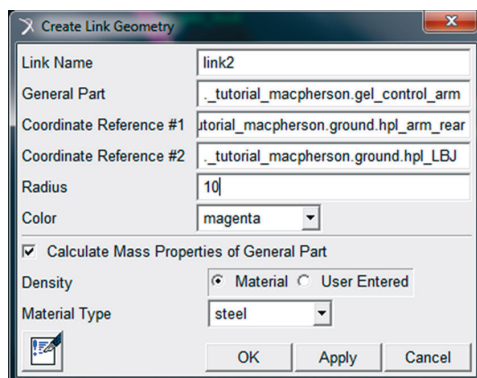


Figura 4.21 – Criação do Link 2.

Nas extremidades dos *Links* serão construídos volumes esféricos (denominados *Ellipsoid*) para complementação da geometria da bandeja da suspensão. Para isso acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Ellipsoid* → *New* (Figura 4.22).

*A notar:* A geometria *Ellipsoid* pode ser utilizada para gerar geometrias esféricas desde que os raios definidos em cada coordenada (*x*, *y* e *z*) sejam iguais.

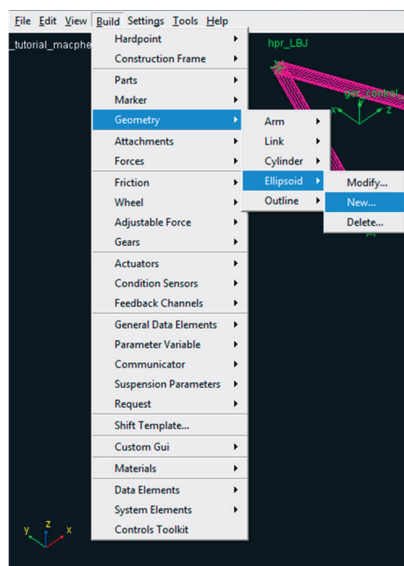
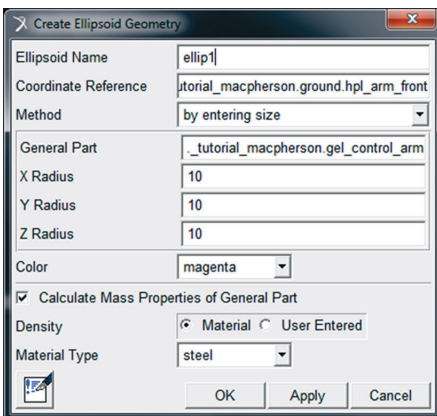
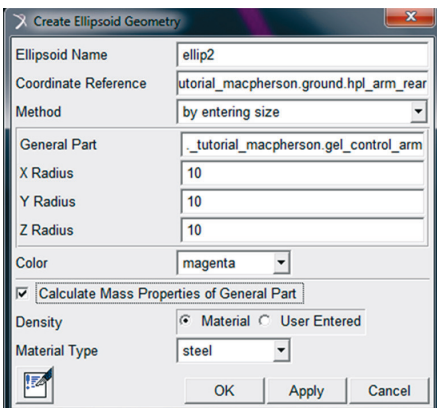


Figura 3.60(a) - Modificando o cilindro 2.

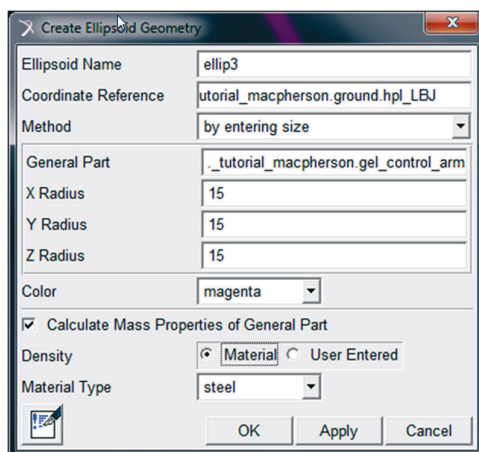
- A janela *Create Ellipsoid Geometry* será aberta. Os campos deverão ser preenchidos conforme ilustrado na Figura 4.23. Observe que essa primeira esfera terá como referência o *Hardpoint hpl\_arm\_front*, e pertencerá ao *General Part gel\_control\_arm*. Lembre-se que o campo *Calculate Mass Properties of General Part* deverá estar selecionado para atualização das propriedades de massa do *General Part control\_arm*.
- Clique em *Apply*.

Figura 4.23 – Construção do *Ellipsoid 1*.

- O procedimento do item anterior deverá ser seguido para construção do *Ellipsoid 2*. A segunda esfera será localizada no *Hardpoint arm\_rear*. O preenchimento da janela *Create Ellipsoid Geometry* para essa geometria está ilustrado na Figura 4.24.

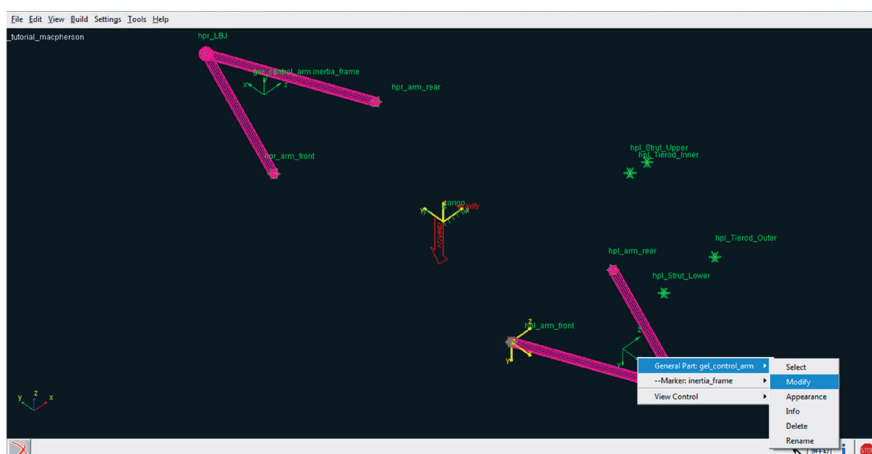
Figura 4.24 – Construção do *Ellipsoid 2*.

- A terceira esfera será construída na intersecção dos dois *Links* (1 e 2). A Figura 4.25 ilustra o preenchimento da janela *Create Ellipsoid Geometry* para construção dessa geometria.
- Clique em OK.

Figura 4.24 – Construção do *Ellipsoid 3*.

Após construção das geometrias que compõem o braço da suspensão, o *General Part control\_arm* será atualizado com relação às suas propriedades de massa.

- Na tela principal do software, clique com o botão direito do mouse sobre o *General Part gel\_control\_arm*. Em seguida, clique em *Modify* (Figura 4.26).

Figura 4.26 – Modificando o *General Part control\_arm*.

- A janela *Modify General Part* será aberta. Para atualização das propriedades de massa, clique no ícone da calculadora, como destacado na Figura 4.27. Após essa ação os dados serão automaticamente recalculados.
- Clique em OK.

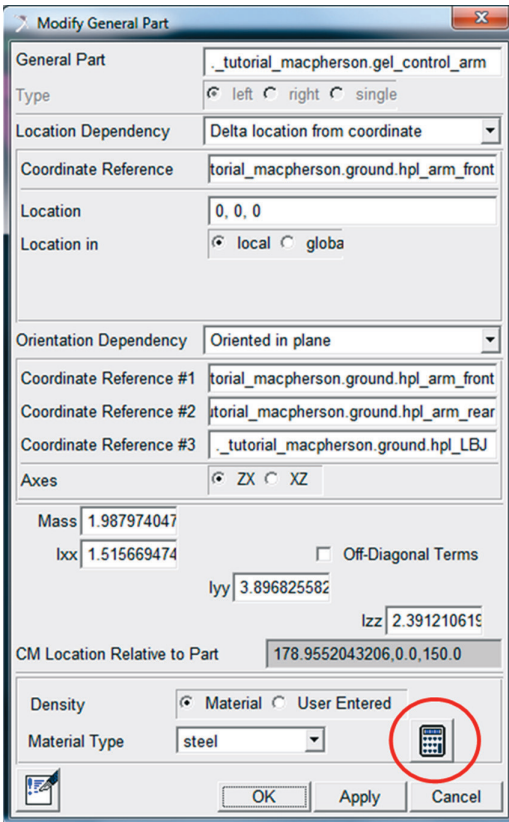


Figura 4.27 – Atualização das propriedades de massa do *General Part* “gel\_control\_arm”.

### Etapa 7 – Criação da manga de eixo (*Wheel Carrier*)

Nesta etapa, será utilizada uma ferramenta a qual criará o *General Part* “wheel Carrier” juntamente com a geometria relacionada a este, ao contrário do que foi executado na Etapa 6, na qual, primeiramente, criou-se somente o corpo rígido (*General Part*) e, posteriormente, a geometria associada a ele. Ambos os procedimentos fornecem o mesmo resultado.

- Primeiramente acesse o menu *Build*, clique em *Parts* → *General Part* → *Wizard*, conforme ilustra a Figura 4.28.

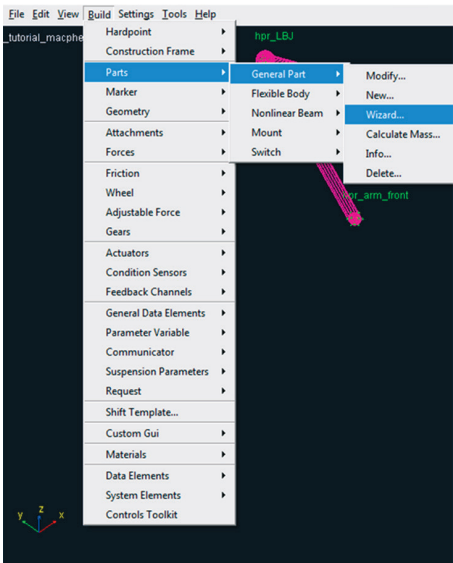


Figura 4.28 – Construção do *General Part* “Wheel Carrier”.

A janela *General Part Wizard* será aberta e seu conteúdo deverá estar de acordo com a Figura 4.29.

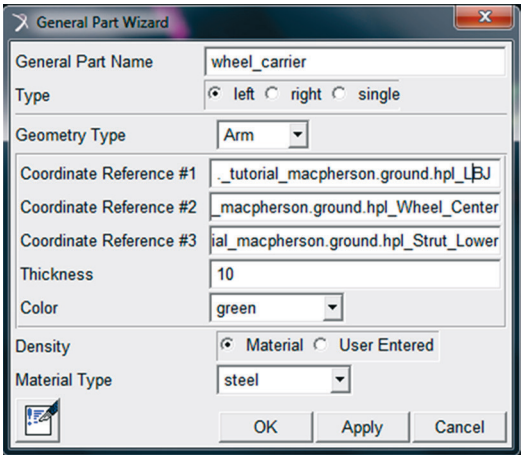


Figura 4.29 – Construção do *General Part* “Wheel Carrier” e geometria associada.

O resultado está ilustrado na Figura 4.30. Observa-se a criação do *General Part* e de parte da geometria do *Wheel Carrier* (superfície plana triangular).

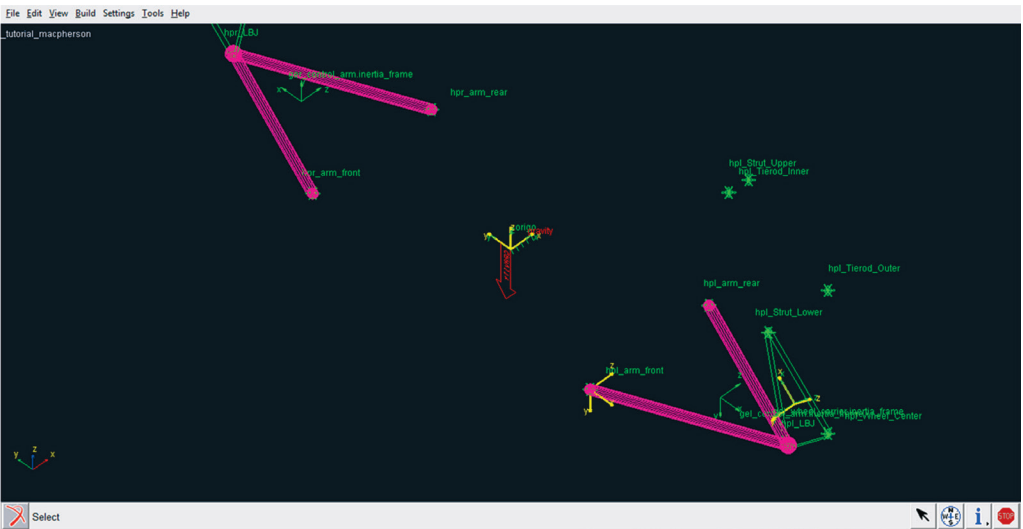


Figura 4.30 – General Part “Wheel Carrier” construído.

Nas próximas etapas, serão construídas as geometrias complementares do *General Part* “Wheel Carrier”, as quais correspondem a dois *Links*.

- Acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Link* → *New* (Figura 4.31) para construir o *Link* formado pelos *Hardpoints* *Strut\_Lower* e *Tierod\_Outer*.

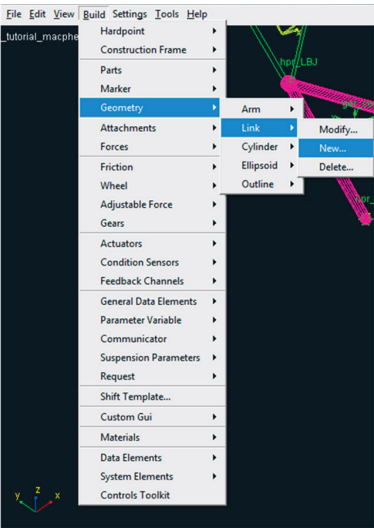


Figura 4.31 – Construção do *Link* do *General Part* “Wheel Carrier”.

A janela *Create Link Geometry* será aberta e a Figura 4.32 ilustra seu preenchimento.

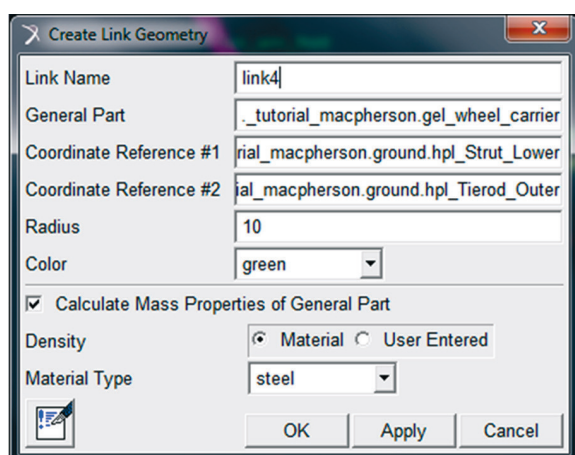


Figura 4.32 – Criação do primeiro Link pertencente ao *General Part* “Wheel Carrier”.

O mesmo procedimento do item anterior deve ser seguido para construção do segundo *Link*, o qual é formado pelos *Hardpoints* *hpl\_wheel\_carrier* e *hpl\_tierod\_outer*, conforme ilustrado na Figura 4.33.

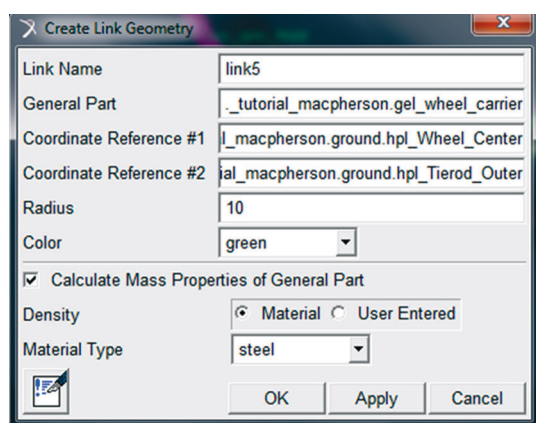


Figura 4.33 – Criação do primeiro Link pertencente ao *General Part* “Wheel Carrier”.

A Figura 4.34 mostra a geometria resultante para o *General Part* “Wheel Carrier”.

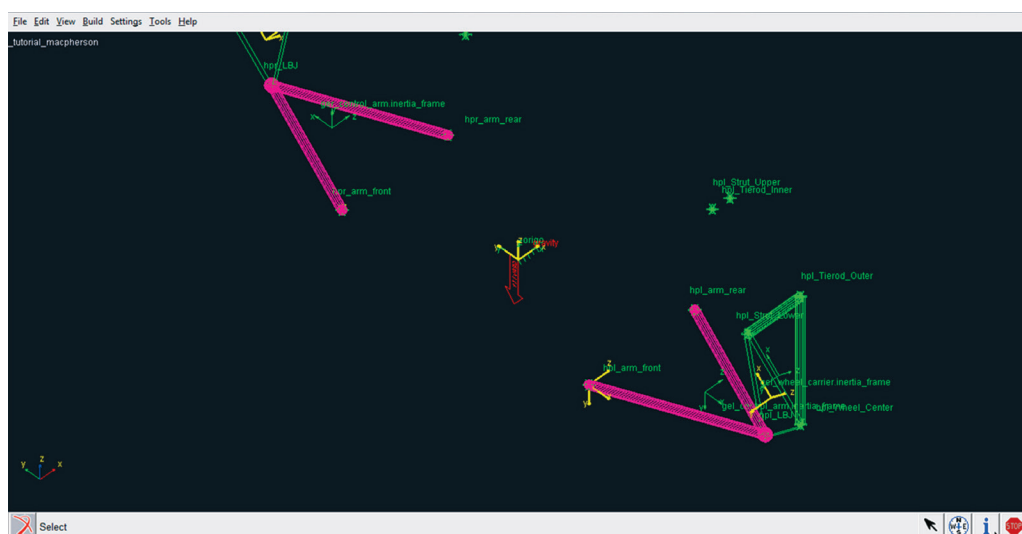


Figura 4.34 – Geometria completa do *General Part* “Wheel Carrier” e “Control Arm”.

### Etapa 8 – Criação do corpo rígido para ancoragem no chassi

Nesta etapa, será construído o corpo rígido para ancoragem no chassi. É nesse mesmo corpo rígido que definiremos a mola e o amortecedor da suspensão.

- Antes de criar o “*General Part*” de interesse e suas geometrias, será criado um *Construction Frame* para definir a orientação da estrutura a ser criada. Para isso, acesse o menu *Build* → *Construction Frame* → *New* (Figura 4.35).

**A notar:** O *Construction Frame* é parametrizável, e acompanha as alterações realizadas nos *Hardpoints* relacionados a ele.



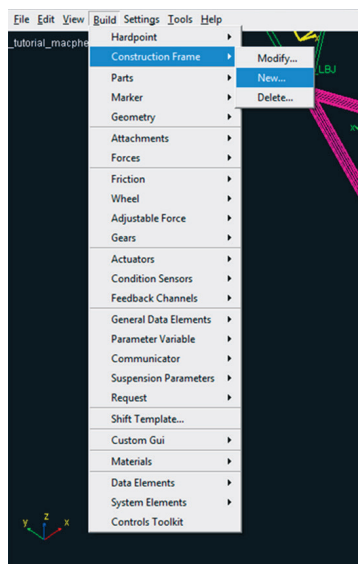


Figura 4.35 – Criação de um *Construction Frame*.

A janela *Create Construction Frame* será aberta e os campos deverão ser preenchidos, conforme ilustrado na Figura 4.36. Note que esse *Construction Frame* será construído entre os seguintes *Hardpoints*: *hpl\_strut\_lower* e *hpl\_strut\_upper*, e terá seu eixo Z definido na direção desses *Hardpoints*.

- Clique em OK.

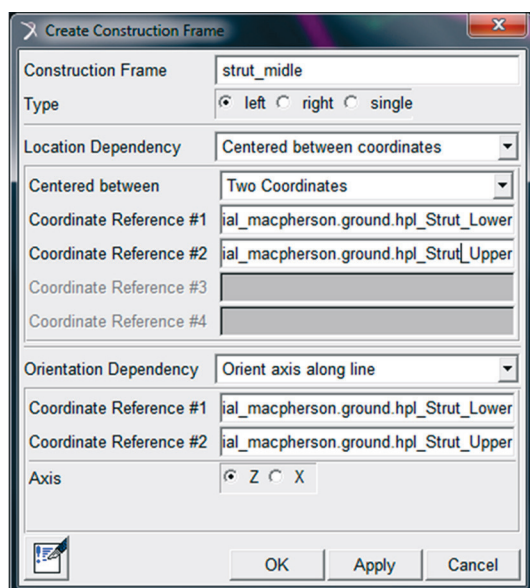


Figura 4.36 – Construção do *Construction Frame* “Strut\_midle”.

A Figura 4.37 ilustra o *Construction Frame* construído.

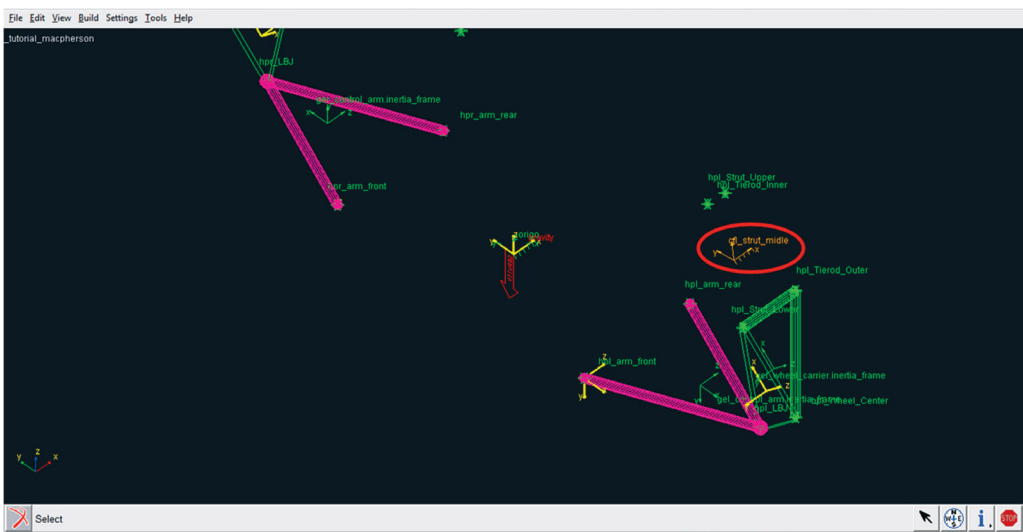


Figura 4.37 – *Construction Frame* “Strut\_middle”.

- Após a construção do *Construction Frame*, a próxima etapa é a criação do corpo rígido ou *General Part* “Strut”. Neste *General Part* serão definidos os parâmetros da mola e do amortecedor da suspensão. Acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *Wizard*, conforme ilustrado na Figura 4.38.

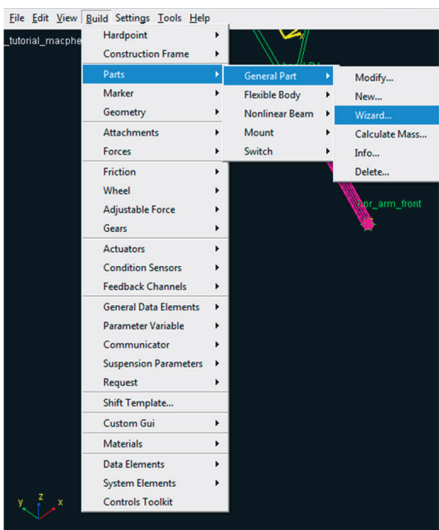


Figura 4.38 – Construção de um *General Part* com opção *Wizard*.

A janela *General Part Wizard* será aberta e seus campos deverão ser preenchidos, conforme mostrado na Figura 4.39. Note que, nessa etapa, está sendo construído um *General Part* de nome *Strut* e também uma geometria associada a ele, correspondendo a um *Link* definido pelo *Hardpoint* “*hpl\_strut\_upper*” e pelo *Construction Frame* “*strut\_middle*”.

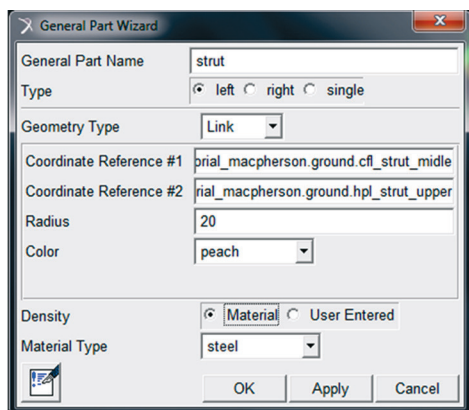


Figura 4.39 – Construção do *General Part* “*Strut*”.

Ainda nesta etapa, será construída uma geometria pertencente ao *General Part* “*Wheel\_Carrier*”, a qual necessita do *Construction Frame* “*strut\_middle*” para definir sua orientação.

- Acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Link* → *New* (Figura 4.40).

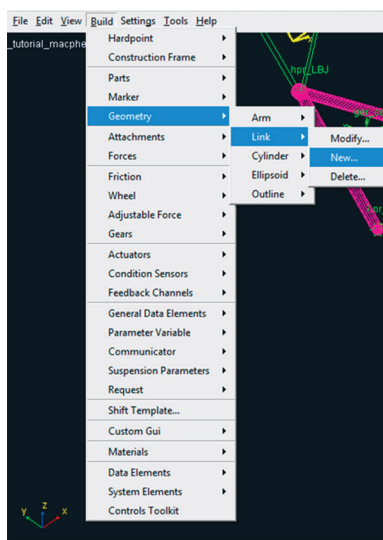


Figura 4.40 – Criando uma nova geometria do tipo *Link*.

A janela *Create Link Geometry* será aberta e seus campos deverão ser preenchidos conforme mostrado na Figura 4.41. Note que esse *Link* é formado pelo *Hardpoint* “*hpl\_Strut\_Lower*” e o *Construction Frame* “*cfl\_strut\_midle*”.

- Clique em OK.

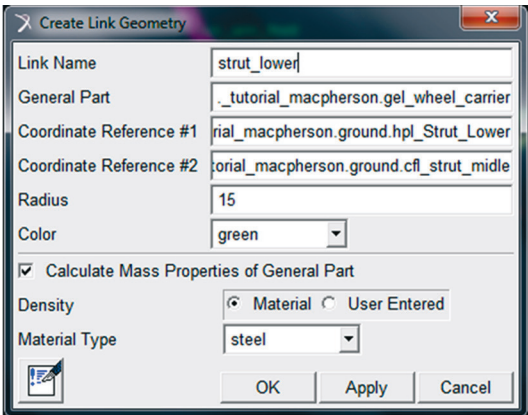


Figura 4.41 – Construção do Link pertencente ao *General Part* “*Wheel\_Carrier*”.

A Figura 4.42 ilustra a geometria construída.

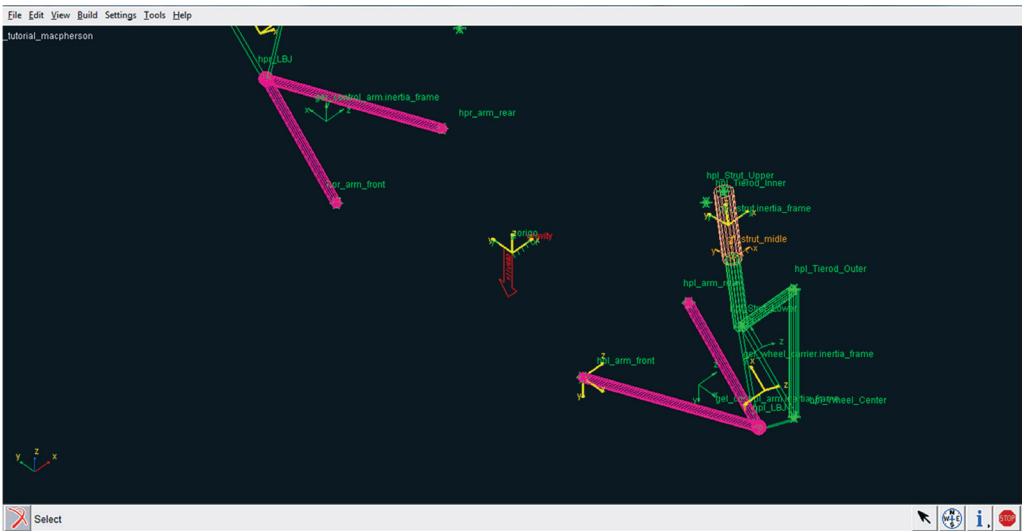
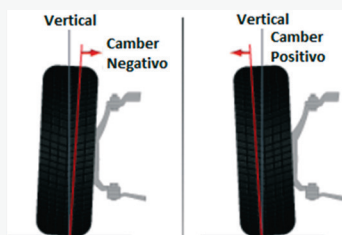


Figura 4.42 – Ilustração da geometria da suspensão parcialmente construída.

### Etapa 9 – Definindo parâmetros da suspensão

Nesta etapa, serão definidos os parâmetros de *Camber* e *Toe* (convergência) da suspensão.

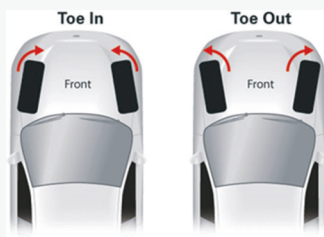
*A notar: Na vista frontal do veículo, o câmbor é o ângulo de inclinação vertical de uma roda e é medida em graus entre a linha de centro vertical no referencial da roda e a linha vertical no referencial do solo. Quando a parte superior da roda está para fora em relação à linha vertical do referencial do solo, o câmbor é positivo. O inverso resulta em câmbor negativo. De uma forma geral, deseja-se que o câmbor do veículo esteja, na maior parte do tempo, o mais próximo possível de zero grau, quando o veículo estiver percorrendo trajetórias retas, de forma a reduzir o desgaste do pneu e aumentar a aderência entre os pneus e o solo, garantindo assim o melhor desempenho possível nas frenagens e acelerações do veículo. O fundamento da utilização do câmbor é manter a maior área possível da banda de rodagem do pneu em contato com o solo, de modo que o desgaste dessa banda de rodagem ocorra de forma uniforme. Se o câmbor estiver muito acentuado poderá ocorrer desgaste prematuro do pneu.*



*Camber.*

Fonte: DISCOUNT. Disponível em: <http://www.discounttiredirect.com/direct/brochure/info/tmpInfoAlignment.jsp>. Acesso em: 22/04/2013

Na vista de topo do veículo define-se como convergência (toe setting) a abertura horizontal entre duas rodas de um mesmo eixo. Se estiverem mais afastadas na frente, a direção é definida como divergente (toe out) e; se mais abertas atrás, convergente (toe in). Geralmente os carros de tração traseira utilizam rodas dianteiras convergentes e traseiras divergentes. Da mesma forma, os de tração dianteira possuem rodas dianteiras divergentes e traseiras convergentes. Essas implementações aos sistemas de suspensão do veículo são utilizadas, pois o torque que as rodas causam ao tracionar o veículo ocasionam a geração de força nos braços da suspensão, para frente, no caso de tração no eixo, e para trás, no caso de frenagem.



*Toe.*

Fonte: Reglajes del Mugen Seiki MTX – 3 1. Disponível em: <http://usuarios.multimania.es/koldolo/reglajes-mtx3/Reglajes.htm>. Acesso em: 22/04/2013

- Acesse o menu *Build* → *Suspension Parameters* → *Toe/Camber Values* → *Set* (Figura 4.43).

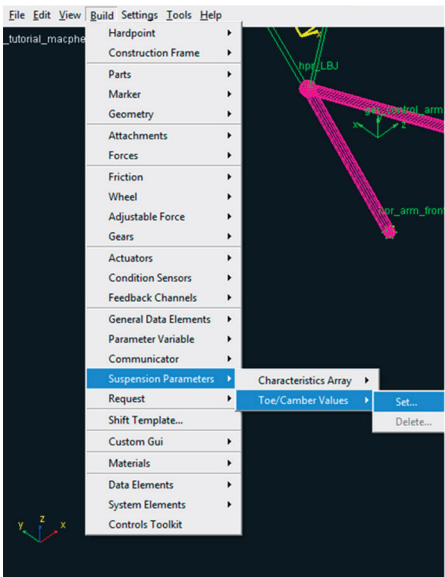


Figura 4.43 – Definindo parâmetros de *Toe* e *Camber* da suspensão.

A janela *Set Toe & Camber Values* será aberta e os valores desses parâmetros deverão ser inseridos nos campos disponíveis, de acordo com o projeto. Note que os valores requeridos se referem a ambos os lados: esquerdo (*Left*) e direito (*Right*) (Figura 4.44).

- Clique em *OK*.

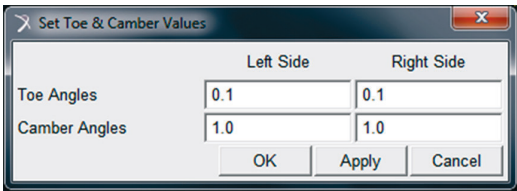


Figura 4.44 – Definição dos valores de *Toe* e *Camber*.

**Etapas 10 – Construção do cubo de roda (*Hub Bearing*)**

*A notar:* Os cubos de roda são o suporte do disco de freio ou do tambor de freio. Nele, estão fixados os parafusos de roda e o rolamento de roda. O cubo também serve para transmitir o torque da junta homocinética para as rodas do veículo, dando movimento a ele.



Cubo de roda.

Fonte: AUTO PEÇAS VRS. Disponível em:  
<<http://autopecasvr2.lojatemporaria.com/pecas-mecanicas/cubos-de-roda.html>.>  
Acesso em:22/04/2013

Para construção do corpo rígido denominado Cubo de Roda (*General Part* “*Hub Bearing*”) é necessário primeiramente criar um novo *Construction Frame*, o qual irá fornecer a orientação definida pelas variáveis *Toe* e *Camber* para o *General Part* a ser criado.

- Acesse o menu *Build* → *Construction Frame* → *New* (Figura 4.45).

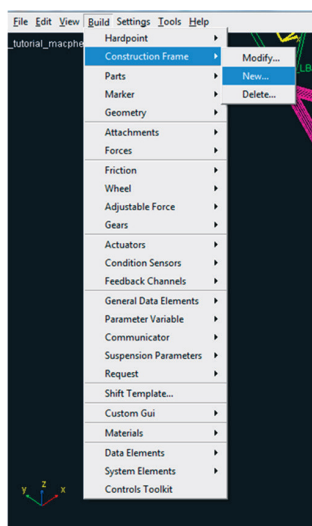


Figura 4.45 – Construção de um novo *Construction Frame*.

A janela *Create Construction Frame* será aberta e os campos deverão ser preenchidos, conforme mostrado na Figura 4.46. Observe que o *Construction Frame* estará localizado no *hpl\_Wheel\_Center* e terá sua orientação definida pelas variáveis *Toe* e *Camber* declaradas anteriormente.

- Clique em OK.

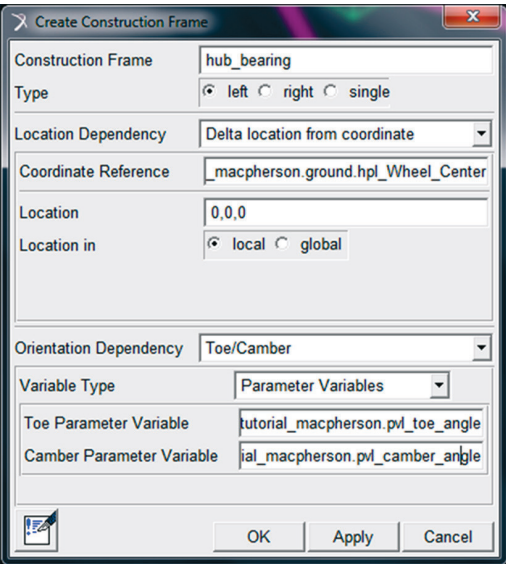


Figura 4.46 – Definindo a posição da *Construction Frame*.

A Figura 4.47 ilustra o *Construction Frame* “*hub\_bearing*” construído.

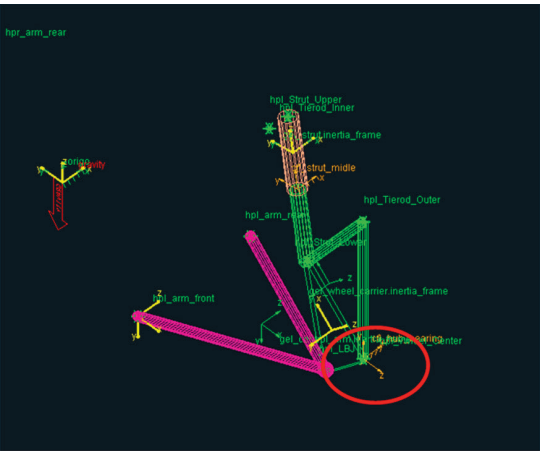


Figura 4.47 – *Construction Frame* “*hub\_bearing*” construído.

Após construção do *Construction Frame*, a próxima etapa será criar o corpo rígido que representará o Cubo de Roda.

- Menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New* (Figura 4.48).



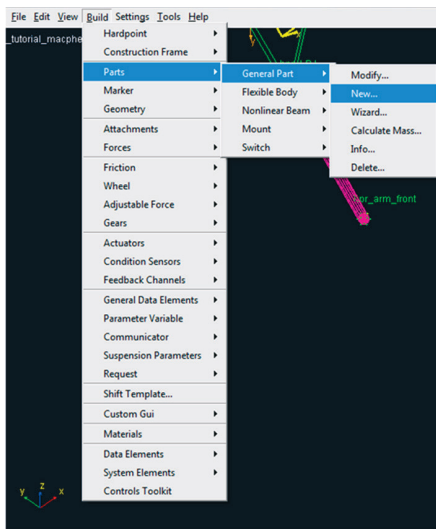


Figura 4.48 – *Construction Frame* “*hub\_bearing*” construído.

- Os campos da janela *Create General Part* deverão ser preenchidos, conforme ilustrado na Figura 4.49. Note que a orientação deste *General Part* é dada pelo *Construction Frame* “*hub\_bearing*” criado anteriormente. As propriedades de massa são inseridas, a priori, com valores fictícios para que, após a construção da geometria, esses dados sejam recalculados e atualizados.
- Clique em OK.



- Para construção da geometria associada ao *General Part* “*hub\_bearing*” acesse o menu *Build Geometry* → *Cylinder* → *New* (Figura 4.51).

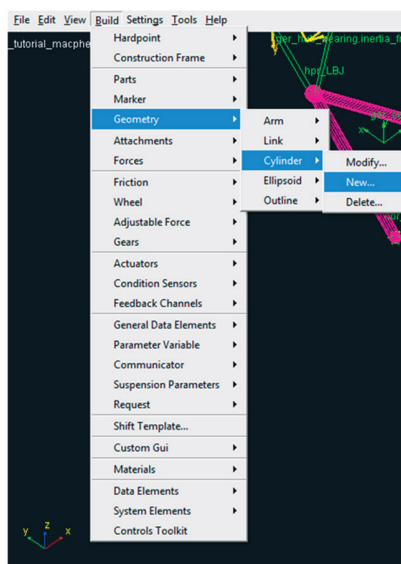


Figura 4.51 – Criação de uma geometria do tipo *Cylinder*.

*A notar: A diferença entre as geometrias Link e Cylinder são sutis visualmente, diferenciando apenas no modo de construção das mesmas. Enquanto o Link necessita da definição de dois Hardpoints e do raio, o Cylinder requer a definição de um Construction Frame. O eixo z do Construction Frame define o eixo longitudinal do Cylinder, e seu comprimento é fornecido tanto no sentido positivo quanto negativo do eixo z. O raio do Cylinder também é um parâmetro requisitado.*

A janela *Create Cylinder Geometry* será aberta e os campos a serem preenchidos estão ilustrados na Figura 4.52. Note que, para construção de uma geometria cilíndrica, é necessário definir um *Construction Frame* (3º campo) o qual já foi criado anteriormente nesta mesma etapa.

- Clique em OK.

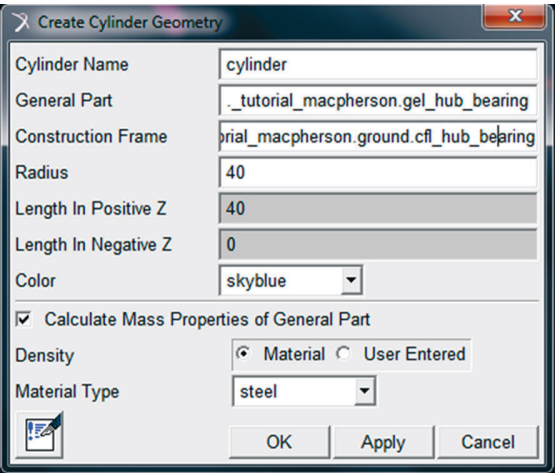


Figura 4.52 – Construção da geometria *Cylinder* pertencente ao *General Part* “*hub\_bearing*”.

A Figura 4.53 ilustra o *General Part* “*hub\_bearing*” construído.

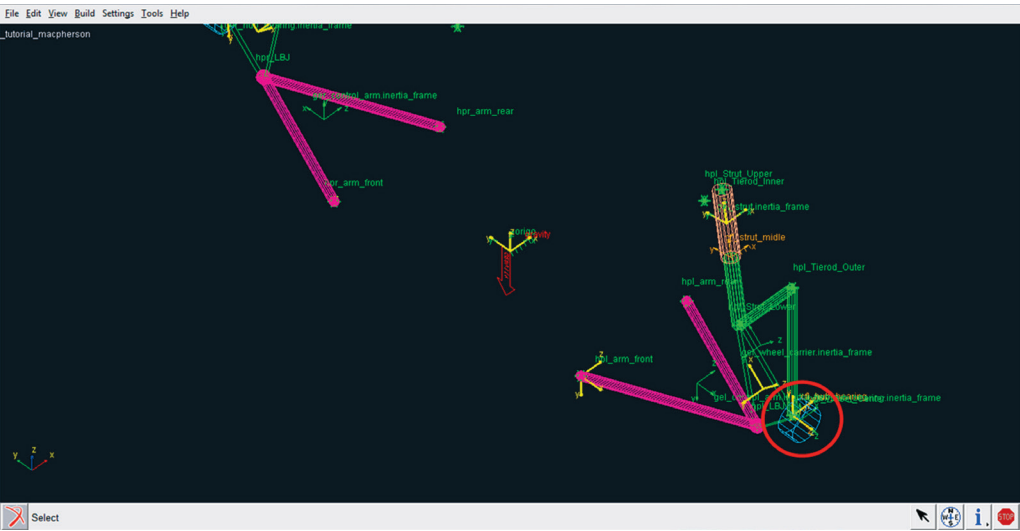


Figura 4.53 – *General Part* “*hub\_bearing*” construído.

## Etapa 11 – Construção da barra de direção (*Tie rod*)

*A notar: A barra de direção transfere o movimento de direção aplicado à caixa de direção para as rodas.*



*Barra de direção lateral Scania f-94 (padrão cdm c/ reg. Dupla) 660.*

*Fonte: <Disponível em: <http://www.cdmbarras.com.br/catalogov.php>>. Acesso em: 22/04/2013*

Nesta etapa, será construída a barra de direção, o qual será um *General Part* denominado por “Tierod”.

- Acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *Wizard* (Figura 4.54).

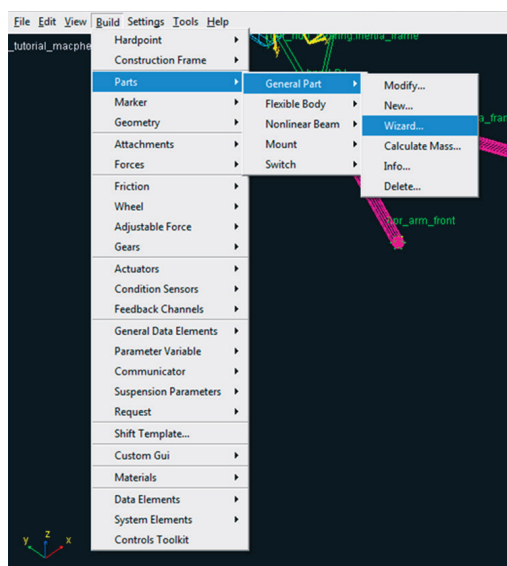


Figura 4.54 – Criação de um novo *General Part*.

- Preencha os campos da janela *General Part Wizard*, conforme ilustrado na Figura 4.55. Note que a geometria associada a esse *General Part* é do tipo *Link* sendo este último definido pelos Hardpoints *hpl\_Tierod\_Inner* e *hpl\_Tierod\_Outer*.
- Clique em OK.

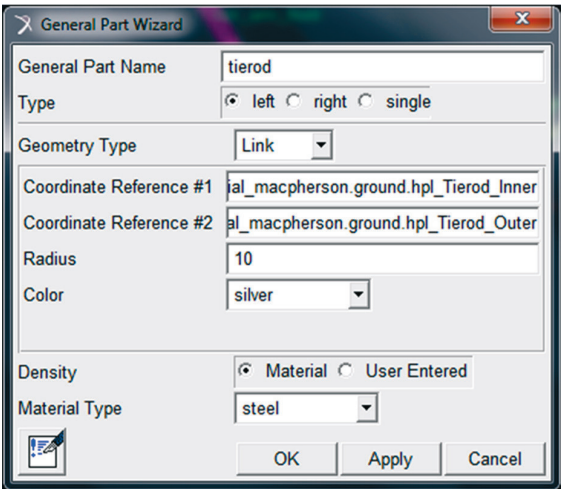


Figura 4.55 – Construção do *General Part* “tierod

A Figura 4.56 ilustra o *General Part* “tierod” construído.

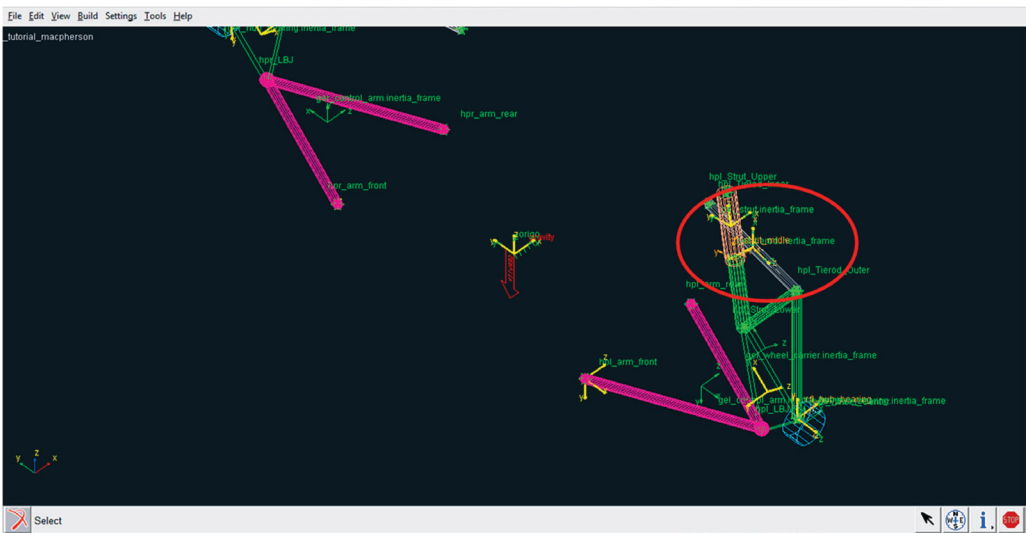


Figura 4.56 – *General Part* “tierod” construído.

**Etapa 12 – Criação das juntas da suspensão**

Nesta etapa, serão inseridas quatro juntas no modelo multicorpos. Essas juntas definem o tipo de movimento (graus de liberdade) entre os *General Parts*. A Tabela 4.2 relaciona as juntas a serem criadas.

Tabela 4.2 – Juntas do modelo multicorpos da suspensão

Junta	Tipo	General Parts
1	Esférica	control_arm e wheel_carrier
2	Esférica	wheel_carrier e tierod
3	Cilíndrica	strut e wheel_carrier
4	Revoluta	wheel_carrier e hub_bearing

- Para inserção das juntas da suspensão, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joints* → *New* (Figura 4.57).

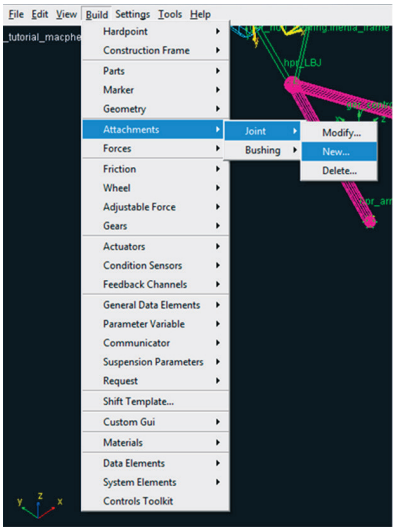


Figura 4.57 – Criando uma junta (*Joint*).

- Os campos da janela *Create Joint Attachment* deverão ser preenchidos, conforme ilustrado na Figura 4.58, e de acordo com a Tabela 4.2.
- Clique em *Apply*, para definir a segunda junta.

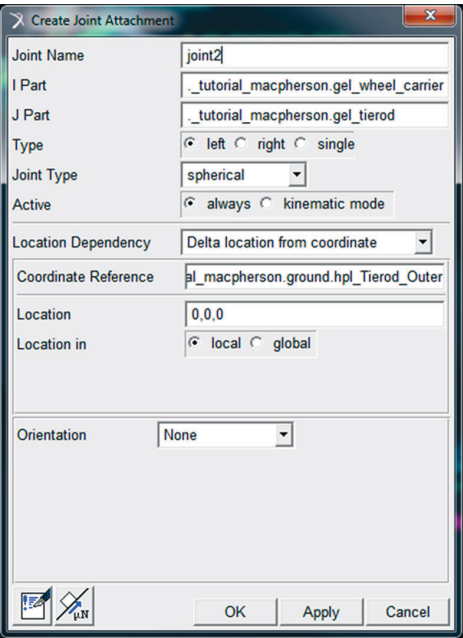


Figura 4.58 – Criação da Junta 1.

A Figura 4.59 ilustra a junta 1 construída.

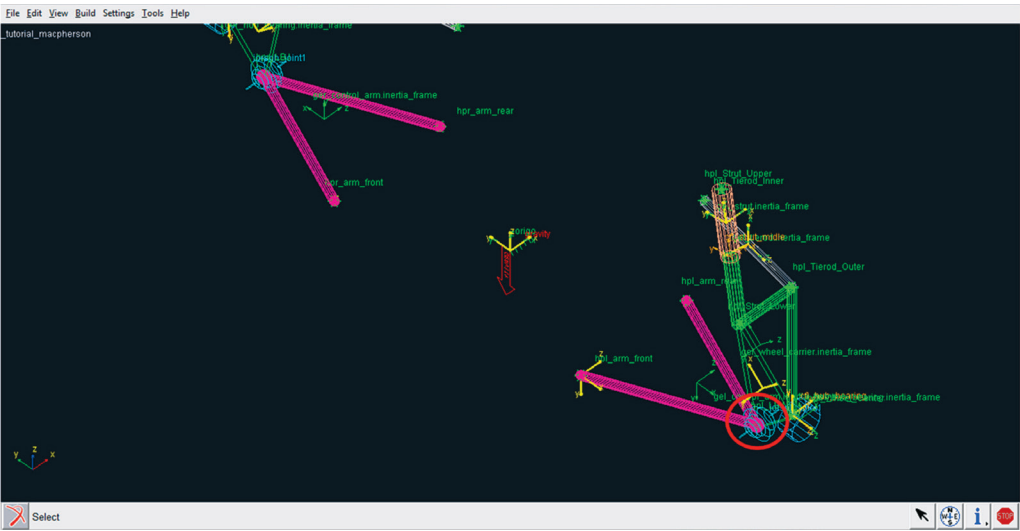


Figura 4.59 – Junta 1 construída.

- Para construção da junta 2, preencha os campos da janela *Create Joint Attachment*, conforme mostrado na Figura 4.60.



- Clique em *Apply*.

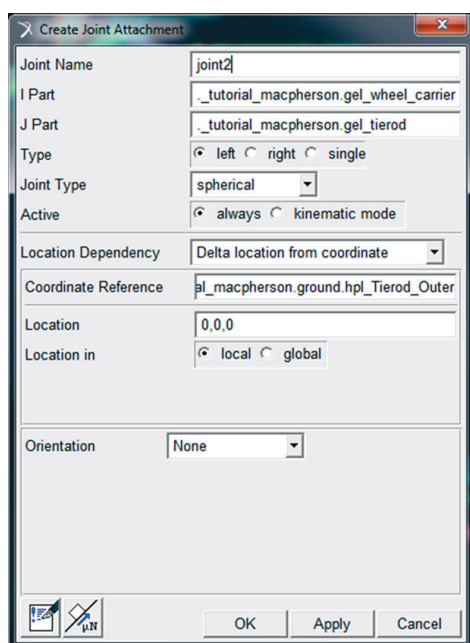


Figura 4.60 – Criação da Junta 2.

A Figura 4.61 ilustra a junta 2 construída.

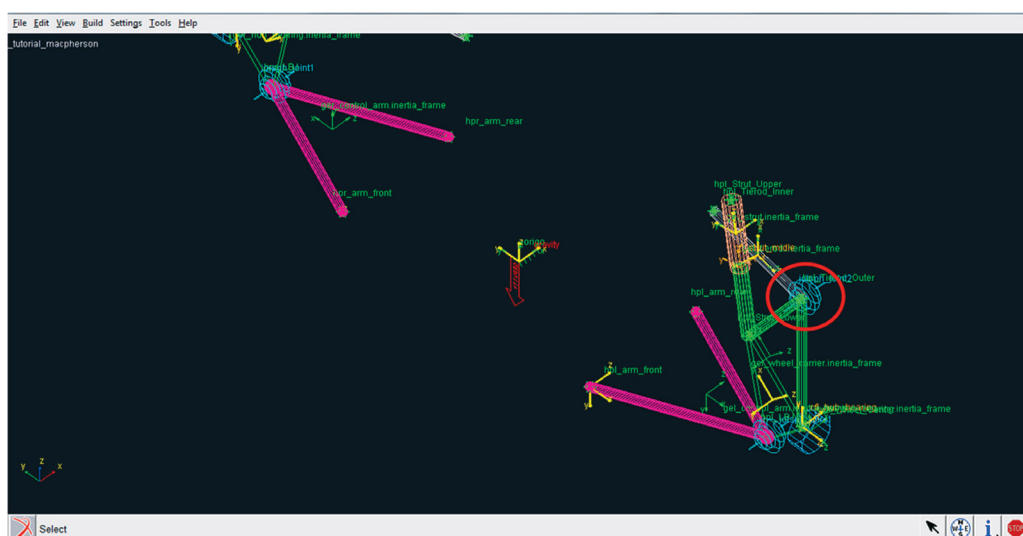


Figura 4.61 – Junta 2 construída.

- Para construção da junta 3 preencha os campos da janela *Create Joint Attachment* conforme ilustrado na Figura 4.62.
- Clique em *Apply*.

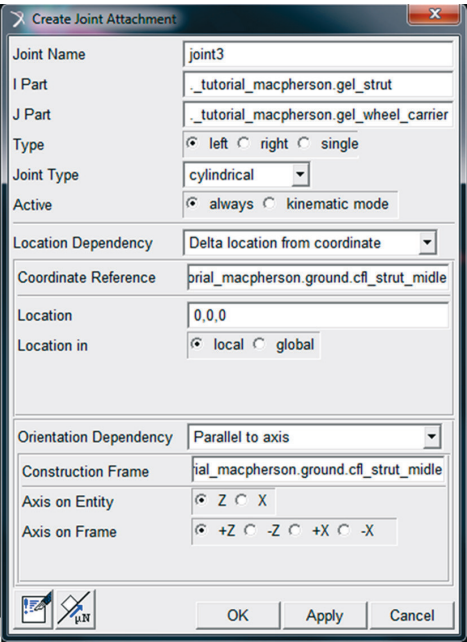


Figura 4.62 – Criação da Junta 3.

A Figura 4.63 ilustra a junta 3 construída.

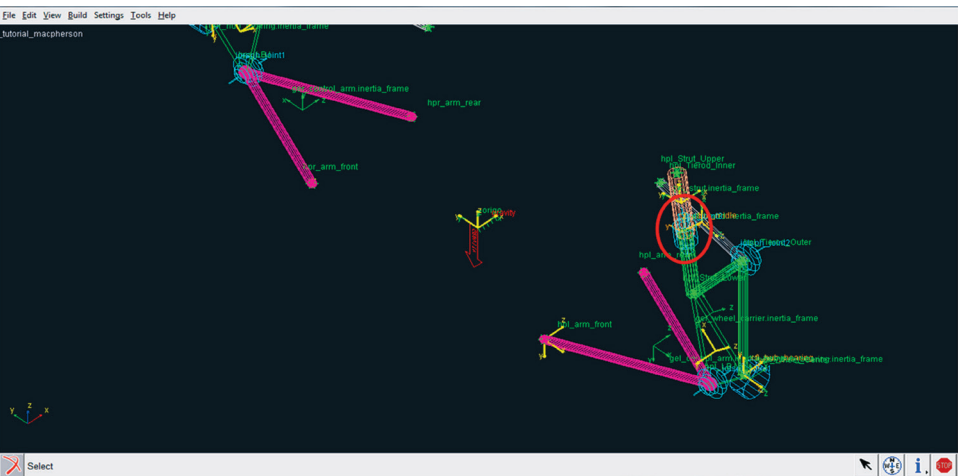


Figura 4.63 – Junta 3 construída.

- Para construção da junta 4, preencha os campos da janela *Create Joint Attachment* conforme a Figura 4.64.
- Clique em OK.

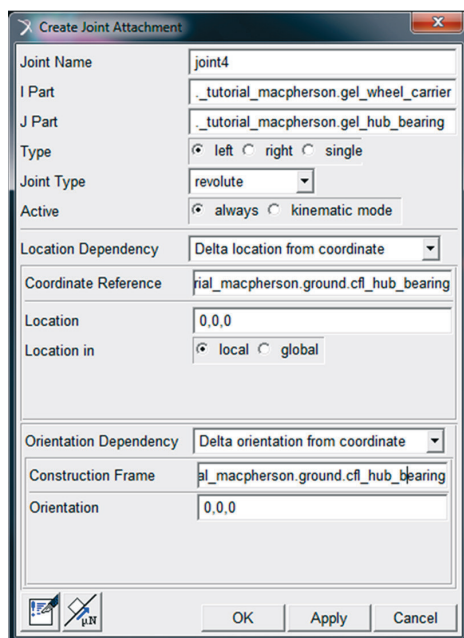


Figura 4.64 – Criação da Junta 4.

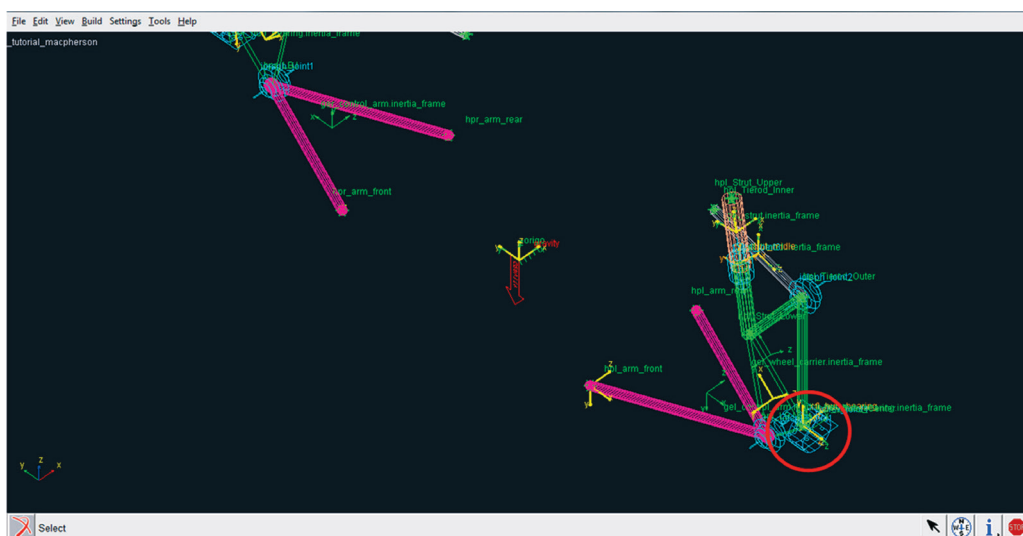


Figura 4.64 (a) – Junta 4 construída.

### Etapa 13 – Construção da mola (Spring)

**A notar:** As molas são o principal elemento elástico da suspensão e, a partir do momento de sua instalação, já estão em trabalho, permanecendo acionadas pelo peso da carroceria do veículo mais as cargas que ele estiver carregando (Pré-carga). Elas absorvem as irregularidades do terreno, controlam a altura do veículo e atuam sobre o alinhamento e o equilíbrio da suspensão. Os efeitos das molas fadigadas são verificados por impactos constantes na suspensão, desgaste acentuado dos pneus, amortecedores e batentes. Com o veículo em movimento, todas as oscilações de pista são absorvidas pela mola. Sendo assim, uma lombada causa o fechamento da mola, enquanto um buraco provoca sua abertura. Tanto na abertura quanto no fechamento, a mola irá absorver energia, que, ao ser liberada, será controlada pelo amortecedor, suavizando assim os movimentos de retorno da mola para a posição original. Portanto, a mola é quem absorve grande parte dos movimentos recebidos pela suspensão. Dessa forma, se as molas não estiverem boas, as condições de conforto, estabilidade e segurança ficam seriamente comprometidas.



Molas helicoidais.  
Fonte: Seat Edition . Disponível em: <<http://seatedition.livreforum.com/>>. Acesso em 22/04/2013:

Nesta etapa, será definida a mola da suspensão. Ressalta-se que a mola não é considerada um corpo rígido, portanto sua criação não se dará por meio da criação de um *General Part*. No ADAMS, a mola é definida por meio da criação de uma força.

- Acesse o menu *Build* → *Forces* → *Spring* → *New* (Figura 4.65).

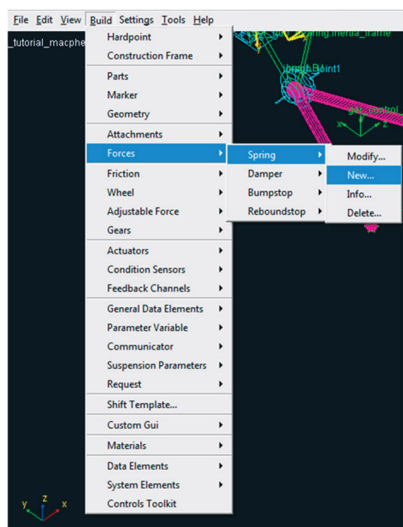


Figura 4.65 – Criando uma mola.

- Preencha os campos da janela *Create Spring* conforme mostrado na Figura 4.66. Note que a mola é definida entre os corpos rígidos *strut* e *wheel\_carrier*. Atente para o preenchimento do valor de pré-carga (*Preload*) a ser definido para a mola, como destacado na Figura 4.66. A curva característica da mola pode ser editada manualmente pelo usuário e salva em arquivo externo ou o usuário poderá utilizar informações da própria biblioteca do software (campo *Property File*), como é o caso deste modelo.
- Clique em OK.

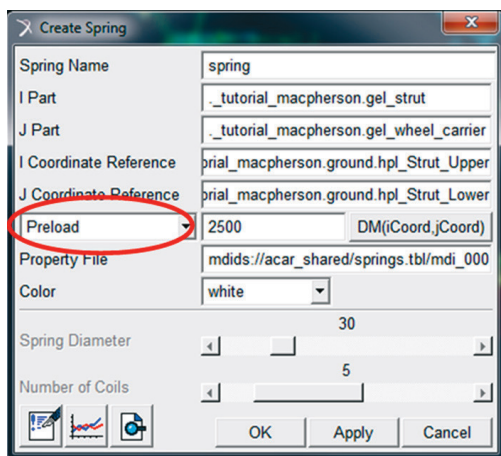


Figura 4.66 – Definição da mola da suspensão.

A Figura 4.67 ilustra a mola construída.

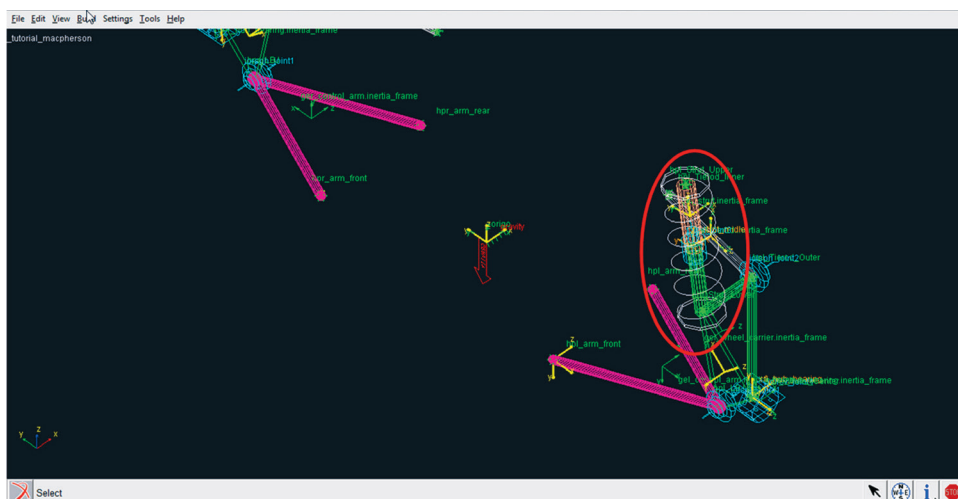
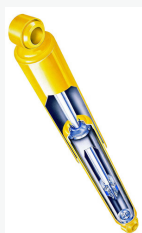


Figura 4.67 – Mola construída.

#### Etapa 14 – Construção do amortecedor (*Damper*)

**A notar:** O amortecedor é um elemento de ligação entre a suspensão e a carroceria, capaz de controlar os movimentos das molas, fazendo com que o veículo mantenha a aderência ao solo. A estabilidade, o conforto e a segurança ficam diretamente comprometidos, se os amortecedores não estiverem atuando corretamente. O amortecedor possui, em seu interior, um fluido denominado óleo hidráulico, de características especiais para suportar baixas e altas temperaturas, funcionando segundo princípios hidráulicos.



*Amortecedor.*

Fonte: WOLLOKO. Disponível em: <<http://www.wollokoclube.com.br/index.php/qual-a-vida-util-de-um-amortecedor/>>. Acesso em: 22/04/2013

Da mesma maneira que a mola, o amortecedor também é criado por meio da definição de uma força.

- Acesse o menu *Build* → *Forces* → *Damper* → *New* (Figura 4.68).

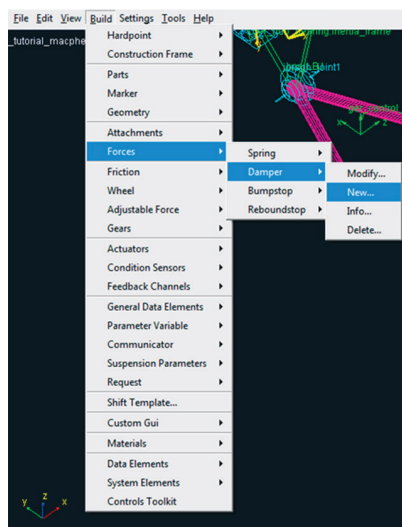


Figura 4.68 – Definição do amortecedor da suspensão.

- O preenchimento dos campos da janela *Create Damper* é muito semelhante ao da Etapa 13, conforme mostrado na Figura 4.69. O amortecedor também é definido entre os corpos rígidos *strut* e *wheel\_carrier* e sua curva característica pode ser inserida do próprio software ou editada manualmente pelo usuário e utilizada no modelo. Como se pode observar na Figura 4.69, no campo *Property File*, as propriedades do amortecedor são definidas no arquivo especificado na biblioteca do software.

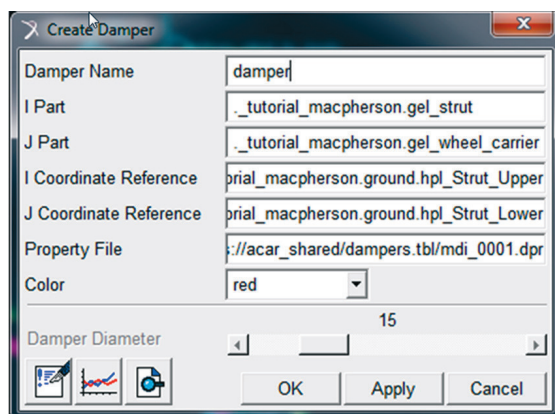


Figura 4.69 – Definição do amortecedor da suspensão.

A Figura 4.70 ilustra o amortecedor construído.

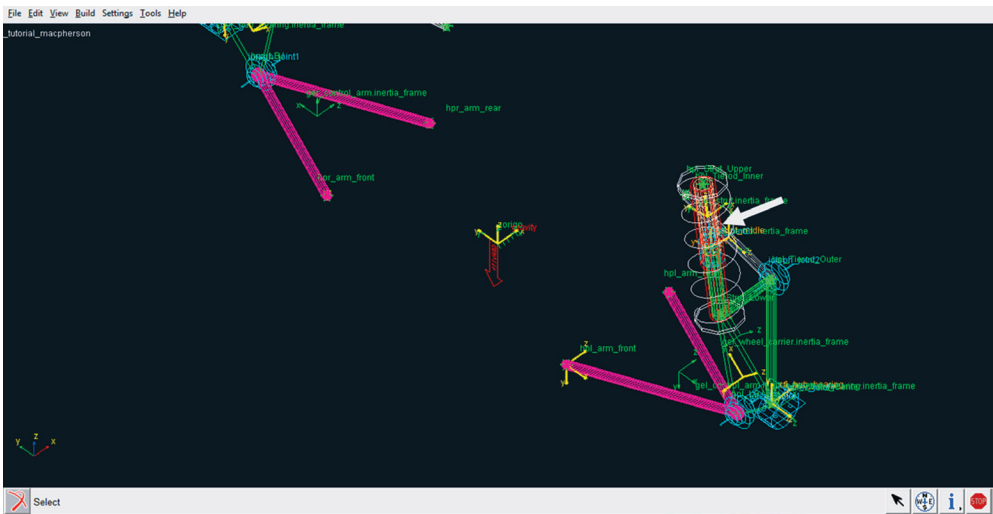


Figura 4.70 – Amortecedor construído.

**Etapla 15 – Definindo parâmetros da suspensão**

Ao finalizar esta etapa, o software terá informações suficientes para determinar o ângulo de esterçamento e *Caster* da suspensão em construção.

- Acesse o menu *Build* → *Suspension Parameter* → *Characteristics Array* → *Set* (Figura 4.71).

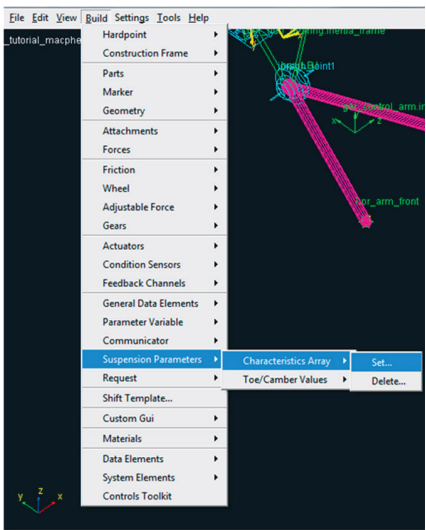


Figura 4.71 – Determinando os parâmetros da suspensão.



- A janela *Suspension Parameters Array* deverá ser preenchida conforme ilustrado na Figura 4.72. Note que a suspensão foi definida como do tipo Independente, tendo o *Steer Axis* na direção definida pelos *Hardpoints* *hpl\_Strut\_Lower* e *hpl\_LBJ*.
- Clique em OK.

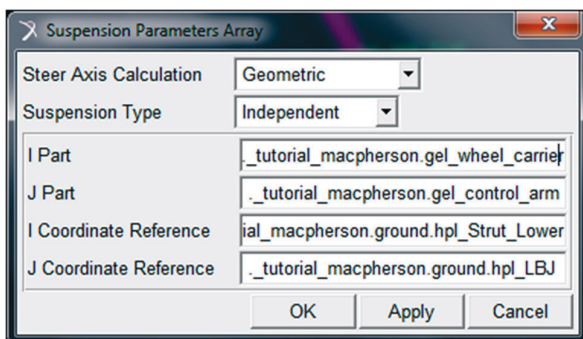


Figura 4.72 – Definição dos parâmetros da suspensão.

### Etapa 16 – Criação do *Mount* “*subframe\_to\_body*”

Nesta etapa, será criado o *Mount* denominado *subframe\_to\_body*, o qual tem como função estabelecer a conexão do subsistema suspensão ao subsistema chassi (*body*). Durante a simulação, a transferência de dados de um subsistema para o outro é feita por meio dessa comunicação (*Mount*).

- Para criar um novo *Mount*, acesse o menu *Build* → *Parts* → *Mount* → *New* (Figura 4.73).

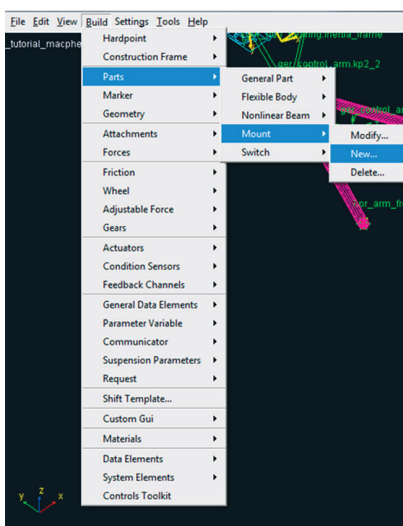


Figura 4.73 – Criando um novo *Mount*.

- A janela *Create Mount Part* deverá ter seus campos preenchidos, conforme mostrado na Figura 4.74. Note que o nome do *Mount* deve ser exatamente o mesmo definido no outro subsistema, nesse caso, o chassi. Ainda com relação à Figura 4.74, a coordenada de referência utilizada é o *Hardpoint* “*hpl\_arm\_front*” e definiu-se a suspensão como dianteira (*front*).
- Clique em OK.

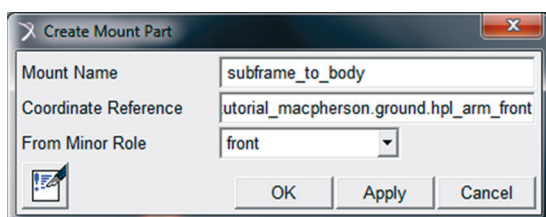


Figura 4.74 – Criação do Mount “*subframe\_to\_body*”.

Na Figura 4.75 o Mount “*subframe\_to\_body*” está destacado.

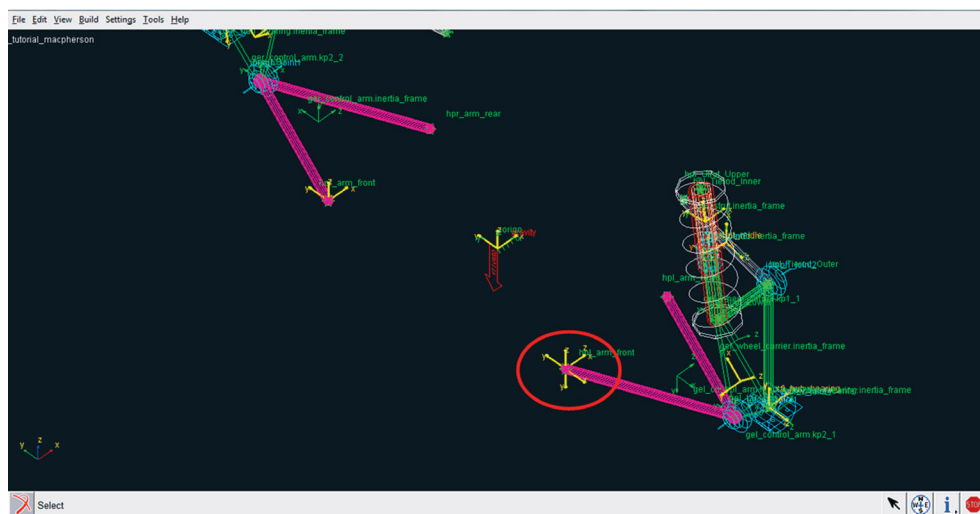


Figura 4.75 – Mount “*subframe\_to\_body*” definido no modelo da suspensão.

Após criação do Mount “*mtl\_subframe\_to\_body*” uma nova junta será construída, a qual restringe os movimentos de ligação do braço da suspensão com o chassi.

- Acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joint* → *New* (Figura 4.76).

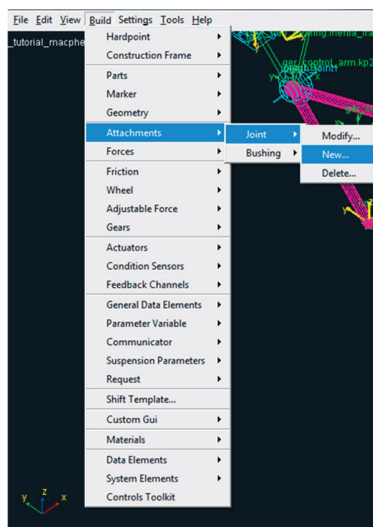


Figura 4.76 – Criando uma nova junta.

- Na janela *Create Joint Attachment*, preencha os campos, conforme mostrado na Figura 4.77. Note que essa junta é do tipo revolute e é construída entre o *General Part* “gel\_control\_arm” e o *Mount* “mtl\_subframe\_to\_body”.
- Clique em OK.

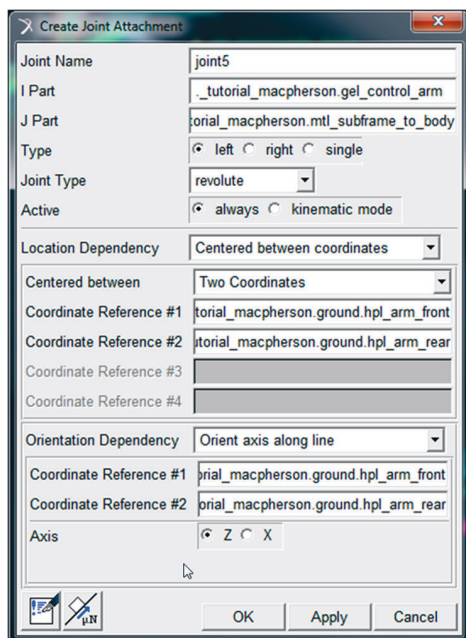


Figura 4.77 – Criação da junta 5.



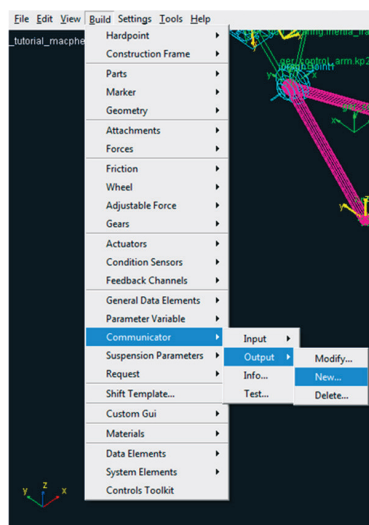


Figura 4.79 – Criando um *Communicator* do tipo *Output*.

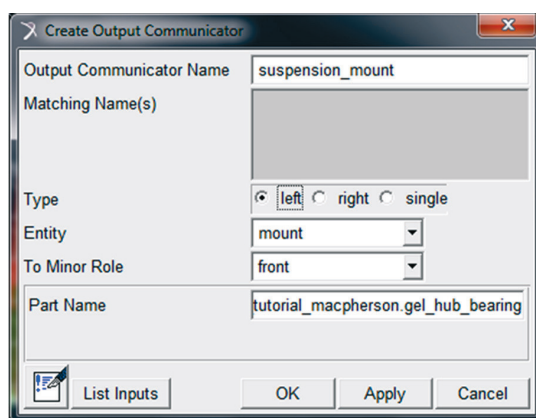


Figura 4.80 – Criação do *Communicator* “*suspension\_mount*”.

- Para criação do *communicator* “*suspension\_upright*”, preencha os campos da janela *Create Output Communicator*, conforme mostrado na Figura 4.81.
- Clique em *Apply*.

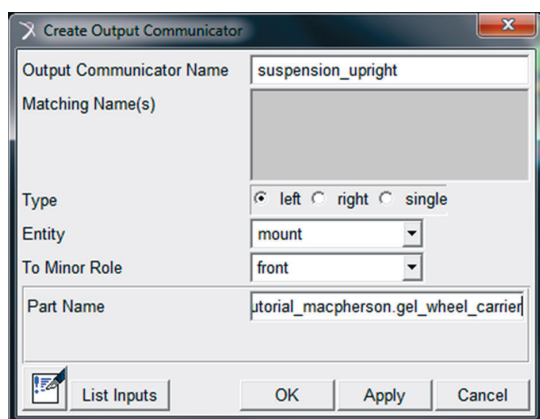


Figura 4.81 – Criação do *Communicator* “*suspension\_upright*”.

A Figura 4.82 ilustra a criação do *communicator* “wheel\_center”. Clique em OK.

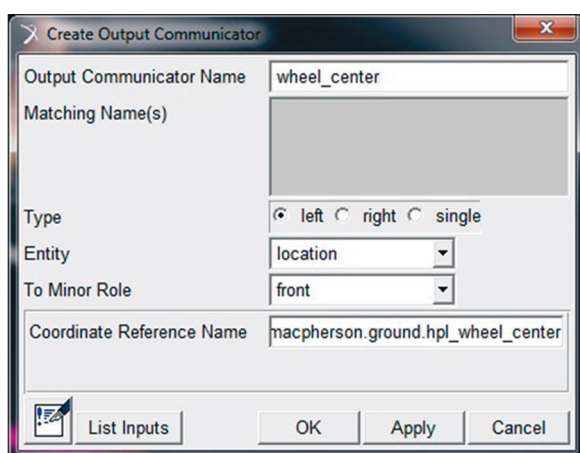


Figura 4.82 – Criação do *Communicator* “wheel\_center”.

## Etapa 18 – Criação da junta Universal (Hooke)u

*A notar:* A junta universal (junta de Cardan, ou ainda junta de Hooke) permite a transmissão de um conjugado motor, assegurando, ao mesmo tempo, um deslocamento angular entre o eixo motriz e o eixo receptor. Em suma, ela transfere o movimento de um eixo a outro com direção diferente, porém sem modificar o sentido de giro. Sua função nos automóveis é transmitir às rodas (quando forem ao mesmo tempo motrizes e diretrizes) um movimento de rotação. A extremidade de cada um dos dois eixos é terminada por um garfo; os dois garfos são ligados entre si por uma cruzeta central.



Junta universal.

Fonte: Aguamarket. Disponível em: < <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=7441&termino=Cardan> >. Acesso em: 22/04/2013

Nesta etapa, será construída a junta universal ou Hooke a qual tem como coordenada de referência o *Hardpoint* “hpl\_Strut\_Upper”.

- Acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joint* → *New* (Figura 4.83).

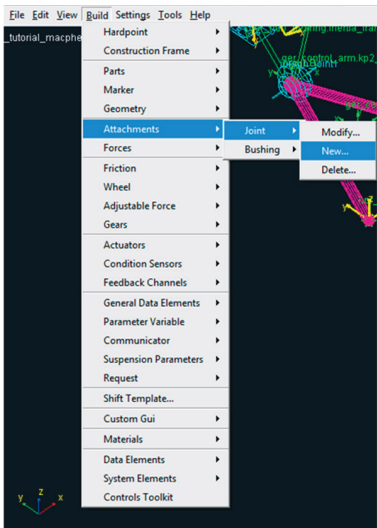


Figura 4.83 – Criando uma nova junta.

O preenchimento dos campos da janela *Create Joint Attachment* deve estar de acordo com a Figura 4.84. Note que essa junta está sendo criada entre o *General Part* “gel\_strut” e o *Mount* “mtl\_subframe\_to\_body”.

- Clique em OK.

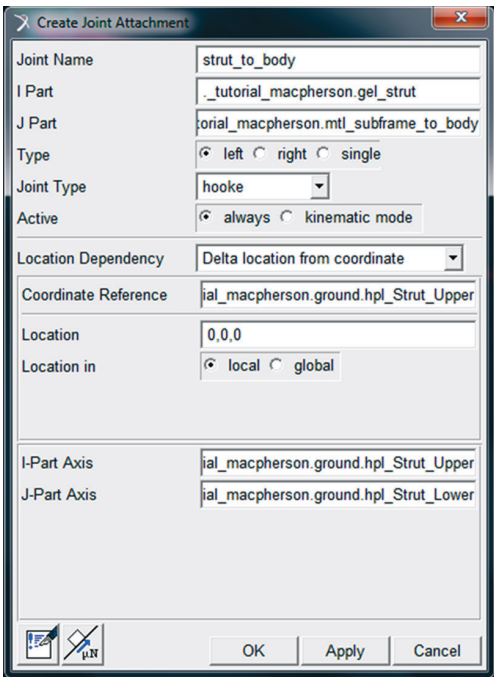


Figura 4.84 – Criação da junta *Hooke*.

A Figura 4.85 ilustra a junta *Hooke* construída.

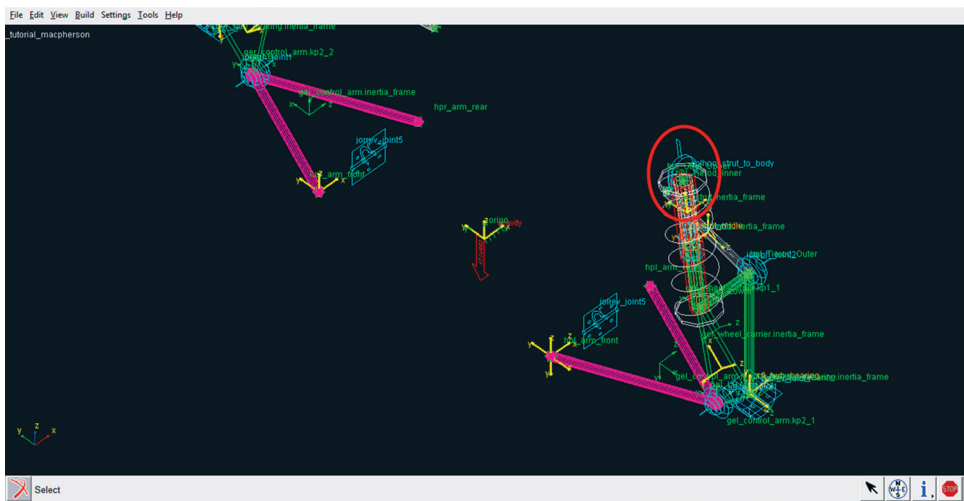


Figura 4.85 – Junta *Hooke* construída.

**Etapa 19 – Criação da junta no eixo de direção (*Convel Joint*)**

Nesta etapa, será criada uma junta do tipo *convel* no eixo de direção (*Tie rod*), a qual restringirá os movimentos desse eixo para o subsistema “Sistema de Direção”.

Primeiramente, crie um *Mount* denominado *tierod\_to\_steering*. Acesse o menu *Build* → *Parts* → *Mount* → *New* (Figura 4.86).

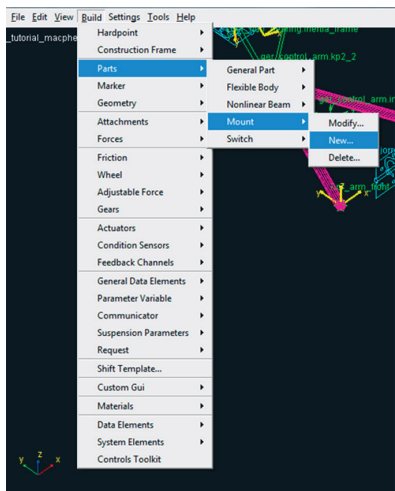


Figura 4.86 – Criando um novo *Mount*.



- Preencha os campos da janela *Create Mount Part*, conforme ilustrado na Figura 4.87. Note que ele está localizado nas coordenadas do *Hard-point hpl\_Tierod\_Inner*.
- Clique em OK.

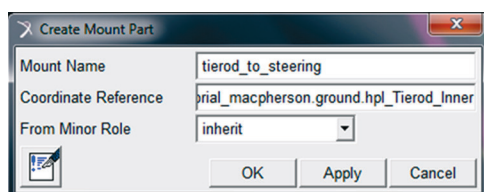


Figura 4.87 – Criação do *Mount* “tierod\_to\_steering”.

A Figura 4.88 destaca o *Mount* criado.

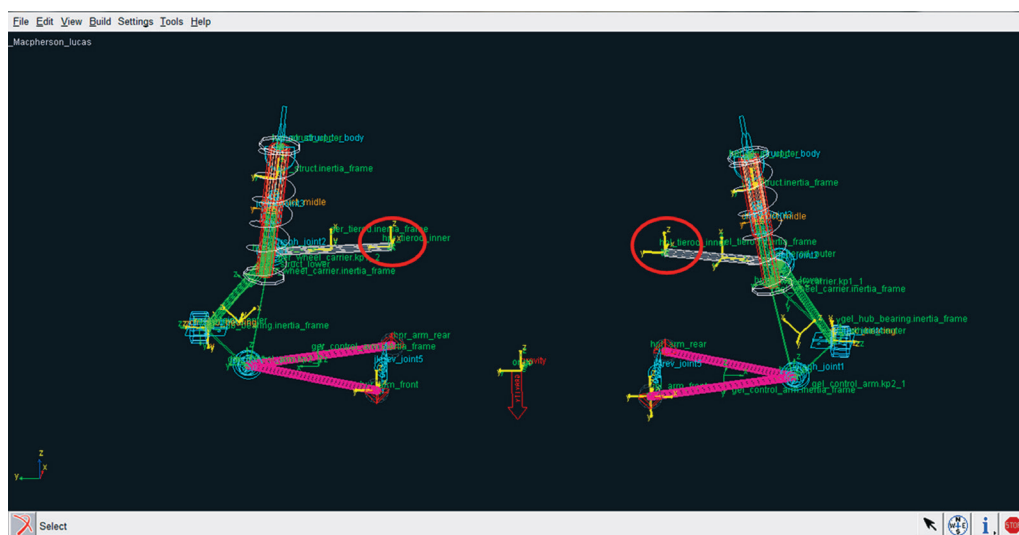


Figura 4.88 – Criação do *Mount* “tierod\_to\_steering”.

Para criar a junta no eixo de direção, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joint* → *New* (Figura 4.89).

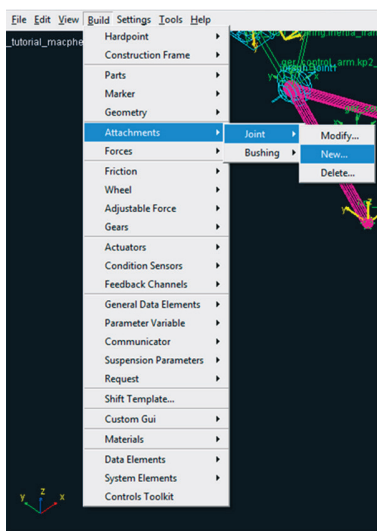


Figura 4.89 – Criando uma nova junta.

Crie a junta do tipo *convel*, conforme ilustrado na Figura 4.90. Note que essa junta é definida pelo *General Part* “gel\_tierod” e o *Mount* “mtl\_tierod\_to\_steering”. Atente para o *Hardpoint* destacado na Figura 4.90.

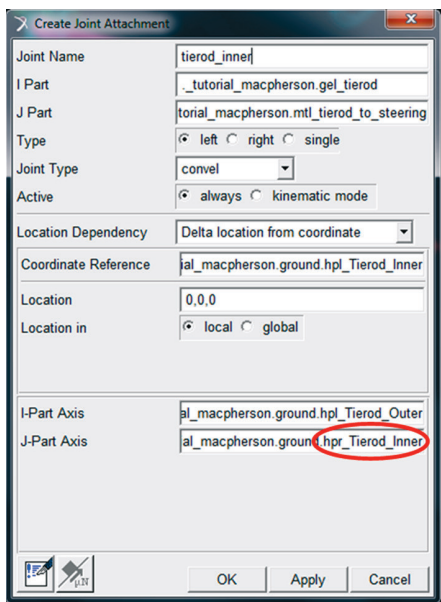


Figura 4.90 – Criando uma nova junta.

A Figura 4.91 ilustra a junta do eixo de direção construída.

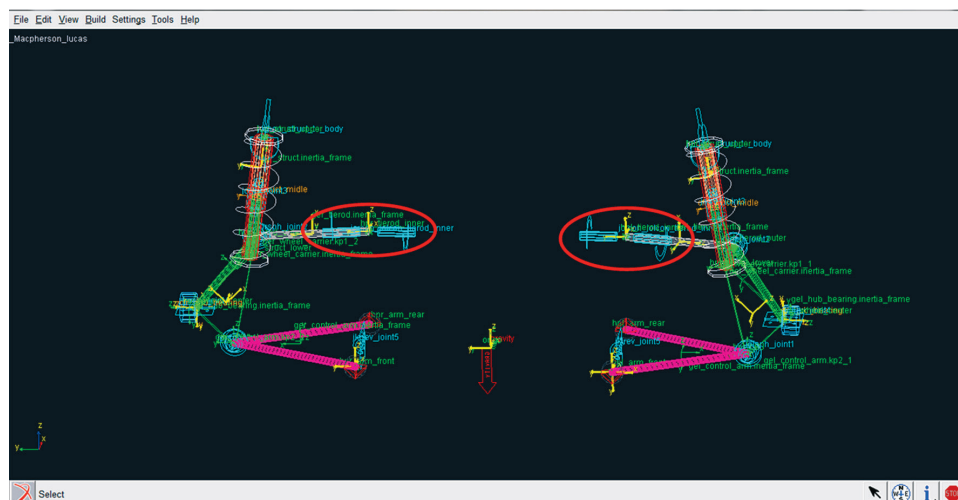


Figura 4.91 – Junta do eixo de direção construída.

### Etapa 20 – Realizando teste de compatibilidade entre *communicators*

Nesta etapa serão obtidas informações sobre os *communicators* criados, e ainda será feito um teste de compatibilidade entre estes e os *communicators* do subsistema de interesse (nesse caso, o subsistema *MDI\_Suspension\_Testrig*, o qual corresponde ao subsistema de teste da suspensão).

Para se obter informações sobre os *Communicators* criados, acesse o menu *Build* → *Communicator* → *Info* (Figura 4.92).

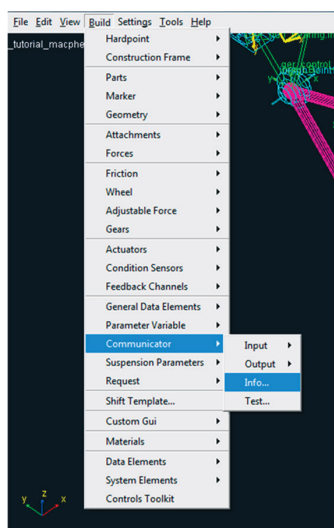


Figura 4.92 – Obtendo informações sobre os *communicators*.

A janela *Communicators Info* será aberta.

- No campo *Type*, selecione o item *All*.
- No campo *Entity* selecione o item *All*.
- Clique em *OK*.

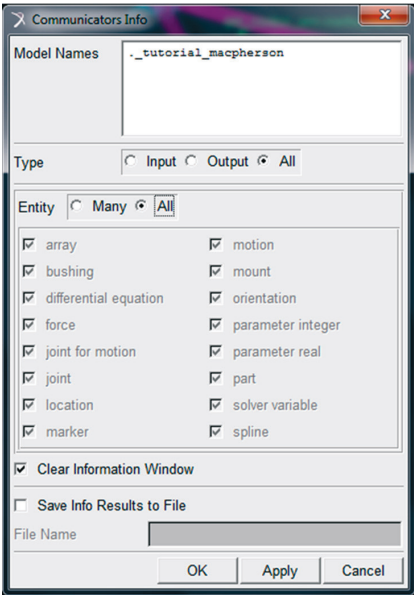


Figura 4.93 – Selecionando os tipos de *Communicators*.

A janela *Information* será aberta e, nela, constam as informações requeridas.

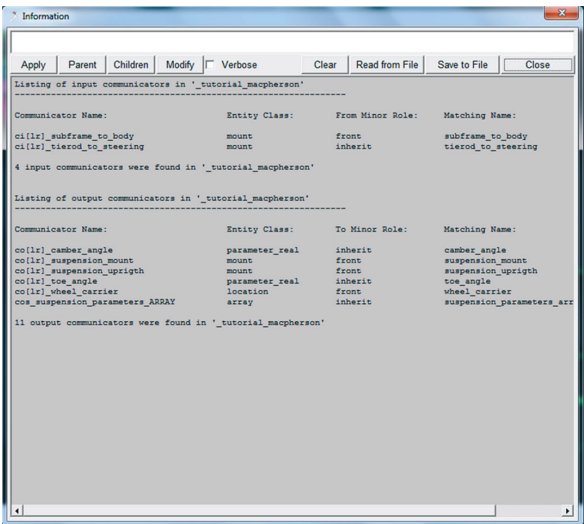


Figura 4.94 – Informações sobre os *Communicators*.

- Após análise das informações clique em *Close* nesta mesma janela.
- Para teste de compatibilidade dos *communicators* com o subsistema *MDI\_Suspension\_Testrig*, acesse o menu *Build*→*Communicator*→*Test* (Figura 4.95).

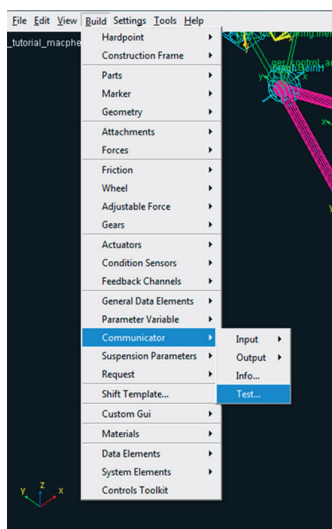


Figura 4.95 – Realizando teste de compatibilidade dos *communicators*.

- Na janela *Test Communicators*, verifique os subsistemas a serem testados. Nesse caso, observa-se na Figura 4.96 que o teste será feito entre o subsistema da suspensão em construção e do subsistema correspondente a uma plataforma de teste denominado *MDI\_Suspension\_Testrig*.
- Clique em OK.

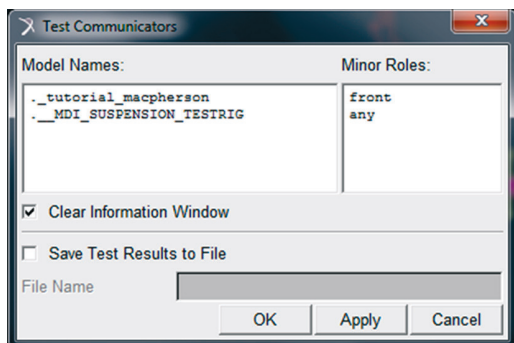


Figura 4.96 – Subsistemas a serem submetidos a teste de compatibilidade de *Communicators*.

A janela *Information* será aberta e nela é possível verificar se há algum erro de comunicação entre *communicators*, para que possam ser realizadas as correções necessárias.

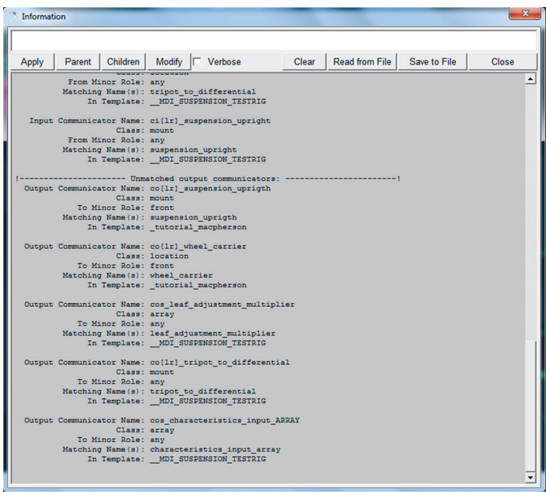


Figura 4.97 – Informação de compatibilidade dos *communicators*.

Etapa 21 – Construção das buchas (*Bushing*)

Nesta etapa, serão criadas as buchas da suspensão, totalizando três buchas. A construção da suspensão (projeto) será finalizada ao fim desta etapa.

- Para criar a primeira bucha, a qual estará localizada na mesma coordenada que o *Hardpoint* “*hpl\_arm\_front*”, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Bushing* → *New* (Figura 4.98).

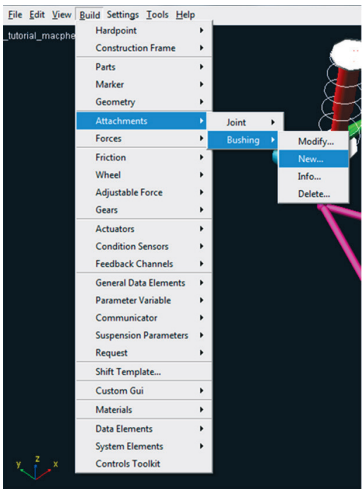


Figura 4.98 – Criando uma bucha.

- Os campos da janela *Create Bushing Attachment* deverão ser preenchidos conforme ilustrado na Figura 4.99. Note que essa bucha é criada entre o *General Part* “gel\_control\_arm” e o *Mount* “mtl\_subframe\_to\_body”. Um arquivo com as propriedades da bucha deve ser selecionado (no campo *Property File*), podendo este ser da biblioteca do software ou editado pelo usuário.
- Clique em OK.

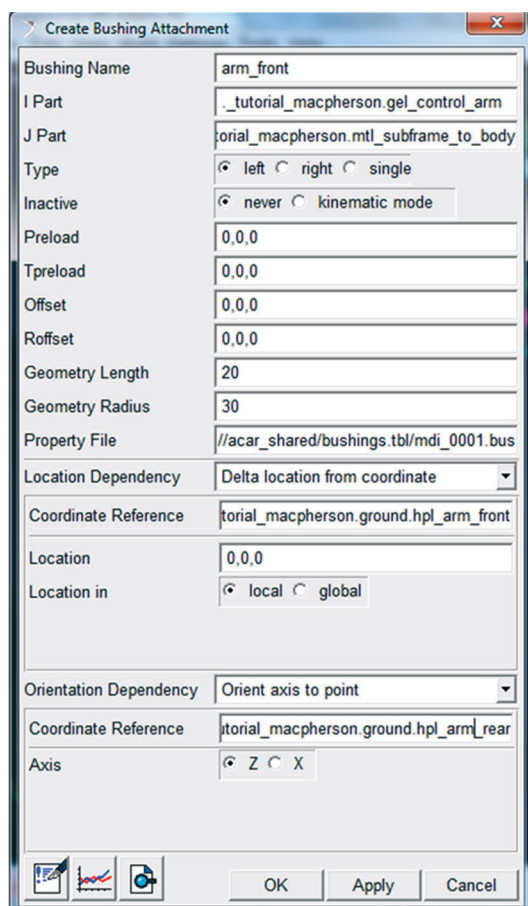


Figura 4.99 – Criação da primeira bucha.

A Figura 4.100 ilustra a bucha criada no passo anterior.

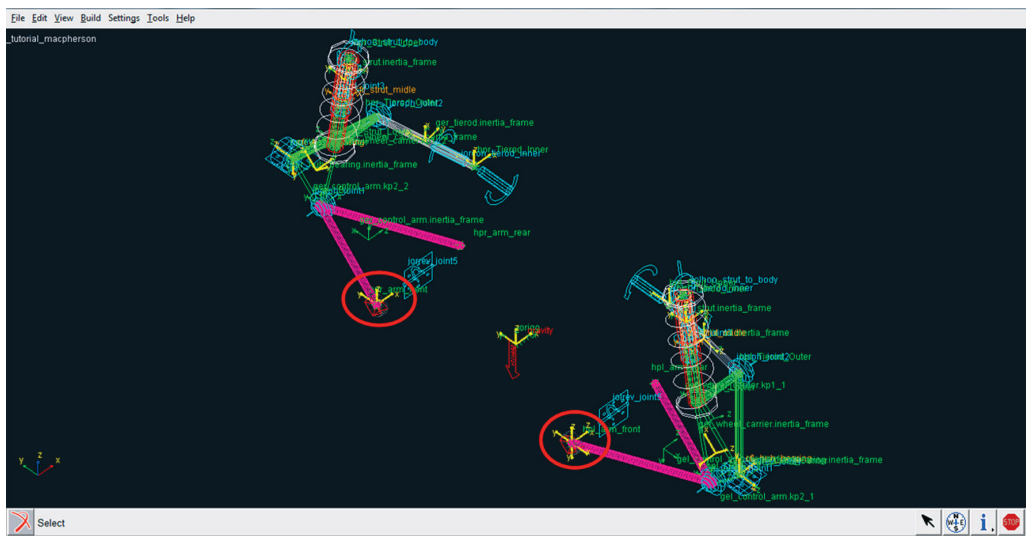


Figura 4.100 – Primeira bucha construída e inserida no modelo.

- Para construção da segunda bucha, a qual estará localizada no *Hardpoint* *hpl\_arm\_rear*, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Bushing* → *New* (Figura 4.101).

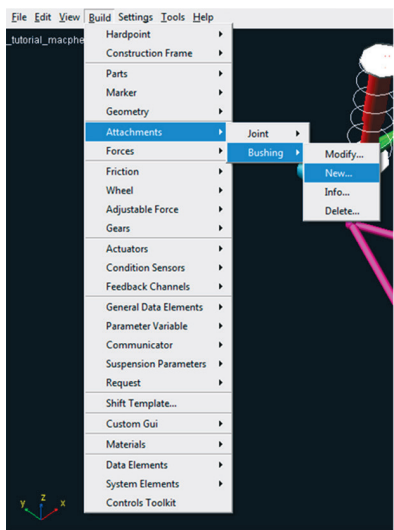


Figura 4.101 – Criando a segunda bucha.



- Preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment*, como ilustrado na Figura 4.102. Note que essa bucha também é construída entre o *General Part* “gel\_control\_arm” e o *Mount* “mtl\_subframe\_to\_body”.

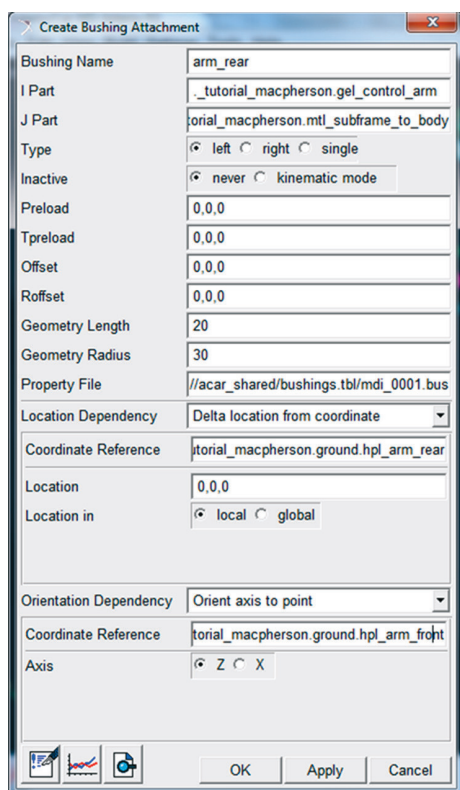


Figura 4.102 – Criação da primeira bucha.

A Figura 4.103 ilustra a segunda bucha construída.

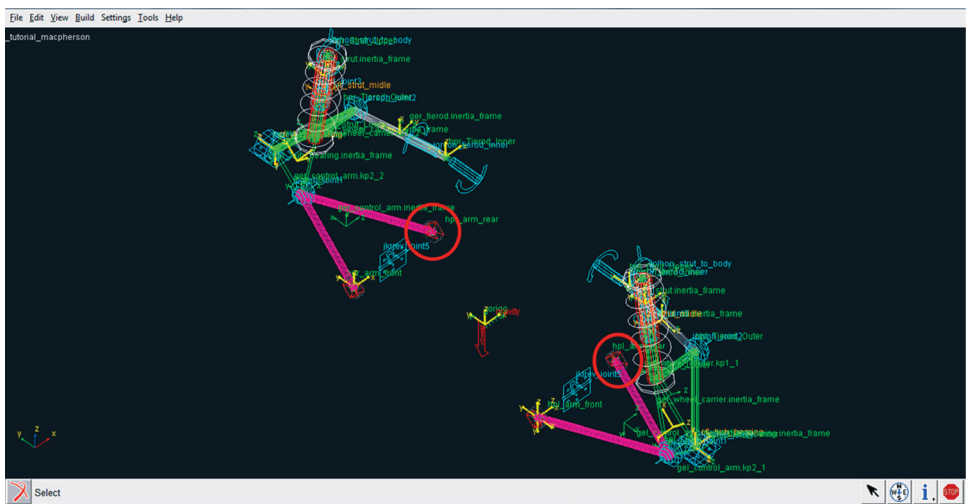


Figura 4.103 – Segunda bucha construída e inserida no modelo.

- Com a inserção dessas duas primeiras buchas, a junta revoluta *joint5* deverá ser modificada. Para isso, selecione essa junta na tela principal do software, com o botão direito do mouse (sobre a junta). Selecione a opção *Modify* (Figura 4.104).

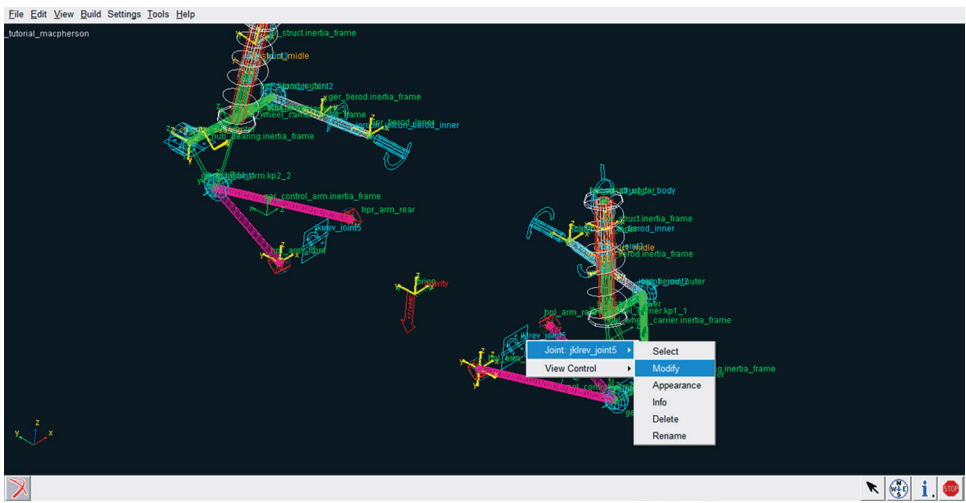
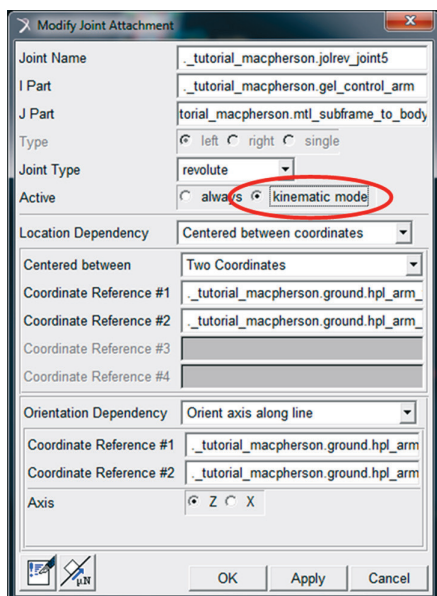


Figura 4.104 – Modificando a Junta *joint5*.

- Na janela *Modify Joint Attachment*, selecione o item *Kinematic mode* (Figura 4.105).
- Clique em OK.

Figura 4.105 – Modificação realizada na junta *joint5*.

- Para construção da terceira bucha, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Bushing* → *New* (Figura 4.106).

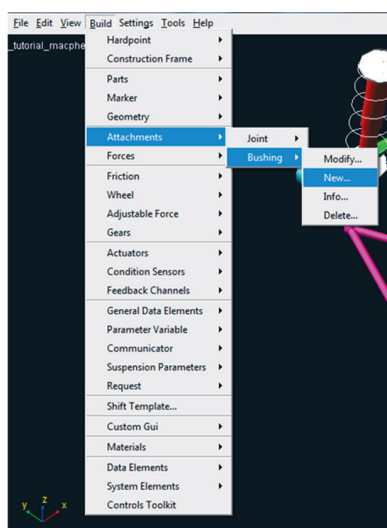


Figura 4.106 – Criando a terceira bucha.

- Preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment*, conforme mostrado na Figura 4.107. Note que essa bucha está localizada entre a suspensão e o chassi, uma vez que envolve o *General Part* “gel\_strut” e o *Mount* “mtl\_subframe\_to\_body”.
- Clique em OK.

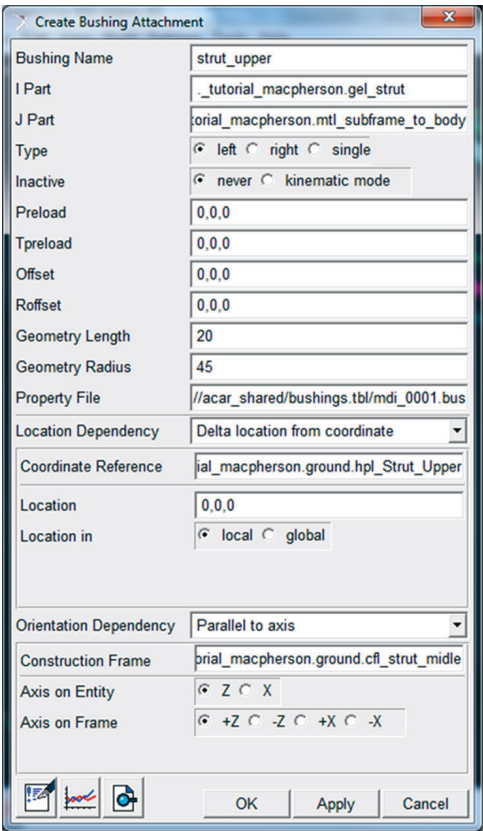


Figura 4.107 – Criação da terceira bucha.

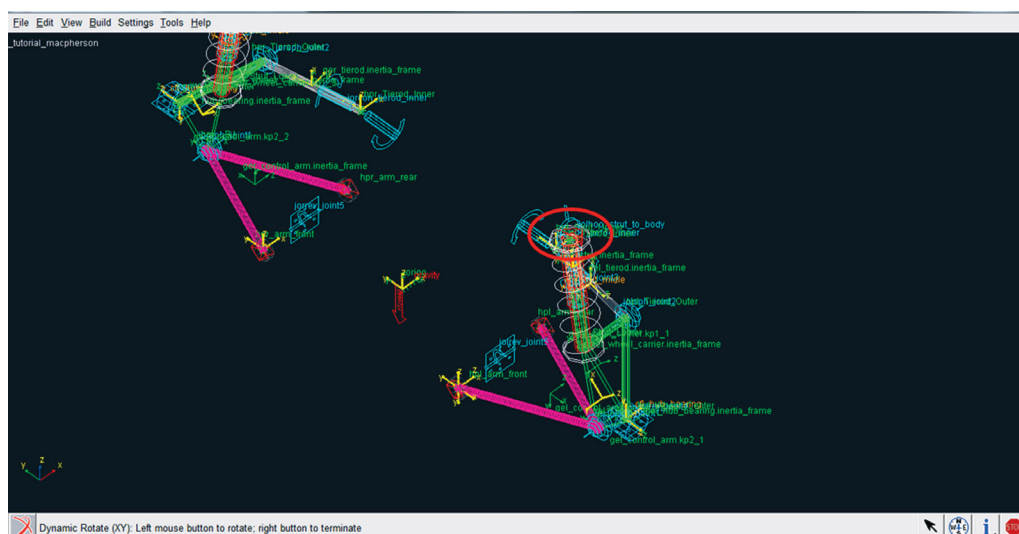


Figura 4.108 – Terceira bucha construída e inserida no modelo.

O *Template* da suspensão agora está finalizado. Aconselha-se salvar esse projeto.

Em função do usuário, o projeto pode ser salvo e aberto posteriormente, podendo ter continuidade. No entanto, quando o *Template* é aberto a partir de um arquivo salvo, comumente, o modelo aparece na tela principal sem todos os detalhes construídos, comumente vistos pelo usuário durante a construção do modelo, tais como buchas, juntas etc.

- Para que todos os detalhes construtivos estejam visíveis no modelo, clique com o botão direito do mouse em qualquer região da tela principal.
- Na janela que se abriu, clique em *Toogle Icon Visibility* (Figura 4.109).

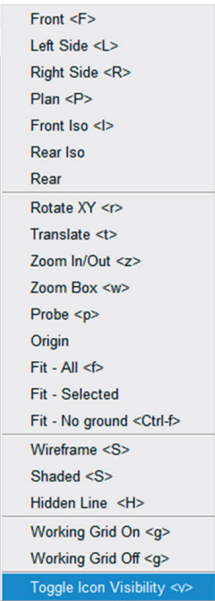


Figura 4.109 – Ativando para visualização os detalhes construtivos do modelo.

**Etapa 22 – Criação do subsistema (*Subsystem*)**

Uma vez concluído o projeto da suspensão (*Template*), se faz necessária a criação do subsistema da suspensão (*Subsystem*) para que possam ser realizadas simulações no modelo criado.

- Ainda na tela principal do *Template*, salve-o e pressione a tecla *F9* do teclado. Essa ação resulta na transferência para o ambiente *standard* do ADAMS/Car (destacado na Figura 4.110). A Figura 4.110 ilustra a interface resultante.

***A notar:** Para alternar do modo Template para o Standard ou vice versa, clique no menu Tools e em seguida em ADAMS/Car Template Builder (caso necessite ir para o Template) ou selecione Adams Standard Car Interface (caso necessite ir para o Standard). Uma forma mais rápida (atalho) é utilizar a tecla “F9” para alternar entre as interfaces.*

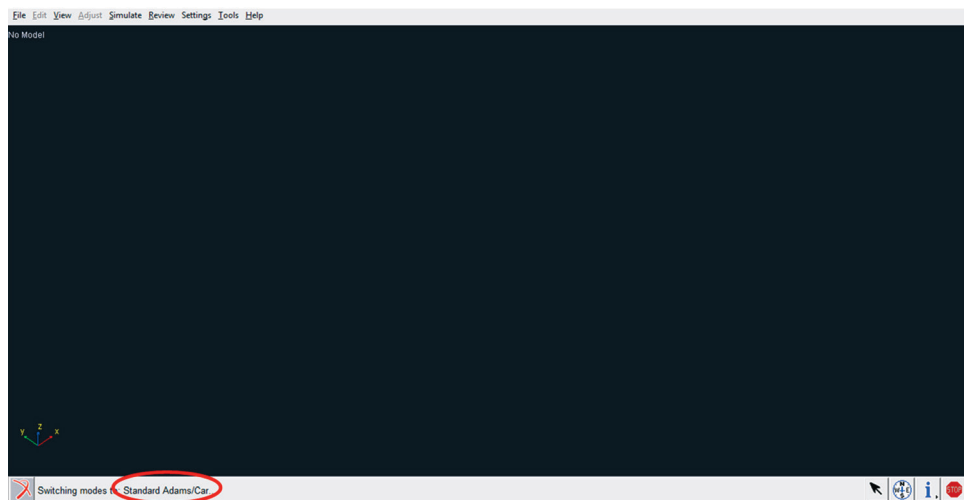
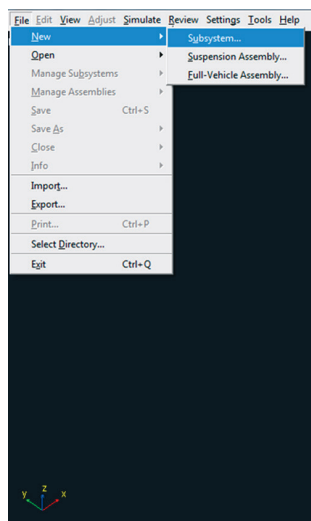


Figura 4.110 – Interface do modo Standard.

- Para criar o *subsystem*, acesse o menu *File* → *New* → *Subsystem* (Figura 4.111).

Figura 4.111 – Criando o *Subsystem*.

- Preencher os campos da janela *New Subsystem*, conforme ilustrado na Figura 4.112. Note que, como o projeto se trata de uma suspensão dianteira o campo *Minor Role*, deverá estar selecionado com a opção *front*. O nome de *subsystem* pode ser o mesmo já designado no *template*.

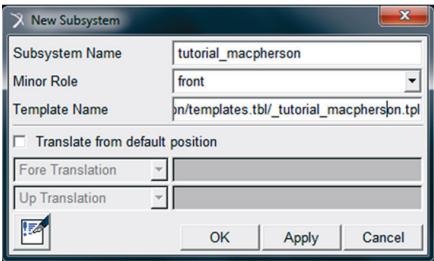


Figura 4.112 – Criação do subsistema.

Caso o *Template* esteja aberto, a janela ilustrada na Figura 4.113 será aberta. Para confirmar, clique em *Yes*.

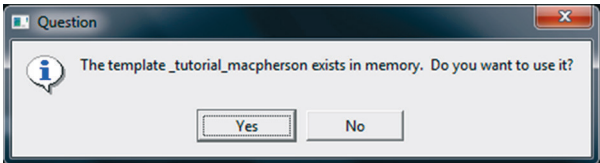


Figura 4.113 – Confirmação de utilização do *Template* em execução.

A Figura 4.114 ilustra o *Subsystem* criado.

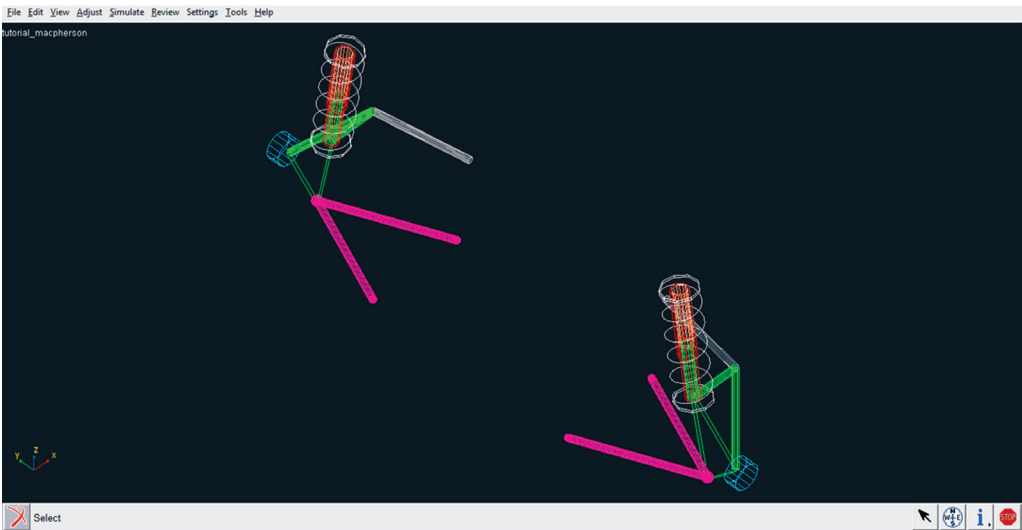


Figura 4.114 – Subsistema da suspensão.



Salve o subsistema, conforme ilustrado na Figura 4.115.

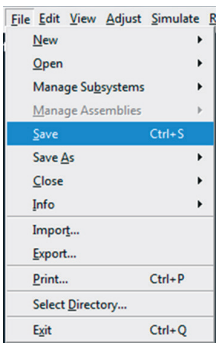


Figura 4.115 – Salvando o subsistema suspensão.

### Etapa 23 – Criação do Assembly

Nesta etapa, será criado o *Assembly*, o qual é uma hierarquia definida após o subsistema. O *Assembly* representa uma montagem entre subsistemas e, no ADAMS/Car, pode ser escolhido entre as seguintes opções: *Suspension Assembly* ou *Full-Vehicle Assembly*. Como, neste caso, a simulação será realizada apenas com o subsistema suspensão e uma plataforma de testes, a primeira opção será escolhida.

- Ainda na tela onde foi criado o subsistema da suspensão, acesse o menu *File* → *New* → *Suspension Assembly* (Figura 4.116).

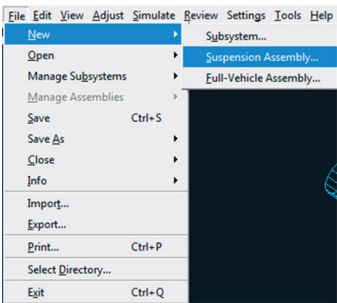


Figura 4.116 – Criando um Assembly.

- A Figura 4.117 ilustra o preenchimento da janela *New Suspension Assembly*. Atribua um nome ao *Assembly*, no primeiro campo, este deve ser diferente do nome atribuído ao *Subsystem*. Selecione o subsistema de interesse (segundo campo). No campo *Suspension Test Rig*, a opção *\_MDI\_SUSPENSION\_TESTRIG* deve estar selecionada, a qual corresponde à plataforma de teste a ser utilizada nas simulações. Caso deseje incluir outros subsistemas na simulação, selecione o item *Other Subsystems*.

- Clique em OK.

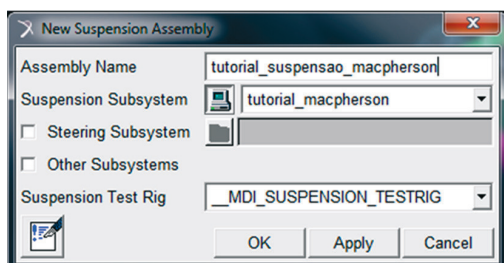


Figura 4.117 – Criação do *Assembly*.

- A janela ilustrada na Figura 4.118 será aberta, confirmando a criação do *Assembly*. Essa mesma janela poderá fornecer informação de algum erro durante a criação deste para possíveis correções no modelo.

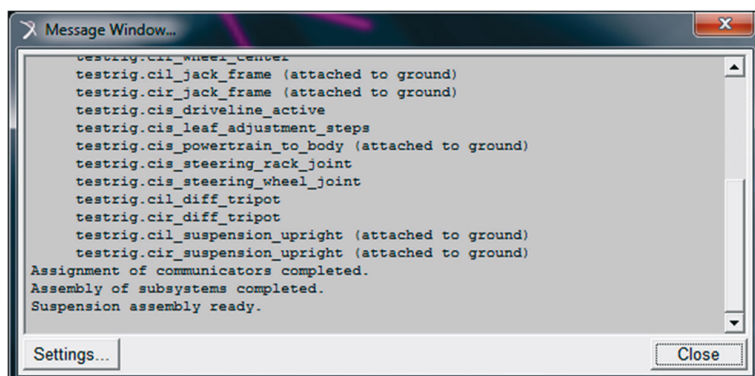
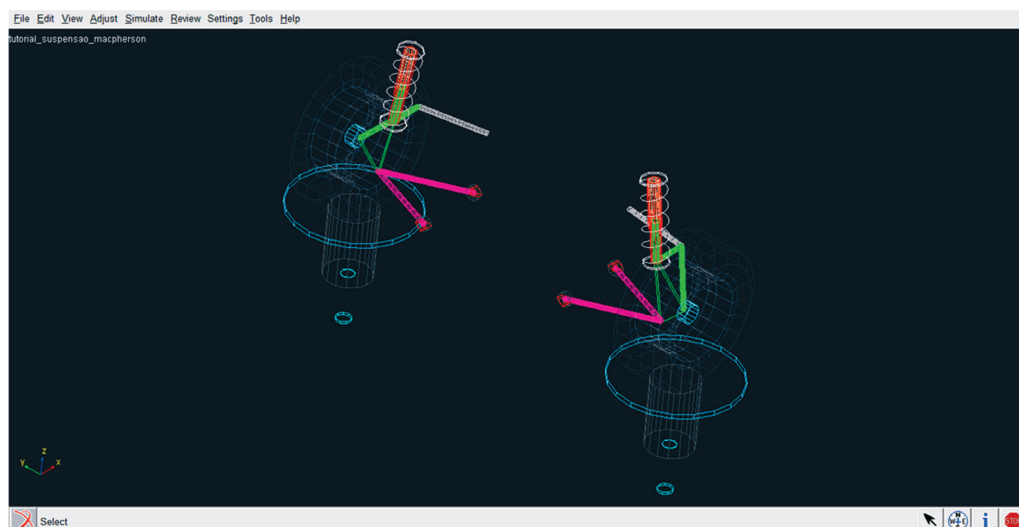


Figura 4.118 – Confirmação de criação do *Assembly*.

A Figura 4.119 ilustra o *Assembly* construído.

Figura 4.119 – *Assembly* construído.

### Etapa 24 – Simulação

Nesta etapa, será realizada a simulação do *Assembly*.

- Primeiramente, defina o diretório para armazenar os resultados gerados na simulação. Acesse o menu *File* → *Select directory* (Figura 4.120).

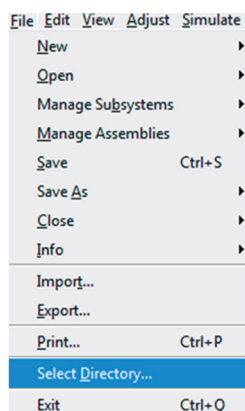


Figura 4.120 – Selecionando diretório para simulações.

- Selecione o diretório de interesse (Figura 4.121).
- Clique em *OK*.

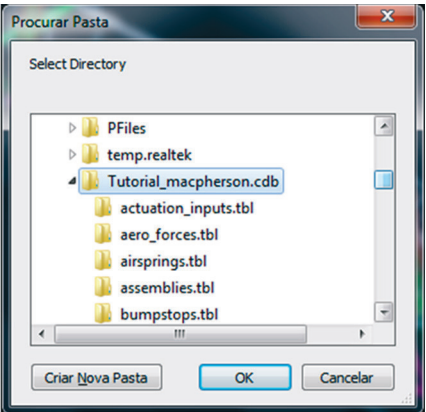


Figura 4.121 – Diretório selecionado para as simulações.

- A simulação aqui proposta corresponde a uma solicitação vertical e paralela na suspensão (*left e right*). Ela permite analisar as características da suspensão durante todo seu curso vertical. Para isso, acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *Parallel Wheel Travel* (Figura 4.122).

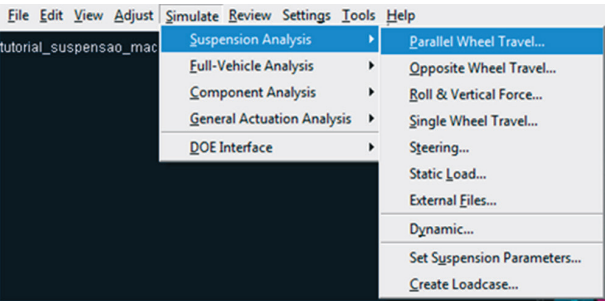


Figura 4.122 – Selecionando o tipo de simulação.

- Os parâmetros de simulação devem ser definidos na janela *Suspension Analysis: Parallel Travel*, conforme ilustrado na Figura 4.123. Note que, na simulação proposta, o percurso total corresponde a 100 mm (50 mm no sentido positivo, ou *Bump* e 50 mm no sentido negativo, *Rebound*).
- Clique em OK.

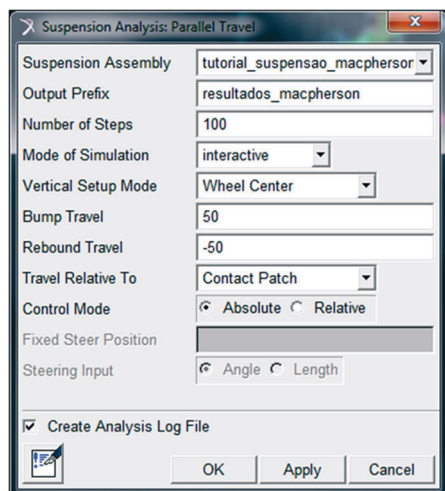


Figura 4.123 – Definindo os parâmetros de simulação.

A Figura 4.124 ilustra que a simulação foi executada.

- Clique em *Close*.

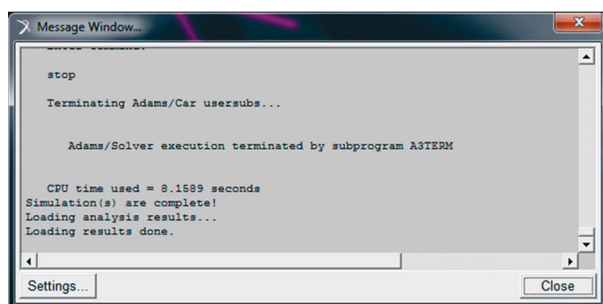


Figura 4.124 – Caixa de diálogo informando que a simulação foi executada.

## Etapa 25 – Animação dos resultados

Nesta etapa, o modelo da suspensão será animado, conforme a simulação proposta.

- Acesse o menu *Review* → *Animation Controls* (Figura 4.125).

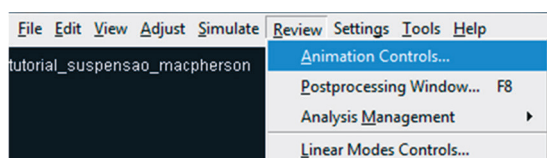



Figura 4.125 – Animando o modelo da suspensão.

- Na janela *Animation Controls*, preencha os campos, conforme ilustrado na Figura 4.126. O usuário pode definir os parâmetros de animação de acordo com sua preferência, ou seja, permitindo uma animação lenta ou rápida. Segue, como sugestão, os parâmetros descritos na Figura 4.126.
- Para inicializar a animação clique em .

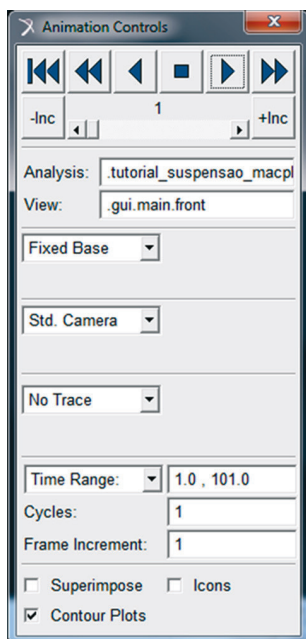


Figura 4.126 – Definição dos parâmetros de animação.

Para melhor visualização do modelo da suspensão durante a animação, o usuário pode optar pelo modo *Shaded*. Para isto, ao terminar a animação, clique com o botão direito do mouse na área de trabalho principal e selecione *Shaded <S>* (Figura 4.127).

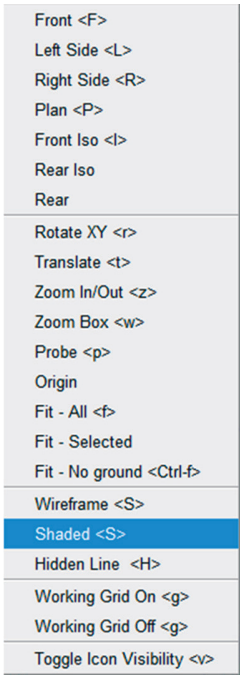



Figura 4.127 – Modo de visualização *Shaded*.

A Figura 4.128 ilustra como o modelo será apresentado na tela principal. A animação pode ser recomeçada selecionando-se o item .

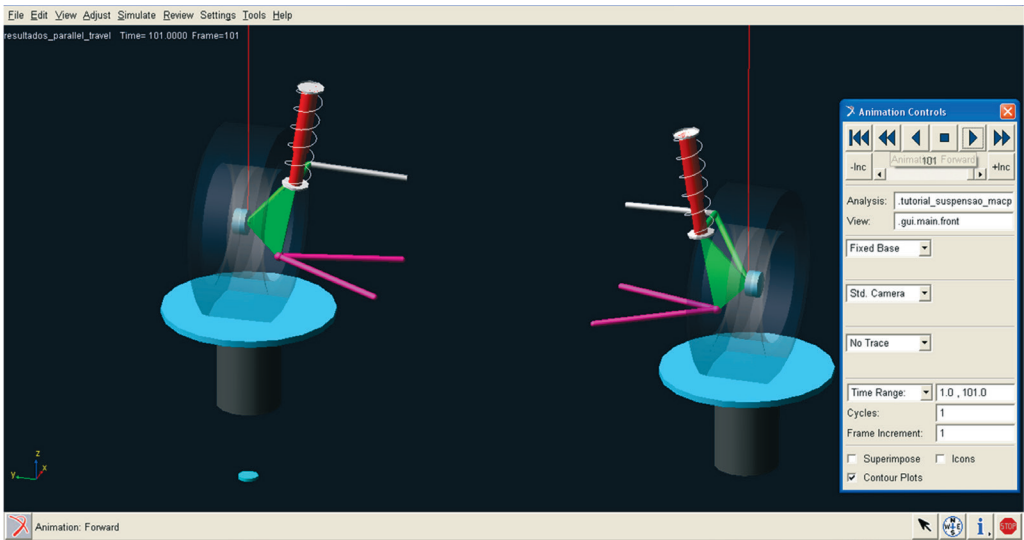


Figura 4.128 – Animação sendo executada.

**Etapa 26 – Definindo sensores virtuais (*Requests*)**

Nesta etapa, será possível definir a nível de exemplo sensores virtuais de medições no modelo proposto. Estes podem ser definidos na posição de interesse do usuário. No entanto, para criar esses *Requests* é necessário que o usuário retorne para o modo *Expert*.

Fica a critério do usuário explorar a ferramenta *Requests* e analisar os resultados gerados. A proposta desta etapa é apenas auxiliá-lo na utilização da ferramenta e mostrar suas potencialidades.

- Selecione a tecla F9. Isso o fará retornar à interface *Expert*.
- Acesse o menu *Build* → *Request* → *New* (Figura 4.129).

*A notar:* Note que, para definir os *Requests*, é necessário ter, no modelo, os *Markers* já definidos, os quais são pontos criados estrategicamente para definir o *Request*. Para definir um *Marker* o usuário de acessar o menu *Build* → *Marker* → *New*. Ex.: Cria-se dois *Markers* em pontos específicos da suspensão. Ao criar o *Request* que fornecerá deslocamento, o software solicitará a informação entre quais *Markers* o software calculará este deslocamento, e isto será delimitado pelos *Markers* existentes.

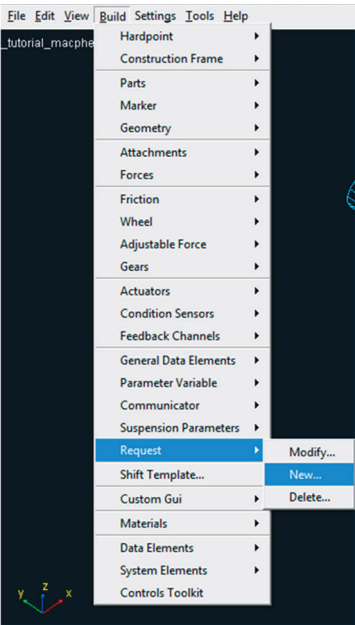



Figura 4.129 – Criando um novo *Request*.



- A janela *Create Request* será aberta, conforme ilustra a Figura 4.130. O nome do *Request* deve ser definido no primeiro campo. Para especificar o tipo de sensor (deslocamento, velocidade e aceleração, entre outros), clique no ícone , no campo disponível em branco. No caso da Figura 4.130 esse campo corresponde ao indicado por F2.

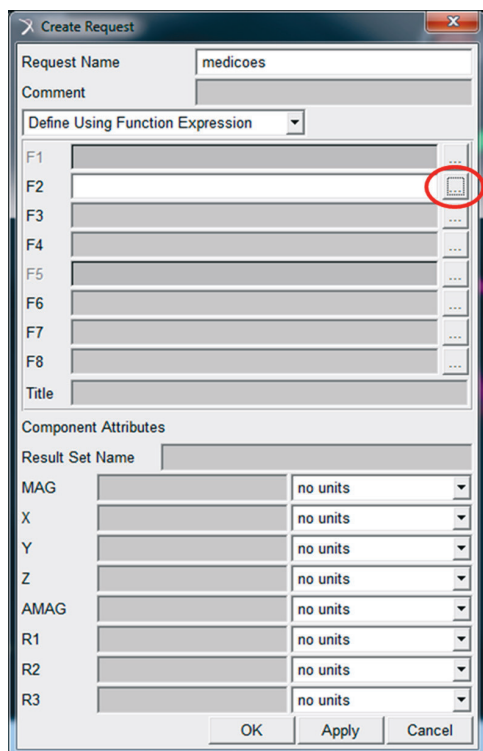


Figura 4.130 – Definindo propriedades do Request.

- A janela *Function Builder* será aberta, conforme ilustrado na Figura 4.131.
- Selecione o tipo de parâmetro a ser medido, selecionando o item desejado no campo 1, como destacado na Figura 4.131.
- Selecione o item de interesse como ilustrado no campo 2 (Figura 4.131). A seleção do item *Distance Magnitude* no campo 2 resultará na abertura da caixa de diálogo *Distance Magnitude*, na qual se define os *Markers* (Figura 4.131).
- Para inserir detalhes do *Request* especificado clique no campo 3 (Figura 4.131).

Clique em *OK*.

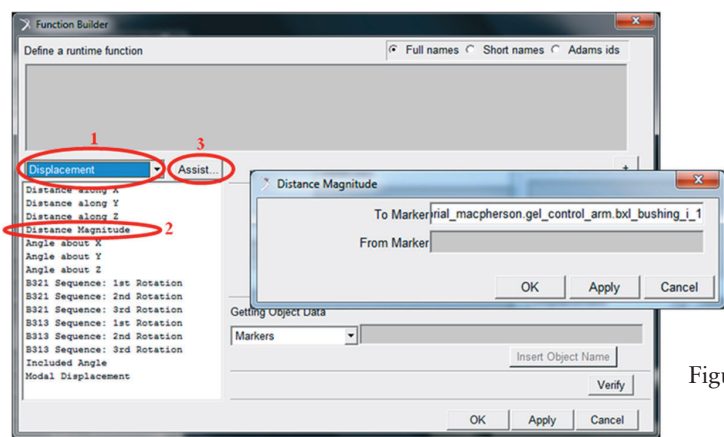


Figura 4.131 – Especificando o Request.

- Ao retornar à janela *Create Request*, informações complementares devem ser preenchidas nos campo *Component Attributes*, conforme destacado na Figura 4.132.
- Clique em OK.

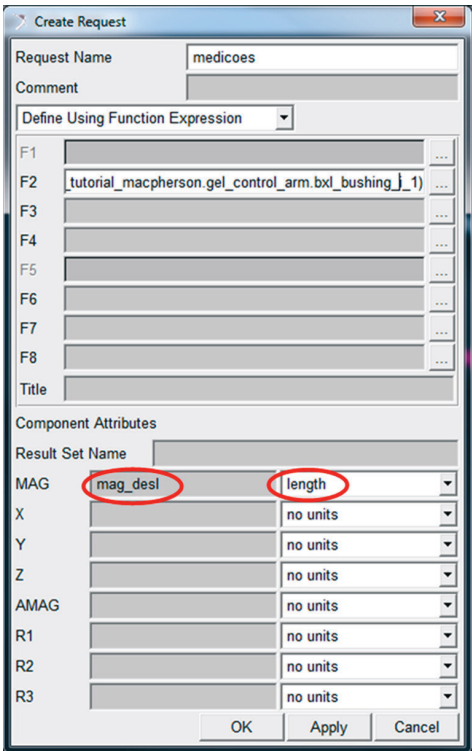


Figura 4.132 – Criação do Request.

Na próxima etapa a suspensão modelada será acoplada ao subsistema direção para que possam ser realizadas simulações.

### **Etapa 27 – Construção do *Assembly*: Suspensão *Macpherson*/Sistema de Direção**

Esta etapa parte da premissa que o usuário possui o *Template* da suspensão (desenvolvido anteriormente) armazenado em seu banco de dados e este já se encontra aberto no software ADAMS/Car.

A partir do *Template* da suspensão criada anteriormente define-se o subsistema (*Subsystem*) “suspensão”. O *Assembly* será criado acoplando este último ao subsistema “sistema de direção” (disponível na própria biblioteca do ADAMS/Car). A Figura 4.133 ilustra a *Assembly* a ser criada a partir desta etapa.

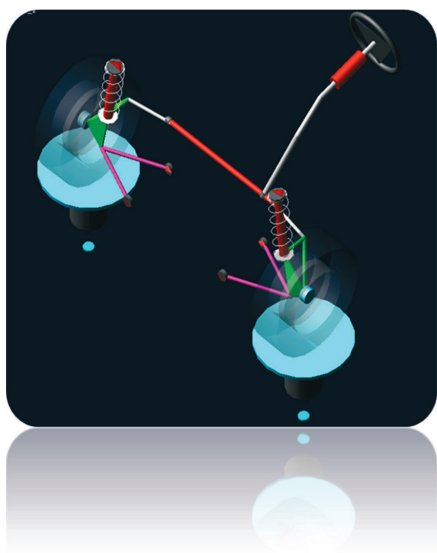


Figura 4.133 – Assembly Suspensão–Sistema de Direção.

- Para criar o *Subsystem* da suspensão verifique se o ADAMS/Car encontra-se na interface *Standard*.
- Acesse o menu *File* → *New* → *Subsystem*.
- A Figura 4.134 ilustra o preenchimento dos campos da caixa de diálogo que será aberta. No campo *Minor Role*, selecione *front*, caracterizando, portanto, uma suspensão dianteira. No campo *Template Name*, selecione o arquivo (extensão *.tpl*) correspondente à suspensão *Macpherson*, criada nos passos anteriores (finalizado na Etapa 21). Certifique-se que

a opção *Translate from default position* está selecionada. No campo *Up translation*, informe que será necessário uma translação de 50 mm para que esse *Subsystem* acople corretamente no sistema de direção.

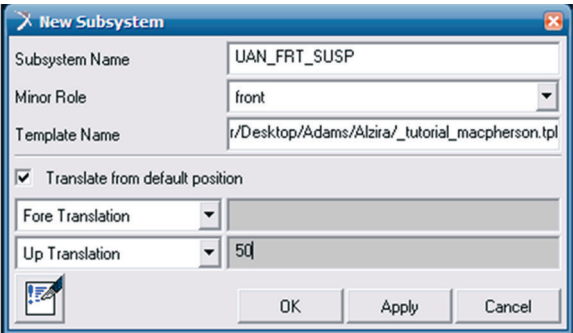



Figura 4.134 – Criando o Subsystem da suspensão.

- Para adicionar comentários sobre o subsistema a ser criado, selecione o ícone . A caixa de diálogo *Modify Comment* será aberta, conforme ilustrado na Figura 4.135, e o texto deverá ser inserido no campo *Comment Text*.

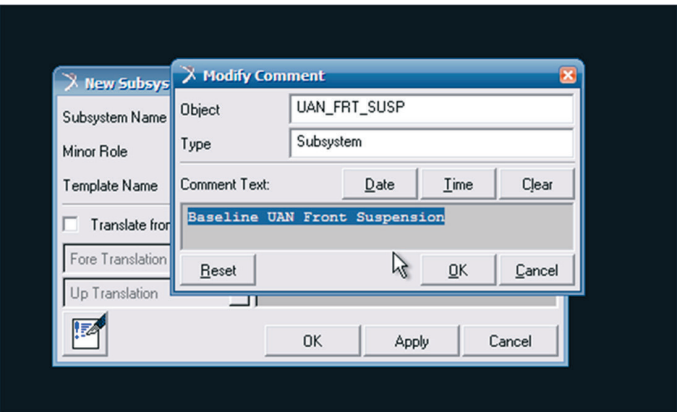


Figura 4.135 – Inserindo comentário no subsistema da suspensão.

- Selecione a opção *OK* para confirmar as informações em ambas as janelas.

A Figura 4.136 mostra o subsistema referente à suspensão Macpherson.

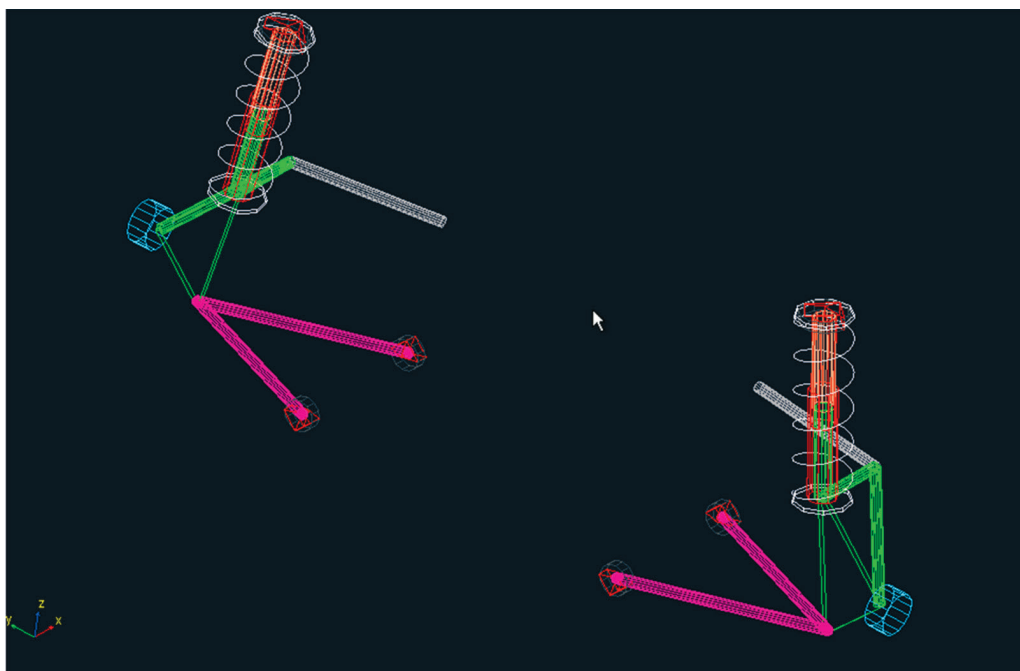


Figura 4.136 – Subsystem criado utilizando o Template da suspensão MacPherson.

- Salve o *subsystem* criado em *File* → *Save*.
- Para construção do *Assembly*, acesse o menu *File* → *New* → *Suspension Assembly*.
- Preencha os campos da caixa de diálogo *New Suspension Assembly* conforme ilustrado na Figura 4.137. No campo *Suspension Subsystem*, selecione o subsistema correspondente à suspensão *Macpherson* definido nos passos anteriores. Selecione o item *Steering Subsystem*, e então defina o arquivo *.tbl* (extensão utilizada para o *subsystem*) de interesse. Como será utilizado um *subsystem* da biblioteca da ADAMS/Car, para selecioná-lo, clique com o botão direito do mouse no campo em amarelo, selecione a opção *Search* e então selecione *<acar\_shared>/subsystems.tbl*. Selecione o subsistema denominado *MDI\_FRONT\_STEERING.sub*.

A Figura 4.138 ilustra a aparência final da caixa de diálogo *New Suspension Assembly* para criação do *Assembly*.

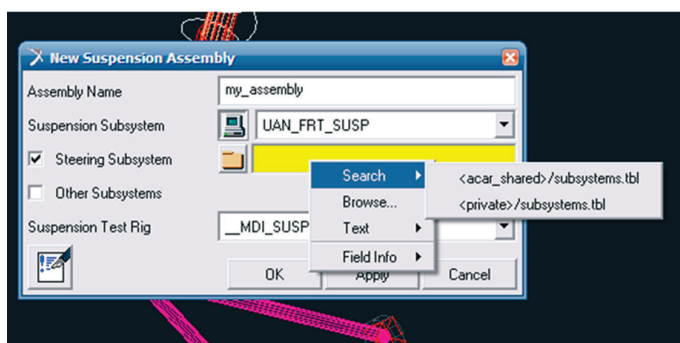


Figura 4.137 – Definindo o *Assembly*.

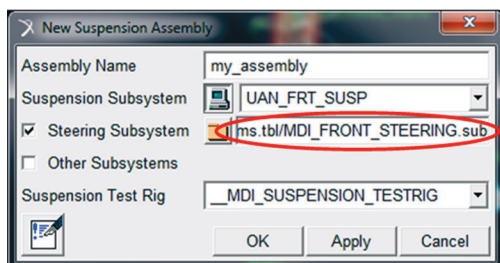


Figura 4.138 – Definição do *Assembly*.

- Clique em OK.

A Figura 4.139 ilustra a construção do *Assembly*.

- Clique em *Close* após verificar que o *Assembly* foi gerado com sucesso. Salve o *Assembly* criado.

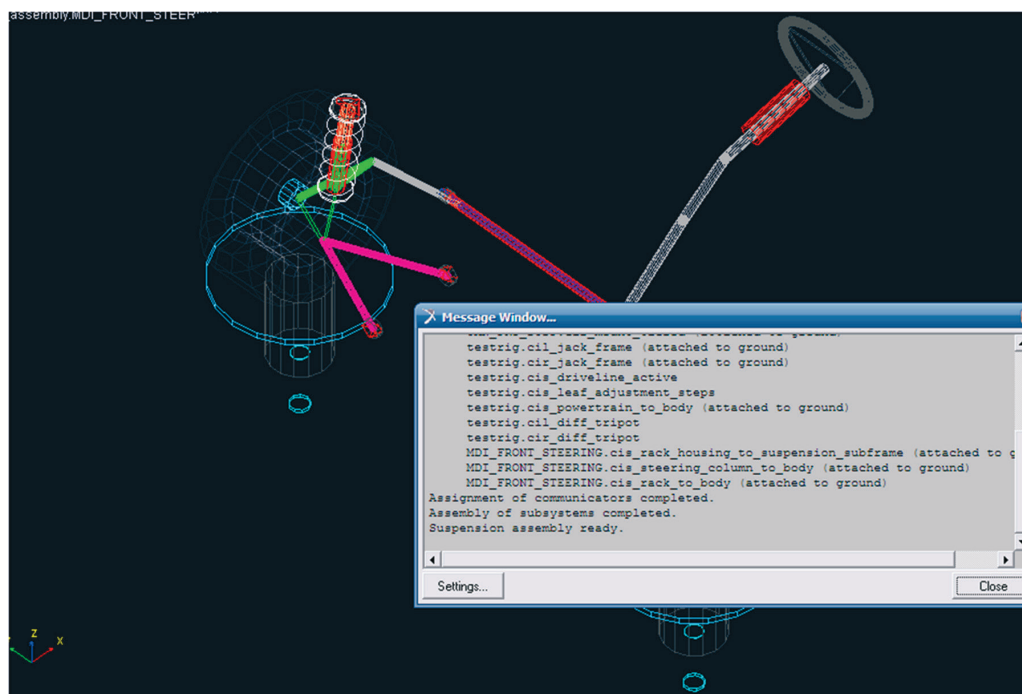


Figura 4.139 – Geração do *Assembly* na interface principal do software.

### Etapa 28 – Simulação do *Assembly*: suspensão *Macpherson*/sistema de direção

Nesta etapa será realizada uma análise do tipo *Parallel Wheel Travel* (curso paralelo das rodas) no *Assembly* gerado na Etapa 27. Para gerar a simulação são necessárias informações sobre o veículo no qual serão utilizados os subsistemas suspensão e sistema de direção.

- Para definir os parâmetros do veículo, os quais são necessários para a simulação, acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analyses* → *Set Suspension Parameters*. A janela *Suspension Analysis: Setup Parameters* será aberta e deverá ter seus campos preenchidos conforme ilustrado na Figura 4.140.

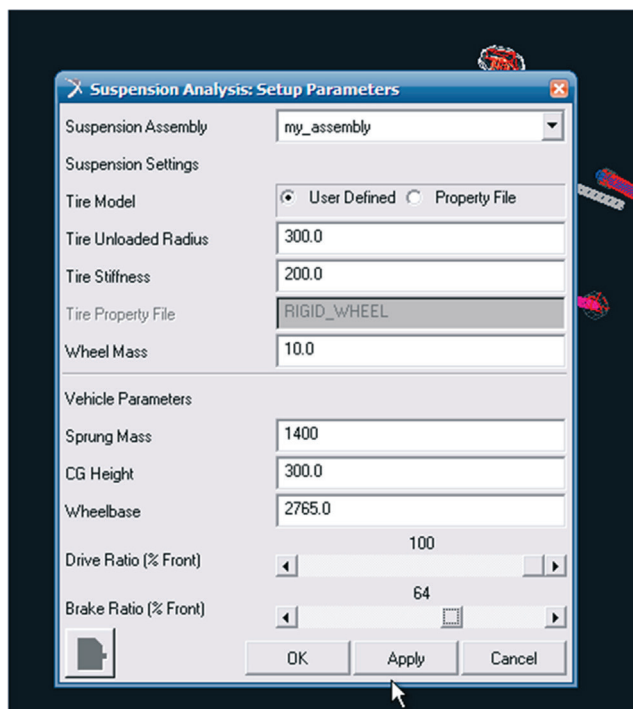


Figura 4.140 – Definindo os parâmetros da suspensão para simulação.

Observa-se na Figura 4.140 que o campo *Drive Ratio* possui valor igual a 100, ou seja, toda a força motriz está aplicada nas rodas dianteiras. Já o campo *Brake Ratio* indica a força de frenagem aplicada nos freios dianteiros.

- Clique em OK.
- Para definir os parâmetros da simulação, acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analyses* → *Parallel Wheel Travel* (Figura 4.141). Nessa simulação, o centro das rodas se irão se movimentar de – 100 mm a +100 mm em relação à sua posição inicial, mantendo, portanto, o volante fixo.



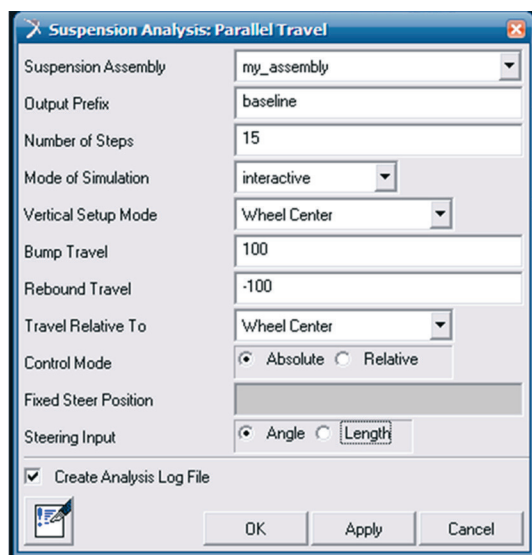



Figura 4.141 – Definindo os parâmetros da simulação.

- Selecione o ícone  para adicionar comentários.
- No campo *Comment Text*, insira o texto: *Baseline Parallel Wheel Travel Analysis*, o qual indica que o teste está sendo realizada com a suspensão padrão (*Baseline*), conforme ilustra a Figura 4.142.

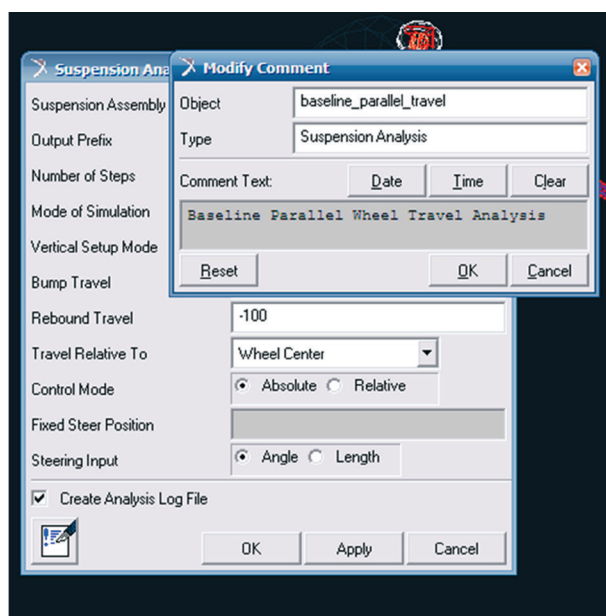


Figura 4.142 – Adicionando comentário à simulação.

- Clique em OK em ambas as janelas.

A Figura 4.143 ilustra a condição da simulação realizada.

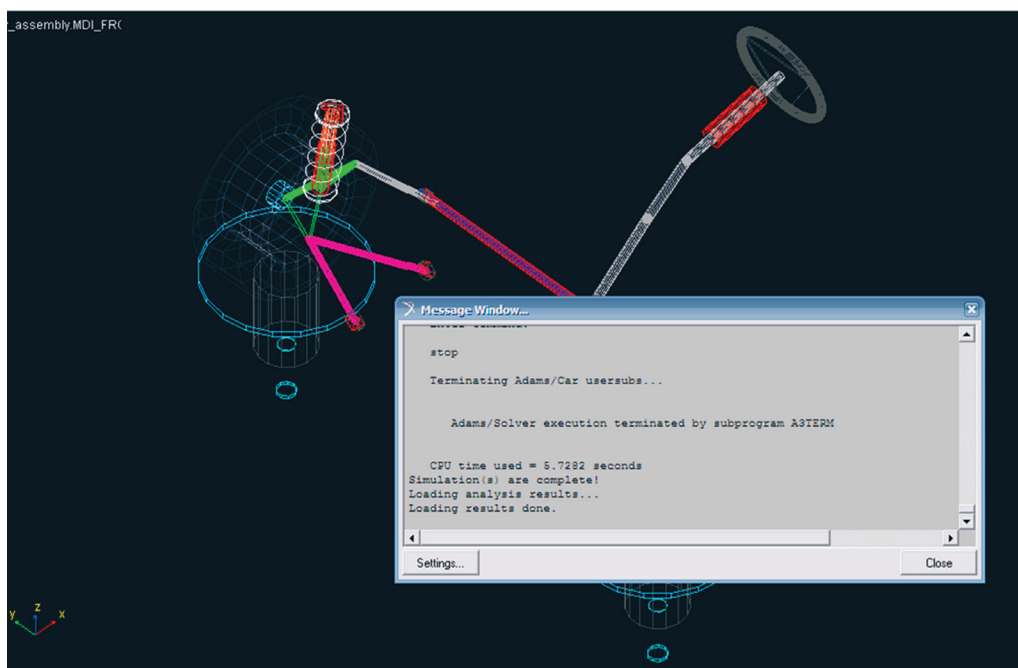



Figura 4.143 – Simulação realizada.

Caso a simulação tenha sido executada sem erros, clique na opção *Close*.

### **Etapa 29 – Animação dos resultados – *Assembly* suspensão *Macpherson*/ sistema de direção**

Nesta etapa, os resultados obtidos na etapa 28 serão animados, facilitando sua compreensão.

- Acesse o menu *Review* → *Animations Controls*.
- Preencha os campos da janela *Animation Controls*, conforme ilustrado na Figura 4.144.
- Selecione o ícone *Play* .
- Após a animação completa, feche a caixa de diálogo.

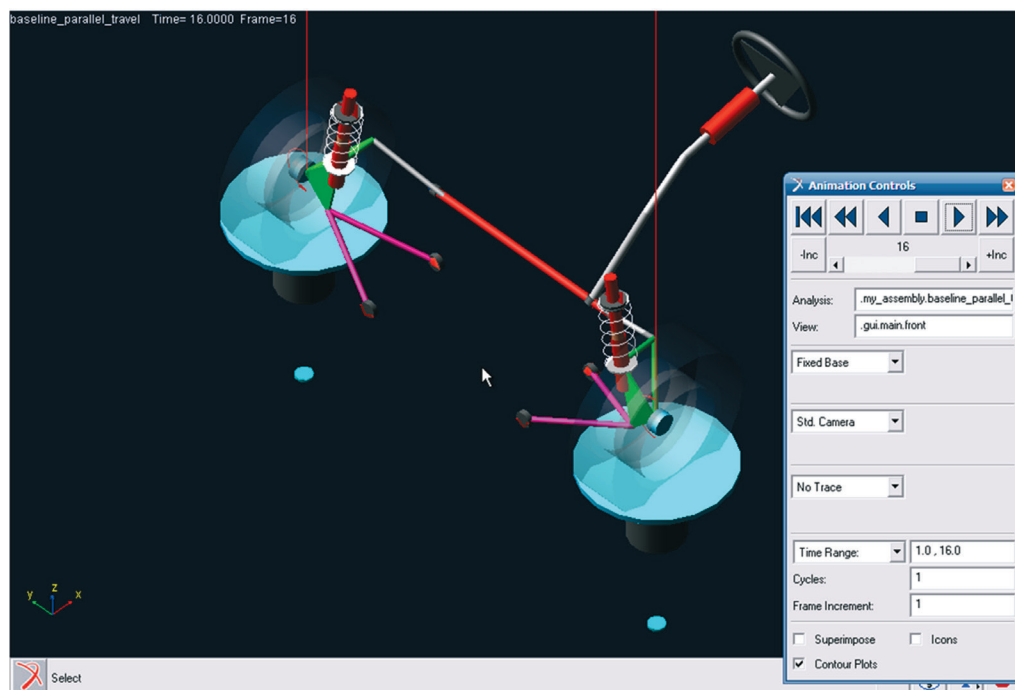


Figura 4.144 – Pannel de controle das animações.

### Etapa 30 – Verificando os resultados (*Plotting*)

Nesta etapa, os resultados serão gerados em forma de gráficos, facilitando assim sua análise.

- Menu *Review* → *Postprocessing Window*. Caso deseje, o usuário poderá utilizar o atalho correspondente à tecla F8 do teclado. A Figura 4.145 ilustra a interface *PostProcessing*.

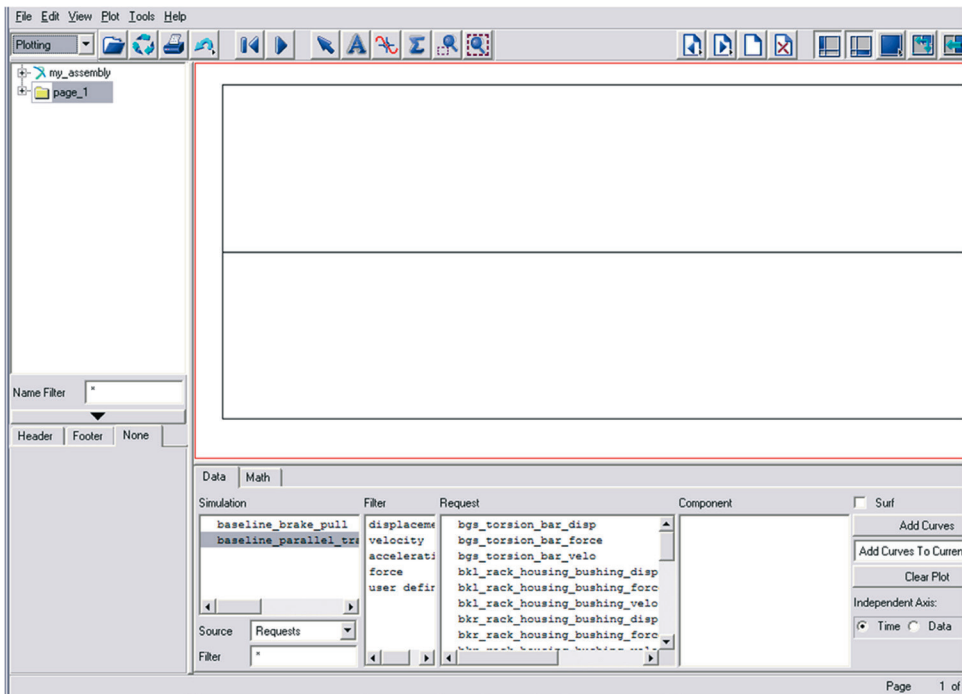


Figura 4.145 – Interface *PostProcessing*.

Para criar os gráficos, acesse o menu *Plot* → *Create Plot* (Figura 4.146).

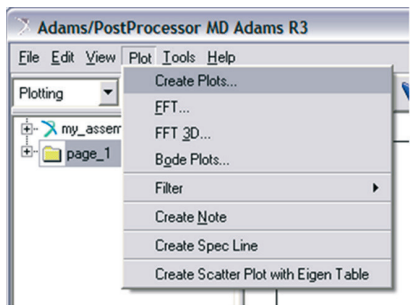


Figura 4.146 – Gerando gráficos.

A janela *File Import* será aberta.

- Selecione o tipo de arquivo: *Plot Configuration (\*.plt)*.
- O arquivo com a configuração desejada dos resultados deve ser selecionado no campo *Plot Configuration File*. Para isto, clique com o botão direito do mouse sobre esse campo, e selecione a opção mostrada na Figura 4.147.

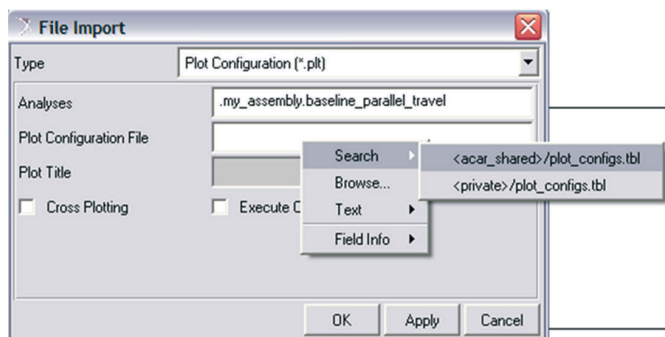


Figura 4.147 – Importando arquivos de configuração dos gráficos.

- Na biblioteca do ADAMS/Car já existem diversas opções disponíveis de configurações de gráficos. Nesse caso, como estamos interessados nos resultados do *Assembly* suspensão/sistema de direção, ou seja, de uma suspensão com esterçamento, selecione a opção *mdi\_suspension\_short.plt* (Figura 4.148).

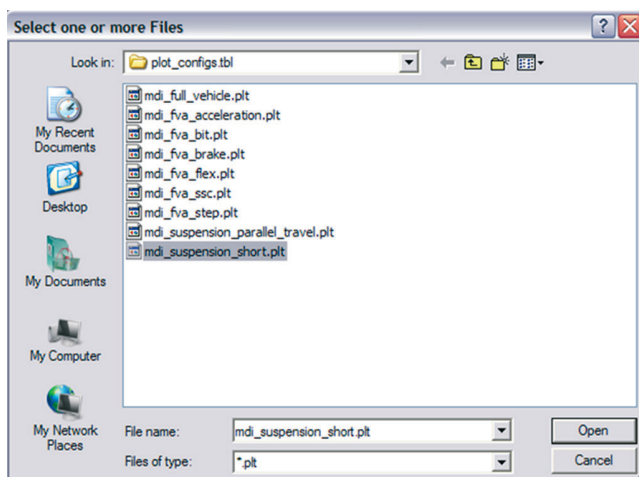


Figura 4.148 – Definindo o arquivo de configuração dos gráficos.

O arquivo *mdi\_suspension\_short.plt* gera, automaticamente, nove gráficos, sendo eles: *anti dive*, *camber angle*, *caster moment arm*, *roll camber coefficient*, *roll center height*, *roll steer*, *scrub radius*, *toe angle* e *wheel rate*.

A Figura 4.149 ilustra a janela *File Import*, após preenchimento dos campos necessários.

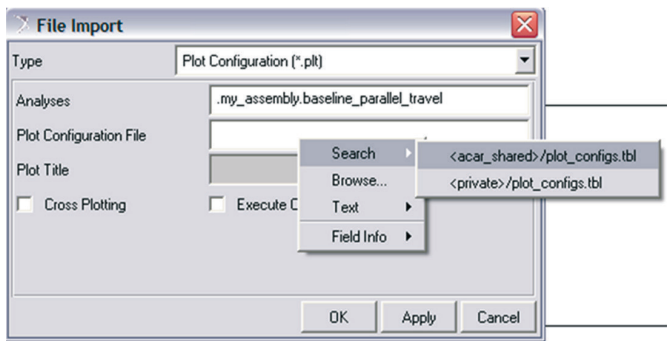




Figura 4.149 – Configuração dos gráficos definidos.

- Clique em OK.
- Para alternar entre os gráficos obtidos, selecione os ícones  .

Como exemplo, o sétimo gráfico gerado corresponde ao parâmetro *Scrub Radius* (eixo vertical) em função do curso da roda (eixo horizontal), como pode ser observado na Figura 4.150.

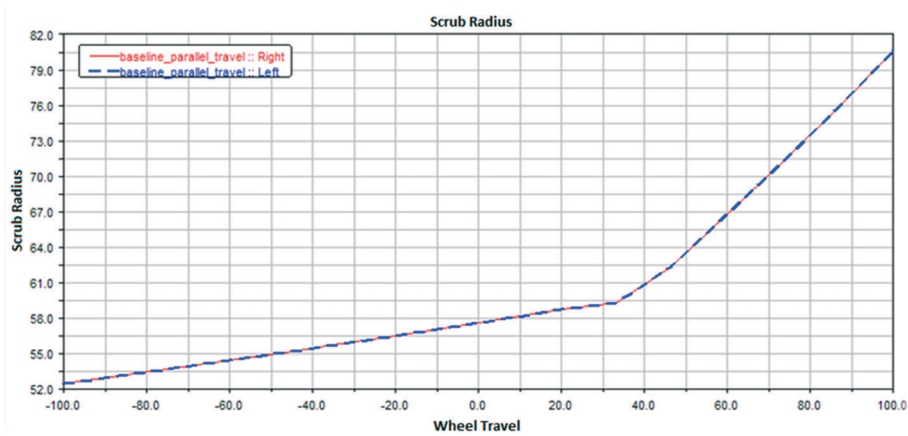
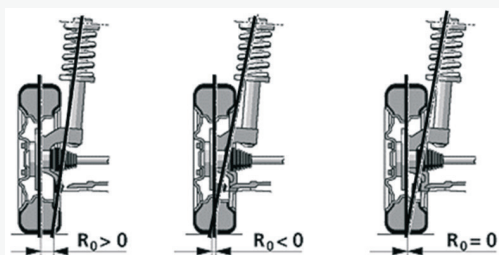


Figura 4.150 – Gráfico *Scrub Radius* x *Wheel Travel*.

*A notar:* O raio de deslizamento do pneu, ou *Scrub Radius* ( $R_0$ ), é a distância, medida no plano frontal do veículo, entre o eixo king pin e a linha de contato do pneu com o solo.



Scrub Radius.

Fonte: BEISSBARTH. Disponível em: <<http://www.beissbarth.com/tryit/index.php?ID=6&SUB1=13&SUB2=29&LG=E&CS=3>>. Acesso em: 22/04/2013

Nas suspensões mais antigas, era usado o raio positivo, pois os sistemas de direção não eram assistidos hidráulicamente e o esforço em manobras com o veículo parado era menor com essa configuração, pois exigia que o pneu, ao ser esterçado, rodasse em seu próprio eixo. Assim, a roda de fora da curva se movimenta para frente e a de dentro, se movimenta para trás. Nessa configuração, as rodas podem apresentar shimmying com maior frequência. Se o raio for pequeno, o esforço nas manobras com veículo parado será maior. Por outro lado, o motorista sentirá menos as reações das frenagens em linha reta. A utilização desse raio nulo tende a deixar o veículo instável com o veículo em movimento executando curvas. Na prática, costumam-se utilizar valores negativos para veículos de tração na dianteira ou nos dois eixos e valores positivos quando a tração do veículo é traseira.

Caso deseje apagar algum gráfico(s), selecione-o na árvore de diretórios – *treeview* (à esquerda da tela), conforme ilustrado na Figura 4.151. Recomenda-se apagar individualmente cada gráfico. O atalho *Ctrl+X* também pode ser usado para executar a ação de excluir o gráfico.

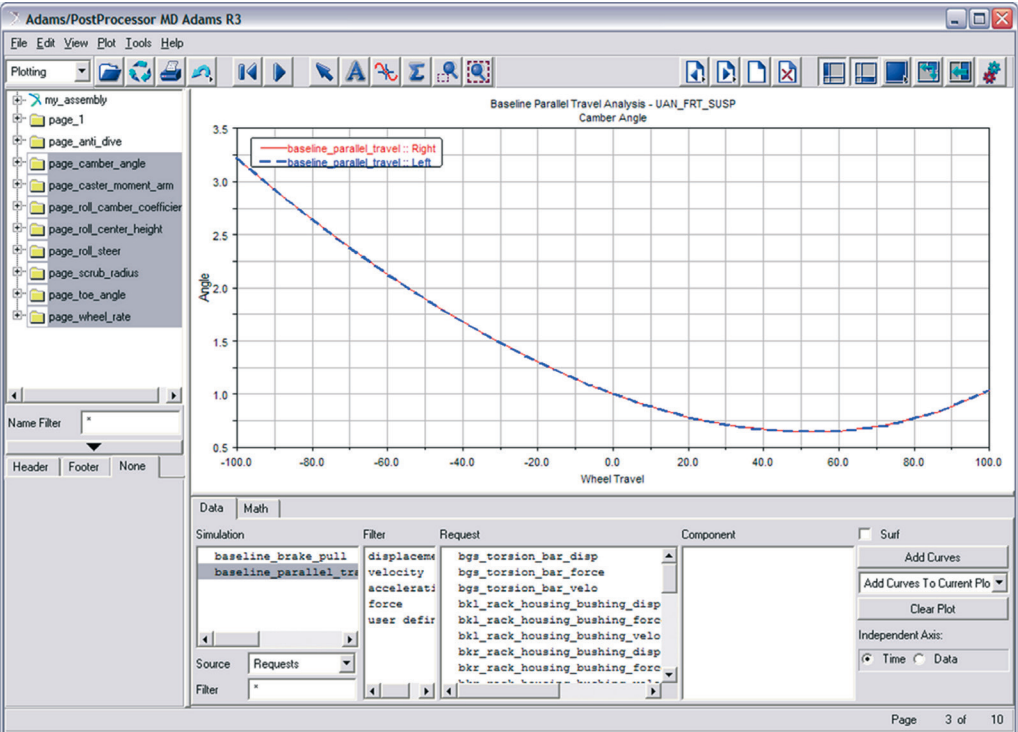


Figura 4.151 – Selecionando gráficos para serem apagados.

- Acesse o menu *Edit* → *Delete* (Figura 4.152).

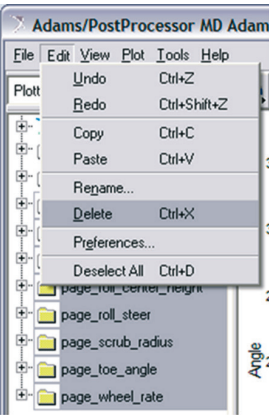


Figura 4.152 – Excluindo gráficos.

- Para sair da interface *PostProcessing*, pressione a tecla F8 ou acesse o menu *File* → *Close Plot Window*.



### Etapa 31 – Executando uma Análise do tipo *Pull*

A simulação do tipo *Pull* possibilita analisar o comportamento da suspensão quando se gira o volante (*steering wheel*) do sistema em estudo.

Da análise realizada na etapa anterior, tem-se informação suficiente para calcular o torque aproximado no eixo de direção, utilizando-se, portanto, a diferença das forças de frenagem (direita e esquerda) e o raio de deslizamento (*Scrub Radius*).

Utilizando esses resultados e ainda tendo disponível a geometria do sistema de direção, pode-se calcular o torque necessário aplicado ao volante para que as rodas se mantenham alinhadas (sigam um percurso reto).

Esses cálculos serão realizados a partir desta etapa. Para isso se utilizará uma análise do tipo *Pull* e, para tanto, é necessário primeiramente definir um *Loadcase File* no qual serão definidos os parâmetros da simulação.

- Acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *Create Loadcase* (Figura 4.153).

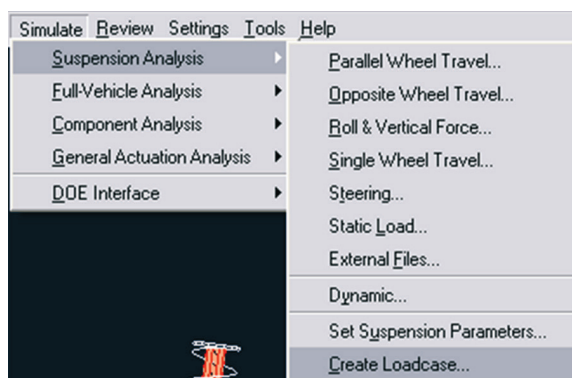


Figura 4.153 – Criando o arquivo *Loadcase*.

A Figura 4.154 ilustra o preenchimento dos campos da janela *Generate Loadcase File*. Primeiramente, defina o tipo de *Loadcase*, nesse caso, *Static Load*.

Note que os campos preenchidos nesse arquivo correspondem a informações de frenagem (*Braking Force*) e o ângulo de esterçamento do volante (*Steer Lower Limit*).

A força de frenagem será considerada desigual para ambas as rodas, simulando, portanto, superfícies de rodagem com diferentes coeficientes de atrito.

*A notar: Esse tipo de superfície de rodagem recebe a denominação split-μ.*



Superfície split-μ.  
Fonte: dSPACE. Disponível em:  
<<http://www.dspaceinc.com/en/incl/home/products/sw/expsoft/modesk.cfm>>. Acesso em:22/04/2013

Para calcular as forças de frenagem assume-se que o veículo está freando a uma taxa de 0,5 g's de desaceleração, considerando uma razão de frenagem de 64% na dianteira e 36% na traseira. Considere a massa do veículo igual a 1400 kg. A força de frenagem dianteira se divide em 55% para o lado esquerdo e 45% para o lado direito. Dessa maneira a força total de frenagem dianteira ( $F_{br}$ ) é calculada da seguinte forma:

$$F_{br} = 1400\text{ kg} \cdot 0,5\text{ g} \cdot 9,81\text{ m/s}^2 \cdot 0,64 = 4395\text{ N}$$

Ainda para a força de frenagem dianteira, tem-se:

**Força de frenagem dianteira esquerda:**  $0.55 \times 4395\text{ N} = 2417\text{ N}$

**Força de frenagem dianteira direita:**  $4395\text{ N} - 2417\text{ N} = 1978\text{ N}$

Observe que o ângulo de esterçamento do volante varia entre  $-180^\circ$  e  $180^\circ$  (Figura 4.154). Define-se o número de *steps* igual a 15 e o nome do arquivo como *brake\_pull* (Figura 4.154).

Dessa maneira, o ADAMS/Car irá gerar os parâmetros de simulação no intervalo de  $-180^\circ$  a  $+180^\circ$  (em 15 intervalos igualmente espaçados) e mantendo a força de frenagem constante (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Arquivo *Loadcase* da análise do tipo *Pull*

Ângulo de esterçamento do volante	Força de frenagem esquerda	Força de frenagem direita
-180	2417	1978
-156	2417	1978
-132	2417	1978
-108	2417	1978
-84	2417	1978
-60	2417	1978
-36	2417	1978

Ângulo de esterçamento do volante	Força de frenagem esquerda	Força de frenagem direita
-12	2417	1978
12	2417	1978
36	2417	1978
60	2417	1978
84	2417	1978
108	2417	1978
132	2417	1978
156	2417	1978
180	2417	1978

**Generate Loadcase File**

Select Loadcase Type: Static Load

	Lwr. Left	Upr. Left	Lwr. Right	Upr. Right
Aligning Torque				
Cornering Force				
Braking Force	2417	2417	1978	1978
Traction Force				
Vertical Length				
Vertical Input	Wheel Center Height		<input checked="" type="radio"/> Absolute <input type="radio"/> Relative	
Overtuning Tor.				
Roll.Res. Torque				
Damage Force				
Damage Radius				
Steering Input	<input checked="" type="radio"/> Angle <input type="radio"/> Length			
Steer Lower Limit	-180		Steer Upper Limit 180	
Vertical Setup Mode	Wheel Center Height			
Coord. System	Vehicle			
Number of Steps	15			
File Name	brake_pull			

OK Apply Cancel

Figura 4.154 – Definição dos parâmetros do *Loadcase File*.

- Clique em OK.

Uma vez definido o *Loadcase File*, o próximo passo corresponde a executar a simulação.

- Acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *External Files* (Figura 4.155).

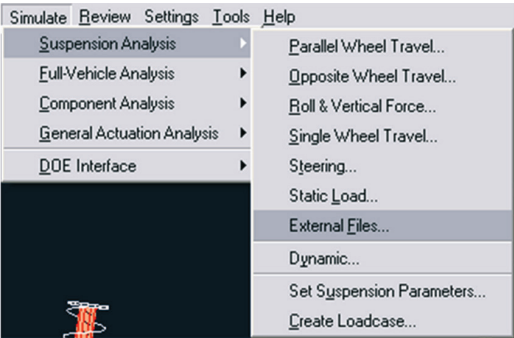


Figura 4.155 – Definindo a análise.

- A Figura 4.156 ilustra o preenchimento dos campos da janela *Suspension Analysis: External Files*. Para selecionar o arquivo *Loadcase* criado anteriormente, clique com o botão direito do mouse no campo em branco (conforme indicado na Figura 4.156).

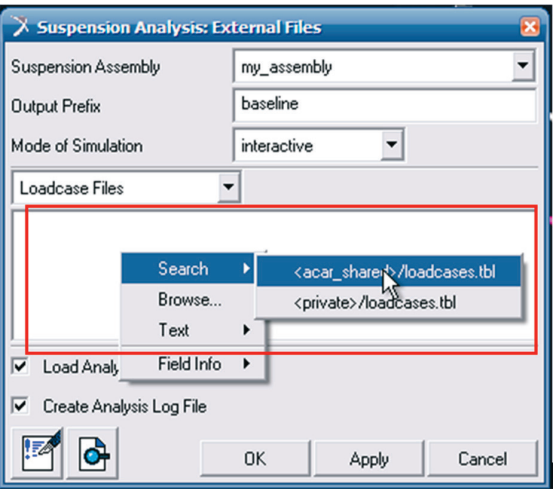
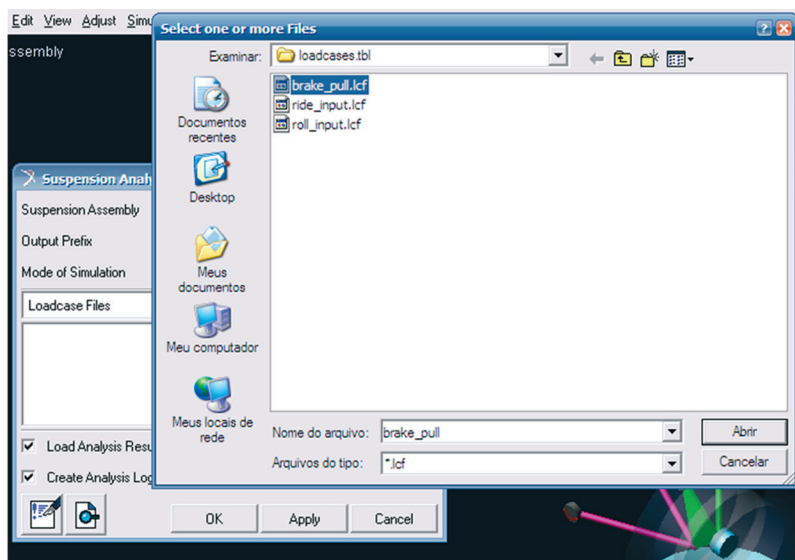


Figura 4.156 – Definindo os parâmetros da análise.

No diretório *<acar\_shared>* selecione o arquivo *brake\_pull* (Figura 4.157).

Figura 4.157 – Selecionando o *Loadcase File*.

Após selecionar o *Loadcase File* atente-se para selecionar os campos indicados na Figura 4.158.

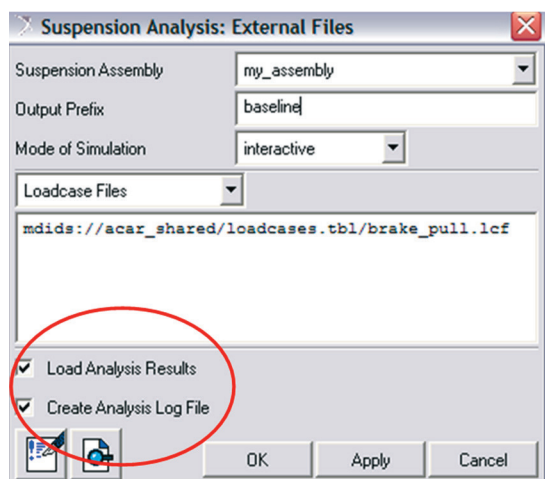


Figura 4.158 – Finalizando definição dos parâmetros da simulação.

- Clique em OK.

A caixa de diálogo mostrada na Figura 4.159 será exibida caso a simulação tenha sido executada corretamente.

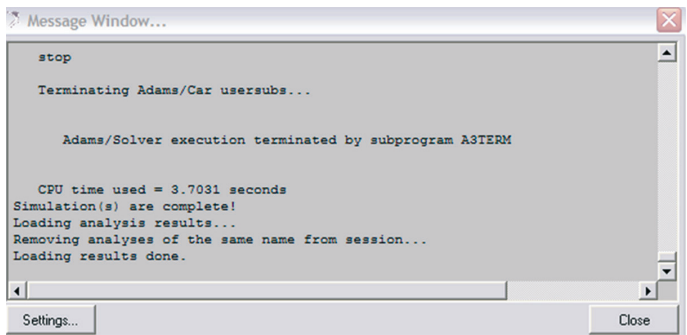


Figura 4.159 – Simulação executada corretamente.

- Clique em *Close*.

**Etapa 32 – Animando os resultados da Análise tipo *Pull***

Nesta etapa os resultados obtidos na análise tipo *Pull* serão animados.

- Acesse o menu *Review* → *Animations Controls* (Figura 4.160).

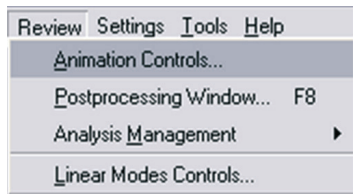


Figura 4.160 – Animando os resultados.

- Na janela *Animation Controls* (Figura 4.161), selecione o ícone *Play* para iniciar a animação.

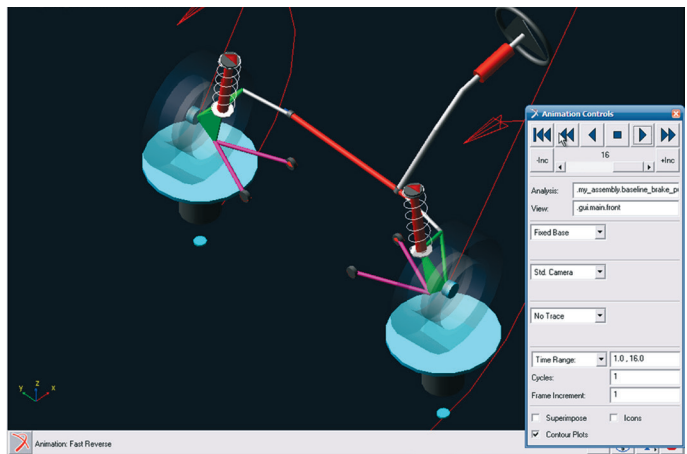


Figura 4.161 – Tela principal da animação.

Observe, na animação, que as rodas se movem de acordo com a movimentação (giro) do volante. Perceba que não há movimento na direção vertical.

### Etapa 33 – Gerando os resultados da Análise tipo *Pull*

Nesta etapa serão gerados os gráficos para análise dos resultados.

Para este tipo de análise as configurações gráficas não estão predefinidas conforme análise da etapa 30. Portanto, essas configurações precisarão ser definidas manualmente.

O primeiro gráfico a ser construído é: *Steering Wheel Torque x Steering Wheel Angle*.

- Primeiramente, alterne para a interface do ADAMS/PostProcessor. Para isso, acesse o menu *Review* → *Postprocessing Window*, ou pelo atalho, utilizando a tecla F8.
- Com o mouse, dê um duplo clique em *Page\_1* (lado esquerdo da tela, conforme indicado na Figura 4.162).
- Selecione o item *plot\_1*.
- Certifique-se de que as opções *Auto Title* e *Auto Subtitle* estão desmarcadas. (conforme indicado na Figura 4.162).
- No campo *Title*, preencha com: *Brake Pull Analysis*.
- No campo *Subtitle*, preencha com: *Steering Wheel Torque vs Steering Wheel Angle*.

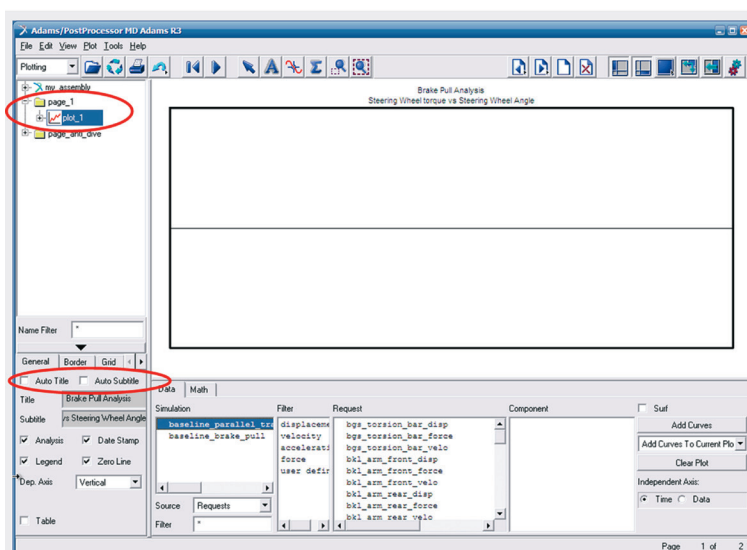


Figura 4.162 – Definindo a área gráfica.

- Clique com o botão direito do mouse, na área denominada *Treeview*.  
Selecione *Type Filter* → *Plotting* → *Axes* (Figura 4.163).

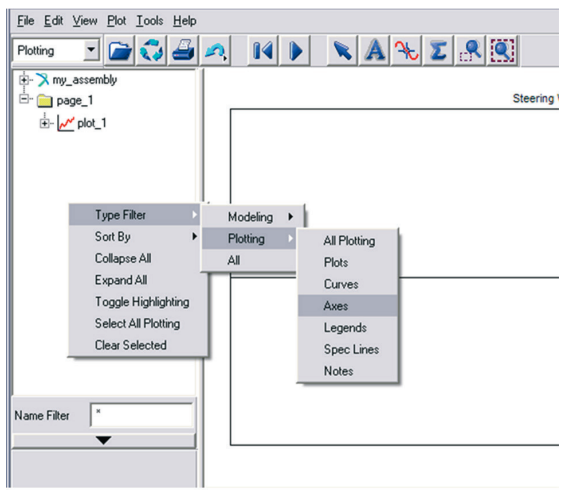


Figura 4.163 – Definindo os eixos do gráfico.

- Na área *Treeview*, selecione o item *plot\_1* com um duplo clique do mouse. Selecione o item *haxis*, conforme indicado na Figura 4.164.



Figura 4.164 – Selecionando o eixo haxis.

- Para configurar o eixo horizontal do gráfico, selecione a aba *Labels*, conforme ilustra a Figura 4.165. No campo denominado *Label*, insira o texto: *Steering Wheel Angle [degrees]*.

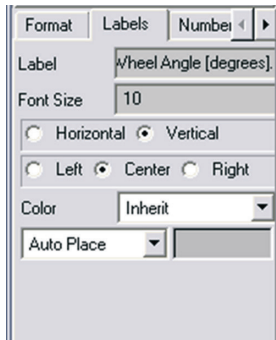


Figura 4.165 – Personalizando o eixo vertical.



- Retornando à área *Treeview*, selecione o item *vaxis* para configurar o eixo vertical do gráfico (Figura 4.166).

Figura 4.166 – Seleccionando o eixo *vaxis*.

- Selecione a aba *Labels*, e insira o texto “*Steering Wheel Torque [Nmm]*” no campo *Label* (Figura 4.167).

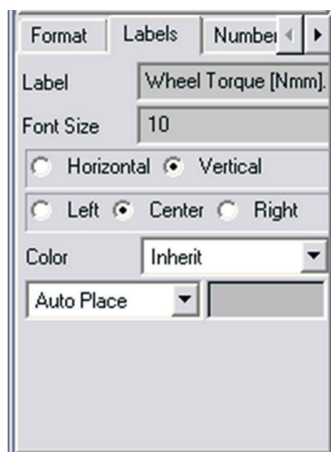


Figura 4.167 – Personalizando o eixo vertical.

- Após editar os eixos do gráfico, verifique se a opção *Requests* no campo *Source* está selecionada (Figura 4.168). O ADAMS/Car automaticamente disponibiliza os dados disponíveis no campo *Request*.

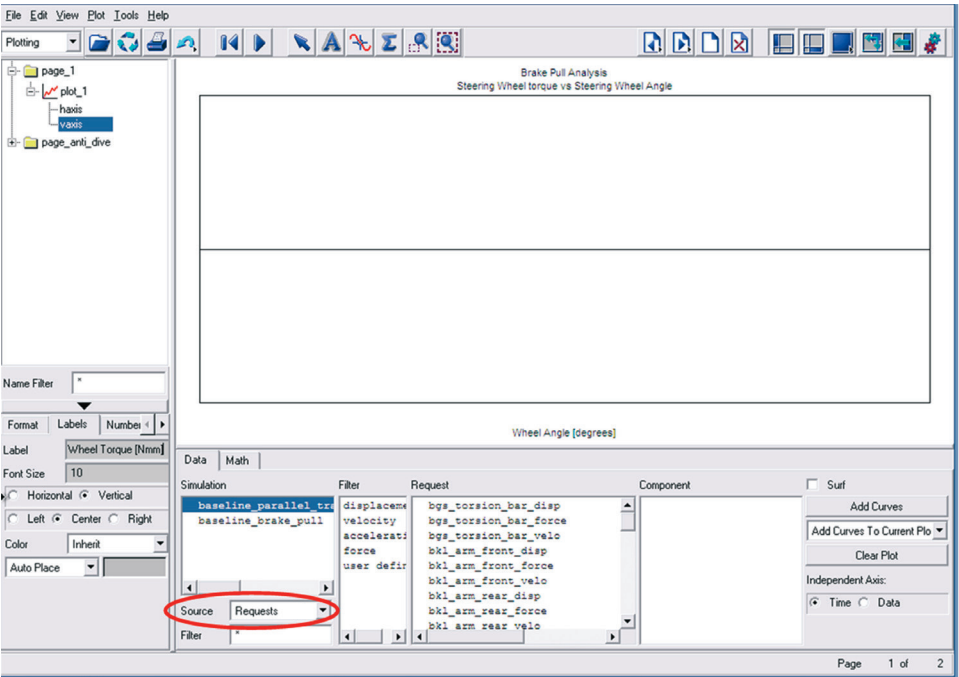


Figura 4.168 – Dados disponíveis para construção do gráfico.

- Selecione a simulação de interesse no campo *Simulation* (neste caso, *brake\_pull*), conforme ilustra a Figura 4.169.
- No campo *Independent Axis*, selecione a opção *Data* (Figura 4.169).

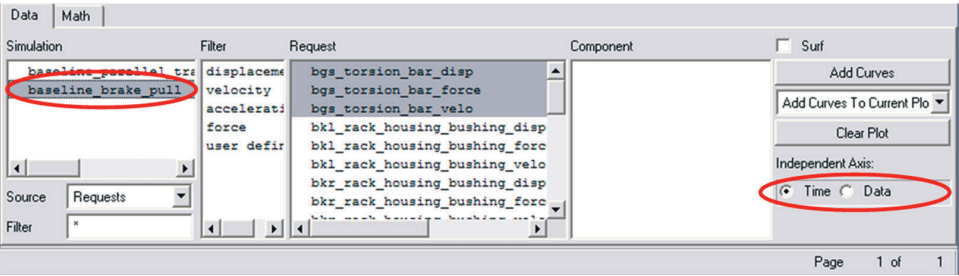


Figura 4.169 – Selecionando a simulação e definindo o eixo horizontal.

- Uma caixa de diálogos será aberta. O seguinte procedimento deverá ser seguido: no campo *Filter*, selecione a opção *user defined*; no campo *Request*, selecione *steering\_displacements* (selecione a barra de rolagem

à direita para ver essa opção); no campo *Component*, selecione *angle\_front*. Clique em OK. A Figura 4.170 ilustra o procedimento descrito.

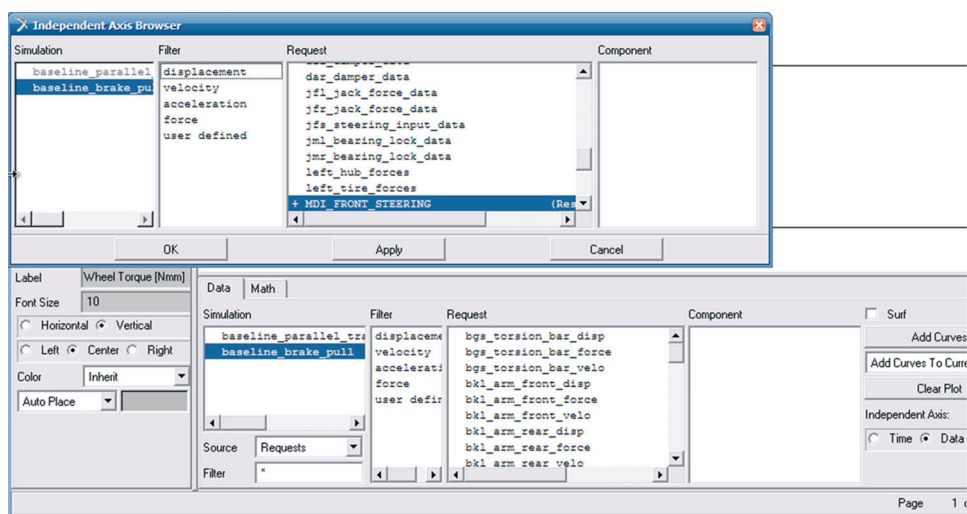


Figura 4.170 – Caixa de diálogo do eixo vertical.

- Uma vez definido o parâmetro (variável) do eixo horizontal (ou eixo independente), também será necessário atribuir uma variável ao eixo vertical. Para isso, no campo *Filter*, selecione a opção *user defined*; no campo *Request*, selecione a opção *steering\_wheel\_input*; no campo *Component*, selecione a opção *steering\_wheel\_input\_torque* (Figura 4.171).
- Selecione a opção *Add Curves* (Figura 4.171).

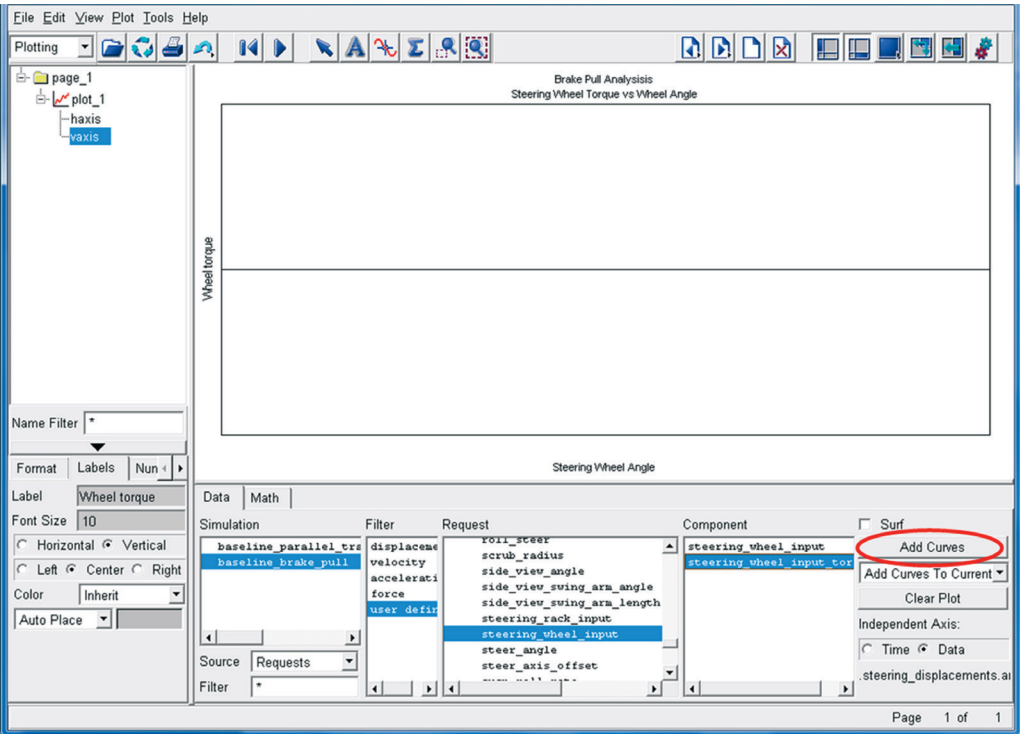


Figura 4.171 – Caixa de diálogo do eixo vertical.

A Figura 4.172 mostra o gráfico construído. Este gráfico ilustra o torque aplicado ao volante para manter as rodas na posição retilínea. O torque negativo indica que este é aplicado no sentido horário, de modo a contrabalancear com a força de frenagem desigual, a qual puxa as rodas no sentido anti-horário como se o carro estivesse fazendo uma curva à esquerda.

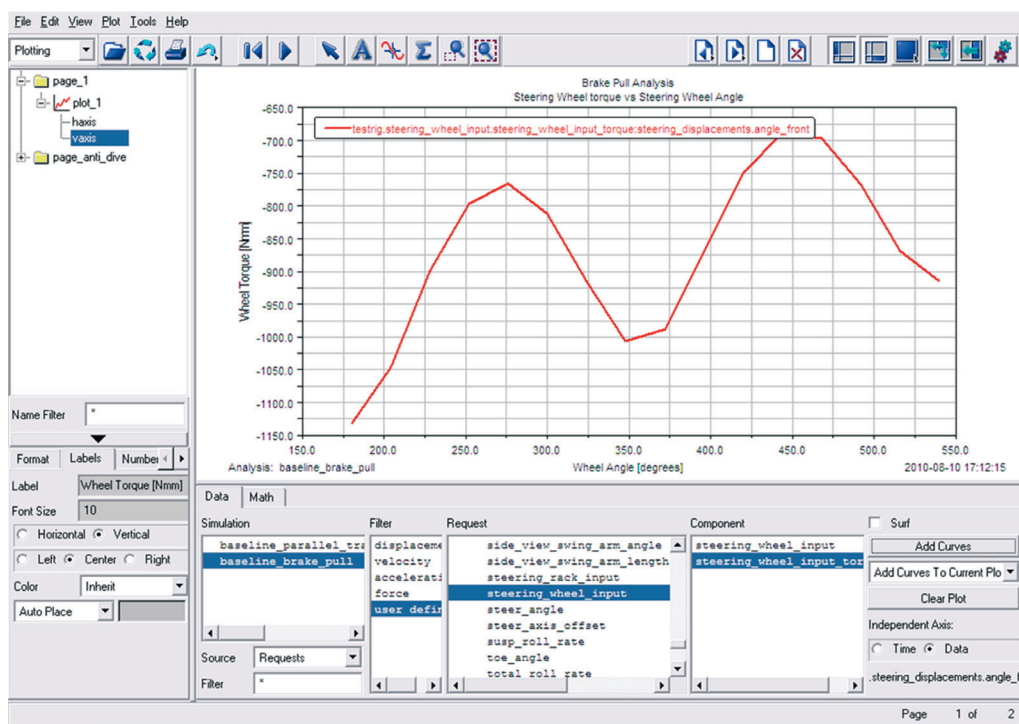


Figura 4.172 – Caixa de diálogo do eixo vertical.

O segundo gráfico a ser construído é: *Scrub Radius x Steering Wheel Angle*.

- Na barra de ferramenta principal, selecione *New Page* (conforme ilustrado na Figura 4.173).

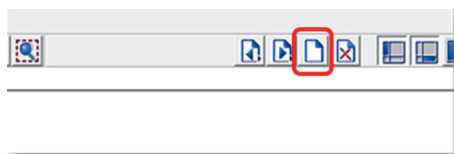


Figura 4.173 – Novo gráfico.

- No campo *treeview*, dê um duplo clique em *Page\_2*.
- Selecione *plot\_2*.
- Certifique-se que a opção *Auto Title* e *Auto Subtitle* não estão selecionados (Figura 4.174).

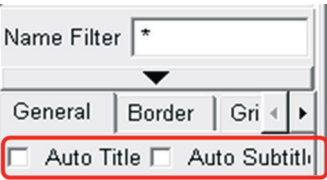


Figura 4.174 – Criando um novo gráfico.

- Na caixa de texto *Title*, digite “*Brake Pull Analysis*” (Figura 4.175).
- Na caixa de texto *Subtitle*, digite “*Scrub Radius vs Steering Angle*” (Figura 4.175).

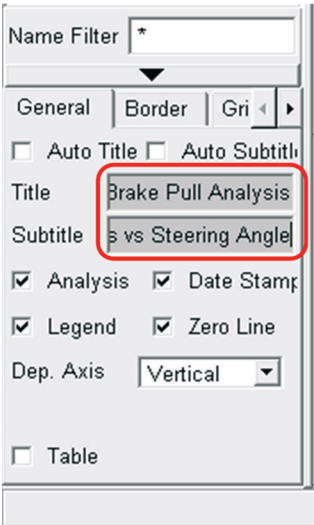


Figura 4.175 – Título e Subtítulo do novo gráfico.

Clique, com o botão direito do mouse, no campo *treeview*, selecione *Type Filter* e, em seguida, clique na opção *Plotting* e, posteriormente, selecione o item *Axes*.

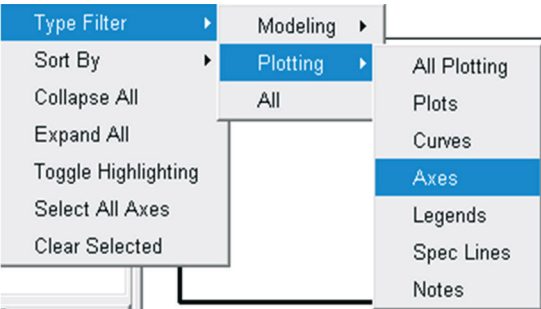
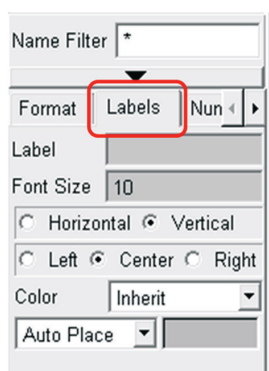


Figura 4.176 – Selecionando os eixos do gráfico.

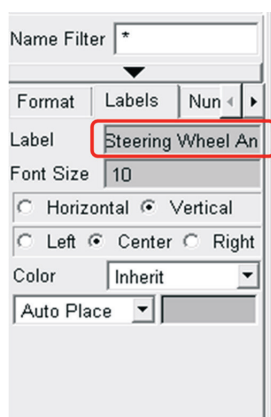
- Clique duas vezes em *plot\_2* para que as opções disponíveis se tornem visíveis. Selecione o item *haxis* (Figura 4.177).

Figura 4.177 – Selecionando eixo *haxis*.

- No editor de propriedades, selecione o campo *Labels* (Figura 4.178).

Figura 4.178 – Editando o eixo *haxis*.

- Na caixa de texto *Label* insira o texto “*Steering Wheel Angle [degrees]*” (Figura 4.179).

Figura 4.179 – Editando rótulo do eixo *haxis*.

- Novamente, no campo *treeview*, selecione *vaxis* (Figura 4.180).



Figura 4.180 – Seleccionando eixo *vaxis*.

- Na caixa de texto *Label*, insira o texto “*Scrub Radius [mm]*” (Figura 4.181).

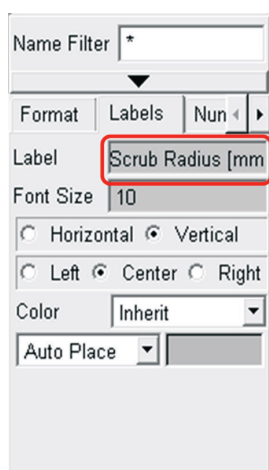


Figura 4.181 – Editando rótulo do eixo *vaxis*.

- No campo *Source*, verifique se está seleccionada a opção *Requests* (Figura 4.182).

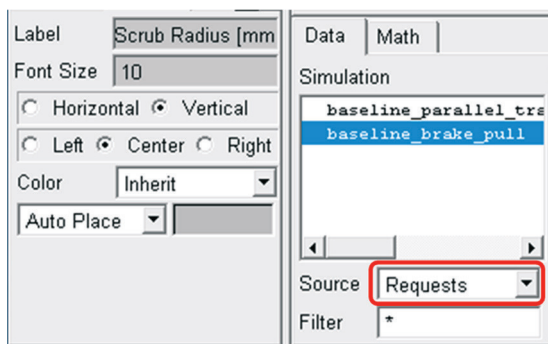


Figura 4.182 – Seleccionando os parâmetros do gráfico.



- No campo *Simulation*, selecione *baseline\_brake\_pull*; no campo *Filter*, selecione *user defined*; no campo *Request*, selecione *scrub\_radius*; no campo *Component*, selecione *left*; e, por último, selecione *Add curves*.

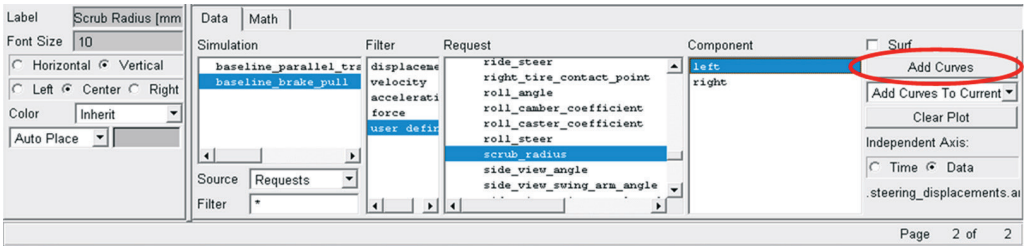


Figura 4.183 – Definindo parâmetro do eixo vertical.

A Figura 4.184 ilustra o gráfico obtido.

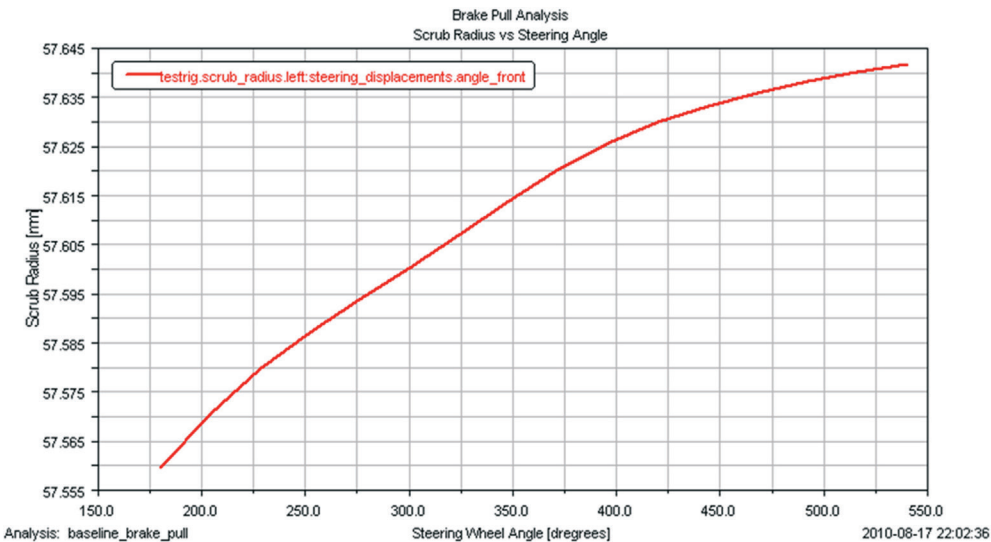


Figura 4.184 – Gráfico *Scrub Radius* vs *Steering Angle*.

Observe, na Figura 4.184, que o *Scrub Radius* parece variar muito em relação ao ângulo de esterçamento do volante. No entanto, essa variação no eixo vertical é de apenas 0,08 mm. Para verificar visualmente essa pequena variação, o eixo vertical pode ser alterado, como mostrado a seguir.

- Selecione o eixo vertical *vaxis*, na área *treeview* (Figura 4.185).



Figura 4.185 – Selecionando o eixo *vaxis*.

- No editor de propriedades do eixo *vaxis*, selecione a guia *Format*. Desmarque a opção *Auto Scale* (Figura 4.186).

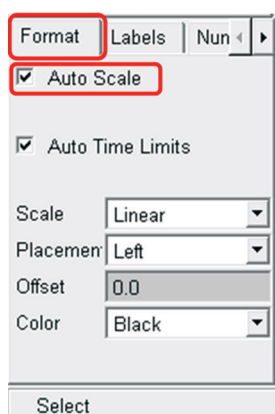


Figura 4.186 – Editor de propriedades do eixo *vaxis*.

- Na caixa de texto *Limits*, estabeleça os limites entre 0 e 100 (Figura 4.187).

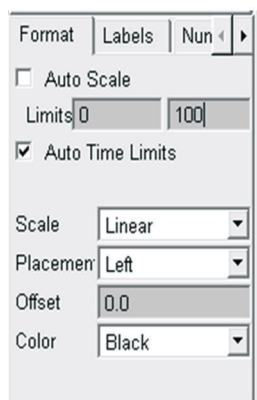


Figura 4.187 – Limites do eixo *vaxis*,

Na Figura 4.188, observe que a variação do *Scrub Radius* em relação ao *Steering Wheel Angle* agora parece ser bem menor.

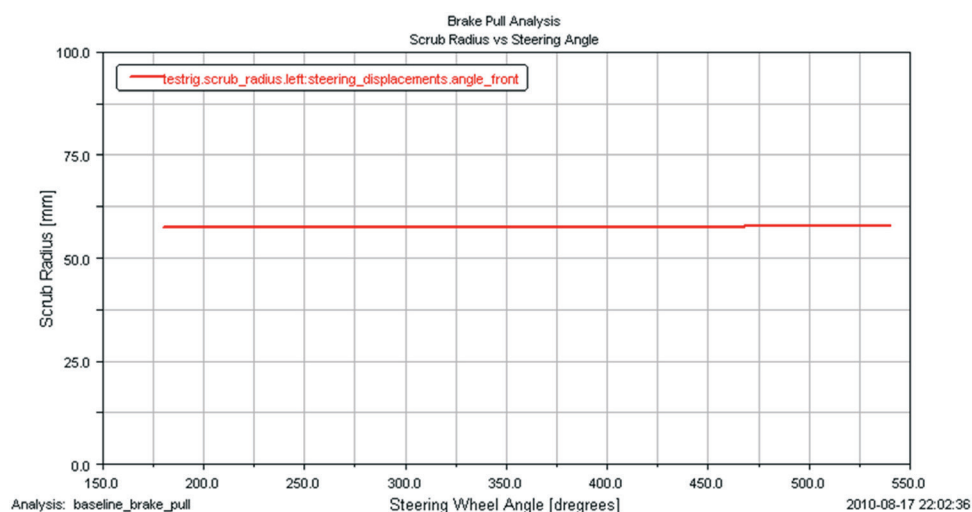


Figura 4.188 – Limite do eixo vertical definido entre 0 e 100 mm.

### Etapa 34 – Salvando as configurações gráficas

Para salvar as modificações nos gráficos gerados anteriormente o usuário deve seguir os passos descritos nesta etapa.

- No menu *File*, selecione *Export* e, em seguida, selecione *Plot Configuration File* (Figura 4.189).

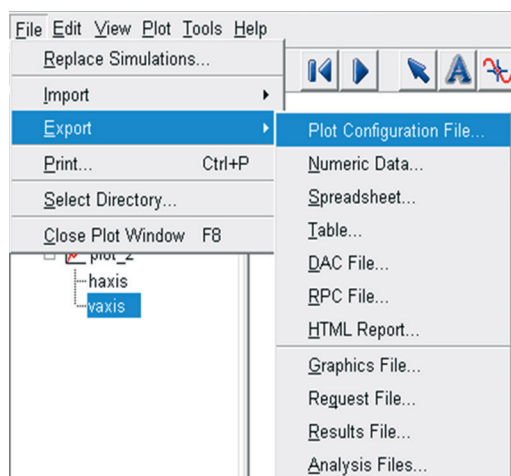


Figura 4.189 – Exportando arquivos gráficos.

- A janela *Save Plot Configuration File* será aberta. No campo *Configuration File Name*, digite *brake\_pull*. Selecione a opção *All Plots* (Figura 4.189).

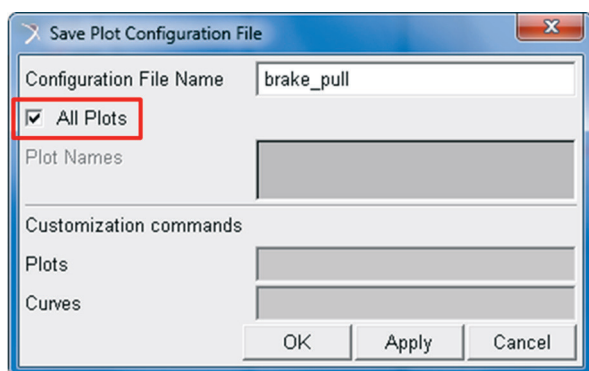


Figura 4.190 – Definindo o arquivo de exportação.

- Clique em OK.
- No menu *File*, selecione *Close Plot Window* ou pressione F8 para que o ADAMS/Car retorne para a janela principal.

### Etapa 35 – Modificando a localização de *Hardpoints* da suspensão

Nesta etapa, dois *Hardpoints* da suspensão serão modificados de modo a alterar o parâmetro *Scrub Radius* da suspensão modelada. O objetivo é diminuir o raio de deslizamento (*Scrub Radius*) e comparar os resultados com os obtidos na Etapa 33.

Os *Hardpoints* que terão suas localizações alteradas serão:

- *hpl\_LBJ*
- *hpl\_struct\_upper*

Ambos *Hardpoints* definem o eixo *Kingpin* da suspensão. Uma vez que este eixo seja deslocado para fora da suspensão, visto que o restante do subsistema se manterá inalterado, o parâmetro *Scrub Radius* será modificado.

Para realizar essas alterações, siga os passos a seguir.

- Na área de trabalho *Standard* do ADAMS/Car selecione o menu *View* → *Subsystem* (Figura 4.191).

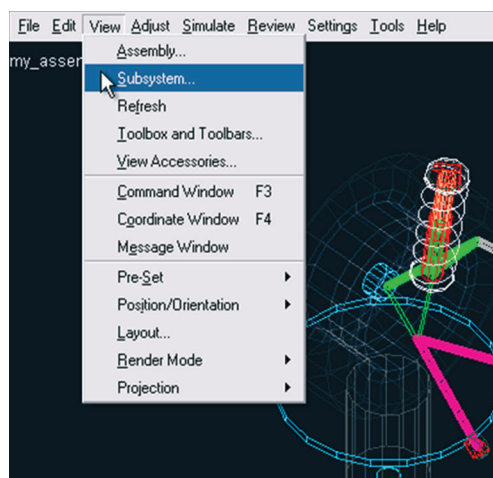


Figura 4.191 – Visualizando o sub-sistema suspensão.

- A caixa de diálogo *Display Subsystem* será aberta. Selecione o sub-sistema de interesse (Figura 4.192).

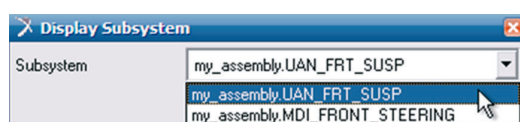


Figura 4.192 – Selecionando o subsistema de interesse.

- Acesse o menu *Adjust* → *Hardpoint* → *Table* (Figura 4.193).

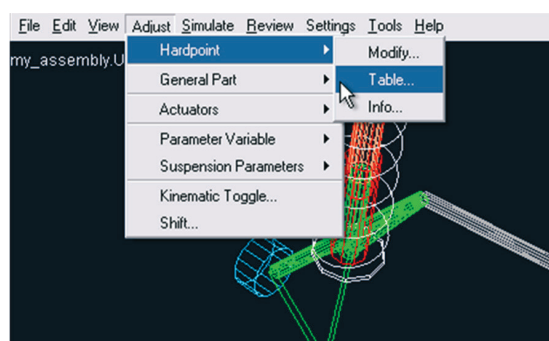


Figura 4.193 – Selecionando a tabela de *Hardpoints*.

- Na tabela de *Hardpoints* (Figura 4.194), clique na célula correspondente à coordenada *y* (*loc\_y*) do Hardpoint *hpl\_LBJ*. Altere o valor para – 725, ou seja, este *Hardpoint* será deslocado de 25mm.

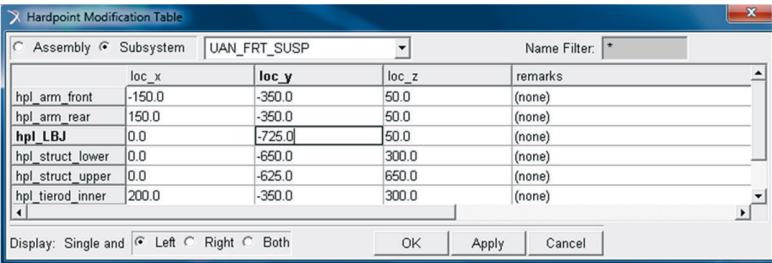


Figura 4.194 – Modificação da coordenada y do Hardpoint *hpl\_LBJ*.

- Clique em *Apply* (Figura 4.195).

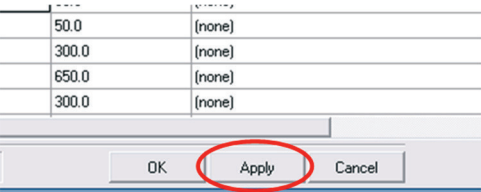


Figura 4.195 – Confirmando alteração da coordenada do Hardpoint *hpl\_LBJ*.

*A notar: A partir da tabela mostrada na Figura 4.194 é possível alterar as coordenadas de todos os Hardpoints do subsistema. Os Hardpoints com simetria esquerda-direita (left-right) se diferem apenas na coordenada y, ou seja, eles são simétricos em relação ao plano X-Z. Para alterar as coordenadas de Hardpoints com simetria, basta modificar a coordenada de interesse de apenas um deles (left ou right), que o programa se encarrega de alterar a coordenada do Hardpoint correspondente simetricamente. No entanto, caso o usuário deseje, essa simetria poderá ser removida, modificando apenas um dos Hardpoints do par simétrico.*

- Ainda na tabela mostrada na Figura 4.194, selecione a célula correspondente à coordenada y (*loc\_y*) do Hardpoint *hpl\_struct\_upper*. Altere o valor para - 625, ou seja, este Hardpoint também será deslocado de 25 mm (Figura 4.196).
- Clique em OK.

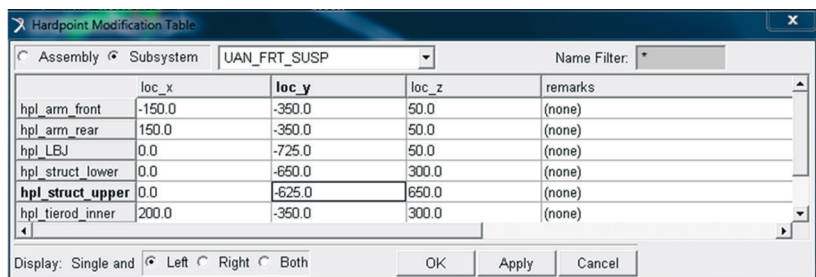


Figura 4.196 – Alteração da coordenada y do Hardpoint *hpl\_struct\_upper*.

### Etapa 36 – Salvando as modificações na suspensão

- Após ter modificado os *Hardpoints*, salve o subsistema alterado. Acesse o menu *File* → *Save*. Nesse momento, uma caixa de diálogo *Warning* será aberta. O programa perguntará se deseja criar uma cópia de backup do arquivo em questão. Caso contrário, o arquivo original será substituído pelo arquivo modificado. Essa escolha fica a seu critério.
- Nesse caso, selecione *No* na caixa de diálogo (Figura 4.197). O arquivo do subsistema será substituído pelo arquivo modificado no diretório padrão (*default writable database*).

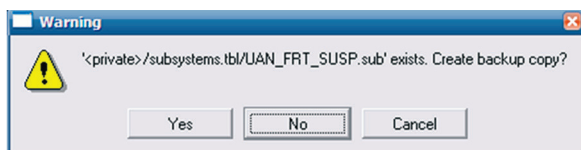


Figura 4.197 – Alteração da coordenada.

### Etapa 37 – Simulação da suspensão modificada

Nesta etapa, será realizada a mesma simulação descrita na etapa 31, utilizando-se, portanto, o mesmo arquivo *Loadcase*.

Acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *External Files* (Figura 4.198).

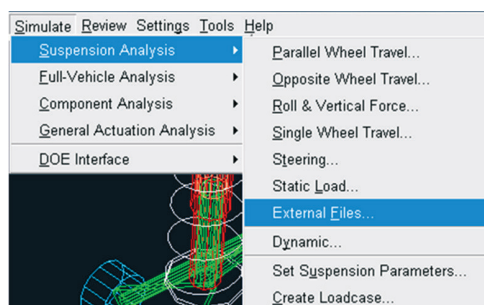


Figura 4.198 – Selecionando a simulação.

- A janela *Suspension Analysis: External Files* será aberta. No campo *Output Prefix* escreva *Modified* (Figura 4.199).

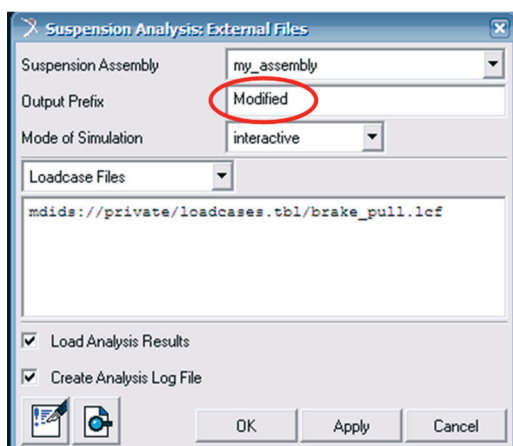



Figura 4.199 – Alterando o nome do arquivo de saída da simulação.

- Selecione o ícone  e, na caixa de comentários, escreva: *Steering axis moved 25mm outboard*.
  - Selecione OK em ambas as caixas de diálogo.
- O ADAMS/Car fará a simulação do *assembly* suspensão/sistema de direção.

### Etapa 38 – Comparando os resultados

Nesta etapa serão gerados os resultados gráficos do *assembly* suspensão/sistema de direção, tanto do sistema original quanto do sistema modificado para fins de comparação. Serão os mesmo gráficos gerados na etapa 33.

- Inicie o ADAMS/PostProcessor. Acesse o menu *Review* → *Postprocessing Window*, ou pela tecla F8 (Figura 4.200).

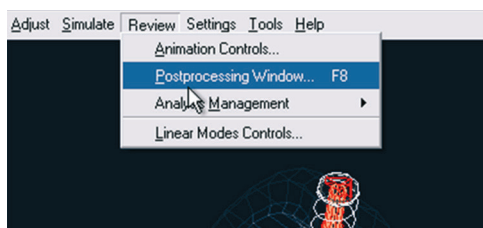


Figura 4.200 – Alternando para o ambiente de trabalho *Postprocessing*..



- No menu *Plot*, selecione *Create Plots*.

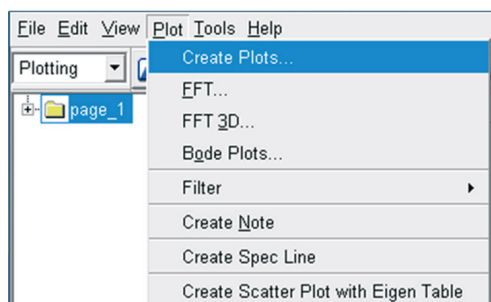


Figura 4.201 – Gerando gráficos.

- A janela *File Import* será aberta. No campo *Plot Configuration File*, digite: *mdids://private/plot\_configs.tbl/brake\_pull.plt* (Figura 4.201), ou clique com o botão direito do mouse nesse campo e o selecione no diretório de destino.
- Na caixa de texto *Plot title* digite: *Brake Pull Analysis – UAN\_FRT\_SUSP* (Figura 4.202).

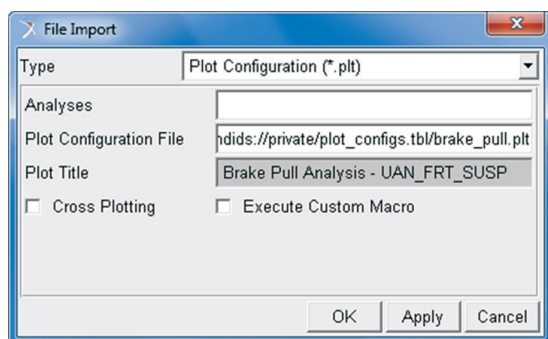


Figura 4.202 – Selecionando o arquivo de simulação.

- Para que os programa disponibilize as duas curvas no mesmo gráfico, selecione o ícone *Cross Plotting* (Figura 4.203).

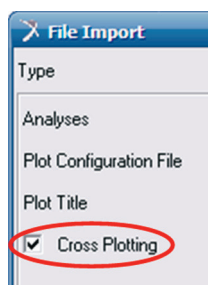


Figura 4.203 – Plotando mais de uma curva no mesmo gráfico.

- Clique em OK.

As ferramentas da área de trabalho *PostProcessor*, , , poderão ser utilizadas para acessar todos os gráficos gerados.

A Figura 4.204 ilustra as curvas obtidas. A curva com linha contínua se refere ao resultado do *assembly* original, já a linha pontilhada se refere ao resultado do *assembly* modificado. Como já era esperado, observe que o torque é menor para o *assembly* modificado quando comparado com o *assembly* original em toda a faixa de análise.

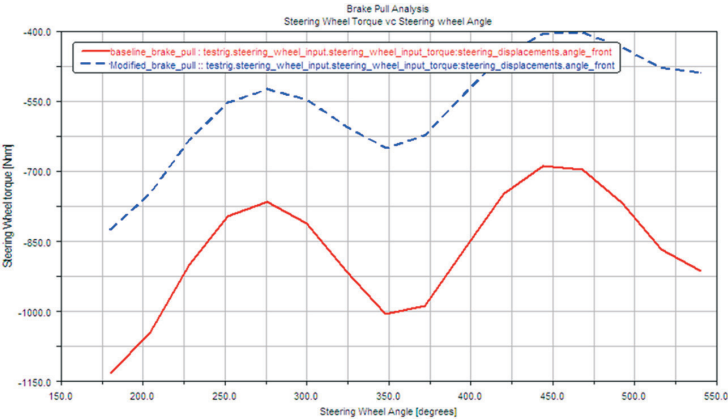




Figura 4.204 – Curvas obtidas com o *assembly* original e o modificado.

- Utilize a ferramenta ,  para visualizar o gráfico *Scrub Radius vs Steering Wheel Angle*.

Observe na Figura 4.205 que o *Scrub Radius* diminuiu de 34 mm para 8 mm em virtude das modificações realizadas nos *Hardpoints* da suspensão.

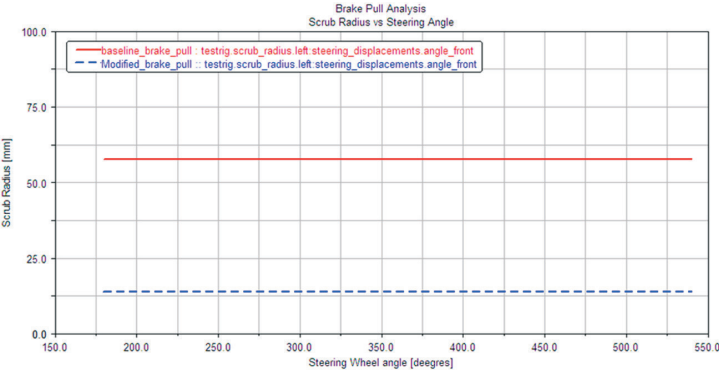


Figura 4.205 – Gráfico comparativo *Scrub Radius vs Steering Wheel Angle*.

### Etapa 39 – Finalizando

Esta etapa finalizará as tarefas executadas neste capítulo. Os gráficos e as simulações geradas serão excluídos, e os subsistemas criados e modificados serão encerrados.

- Para excluir os gráficos gerados, no ambiente de trabalho *Postprocessing*, clique com o botão direito do mouse na área *treeview*. Selecione *Type Filter* → *Modeling* → *Analyses* (Figura 4.206).

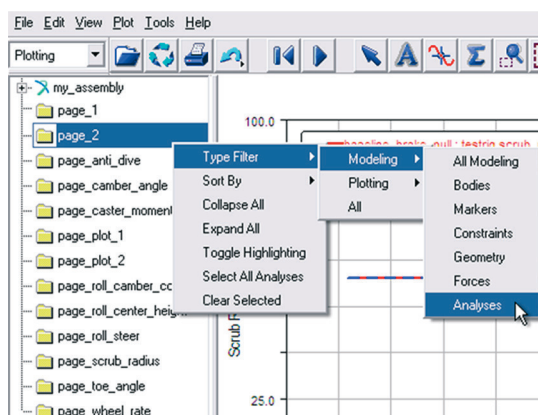


Figura 4.206 – Selecionando as análise corrente.

- Clique duplo em *my\_assembly* para atualizar os resultados gerados pelas simulações.
- Selecione as simulações a serem excluídas (Figura 4.207).

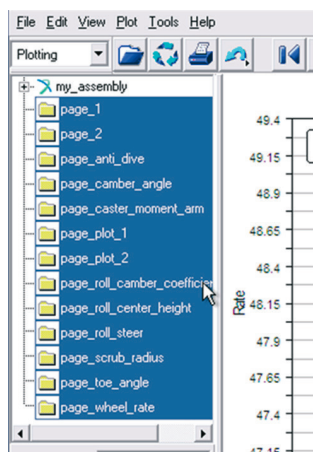


Figura 4.207 – Selecionando as simulações a serem excluídas.

- No menu *Edit*, selecione a opção *Delete* (Figura 4.208).

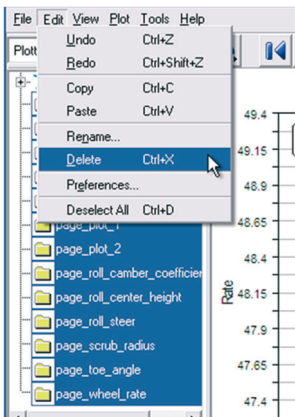


Figura 4.208 – Excluindo gráficos.

- No menu *File*, selecione a opção *Close Plot Window* (ou a tecla F8). O ADAMS/Car retornará para o ambiente de trabalho *Standard*. Para encerrar o *Assembly* siga os próximos passos.
- Acesse o menu *File* → *Close* → *Assembly* (Figura 4.209).

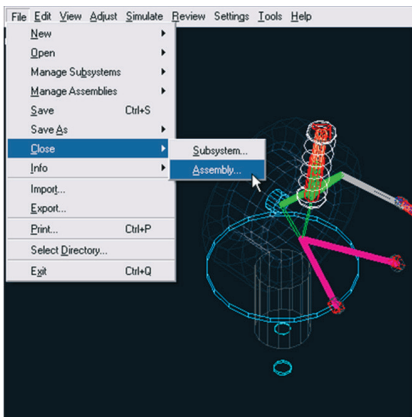


Figura 4.209 – Encerrando o *Assembly*.

- A caixa de diálogo *Close Assembly* será aberta. Selecione o *Assembly* a ser encerrado e clique em *OK* (Figura 4.210).



Figura 4.210 – Selecionando o *Assembly* a ser encerrado.

- Clique em OK.

Dessa maneira, todas as simulações foram excluídas, bem como encerrados os *Assemblies* em execução. O software, agora, pode ser utilizado para novas modelagens de sistemas multicorpos.



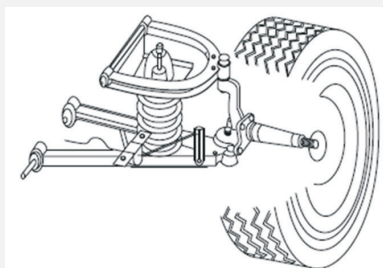
# 5

## CAPÍTULO

# Desenvolvimento de uma Suspensão Automotiva do tipo *Duplo A*: Aplicação do módulo ADAMS/Car

*A notar:* Esta suspensão é comumente conhecida como “Double Wishbone”, “Double A” ou ainda Duplo A. Ela é constituída por duas bandejas triangulares, as quais constituem elos entre o chassi do veículo e suas rodas. Classifica-se como uma suspensão independente e é reconhecida por ser mais robusta que outras suspensões como, por exemplo, a Macpherson. Isso pelo fato de possuir mais elementos mecânicos em sua formação.

Esse modelo apresenta uma fácil e precisa regulação de seus parâmetros de geometria, como a variação da cambagem e a máxima variação de bitola. Devido a estes fatores este modelo de suspensão é mais comumente utilizado em eixos dianteiros de veículos de alto desempenho, por necessitarem de um ajuste mais fino dos parâmetros de geometria de suspensão.



*Ilustração de uma suspensão Duplo A.*

*Fonte: Valdeck, 2007.*

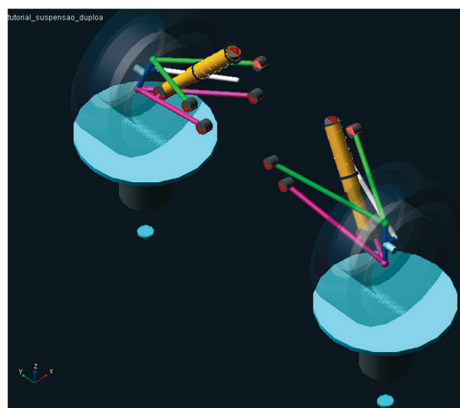
*Fonte: REIMPELL, J.; STOLL, H.; BETZLER, J. W. The automotive chassis: engineering principles, Butterworth-Heinemann, 2001.*

Neste capítulo, será apresentado ao leitor o tutorial de construção de uma suspensão *Duplo A*, denominado `_tutorial_duploa`. A metodologia adotada para o desenvolvimento desse subsistema está dividida em 30 etapas, identificadas de acordo com as tarefas a serem executadas.

Até a Etapa 24, o leitor desenvolverá o modelo virtual, utilizando-se da *interface Template Builder*, conforme tratado no Capítulo 1. Nessas etapas, o leitor fará a parametrização do modelo, ou seja, criação de *Hardpoint* e *Construction Frame*, construção de partes (*Parts*), geometrias (*Geometry*), inserção de juntas e buchas (*Attachments*), criação de *Communicators*, entre outras ações pertinentes ao projetista nessa *interface*.

Nas etapas restantes, o leitor construirá um subsistema (*Subsystem*) associado ao *Template* da suspensão *Duplo A* e, em seguida, criará um *Assembly* entre o subsistema suspensão e um sistema de teste virtual do ADAMS/Car chamado *Test Rig*.

Ao final, após execução das etapas propostas, o leitor deverá obter o seguinte modelo virtual.



Obtenha o arquivo da suspensão Duplo “A” no seguinte link: [http://www.blucher.com.br/materiaisdeapoio/mscadams/tutorial\\_duploa.cdb.zip](http://www.blucher.com.br/materiaisdeapoio/mscadams/tutorial_duploa.cdb.zip)



### Etapa 1 – Inicializando o Módulo ADAMS/Car

Ao inicializar o módulo ADAMS/Car, as seguintes opções estarão disponíveis na janela de abertura: *Standard Interface* e *Template Builder* (item 1.2.1), conforme mostra a Figura 5.1. O usuário deverá marcar a opção *Template Builder*, uma vez que um novo projeto será criado, depois clicar na opção OK.

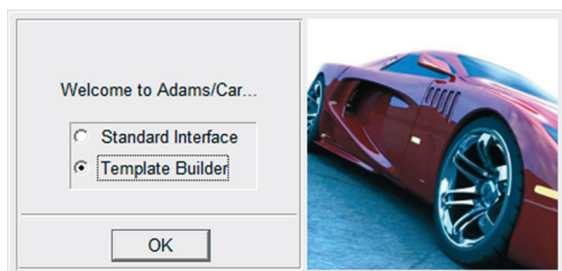


Figura 5.1 – Tela de inicialização do Módulo ADAMS/Car.

### Etapa 2 – Criando o *Template*

- Abra o menu *File* e clique na opção *New*.
- Na caixa de diálogo aberta, digite o nome do projeto na caixa *Template Name*.
- Especifique o tipo de subsistema (*Subsystem*) a ser construído na opção *Major Role*, conforme ilustrado na Figura 5.2.
- Clique na opção *Ok*.

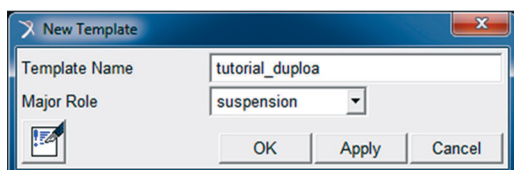


Figura 5.2 – Definição do *New Template*.

### Etapa 3 – Definição do diretório de trabalho

- Abra o menu *Tools* e clique na opção *Database Management* → *Create Database*.

A Figura 5.3 ilustra a janela correspondente a essas ações.

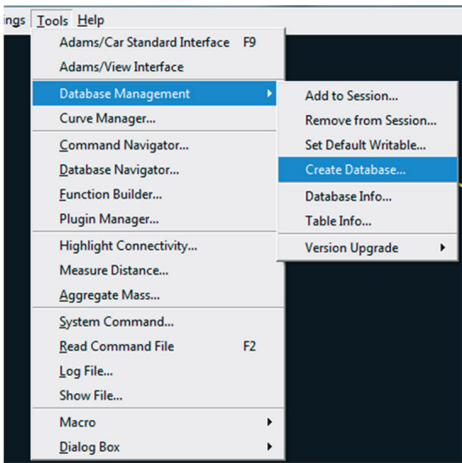


Figura 5.3 – Ilustração da janela referente à definição do diretório de trabalho.

- Na caixa de diálogo *Create New Database* preencha o campo *Database Alias* com o nome do diretório de trabalho e, no campo *Database Path*, informe seu caminho (Figura 5.4).

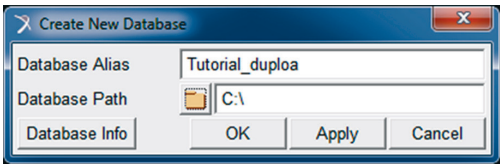


Figura 5.4 – Preenchimento sugerido da janela *Create New Database*.

- Clique em OK.

Uma nova janela será aberta para que o usuário aceite a criação do diretório de trabalho definido nas etapas anteriores, conforme ilustra a Figura 5.5.

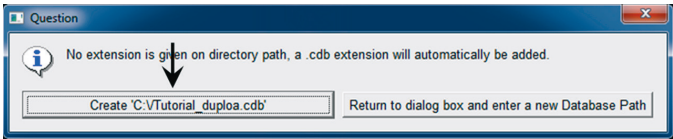


Figura 5.5 – Janela de confirmação da criação do diretório de trabalho.

- Uma mensagem de confirmação da criação do diretório será aberta, apenas para verificação por parte do usuário (Figura 5.6). Caso a tarefa tenha sido executada com sucesso, clique em *Close*.

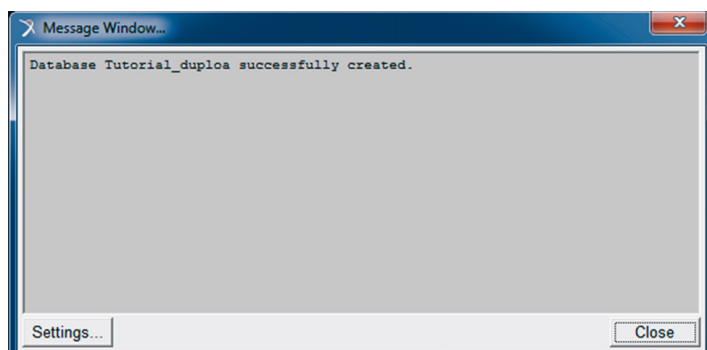


Figura 5.6 – Mensagem de alerta referente à criação do diretório de trabalho.

- Para obter informações sobre o diretório de trabalho criado, abra o menu *Tools* → *Database Management* → *Database Info* (Figura 5.7).

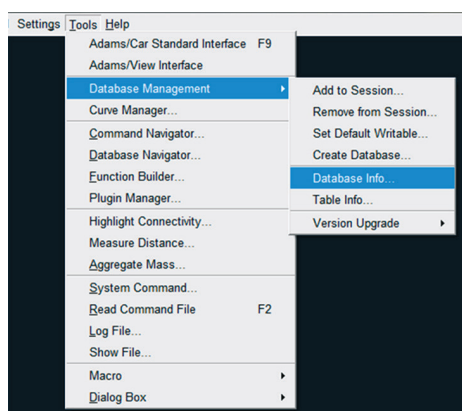


Figura 5.7 – Janela para obtenção de informações sobre o diretório de trabalho.

Em seguida, será exibida uma janela com a aparência da mostrada na Figura 5.8.

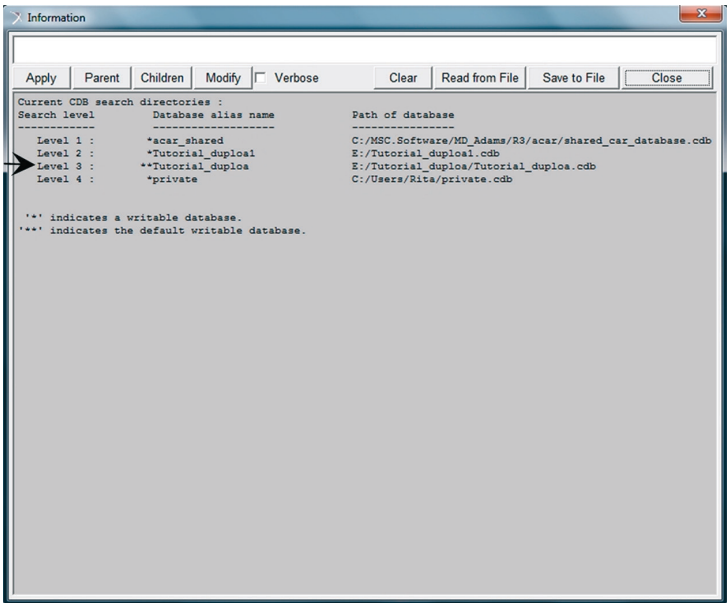


Figura 5.8 – Resultado da definição do diretório de trabalho.

A próxima etapa é definir o diretório de trabalho criado como sendo o diretório padrão, no qual os arquivos referentes ao projeto executado serão salvos. Para isso:

- Abra o menu *Tools* → *Database Management* → *Set Default Writable* (Figura 5.9).

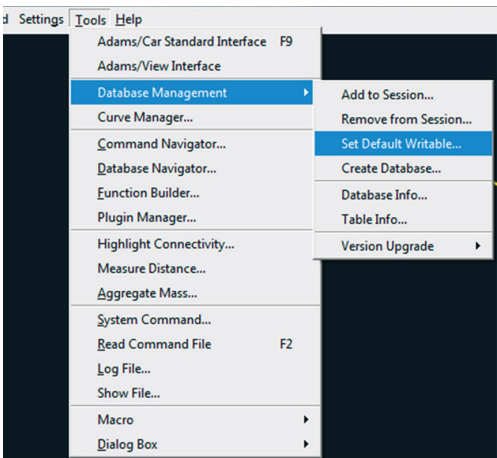


Figura 5.9 – Ilustração da opção a ser selecionada para definição do diretório padrão.

- Será aberta uma caixa de diálogo (*Set Default Writable Database*), conforme ilustrado na Figura 5.10. No campo *Database Name*, selecione o diretório de trabalho criado anteriormente. Para tanto, clique sobre a seta à direita da aba.

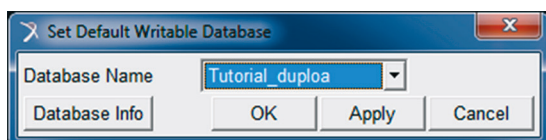


Figura 5.10 – Especificação do diretório de gravação de arquivos de projeto.

- Clique em OK.

#### Etapa 4 – Parametrização da Geometria da Suspensão

*A notar:* Para alterar/verificar unidades de medidas no ADAMS/Car, acesse o menu Settings → Units.

O primeiro passo para a construção de um subsistema suspensão é a criação dos *Hardpoints*. Dessa maneira, o modelo se torna parametrizado, facilitando, portanto, alterações geométricas, evitando, assim, o desenvolvimento de um novo projeto. Na Figura 5.11 é mostrado um esquema dos *Hardpoints* a serem definidos e sua respectiva representação em uma suspensão *Double A*. A numeração representada é coincidente com a da Tabela 5.1.

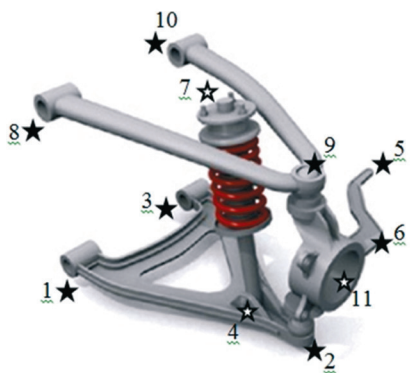


Figura 5.11 – Esquema dos *Hardpoints* a serem construídos.

Para criação dos *Hardpoints* ilustrados na Figura 5.12:

- Acesse o menu *Build*, clique em *Hardpoint* e, em seguida, clique em *New* (Figura 5.12).

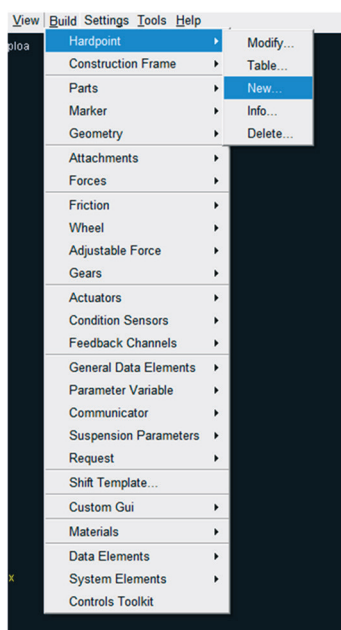


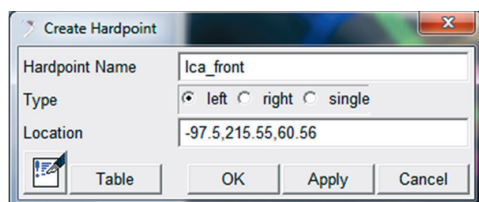
Figura 5.12 – Ativação da janela para criação de *hardpoints*.

Na caixa de diálogo *Create Hardpoint* defina o nome (*Hardpoint Name*) e selecione o tipo (*Type*). Se há simetria à esquerda – *left* –, à direita – *right* – ou caso não haja simetria defina como *single*.

A localização dos *Hardpoints* com relação às coordenadas globais ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ) do sistema deverá ser inserida no campo *Location* (Figura 5.13). Caso haja algum erro nos campos preenchidos, esse erro será destacado na cor amarela, para alertar o usuário.

- Após preenchimento dos campos clique em *Apply*, para inserir os demais *Hardpoints* (Tabela 5.1) ou para finalizar, após inserção do último ponto clique em *OK*. A aba *Type* será selecionada para todos os *Hardpoints* criados como sendo *right*.

**A notar:** A simetria à direita ou à esquerda se refere ao fato de que os *hardpoints* criados se repetirão (serão espelhados) ou à direita ou à esquerda, relativamente ao referencial global do projeto.

Figura 5.13 – Janela para criação de *hardpoints*.

**A notar:** Neste ponto, recomenda-se que se salve o projeto. Para tanto selecione a aba File → Save. Esta operação se repetirá em determinados pontos ao longo da construção da suspensão Duplo A.

Caso o usuário utilize a opção Save As, a tela mostrada a seguir aparecerá e se recomenda que ela seja preenchida conforme indicado.

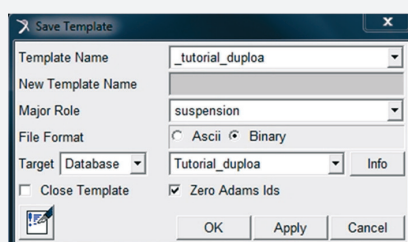


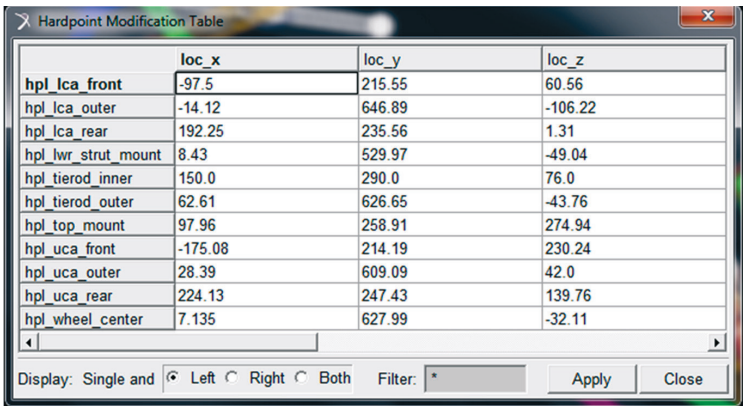
Figura ilustrativa da caixa de diálogo referente à gravação do Template.

**Tabela 5.1: Nomes e coordenadas dos *hardpoints***

	Nome	Coordenadas (x,y,z)
1	<i>lca_front</i>	(-97.5, 215.55, 60.56)
2	<i>lca_outer</i>	(-14.12, 646.89, - 106.22)
3	<i>lca_rear</i>	(192.25, 235.56, 1.31)
4	<i>lwr_strut_mount</i>	(8.43, 529.97, - 49.04)
5	<i>tierod_inner</i>	(150, 290, 76)
6	<i>tierod_outer</i>	(62.61, 626.65, - 43.76)
7	<i>top_mount</i>	(97.96, 258.91, 274.94)
8	<i>uca_front</i>	(-175.08, 214.19, 230.24)
9	<i>uca_outer</i>	(28.39, 609.09, 42)
10	<i>uca_rear</i>	(224.13, 247.43, 139.76)
11	<i>wheel_center</i>	(7.135, 627.99, - 32.11)

*A notar: Repare que os Hardpoints com sigla de identificação “lca” (Lower Control Arm) se referem à bandeja inferior, já os com “uca” (Upper Control Arm) se referem à bandeja superior. Os Hardpoints identificados por “tierod” correspondem à união do sistema de direção ao subsistema suspensão. “lwr\_strut\_mount” e o “top\_mount” são relativos à fixação do amortecedor na bandeja inferior e no chassi. Por fim, “wheel\_center” localiza o centro da roda (Figura 5.11)*

Após criar os onze *Hardpoints*, poderão ser feitas alterações em suas coordenadas, acessando-se o menu *Build*, clicando em *Hardpoint* e em seguida em *Table*. Uma tabela com o nome do *Hardpoint* e as respectivas localizações *x*, *y* e *z* abrirá na tela principal, possibilitando editá-la (Figura 5.14).



	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_lca_front	-97.5	215.55	60.56
hpl_lca_outer	-14.12	646.89	-106.22
hpl_lca_rear	192.25	235.56	1.31
hpl_lwr_strut_mount	8.43	529.97	-49.04
hpl_tierod_inner	150.0	290.0	76.0
hpl_tierod_outer	62.61	626.65	-43.76
hpl_top_mount	97.96	258.91	274.94
hpl_uca_front	-175.08	214.19	230.24
hpl_uca_outer	28.39	609.09	42.0
hpl_uca_rear	224.13	247.43	139.76
hpl_wheel_center	7.135	627.99	-32.11

Figura 5.14 – Tabela de modificação da coordenada do *hardpoint*.

*A notar: Perceba que na parte inferior desta janela há a opção Display. Nela ao selecionar as opções Left ou Right, haverá um ajuste automático dos sinais das coordenadas, de acordo com o sistema de coordenadas global. O termo hpl ou hpr é inserido automaticamente no nome do Hardpoint pelo próprio software, de modo a indicar a que lado ele pertence, segundo o sistema de coordenadas global.*

A Figura 5.15 ilustra a tela do software após criação dos *Hardpoints*.





Figura 5.15 – Tela exibindo os *hardpoints* definidos.

#### Etapa 5 – Criação da bandeja inferior da suspensão (*Lower Control Arm*).

A bandeja inferior da suspensão é definida por três *Hardpoints*: *lca\_front*; *lca\_rear* e *lca\_outer*, o que lhe confere uma forma triangular (Figura 5.11).

Para criação da bandeja, será necessário criar um *General Part* (item 1.2.5.2.1), o qual no ADAMS/Car é indicado pela abreviação *gel* (*general part left*) ou *ger* (*general part right*).

Para criação do *General Part*, é possível utilizar-se de dois tipos de construtores: *New* (criação do corpo rígido com características de geometria de massa e de material) ou *Wizard* (criação do corpo rígido baseado em duas geometrias possíveis *Link/Arm*, podendo-se definir a densidade do material, a partir da escolha do tipo ou como um *input* por parte do usuário).

- Para criação do *General Part*, acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New* (Figura 5.16).

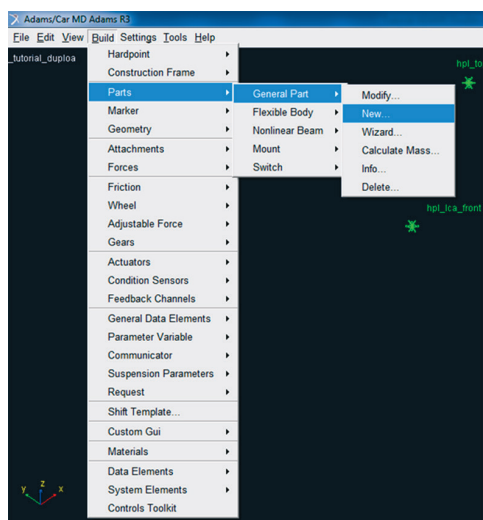


Figura 5.16 – Janela ilustrativa da opção selecionada para criação do *General Part*.

- Preencha a janela que se obtém ao acionar a opção, conforme mostrado na Figura 5.17.

O preenchimento dos campos: *General Part*, *Coordinate Reference #1*, *#2*, *#3 (Location Dependance)*, *Coordinate Reference #1* e *#2 (Orientation Dependance)* pode ser realizado manualmente, ou se pode clicar com o botão direito do mouse no referido campo e optar por umas das opções disponíveis, sendo essa segunda forma de preenchimento, um atalho. Os campos que possuem a seta lateral se acionadas com um clique fornecem as opções disponíveis. A Figura 5.18 (a) e (b) ilustram o dito aqui, respectivamente.

Os dados relativos à geometria desse *General Part*, como massa, e momentos de inércia, inclusive o centro de massa, foram definidos, a priori, por um valor aleatório (como pode ser observado na Figura 5.17). Após inclusão da geometria (próxima etapa), esses dados serão recalculados. Caso o usuário já possua os valores corretos, estes podem ser inseridos sem a necessidade de recalculá-los posteriormente.

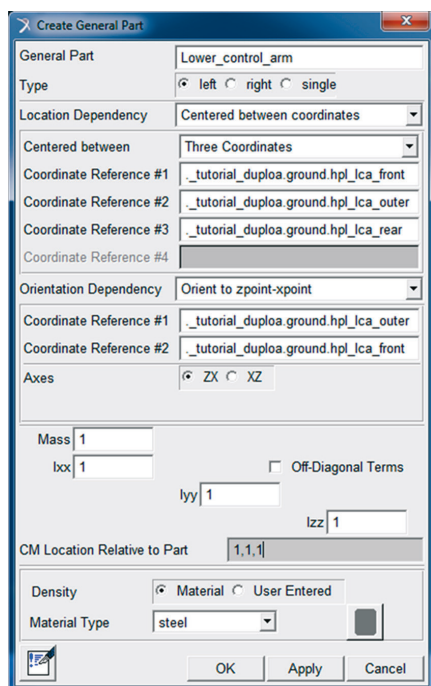


Figura 5.17 – Definição dos parâmetros de construção do General Part “Lower Control Arm”.

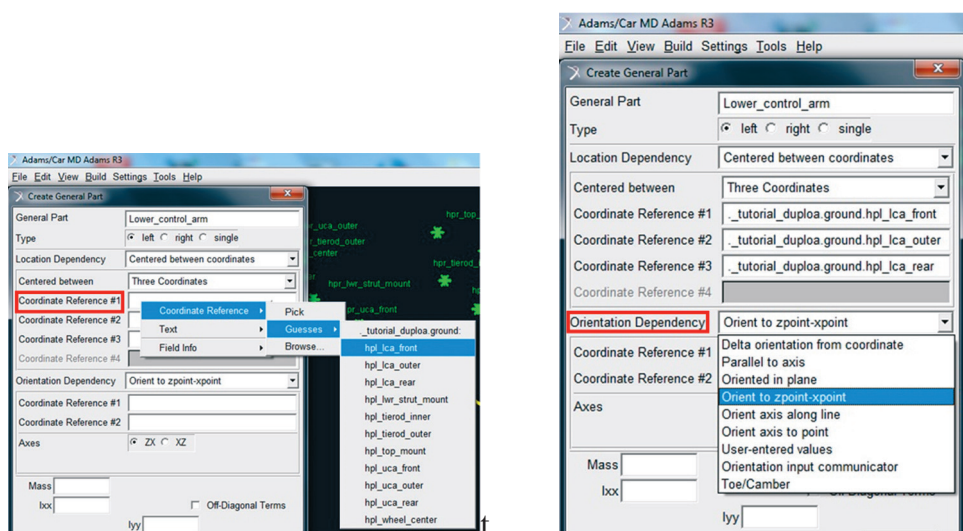


Figura 5.18 – Telas ilustrativas

- (a) atalho para seleção de coordenadas, por exemplo, *Coordinate Reference #1*;
- (b) acionamento de seta lateral para definição de opção (*Orientation Dependency*).



- Para construção da primeira geometria *Link*, o qual será formado pelos *Hardpoints* *hpl\_lca\_front* e *hpl\_lca\_outer*, acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Link* → *New*, como mostrado na Figura 5.20.

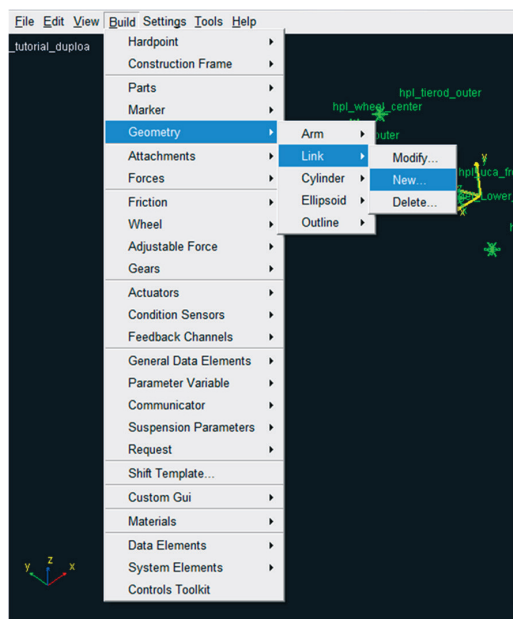


Figura 5.20 – Janela referente à construção da geometria *Link*.

- A janela *Create Link Geometry* será aberta e deverá ser preenchida conforme ilustrado na Figura 5.21. Observe que a opção para calcular as propriedades de massa do *General Part* (*Calculate Mass properties of General Part*) deve ser assinalada. Isso no caso de se desejar atualizar os dados de propriedades de massa inseridos na Etapa 5.
- Ao finalizar, clique na opção *OK*.

Repare que o preenchimento das abas *General Part*, *Coordinate Reference #1* e *Coordinate Reference #2* pode ser manual ou pelo acionamento do botão direito do mouse sob a aba, conforme ilustrado na Figura 5.18 (a). Nesse caso, recomenda-se escolher *Coordinate Reference* → *Guesses*, onde se abre uma janela elencando todos os *Hardpoints*, *hpl* e *hpr* disponíveis no projeto.



*A notar:* Dependendo da disponibilidade do usuário, o presente projeto pode ser realizado de uma só vez, ou interrompido para que depois se dê continuidade a ele. No entanto, quando o Template é aberto a partir de um arquivo salvo, este pode aparecer na tela principal sem todos os detalhes construtivos, normalmente vistos pelo usuário, tais como juntas, especificação de Hardpoints, Construction Frame, General Part etc. Para que todas essas entidades passem a ser visíveis novamente no modelo, posicione o cursor em qualquer ponto da tela de construção (menos em pontos do modelo) e clique com o botão direito do mouse. Na janela que se abrirá, selecione a opção Toogle Icon Visibility <v>.

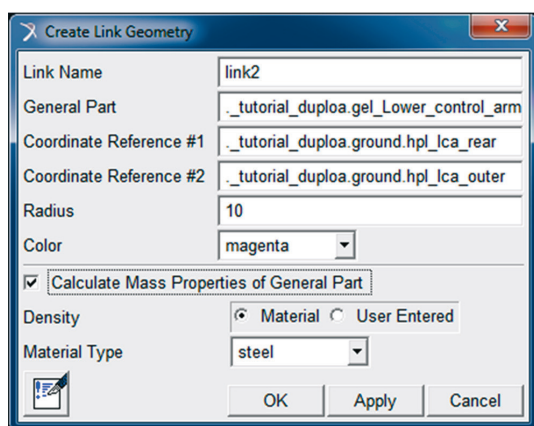


Figura 5.23 – Criação do Link 2 associado ao General Part criado na Etapa 5.

Nas extremidades dos Links 1 e 2 serão construídos volumes esféricos, a partir da ferramenta *Ellipsoid*. Para tanto, acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Ellipsoid* → *New* (Figura 5.24).

*A notar:* A geometria *Ellipsoid* pode ser utilizada para gerar geometrias esféricas, desde que os raios definidos em cada coordenada (x, y e z) sejam iguais.

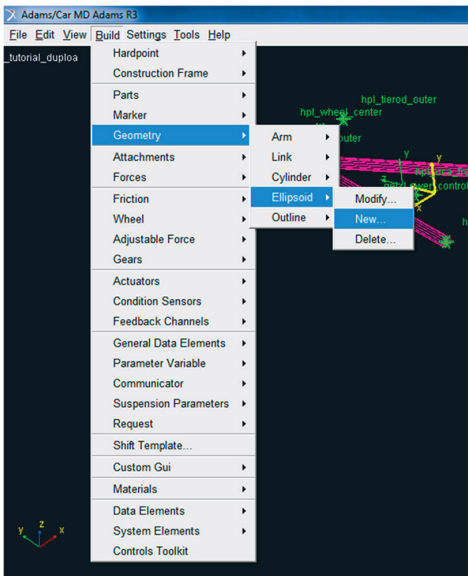


Figura 5.24 – Janela para criação da geometria esférica nas extremidades do *Link*.

- A janela *Create Ellipsoid Geometry* será aberta. Os campos deverão ser preenchidos conforme ilustrado na Figura 5.25. Observe que essa primeira esfera terá como referência o *Hardpoint hpl\_lca\_front*, e pertencerá ao *General Part gel\_Lower\_control\_arm*. Lembre-se que o campo *Calculate Mass Properties of General Part* deverá estar selecionado para atualização das propriedades de massa do *General Part Lower\_control\_arm*.
- Clique em *OK*.

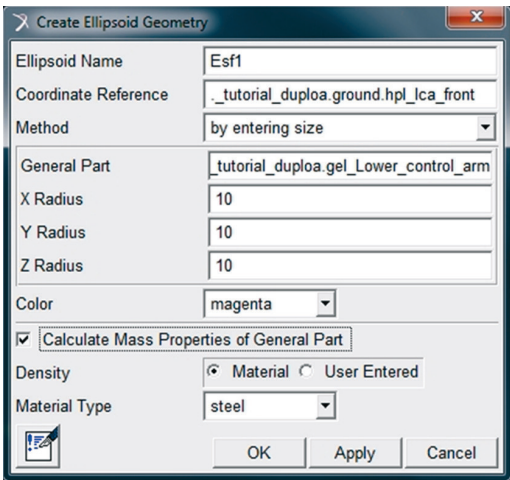


Figura 5.25 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da primeira esfera.



- O procedimento do item anterior deverá ser repetido para construção do segundo volume esférico. A segunda esfera será localizada no *Hard-point hpl\_lca\_rear*. O preenchimento da janela *Create Ellipsoid Geometry* para essa geometria está ilustrado na Figura 5.26.

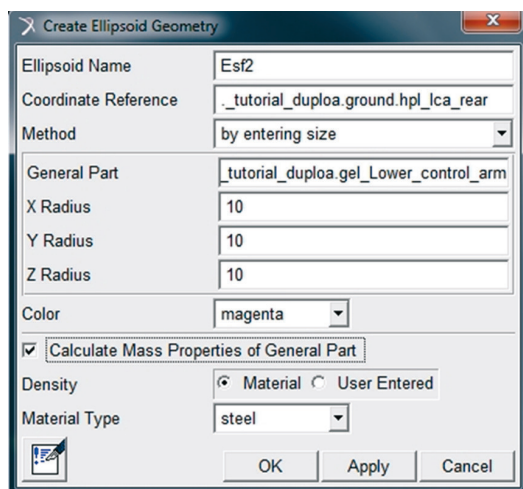


Figura 5.26 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da segunda esfera.

- A terceira esfera será construída na intersecção dos *Links* 1 e 2. A Figura 5.27 ilustra o preenchimento da janela *Create Ellipsoid Geometry* para construção dessa geometria.
- Clique em OK.

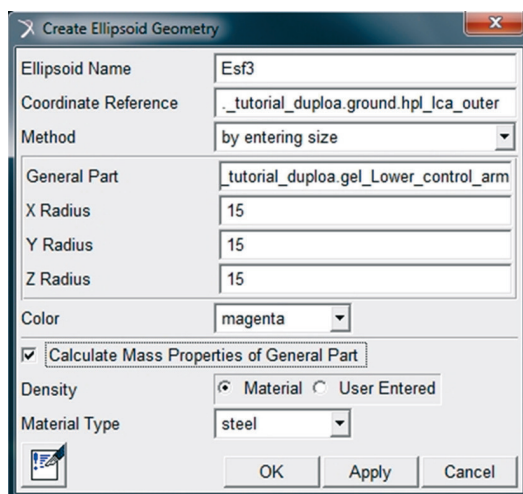


Figura 5.27 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da terceira esfera.

Após construção das geometrias que compõem a bandeja da suspensão, o *General Part Lower\_control\_arm* será atualizado em relação às suas propriedades de massa.

- Aproxime a imagem de um dos lados da suspensão, pressionando o botão direito do mouse em qualquer ponto da tela, menos em pontos da geometria do modelo virtual, selecione a opção *Zoom In/Out* e mova o cursor para o efeito desejado.
- Em seguida, na tela principal do software, clique com o botão direito do mouse sobre o *General: Part gel\_Lower\_control\_arm*. Em seguida, clique em *Modify* (Figura 5.28).

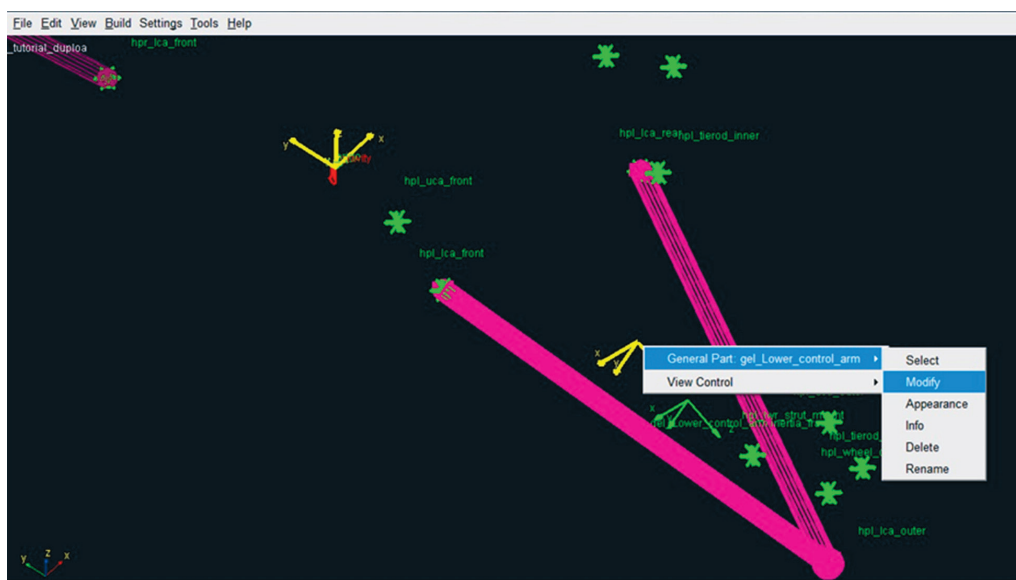


Figura 5.28 – Opção para atualização das propriedades do *General Part Lower\_control\_arm* a partir da opção *Modify*.

- A janela *Modify General Part* será aberta. Para atualização das propriedades, clique no ícone referente à calculadora (canto inferior direito), como destacado na Figura 5.29. Após essa ação, os dados serão automaticamente recalculados.
- Clique em *OK*.

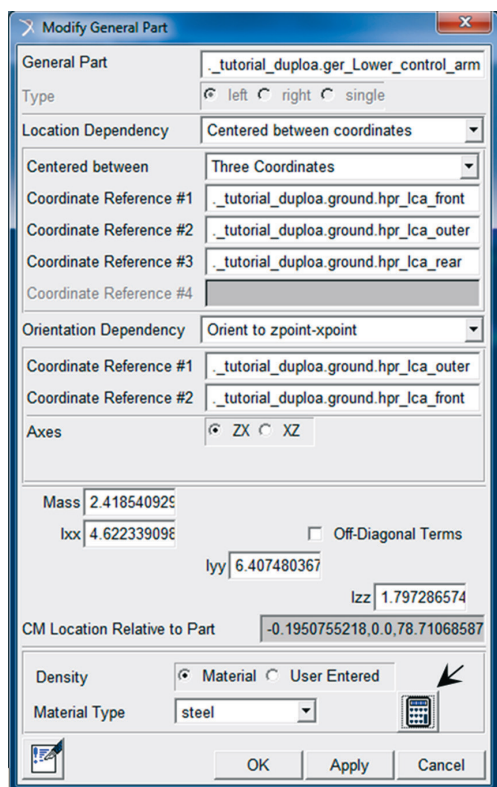


Figura 5.29 – Atualização das propriedades do *General Part* “gel\_Lower\_control\_arm”.

- Salve seu projeto.

### Etapa 7 – Construção da fixação inferior do amortecedor na bandeja Inferior

Nesta etapa, será construída a geometria para ancoragem à bandeja.

Para tanto, é necessário que sejam criados *Construction Frames* para orientação dos *Links*. Para isto:

- Acesse o menu *Build Construction Frame* → *New* (Figura 5.30).

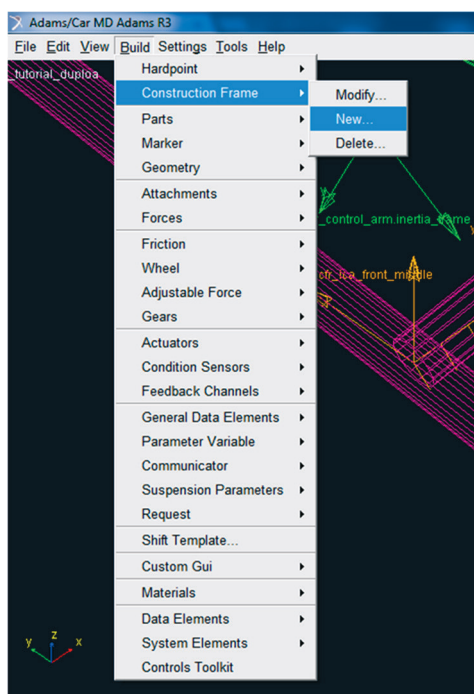


Figura 5.30 – Janela para criação do *Construction Frame* para fixação do amortecedor.

*A notar:* Trata-se de um elemento do ADAMS/Car, que é utilizado sempre que uma determinada entidade necessita para sua criação, não apenas da definição de coordenadas para localização como o Hardpoint, mas também de uma orientação (Orientation Dependency). Como ele é um elemento parametrizável, ele acompanha as alterações realizadas nos Hardpoints relacionados a ele.

Além disto, perceba que na construção de determinados elementos do modelo, onde houver a necessidade de se definir coordenadas (Coordinate Reference #1, #2, #3 ou #4 ou ainda, I ou J Coordinate Reference) essas abas serão sempre preenchidas ou por Hardpoint ou Construction Frame.

- A janela *Create Construction Frame* será aberta e os campos deverão ser preenchidos conforme ilustrado na Figura 5.31. Note que este *Construction Frame* será construído entre os seguintes *Hardpoints*: *hpl\_lca\_front* e *hpl\_lca\_outer*.
- Clique em OK.

Repare que a janela *Location Dependency* (assinalada na Figura 5.31), se acionada na seta lateral direita, fornece seis opções de localização. Selecione *Located on a line*, o que solicita ao usuário a entrada de duas coordenadas de referência (*Coordinate Reference #1* e *Coordinate Reference #2*).

*A notar: A opção Relative Location (%) fornece ao usuário a possibilidade de definir a localização do Construction Frame, com base na distância entre as coordenadas (x, y, z) de #1 e #2.*

*No caso, considerando-se as coordenadas dos Hardpoint hpl\_lca\_front e hpl\_lca\_outer; a distância entre eles é dada pela diferença de coordenadas entre hpl\_lca\_outer e hpl\_lca\_front, que multiplicada por 72% e somada aos valores de coordenadas de hpl\_lca\_front, fornece o posicionamento do Construction Frame.*

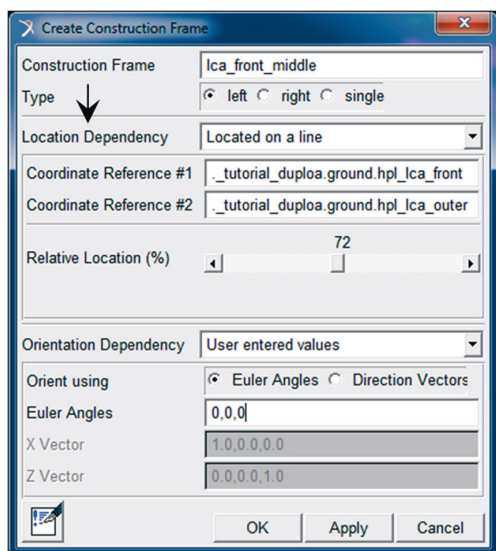


Figura 5.31 – Janela de construção do Construction Frame lca\_front\_middle.

- A Figura 5.32 destaca o Construction Frame criado, indicado pela seta branca.



A Figura 5.34 destaca o *Construction Frame* criado, indicado pela seta branca.

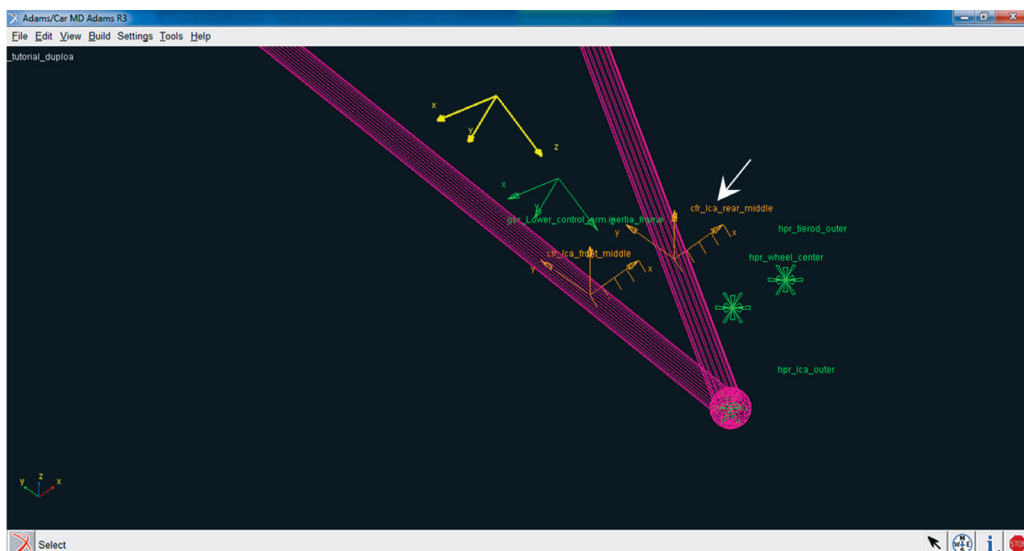


Figura 5.34 – Detalhe do segundo *Construction Frame* criado na bandeja inferior da suspensão.

Com a construção dos *Construction Frame*, é possível criar, a partir dessas entidades, um *Link* que ligue os dois braços da bandeja, onde será fixado o amortecedor.

- Para a criação deste *Link*, acesse o menu *Build* → *Geometry* → *New* (Figura 5.35).

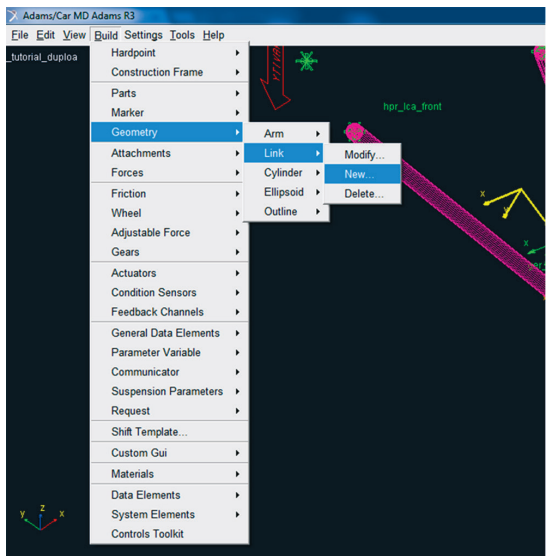


Figura 5.35 – Criação do *Link* para fixação do amortecedor na bandeja inferior da suspensão.

A criação do *Link* três deve atender às especificações mostradas na Figura 5.36.

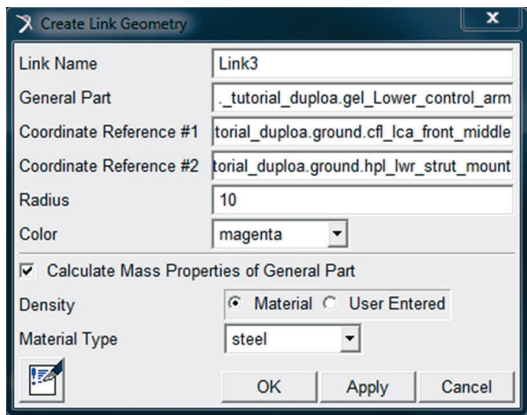


Figura 5.36 – Construção do *Link* de união entre os braços de suspensão da bandeja inferior – *Link* 3.

- Clique em *Apply* e preencha as especificações para o *Link* 4, como mostrado na Figura 5.37.





Para criação da bandeja superior, da mesma forma que para a bandeja inferior, será necessário criar um *General Part*.

A construção do *General Part* é realizada acessando-se o menu *Parts* → *General Part New* (Figura 5.39)

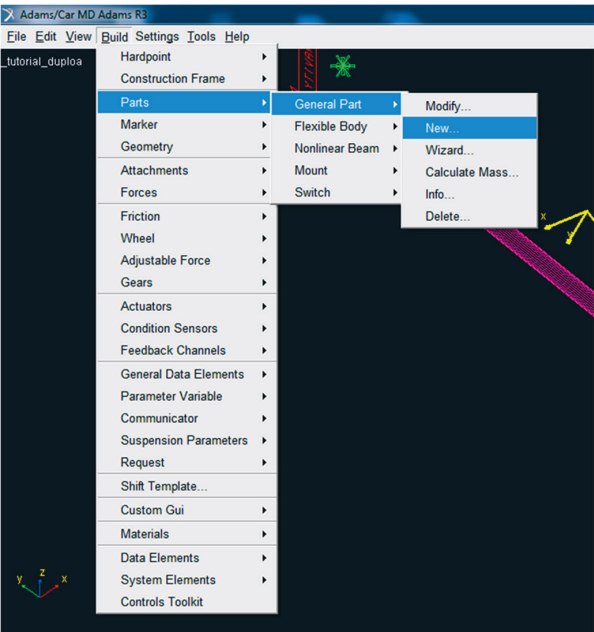


Figura 5.39 – Criação do *General Part* referente à bandeja superior.

O preenchimento da janela de criação do *General Part* deve ser como ilustra a Figura 5.40.

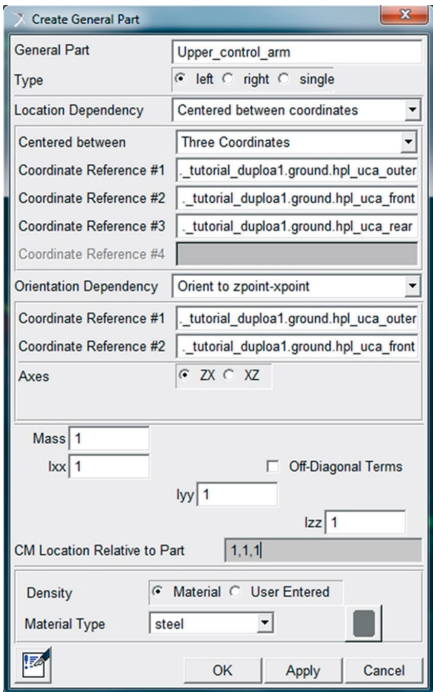


Figura 5.40 – Janela de criação do *General Part* *Upper\_control\_arm*.

- Ao finalizar o preenchimento, clique em *OK*.  
A Figura 5.41 destaca o *General Part* criado, indicado pela seta branca.

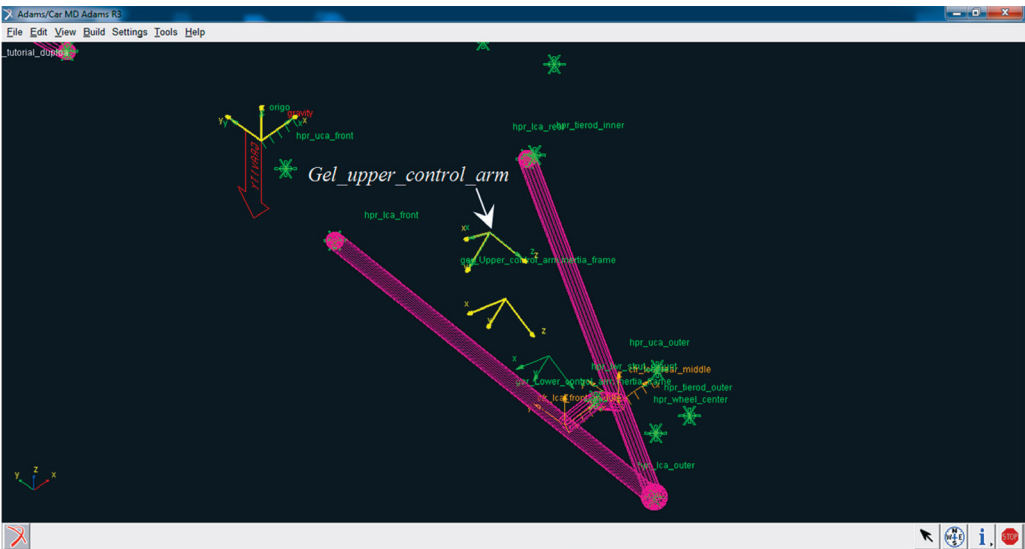


Figura 5.41 – *General Part* referente à criação do *Upper\_Control\_Arm*.

**Etapa 9 – Criação da geometria relacionada ao  
General Part “Upper Control Arm”**

Após criação do *General Part*, parte-se para a definição da geometria da bandeja inferior, a partir da criação de geometrias denominadas *Link*. Para tanto:

- Acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Link* → *New* (Figura 5.42).

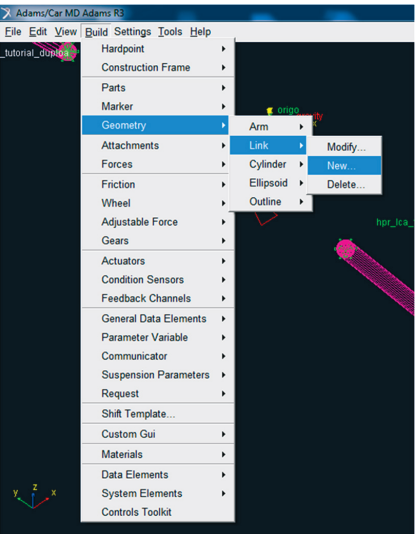


Figura 5.42 – Janela ilustrando a opção a ser ativada para criação de *Links* na bandeja superior (*Upper Control Arm*).

- Preencha a janela *Create Link Geometry*, de acordo com o especificado na Figura 5.43.
- Clique em *Apply*.

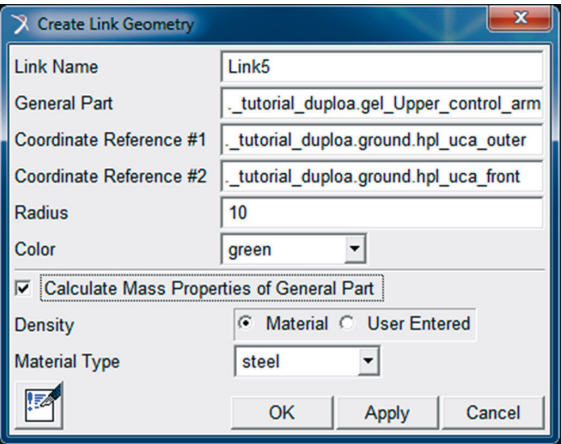


Figura 5.43 – Criação do *Link 5*, associado ao *General Part* criado na Etapa 8.

- Repita o procedimento para o *Link 6*, preencha a janela *Create Link Geometry* de acordo com o especificado na Figura 5.44.
- Clique em OK.

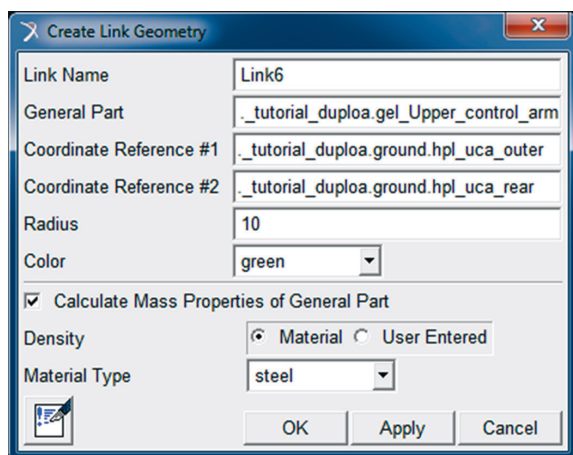


Figura 5.44 – Criação do *Link 6*, associado ao General Part criado na Etapa 8.

A Figura 5.45 destaca as geometrias *Links* criadas e associadas ao General Part “gel\_Upper\_control\_arm”.

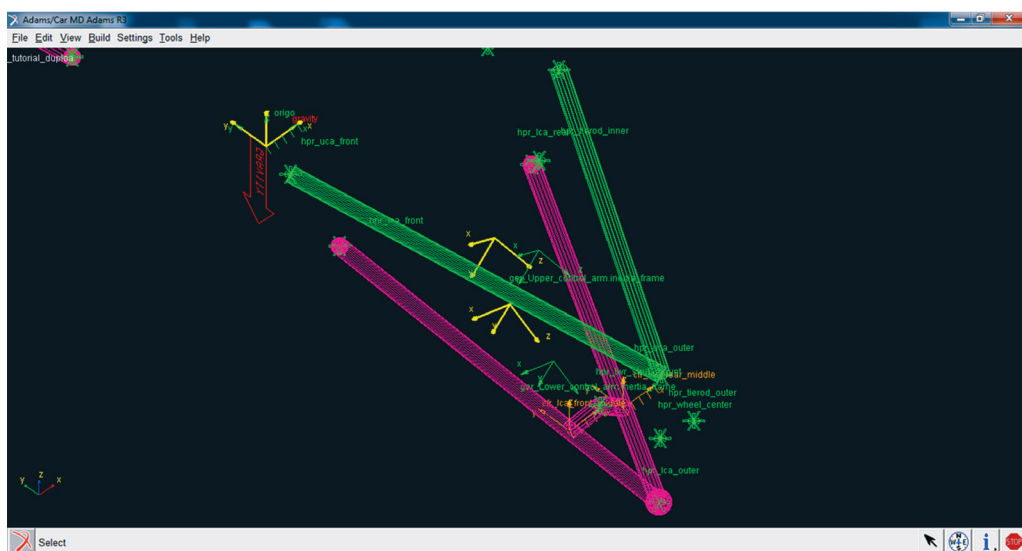


Figura 5.45 – Ilustração dos *Links* 5 e 6 (em verde) configurando o gel\_Upper Control Arm.

- Salve seu projeto.

Nas extremidades dos *Links* 5 e 6, serão construídos volumes esféricos, a partir da ferramenta *Ellipsoid*. Para tanto:

- Acesse o menu *Build Geometry* → *Ellipsoid* → *New* (Figura 5.46).

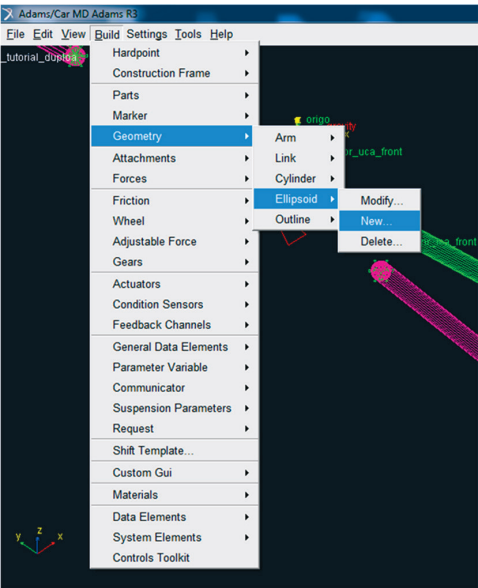


Figura 5.46 – Janela destacando as opções para criação da geometria esférica nas extremidades dos links da bandeja superior.

- Preencha a janela *Create Ellipsoid Geometry*, de acordo com a Figura 5.47.
- Clique em *Apply*.

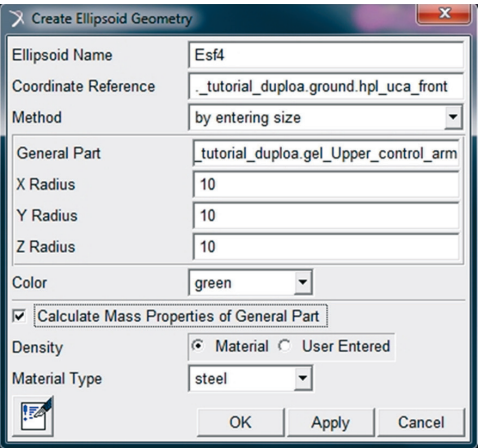


Figura 5.47 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da quarta esfera.

- Preencha a janela *Create Ellipsoid Geometry*, de acordo com a Figura 5.48.
- Clique em *Apply*.

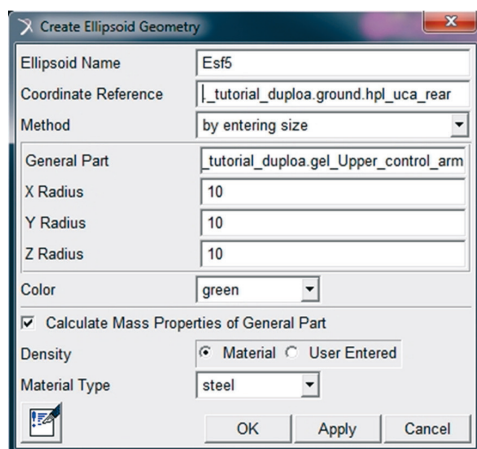


Figura 5.48 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da quinta esfera.

- Para a última esfera, preencha a janela *Create Ellipsoid Geometry*, de acordo com a Figura 5.49.
- Clique em *OK*.

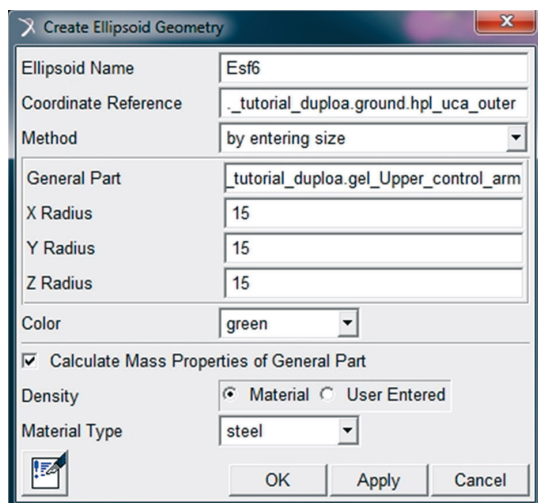


Figura 5.49 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da sexta esfera.

A Figura 5.50 mostra, em verde, as três esferas criadas.

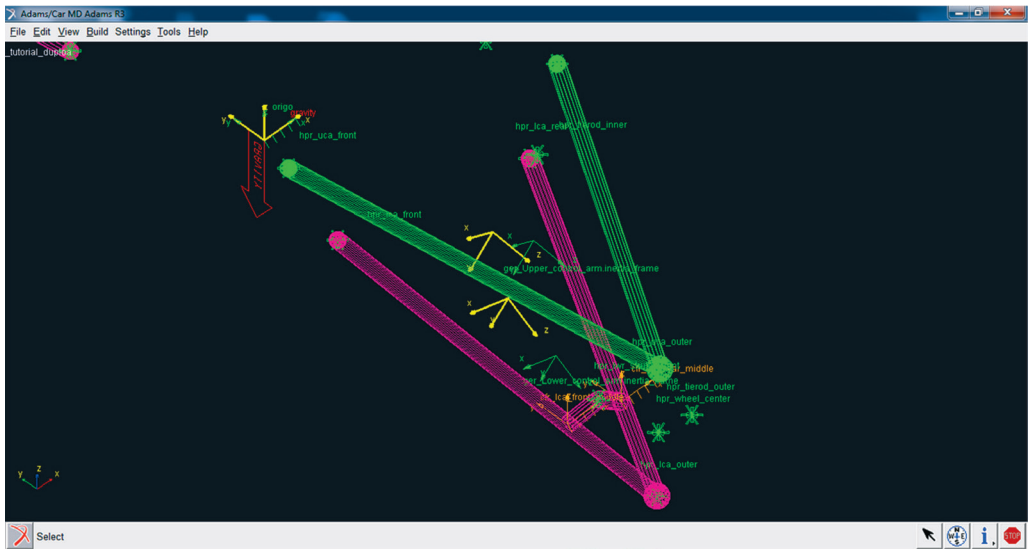


Figura 5.50 – Ilustração das esferas nas extremidades do *Upper Control Arm*.

- Salve seu projeto.
- Aproxime a imagem de um dos lados da suspensão, pressionando o botão direito do mouse em qualquer ponto da tela e selecionando a opção *Zoom In/Out*.
- Na tela principal do software clique com o botão direito do mouse sobre o *General Part* “*gel\_Upper\_Control\_Arm*”.
- Clique em *Modify*, Figura 5.51 e com a caixa de diálogo resultante da Figura 5.52 clique sobre o ícone calculadora.

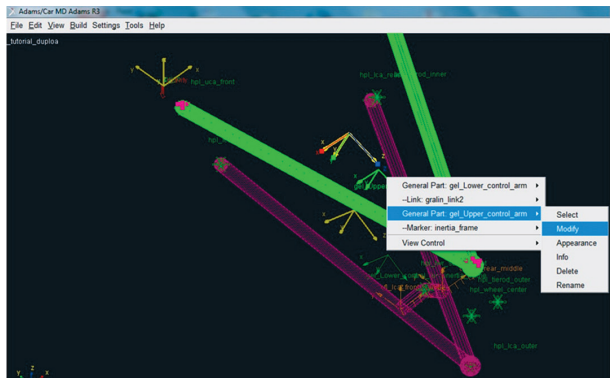


Figura 5.51 – Opção para atualização das propriedades do *General Part Lower\_control\_arm* a partir da opção *Modify*.



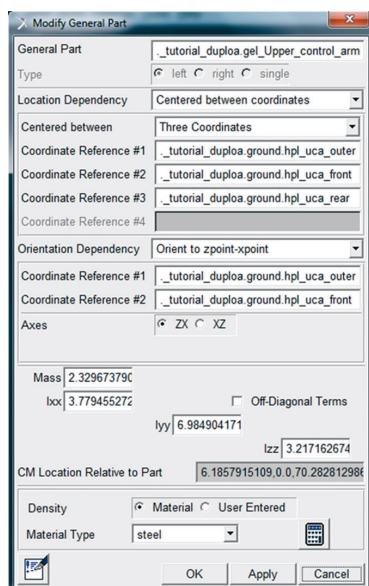


Figura 5.52 – Atualização das propriedades do *General Part* “gel\_Upper\_control\_arm”.

### Etapa 10 – Criação da manga de eixo (*Upright*)

Inicialmente, será criado o *General Part* associado à manga de eixo. Cabe salientar que, de acordo com a Figura 5.10, haverá quatro *Hardpoints* associados a essa parte (*Part*): *hpl\_lca\_outer*, *hpl\_uca\_outer*, *hpl\_wheel\_center* e *hpl\_tierod\_outer* e, ainda, três geometrias do tipo *Link*. Dando continuidade à etapa, tem-se:

- Acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New*, conforme ilustra a Figura 5.53.

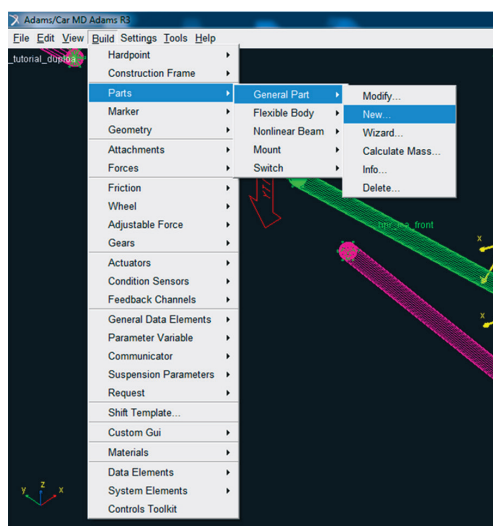


Figura 5.53 – Janela correspondente à construção do *General Part* “Uprighth”.

A janela *Create General Part* será aberta e deverá ser preenchida, conforme ilustra a Figura 5.54.

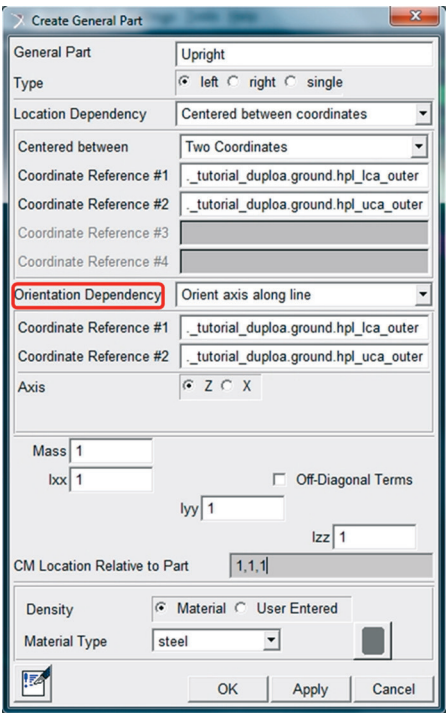


Figura 5.54 – Janela correspondente à criação do *General Part* “Uprigth”.

- Clique em OK.

*A notar:* A opção Orientation Dependency, Figura 5.54, selecionada como Orient axis along line solicita a especificação de duas coordenadas. Perceba que entre os dois Hardpoints especificados pode-se imaginar um eixo de ligação, que na aba Axis, foi especificado como sendo o eixo “Z”. A direção, neste caso, é da coordenada 1 até a coordenada 2.

O resultado é mostrado na Figura 5.55.

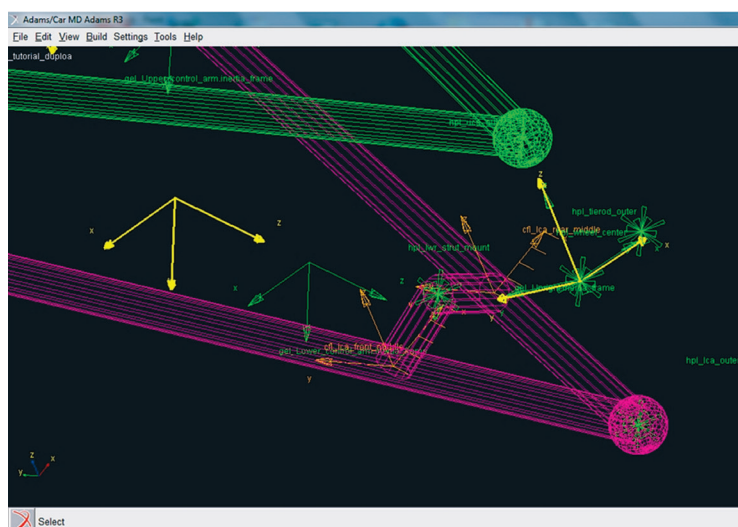


Figura 5.55 – Tela ilustrativa da criação do *General Part* “Upright”.

Em seguida, serão construídos dois *Links*, que complementam a manga de eixo. Para a criação destes *Links* siga as instruções a seguir:

- Acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Link* → *New*, conforme ilustrado na Figura 5.56.

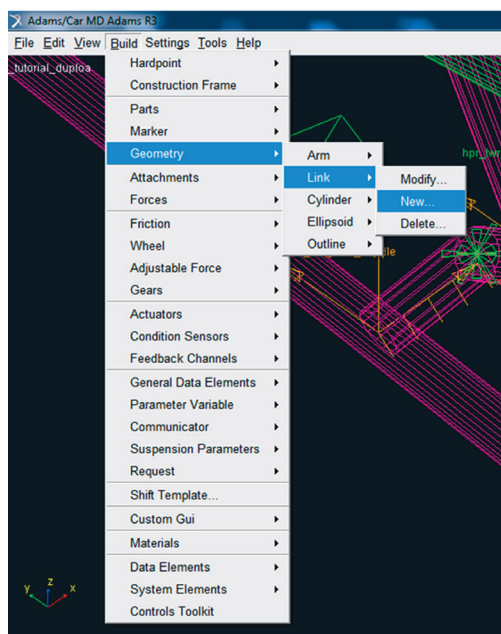


Figura 5.56 – Janela correspondente à criação da geometria *Link* que constituirá a manga de eixo.

A janela *Create Link Geometry* será aberta e a Figura 5.57 ilustra seu preenchimento.

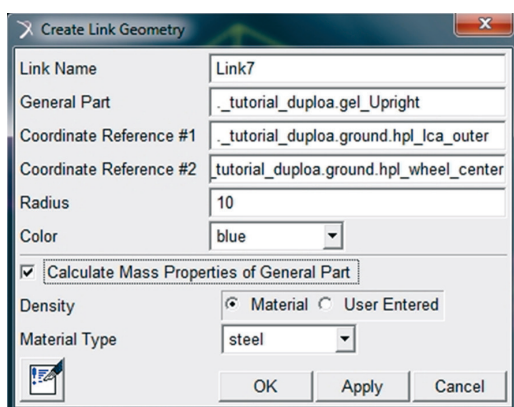


Figura 5.57 – Janela relativa à criação do primeiro *Link* correspondente ao *General Part* “Upright”.

- Clique em *Apply*.

O mesmo procedimento deve ser seguido para a construção do segundo *Link*. A Figura 5.58 ilustra o preenchimento da janela correspondente a sua criação.

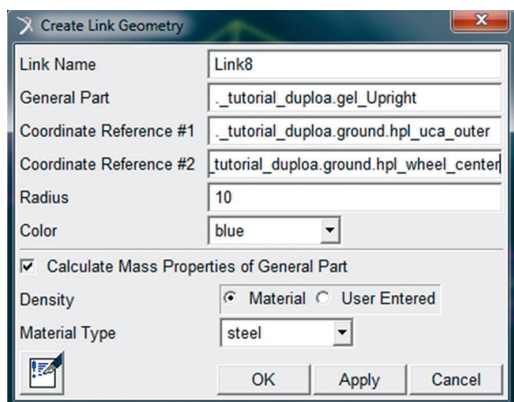


Figura 5.58 – Janela relativa à criação do segundo *Link* correspondente ao *General Part* “Upright”.

- Clique em *OK*.
- Salve seu projeto.

Considerando que a manga de eixo da suspensão *Duplo A*, geralmente, vem acompanhada por um suporte de fixação da direção, o próximo passo será a construção de um terceiro *Link*, conforme ilustrado na Figura 5.59.

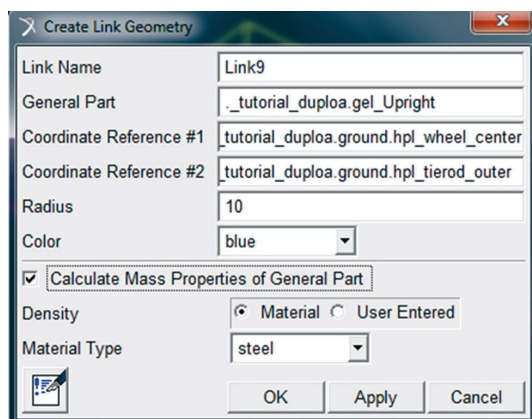


Figura 5.59 – Janela relativa à criação do segundo *Link* correspondente ao *General Part* “Upright”.

- Clique em OK.

A Figura 5.60 destaca a parte *General Part* “Upright” com os três *Links* criados, nas Figuras 5.57, 5.58, e 5.59, em azul.

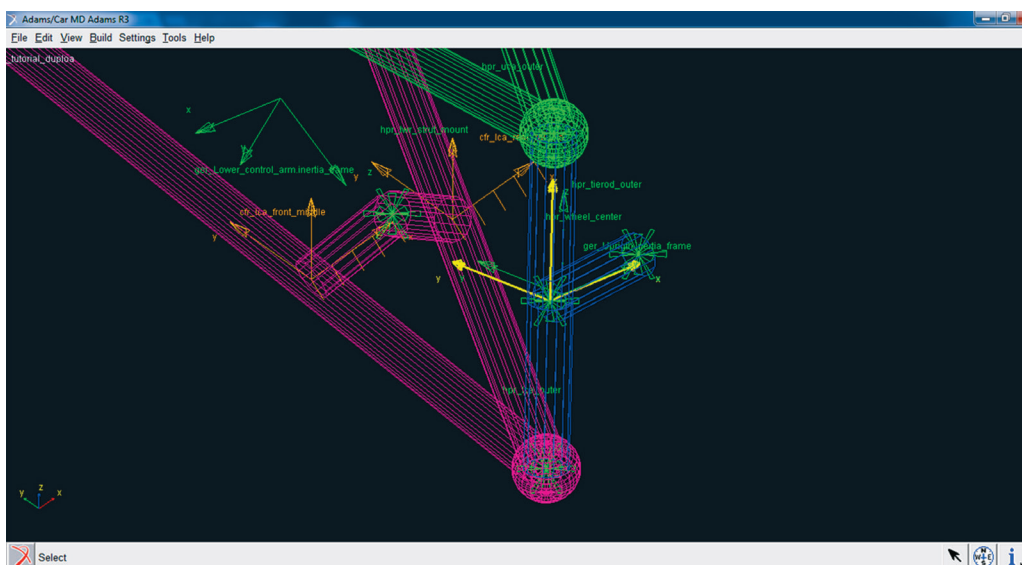


Figura 5.60 – Ilustração do *General Part* “Upright” associado às geometrias *Links*

- Salve seu projeto.

### Etapa 11 – Criação do elemento de ancoragem do amortecedor ao chassi

Nesta etapa, será construído o elemento (corpo rígido) de fixação do conjunto mola/amortecedor ao chassi do veículo.

Antes de criar o *General Part* e as geometrias relacionadas, serão criados três *Construction Frames* para definir a orientação da estrutura a ser criada. Para isso:

- Acesse o menu *Build Construction Frame* → *New* (Figura 5.61).

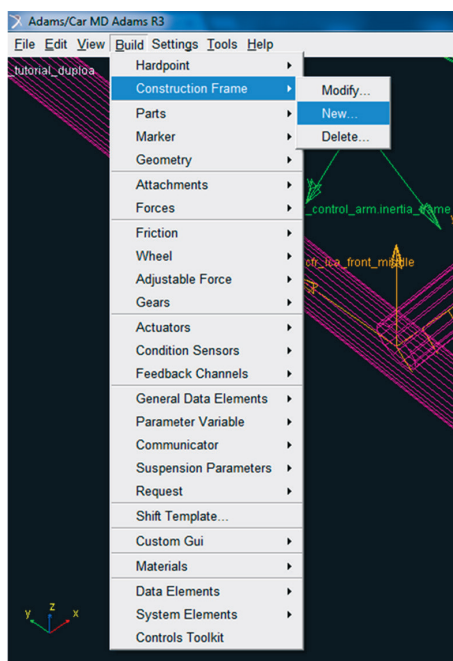


Figura 5.61 – Criação do *Construction Frame*.

- A janela *Create Construction Frame* será aberta e os campos deverão ser preenchidos, conforme a Figura 5.62.

Note que esse *Construction Frame* será criado, utilizando-se, como coordenada de referência, o *Hardpoint* “*hpl\_lwr\_strut\_mount*”.

- Clique em *Apply*.

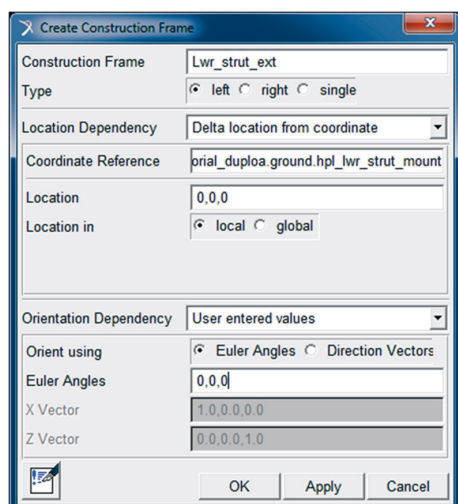


Figura 5.62 – Janela relativa à criação do *Construction Frame* “*Lwr\_strut\_ext*”.

A Figura 5.63 ilustra o *Construction Frame* construído.

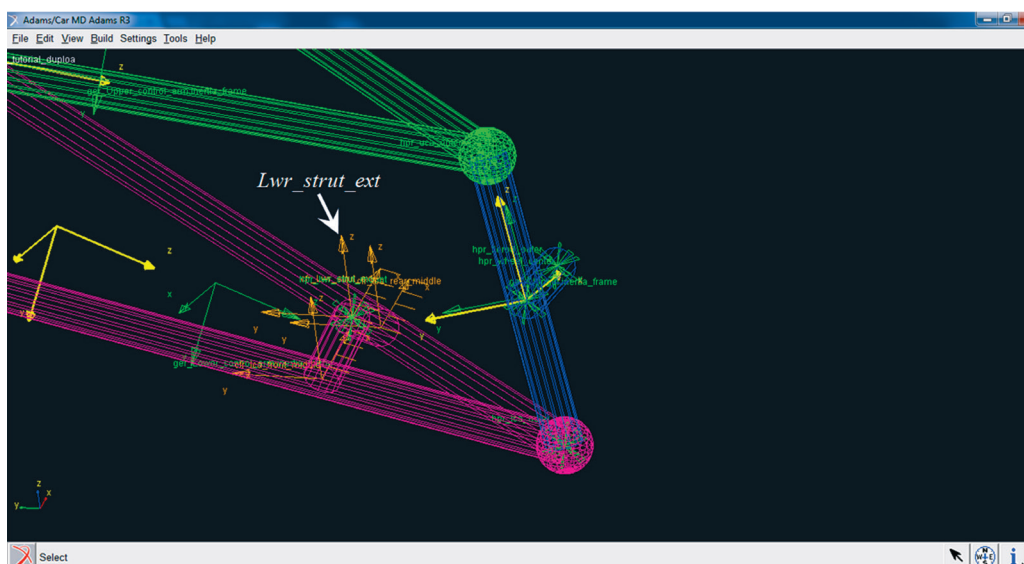


Figura 5.63 – Tela ilustrativa do *Construction Frame* “*Lwr\_strut\_ext*”.

As janelas devem ser preenchidas, conforme mostram as Figuras 5.64 e 5.66.

- Clique novamente em *Apply* após a criação do segundo *Construction Frame* “*Top\_mount\_ext*” e em *OK*, após concluir o terceiro *Lwr\_spring\_seat*.



As telas ilustrativas de cada uma das operações são mostradas nas Figuras 5.65 e 5.67.

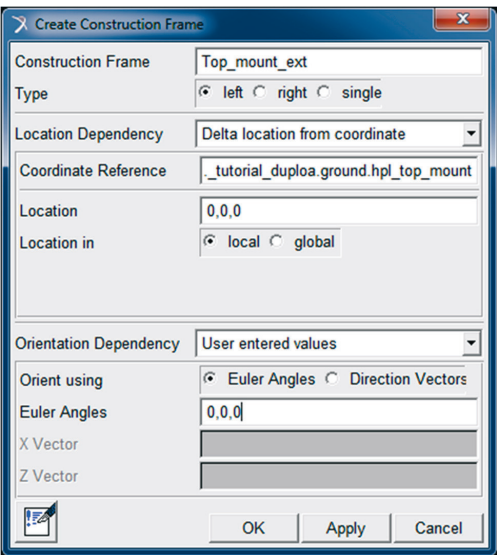


Figura 5.64 – Janela relativa à construção do *Construction Frame* “*Top\_mount\_ext*”.

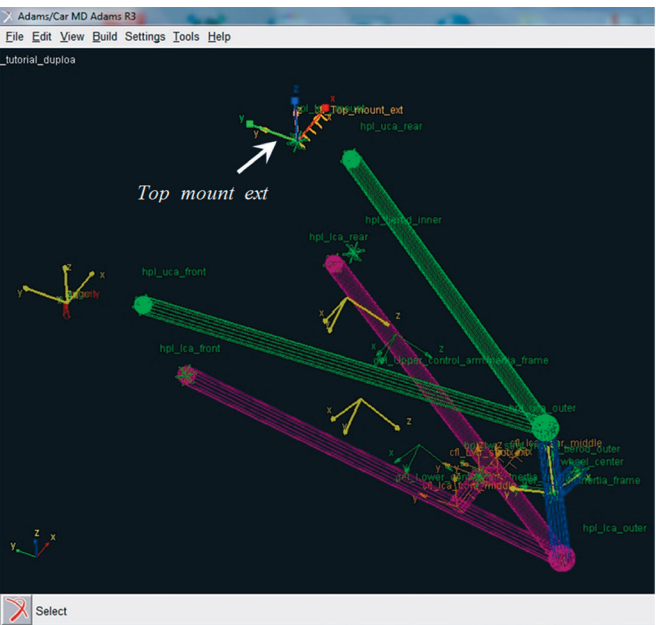


Figura 5.65 – Tela ilustrativa do *Construction Frame* “*Top\_mount\_ext*”.





dois primeiros fixaram as extremidades, enquanto o último, posicionado no meio do segmento de reta (*Relative Location* igual a 50%), complementou a orientação.

- Salve seu projeto.

Após a construção dos *Construction Frames*, a próxima etapa consiste na criação do *General Part* “*Upper Strut*”. Neste serão definidos os parâmetros da mola e do amortecedor da suspensão. Para tanto:

- Acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New*, conforme a Figura 5.68.

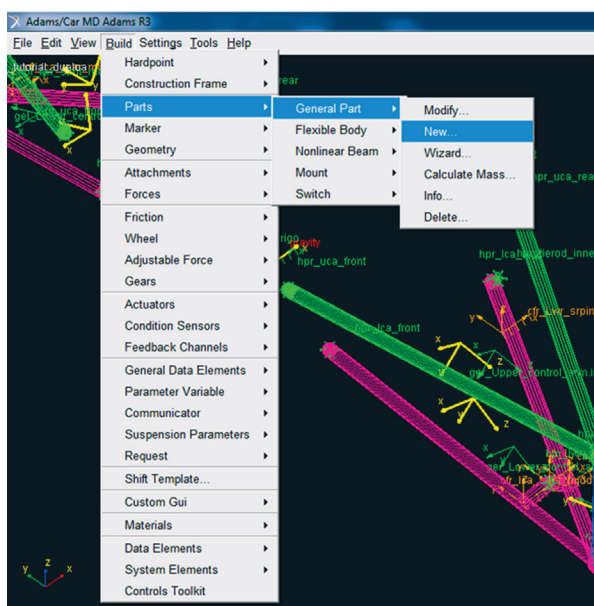


Figura 5.68 – Tela correspondente à opção de construção do *General Part* “*Upper-strut*”.

A janela *Create General Part* será aberta e seus campos deverão ser preenchidos, conforme a Figura 5.69.

- Ao finalizar o preenchimento, clique em *OK*.

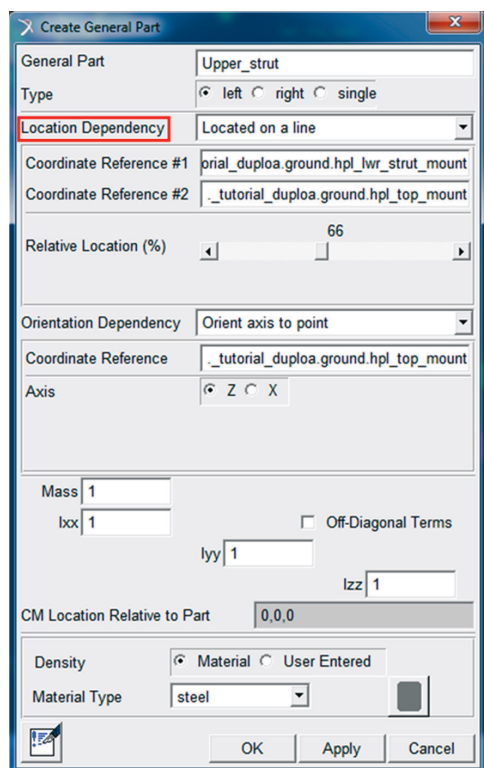


Figura 5.69 – Janela relativa à construção do *General Part* “Upper\_strut”.

*A notar: A escolha da aba Location Dependency como Located on a Line, Figura 5.69, permite que o General Part “Upper\_strut” se situe a 66% da distância entre os dois Hardpoints especificados como coordenadas #1 e #2, medido relativamente à coordenada #1.*

A Figura 5.70 ilustra a criação do referido *General Part*.

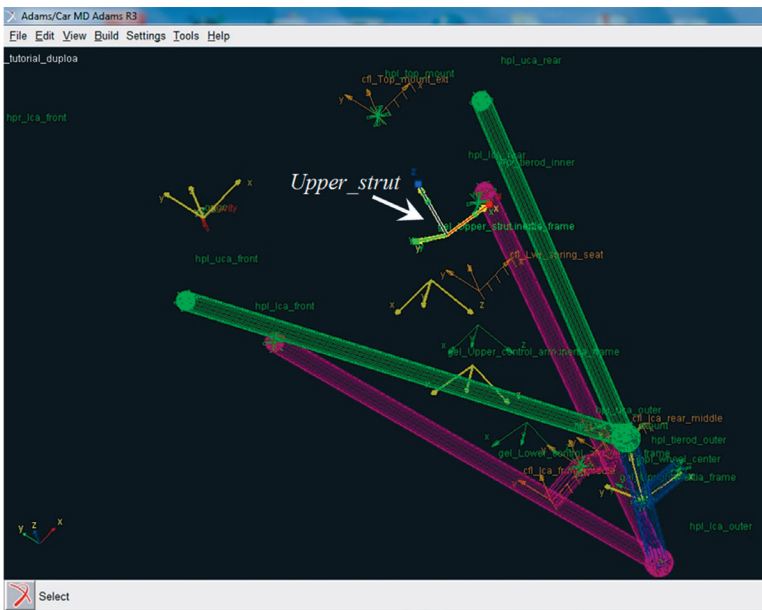


Figura 5.70 – Tela ilustrativa do *General Part* “Upper\_strut”.

- Crie outro *General Part* que, juntamente com o *General Part* “Upper\_strut”, representará o comportamento do amortecedor e da mola. Para criá-lo acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New* (Figura 5.71).

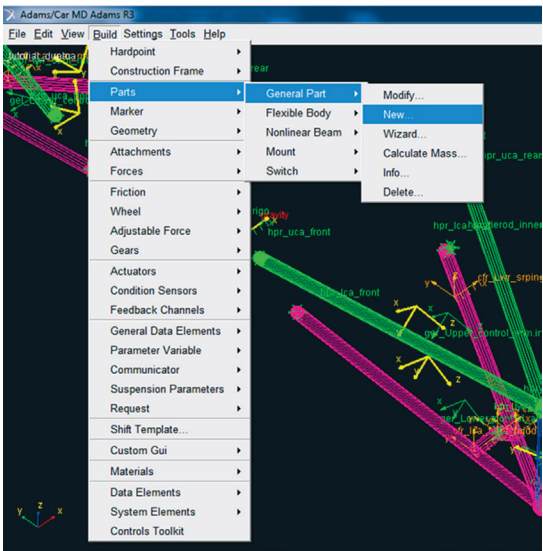


Figura 5.71 – Tela correspondente à opção de construção do *General Part*.

- A janela *Create General Part* será aberta e seus campos deverão ser preenchidos conforme a Figura 5.72.

General Part: Lower\_strut

Type: ☒ left ☐ right ☐ single

Location Dependency: Located on a line

Coordinate Reference #1: prrial\_duploa.ground.hpl\_lwr\_strut\_mount

Coordinate Reference #2: \_tutorial\_duploa.ground.hpl\_top\_mount

Relative Location (%): 33

Orientation Dependency: Orient axis to point

Coordinate Reference: \_tutorial\_duploa.ground.hpl\_top\_mount

Axis: ☒ Z ☐ X

Mass: 1

Ixx: 1

Iyy: 1

Izz: 1

Off-Diagonal Terms: ☐

CM Location Relative to Part: 0,0,0

Density: ☒ Material ☐ User Entered

Material Type: steel

Buttons: OK, Apply, Cancel

Figura 5.72 – Janela relativa à construção do General Part “Lower\_strut”.

*A notar: A escolha da aba Location Dependency como “Located on a Line”, Figura 5.72, permite que o General Part “Lower\_strut” se situe a 33% da distância entre os dois Hardpoints especificados como coordenadas #1 e #2, medido relativamente à coordenada #1.*

- Clique em OK.
- A Figura 5.73 ilustra o General Part “Lower\_strut”.

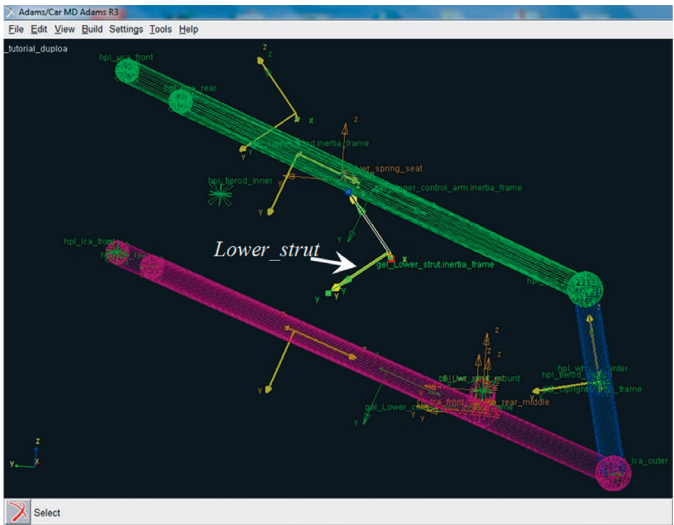


Figura 5.73 – Tela ilustrativa do *General Part* “Lower\_Strut”.

**Etapla 12 – Definindo parâmetros da suspensão**

Nesta etapa, serão definidos os parâmetros de *Camber*, *Toe* (convergência) e *Cáster* da suspensão. Para isso:

- Acesse o menu *Build* → *Suspension Parameters* → *Toe/Camber Values* → *Set* (Figura 5.74).

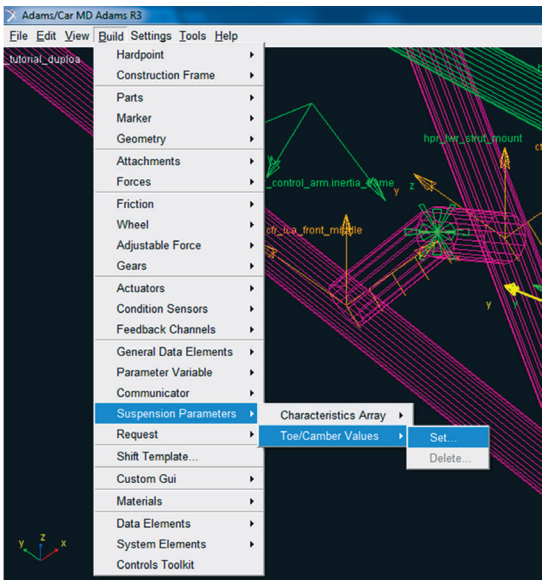


Figura 5.74 – Definição de parâmetros de *Toe* e *Camber* da suspensão.

A janela *Set Toe & Camber Values* será aberta e os valores destes parâmetros deverão ser inseridos nos campos disponíveis, de acordo com o projeto. Note que os valores requeridos se referem a ambos os lados: esquerdo (*Left*) e direito (*Right*) (Figura 5.75).

- Após preenchimento, clique em OK.



Figura 5.75 – Janela de inserção dos valores de *Toe* e *Camber* da suspensão *Duplo A*.

**A notar:** O preenchimento da caixa de diálogo mostrada na Figura 5.75 dá origem a dois parâmetros da geometria da suspensão que serão denominados: *pvl\_Toe\_Angle* e *pvl\_Camber\_Angle*. Esses parâmetros pertencem a uma classe denominada *Parameter Variables (pv)* e serão utilizados na construção do *Construction Frame “upright\_spindle\_inr”*, Figura 5.79 – Etapa 13.

A definição do valor de *Caster* da suspensão se dá a partir do preenchimento das informações da Figura 5.77. Para isso:

- Acesse o menu *Build* → *Suspension Parameter* → *Characteristics Array* → *Set* (Figura 5.76).

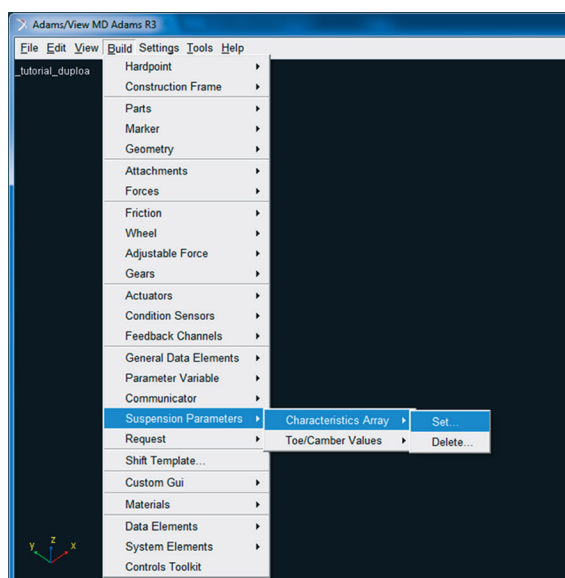


Figura 5.76 – Opção de definição do *Caster* da suspensão *Duplo A*.

- Preencha a janela *Suspension Parameters Array*, conforme ilustrado na Figura 5.77.
- Ao final, clique em OK.

Perceba que a suspensão foi definida como independente na aba *Suspension Type*, selecionando-se a opção a partir da seta à direita da aba. O eixo de direção (*Steer axis*) é definido pelos *Hardpoints* inseridos nas abas *I Coordinate Reference*, *J Coordinate Reference*. *I Part* e *J Part* são preenchidos com informações a partir de *General Part*.

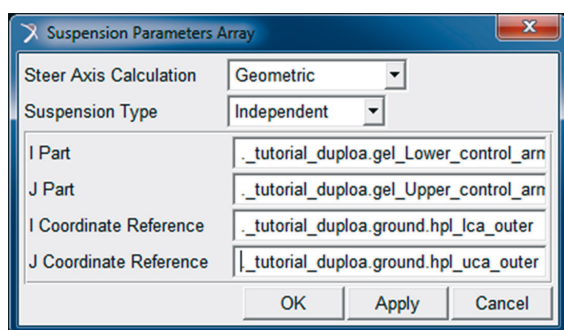


Figura 5.77 – Definição do Caster da suspensão.

### Etapa 13 – Construção da geometria relacionada ao cubo de roda

Para construção da geometria (*Geometry*), referente ao cubo de roda, é necessário, primeiramente, criar um novo *Construction Frame*, o qual irá fornecer a orientação das variáveis *Toe* e *Camber*. O preenchimento do campo *Orientation Dependancy*, assinalado na Figura 5.79, garante que as características estabelecidas na Etapa 12 sejam atendidas. Assim:

- Acesse o menu *Build* → *Construction Frame* → *New* (Figura 5.78).



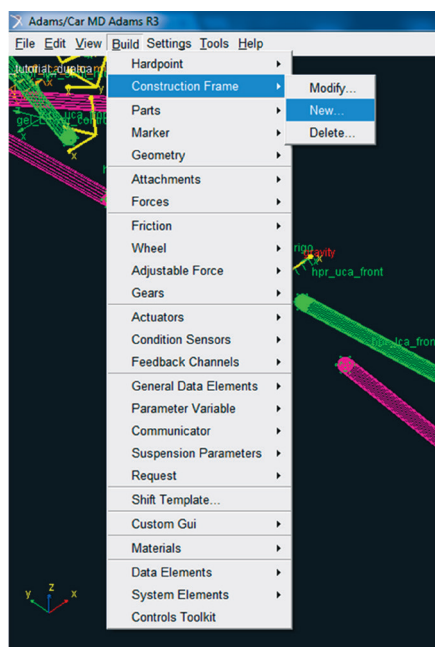


Figura 5.78 – Construção do *Construction Frame* relacionado ao cubo da roda.

A janela *Create Construction Frame* será aberta e os campos deverão ser preenchidos, conforme mostrado na Figura 5.79. Observe que o *Construction Frame* estará localizado no *hpl\_Wheel\_Center* e terá sua orientação definida pelas variáveis *Toe* e *Camber* declaradas anteriormente.

- Finalizado o preenchimento, clique em *OK*.

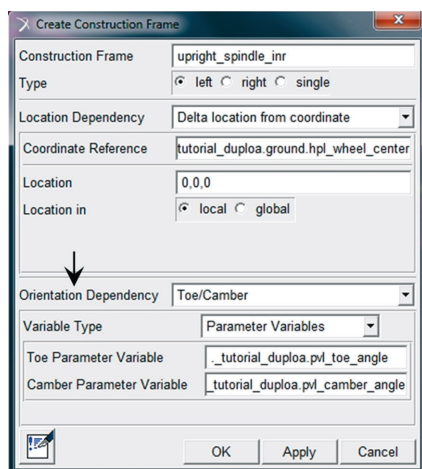


Figura 5.79 – Definindo a posição da *Construction Frame*.

A Figura 5.80 ilustra o *Construction Frame* “*Upright\_spindle\_inr*”.

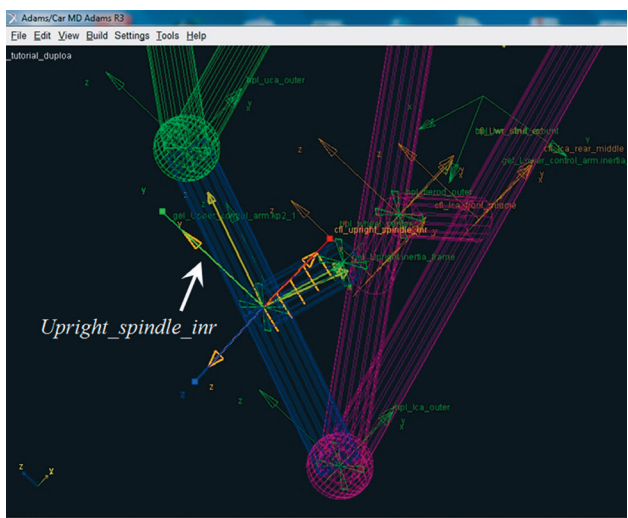


Figura 5.80 – Tela ilustrativa do *Construction Frame* “*upright\_spindle\_inr*”.

Após esta ação, parte-se para a construção da geometria. Para isso:

- Acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Cylinder* → *New*, associado ao *Construcrion Frame* (Figura 5.81).

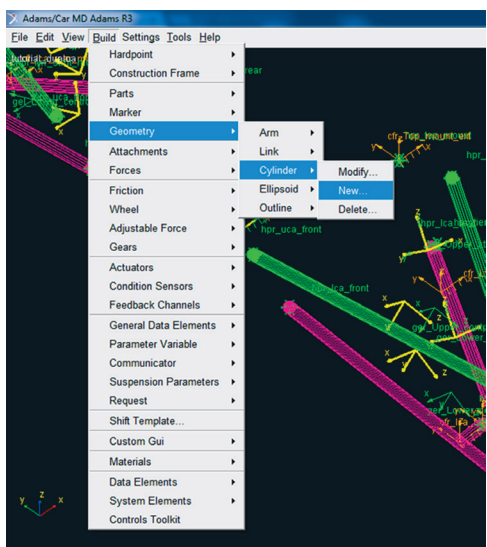


Figura 5.81 – Criação de uma geometria do tipo *Cylinder*.

*A notar: A diferença entre as geometrias Link e Cylinder são sutis visualmente, diferenciando-se apenas no modo de suas construções. Enquanto o Link necessita da definição de dois hardpoints e do raio, o Cylinder requer a definição de um Construction Frame. O eixo z do Construction Frame define o eixo longitudinal do cylinder, e seu comprimento é fornecido tanto no sentido positivo quanto negativo do eixo z. O raio do cylinder também é um parâmetro requisitado.*

A janela *Create Cylinder Geometry* será aberta e os campos a serem preenchidos estão ilustrados na Figura 5.82. Note que para construção de uma geometria cilíndrica é necessário definir um *Construction Frame* (3º campo) o qual já foi criado anteriormente nesta mesma etapa.

- Clique em OK.

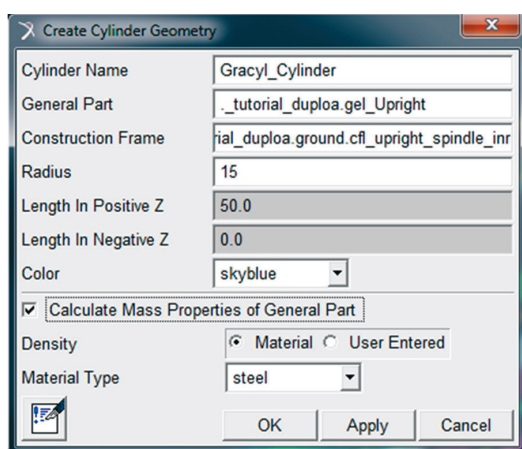


Figura 5.82 – Janela relativa à construção da geometria *Cylinder* referente ao cubo da roda.

A Figura 5.83 ilustra o cilindro representativo do cubo da roda.

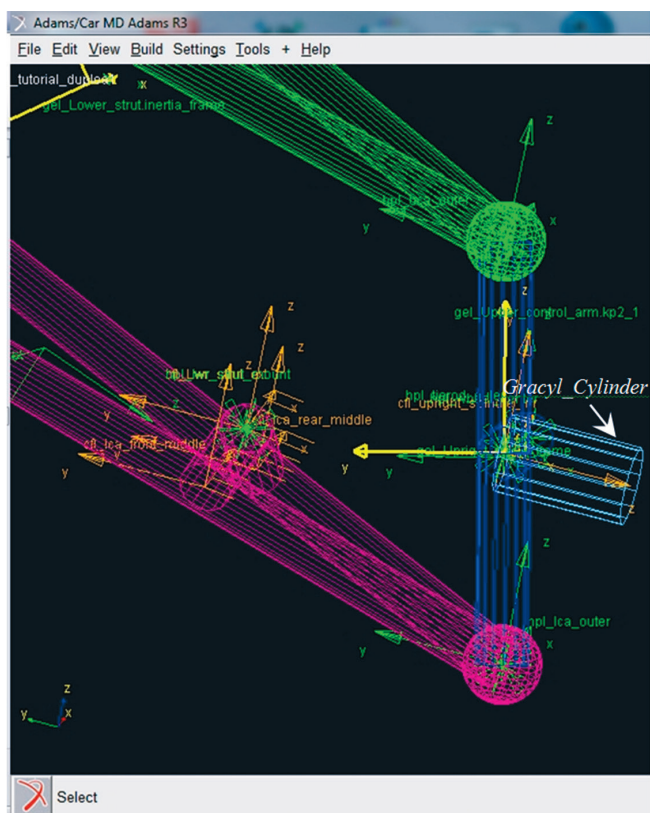


Figura 5.83 – Tela ilustrativa do cilindro *Gracyl\_Cylinder*.

#### Etapa 14 – Construção do amortecedor (*Damper*)

- Para a criação do amortecedor, acesse o menu *Build* → *Forces* → *Damper* → *New* (Figura 5.84).

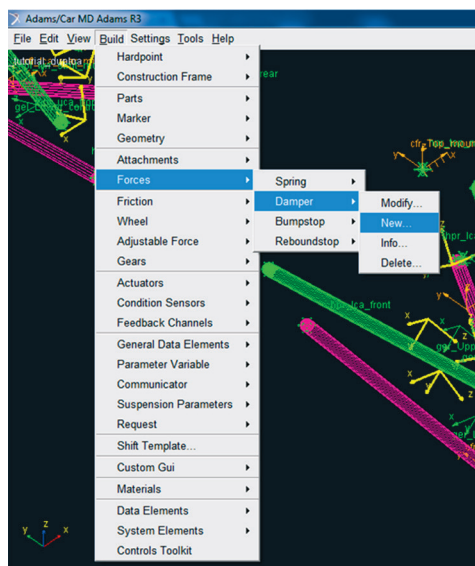


Figura 5.84 – Definição do amortecedor da suspensão.

O preenchimento dos campos da janela *Create Damper* se dá conforme mostrado na Figura 5.85. O amortecedor é definido entre os corpos rígidos (partes) “*Upper\_strut*” e “*Lower\_strut*” e sua curva característica pode ser inserida do próprio software ou editada manualmente pelo usuário e utilizada no modelo. Como se pode observar na Figura 5.85, no campo *Property File*, as propriedades do amortecedor são definidas no arquivo especificado na biblioteca do software.

- Clique em OK.

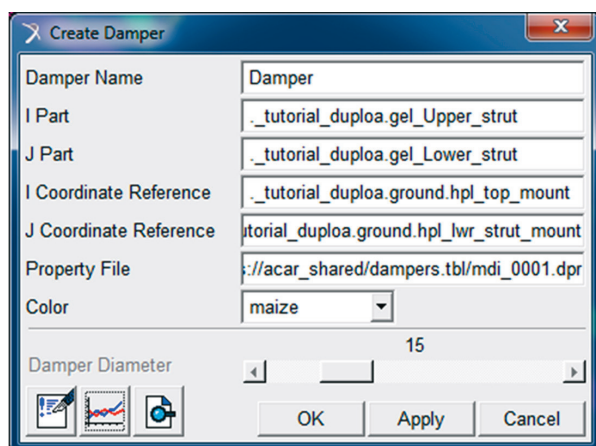


Figura 5.85 – Definição do amortecedor da suspensão.

A Figura 5.86 ilustra o amortecedor construído.

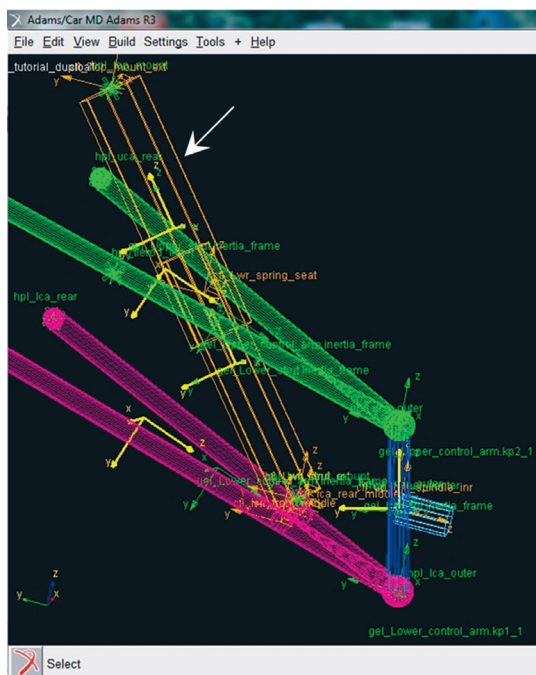


Figura 5.86 – Tela ilustrativa do amortecedor construído.

- Salve seu projeto.

### Etapa 15 – Construção da mola (*Spring*)

Nesta etapa, será definida a mola da suspensão. Ressalta-se que a mola não é considerada um corpo rígido, portanto sua criação não será por meio da criação de um *General Part*. No ADAMS/Car, a mola é definida por meio da criação de uma força (*Forces*). Entretanto, o processo de construção da mola necessita, antes, da criação de um *Mount*, que pode ser criado acessando-se o menu *Build* → *Parts* → *Mount* → *New* (Figura 5.87).

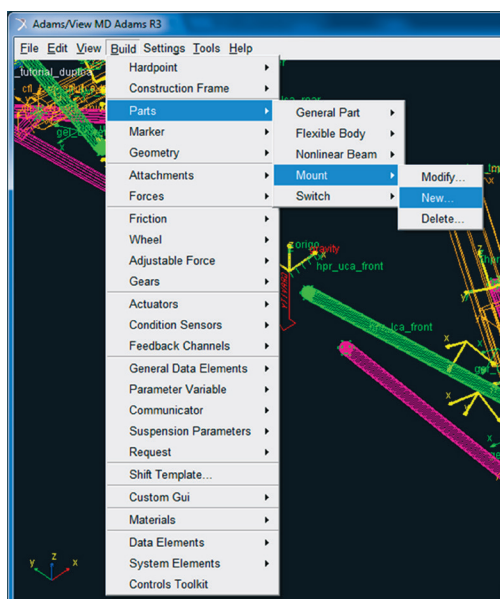


Figura 5.87 – Criação do *Mount* para construção da mola.

A janela *Create Mount Part* será aberta, e os campos a serem preenchidos estão ilustrados na Figura 5.88.

- Clique em OK.

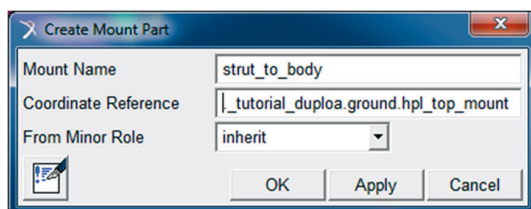


Figura 5.88 – Janela de criação do *Mount* para construção da mola.

A Figura 5.89 ilustra o *Mount* criado.

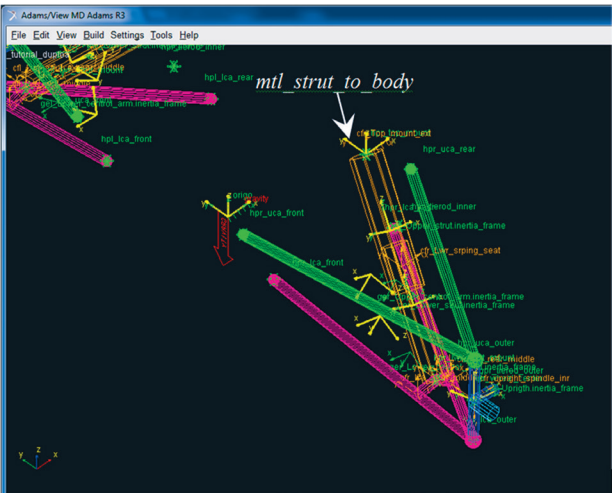


Figura 5.89 – Tela ilustrativa do *Mount* para a construção da mola

- Com o *Mount* construído, é possível, então, criar a mola. Para isso, acesse o menu *Build* → *Forces* → *Spring* → *New* (Figura 5.90).

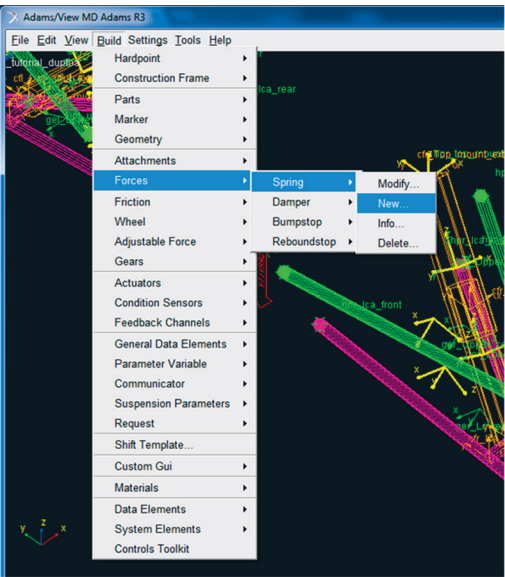


Figura 5.90 – Janela de opção para criação de uma mola.

- Preencha os campos da janela *Create Spring* conforme mostrado na Figura 5.91. Note que a mola é definida entre o corpo rígido *Lower\_control\_arm* e *mount* que se criou nessa etapa *mtl\_strut\_to\_body*. A curva característica da mola pode ser editada manualmente pelo usuário e salva



em arquivo externo ou podem ser utilizadas informações da própria biblioteca do software (campo *Property File*) como é o caso deste modelo.

- Clique em OK.

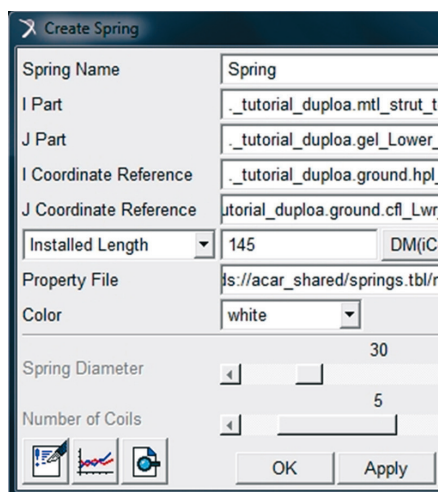


Figura 5.91 – Janela correspondente à definição da mola da suspensão.

A Figura 5.92 ilustra a mola construída.

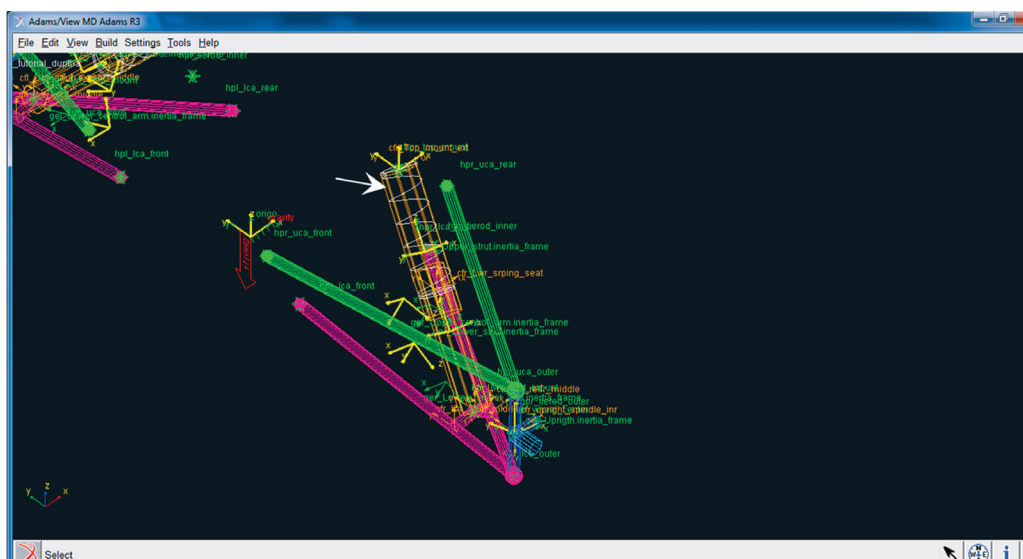


Figura 5.92 – Mola construída.



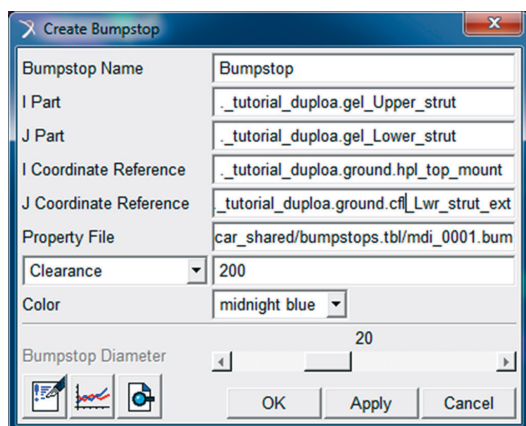


Figura 5.94 – Janela de definição das características do *Bumpstop*.

A Figura 5.95 ilustra o *Bumpstop* construído.

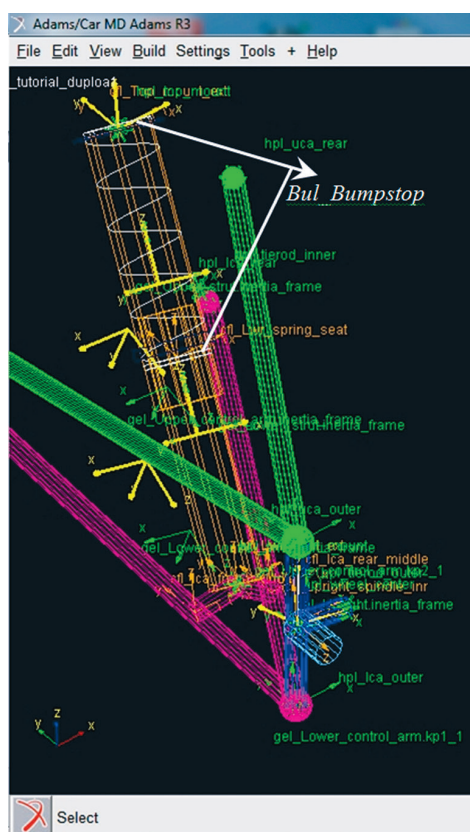


Figura 5.95 – Tela ilustrativa do *Bumpstop* criado nas extremidades da mola.

- Salve seu projeto.

### Etapla 16 – Construção da barra de direção (*Tierod*)

Nesta etapa, será construída a barra de direção, a qual será um *General Part* denominado por *Tierod*.

- Acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New* (Figura 5.96).

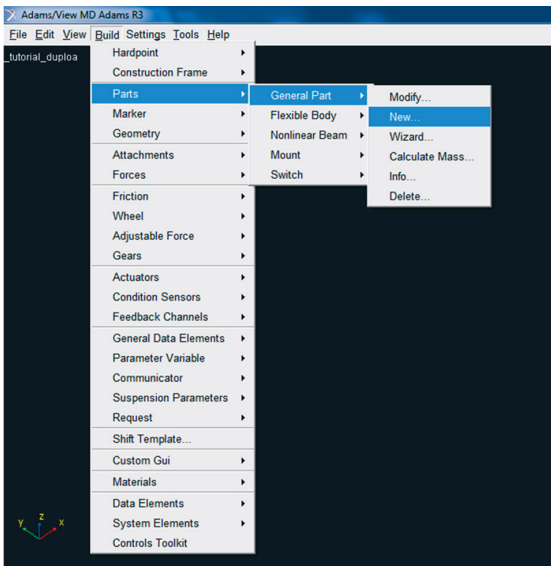


Figura 5.96 – Janela correspondente à criação do *General Part* “*Tierod*”.

- Preencha os campos da janela *Create General Part*, conforme ilustrado na Figura 5.97.

Note que a geometria (*Geometry*) associada a este *General Part* será do tipo *Link*, sendo este último definido pelos *Hardpoint* “*hpl\_tierod\_inner*” e “*hpl\_tierod\_outer*”.

- Clique em OK.

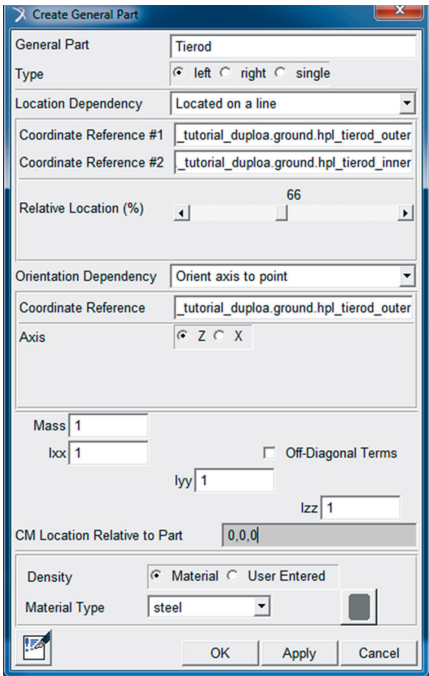


Figura 5.97 – Preenchimento da caixa de diálogo para construção do *General Part* “Tierod”.

A Figura 5.98 ilustra como a suspensão deve estar até o presente momento.

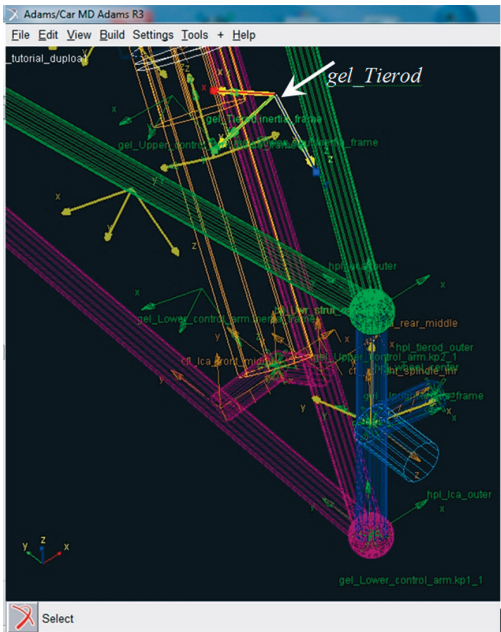


Figura 5.98 – Ilustração do *General Part* “Tierod” construído.

- Para criação do *Link* referente ao braço de direção, acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Link* → *New* (Figura 5.99).

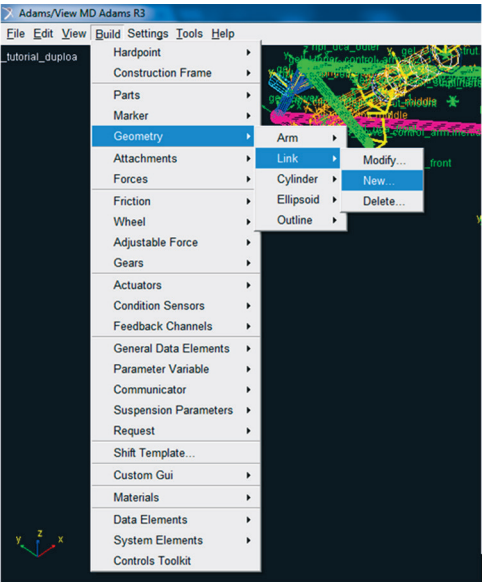


Figura 5.99 – Janela correspondente à criação da geometria referente *General Part* “Tierod”.

- Preencha os campos da janela *Create Link Geometry*, conforme mostrado na Figura 5.100.

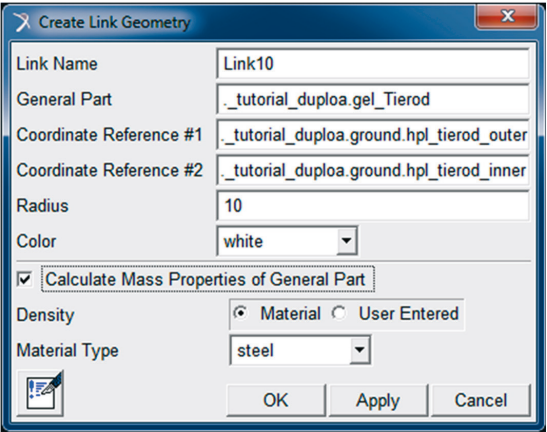


Figura 5.100 – Janela de criação do *link* referente ao braço de direção.

- Clique em OK.

A Figura 5.101 ilustra o braço de direção criado a partir das informações da Figura 5.100.

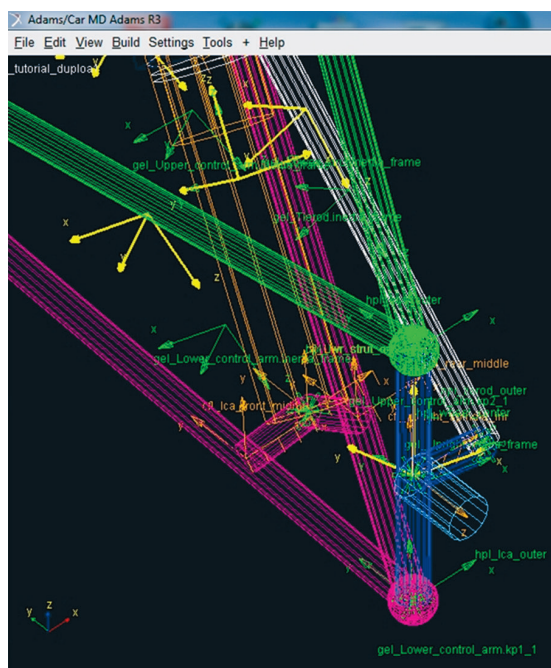


Figura 5.101 – Ilustração do *Link* representando a barra de direção (em branco).

- Em seguida, crie esferas nas extremidades do *Link10* (Figura 5.100). Para a criação dessas esferas, acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Ellipsoid* → *New* (Figura 5.102).

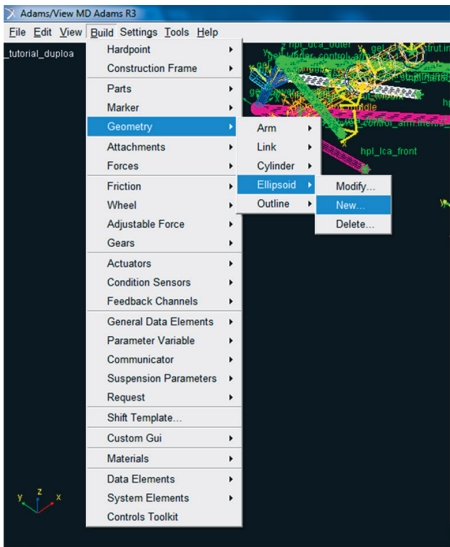


Figura 5.102 – Janela correspondente à criação de esferas utilizando a opção *Ellipsoid*.

- A janela *Create Ellipsoid Geometry* será aberta. Os campos deverão ser preenchidos conforme Figura 5.103. Lembre-se que o campo *Calculate Mass Properties of General Part* deverá estar selecionado para atualização das propriedades de massa do *General Part* “Tierod”.
- Clique em *Apply*.

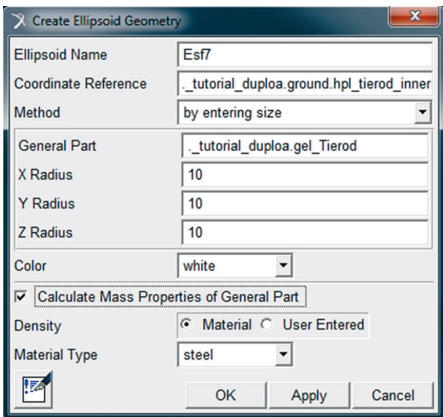


Figura 5.103 – Janela relativa à criação da esfera do *Link10*.

- Repita o procedimento descrito acima para a construção de outra esfera a se situar no *Hardpoint hpl\_tierod\_outer*. O preenchimento da janela *Create Ellipsoid Geometry* para essa geometria está ilustrado na Figura 5.104.



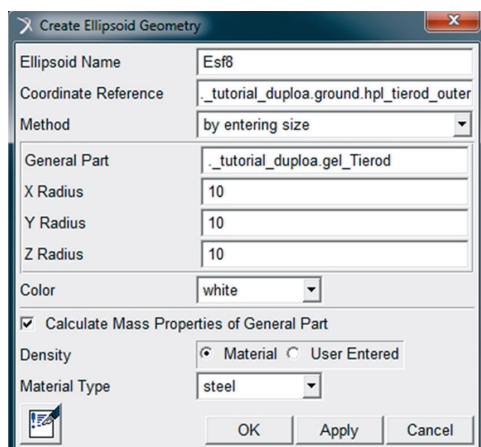


Figura 5.104 – Preenchimento da janela de criação da esfera *Esf8*.

- Clique em OK.

A Figura 5.105 ilustra as esferas criadas nas extremidades da barra de direção, segundo as Figuras 5.103 e 5.104.

- Salve seu projeto.

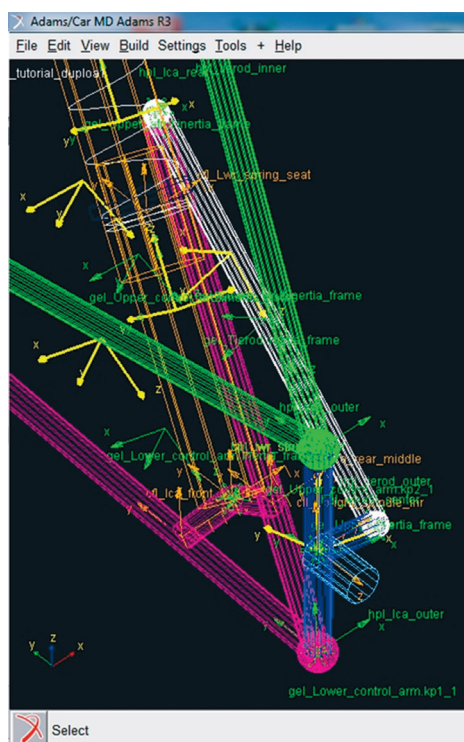


Figura 5.105 – Ilustração das esferas criadas nas extremidades da barra de direção (em branco).

### Etapa 17 – Criação dos *Mounts* de conexão da suspensão

Nesta etapa, serão criados três *Mounts* denominados *uca\_to\_body*, *subframe\_to\_body* e *tierod\_to\_steering*, os quais são classificados como *Parts*, de acordo com o ADAMS/Car.

Esses *Mounts* possuem a função de estabelecer a conexão (compatibilidade de informação) de um subsistema com outro, no caso a suspensão com o chassi (*body*) e o sistema de direção. Durante a simulação, a transferência de dados de um subsistema para o outro é feita por meio desta comunicação (*Mount*). Para criar um *Mount*:

- Acesse o menu *Build* → *Parts* → *Mount* → *New* (Figura 5.106).

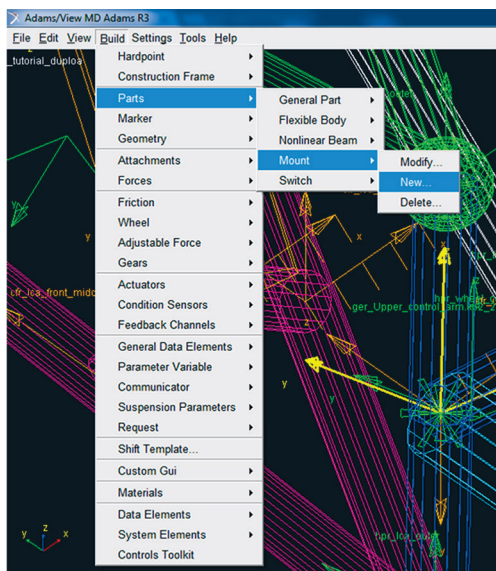


Figura 5.106 – Ilustração do menu/opções correspondente à criação do *Mount* “*uca\_to\_body*”.

- A janela *Create Mount Part* deverá ter seus campos preenchidos, conforme mostrado na Figura 5.107.

Note que o nome do *Mount* deve ser exatamente o mesmo definido no outro subsistema, nesse caso, o chassi, ou seja, no chassi deve haver um *Mount* de mesma denominação.

Ainda com relação a Figura 5.107, a coordenada de referência utilizada é o *Hardpoint* “*hpl\_uca\_front*”.

- Ao finalizar a operação clique em *Apply*.

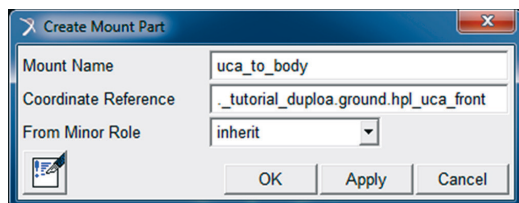


Figura 5.107 – Janela correspondente à criação do Mount “uca\_to\_body”.

Na Figura 5.108 o Mount “uca\_to\_body” está destacado com uma seta branca.



Figura 5.108 – Ilustração do Mount “uca\_to\_body” criado.

- Repita o procedimento anterior para criação dos dois outros Mounts, “subframe\_to\_body” e “tierod\_to\_steering”. Para isso:
- Utilize o preenchimento apresentado na Figura 5.109 para o Mount “subframe\_to\_body” e o preenchimento dado na Figura 5.110 para o Mount “tierod\_to\_steering”.

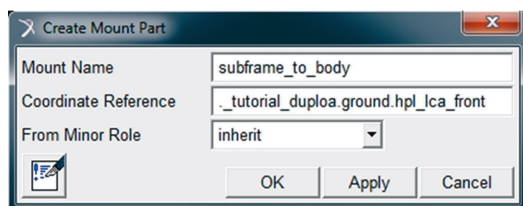


Figura 5.109 – Preenchimento da caixa de diálogo relativa à criação do Mount “subframe\_to\_body”.

- Ao finalizar o preenchimento da caixa de diálogo, ilustrada na Figura 5.109, clique em *Apply*.

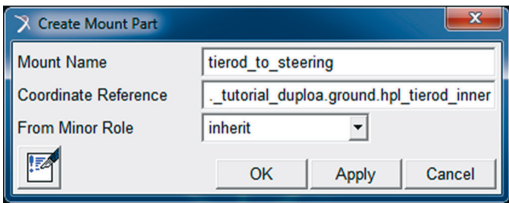


Figura 5.110 – Preenchimento da caixa de diálogo relativa à criação do Mount “tierod\_to\_steering”.

- Ao finalizar o preenchimento da caixa de diálogo, ilustrada na Figura 5.110, clique em OK.

Na Figura 5.111 é mostrado como os *Mounts* devem estar localizados no subsistema de suspensão.



Figura 5.111 – Ilustração dos Mounts “subframe\_to\_body” e “tierod\_to\_steering” criados.

- Salve seu projeto.

### Etapa 18 – Criação das juntas de conexão da suspensão

Nesta etapa, serão inseridas quatro juntas no modelo virtual da suspensão. Essas juntas definem o tipo de movimento (graus de liberdade e restrições) entre os *General Part*. A Tabela 5.2 relaciona as juntas a serem criadas.

Tabela 5.2 – Juntas do modelo multicorpos da suspensão

Junta	Tipo	General Parts
1	Esférica	Uprigh e Lower_control_arm
2	Esférica	Uprigh e Upper_control_arm
3	Esférica	Upright e Tierod
4	Revoluta	Spindle e Upright

Para inserção das juntas da suspensão:

- Acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joints* → *New* (Figura 5.112).

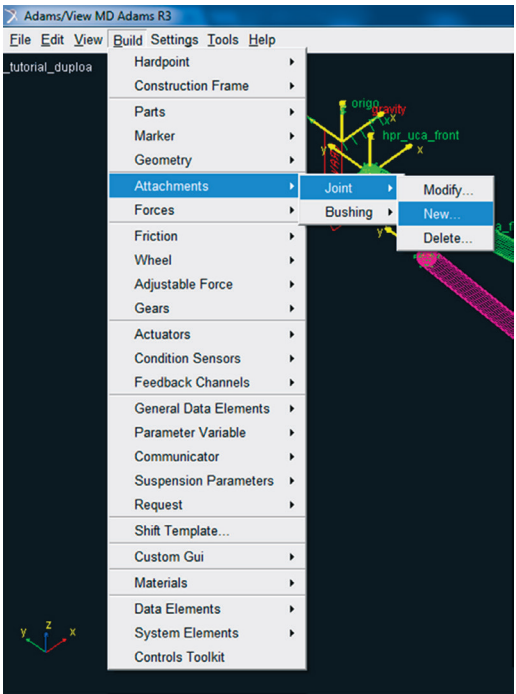


Figura 5.112 – Janela correspondente à criação de uma Junta, utilizando a opção *Joint*.

Os campos da janela *Create Joint Attachment* deverão ser preenchidos, conforme ilustrado na Figura 5.113 e de acordo com a Tabela 5.2.

- Após finalizar o preenchimento sugerido na Figura 5.113, clique em *Apply*.

- Em seguida, defina a junta 2 (Tabela 5.2), preenchendo a janela *Create Joint Attachment*, mostrada na Figura 5.115.

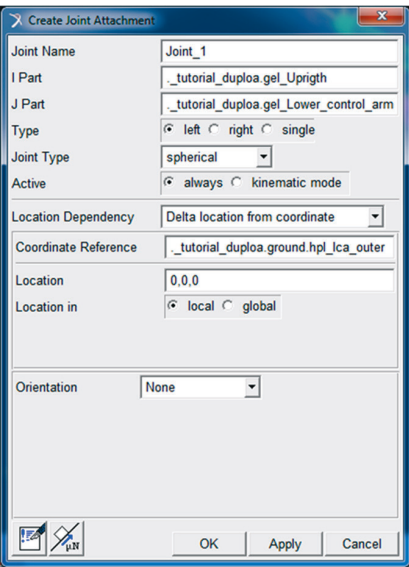


Figura 5.113 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da Junta 1.

A Figura 5.114 ilustra a junta 1 construída.

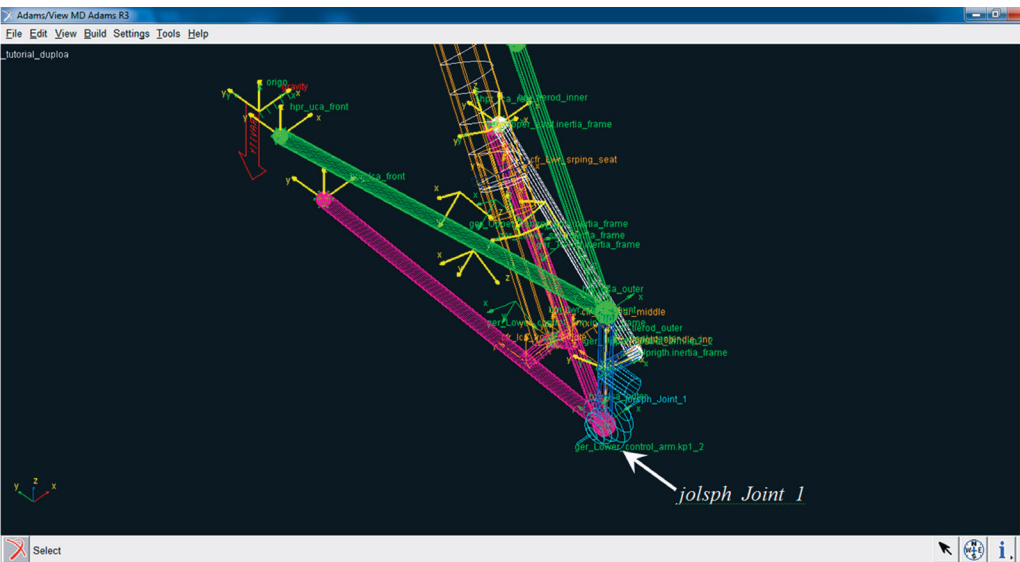


Figura 5.114 – Ilustração da junta 1 construída.



Para construção da junta 3, proceda como sugerido a seguir:

- Preencha os campos da janela *Create Joint Attachment*, conforme a Figura 5.117.
- Clique em OK.

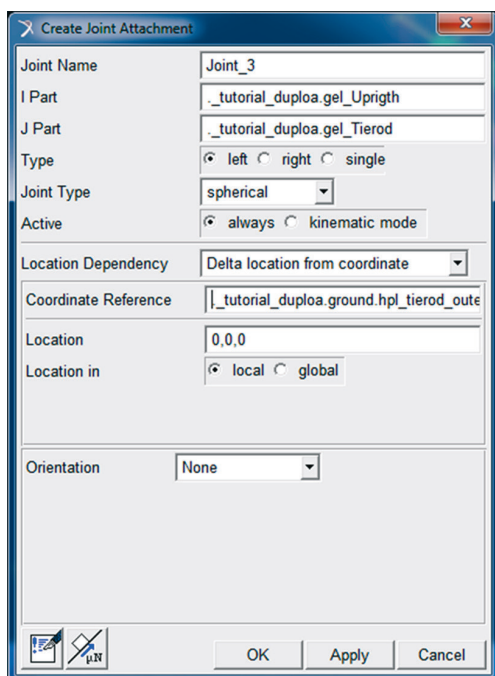


Figura 5.117 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da Junta 3.

A Figura 5.118 ilustra a junta 3 construída.



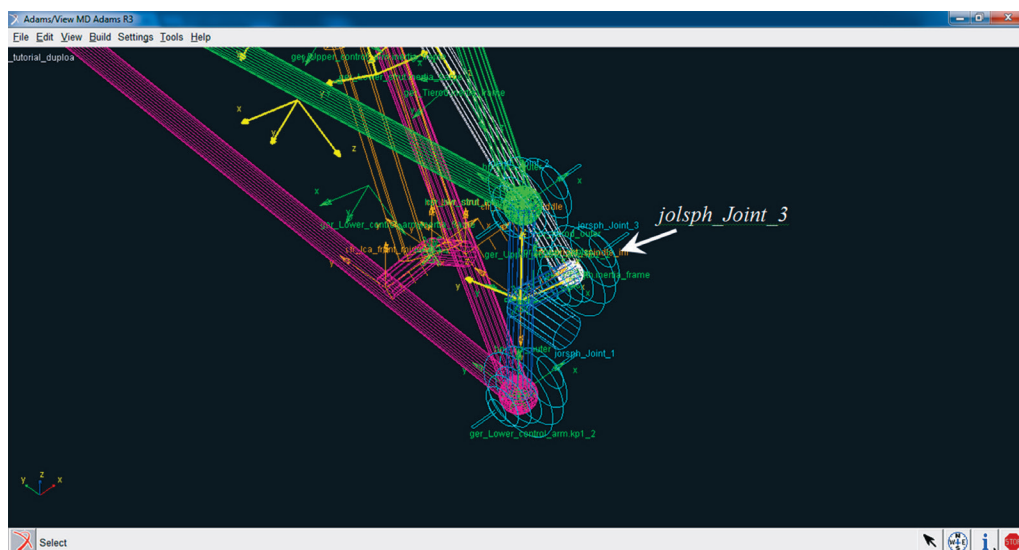


Figura 5.118 – Ilustração da junta 3 construída.

Neste ponto, antes da construção da próxima junta (*Joint\_4*), que será uma junta revoluta (Tabela 5.2), deve-se proceder a construção de um *General Part* denominado *Spindle*. Perceba que, tanto sua localização (*Location Dependency*), quanto sua orientação (*Orientation Dependency*) são dependentes do *Construction Frame* (*cfl*) “*Upright\_spindle\_inr*”, Figura 5.79 e Figura 5.80. As informações para construção do *General Part* deve seguir o especificado na Figura 5.119 (a).

- Acesse *Build* → *Parts* → *General Part* → *New*.
- Após preenchimento, clique em *OK*.

A Figura 5.119 (b) ilustra a criação do *General Part* “*Spindle*”.

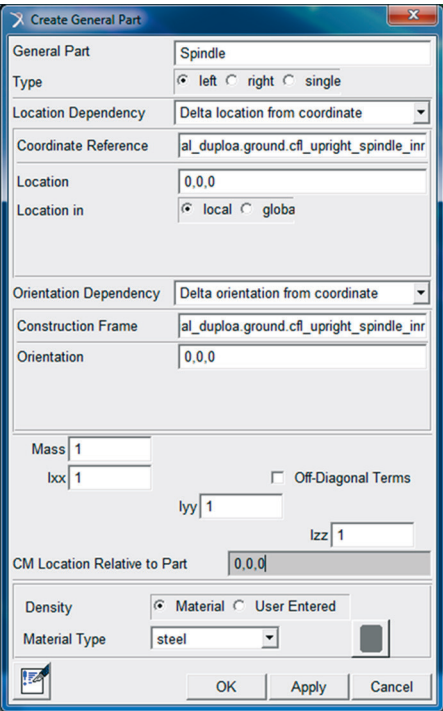


Figura 5.119 (a) – Preenchimento da caixa de diálogo para criação do *General Part* “Spindle”.

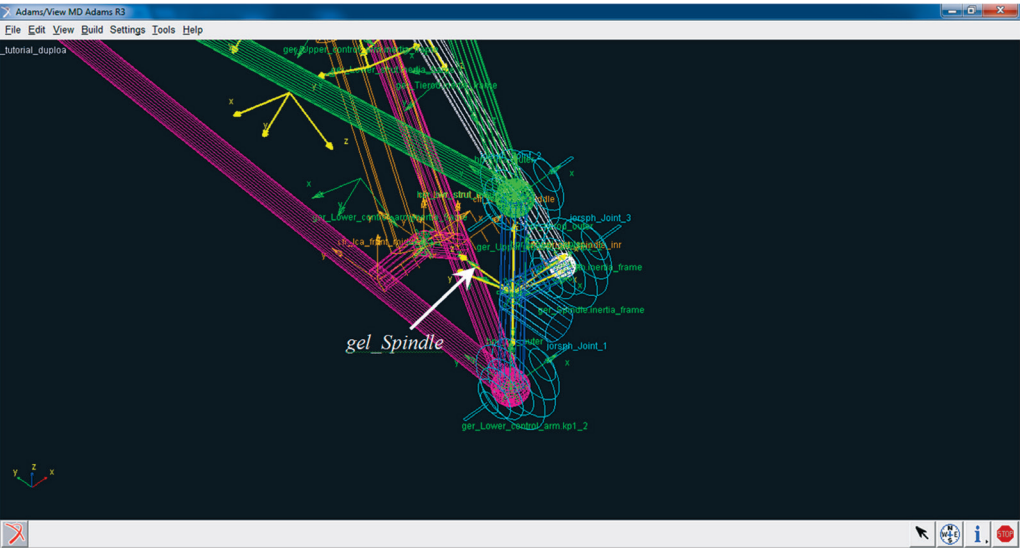


Figura 5.119 (b) – *General Part* “Spindle” construído.

Em seguida, parte-se para a construção da quarta junta, que é revoluta (Tabela 5.2). Para tanto, siga as instruções abaixo:

- Acesse a opção *Build* → *Attachments* → *Joints* → *New*.
- Preencha os campos da janela *Create Joint Attachment*, conforme a Figura 5.120.
- Clique em *OK*.
- Salve seu projeto.

A Figura 5.121 traz a tela resultante, referente a este passo.

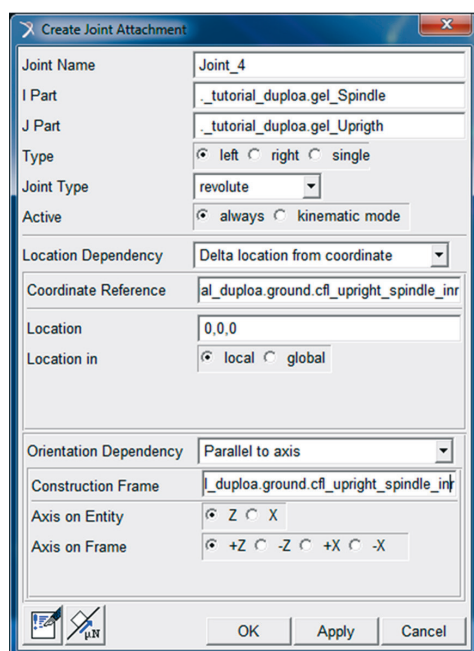


Figura 5.120 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da Junta 4.

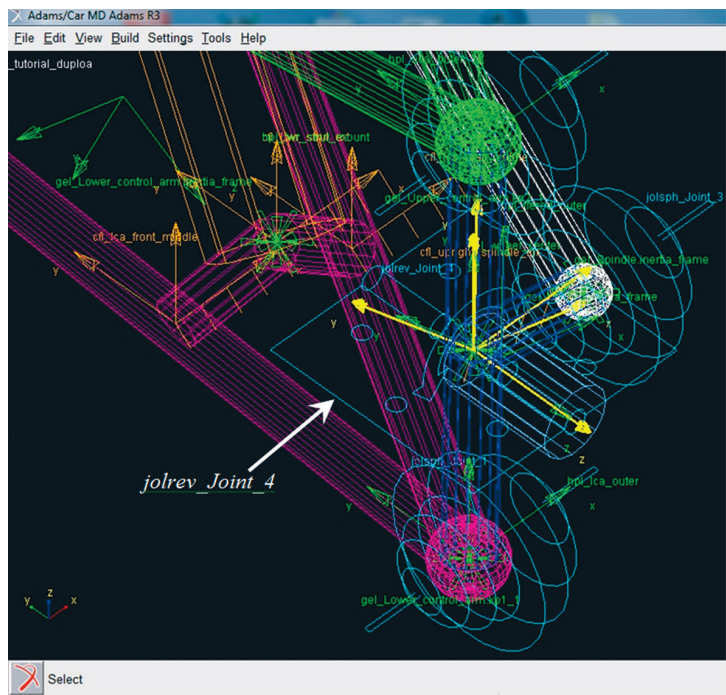


Figura 5.121 – Tela ilustrativa da criação da Junta 4 construída.

**Etapla 19 – Junta de ligação entre os braços da suspensão e o chassi**

Nesta etapa, será criado o par de juntas responsáveis pela restrição dos graus de liberdade entre o chassi e os braços de suspensão. Para inserção das juntas da suspensão, siga:

- Acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joints* → *New* (Figura 5.122).

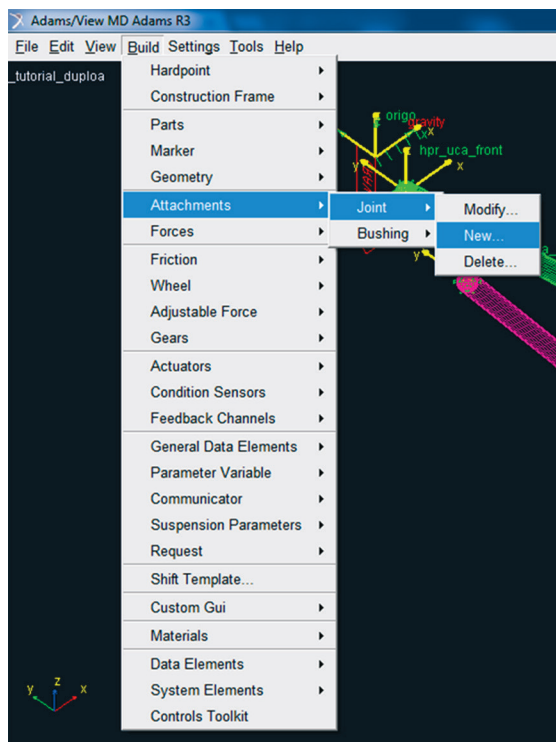


Figura 5.122 – Janela correspondente ao menu para criação de juntas.

- Na janela *Create Joint Attachment*, preencha os campos, conforme mostrado na Figura 5.123. Note que esta junta é do tipo revoluta (*Revolute*) e é construída entre o *General Part* “*gel\_Lower\_control\_arm*” e o *Mount* “*mtl\_subframe\_to\_body*”.
  - Após preenchimento sugerido, clique em OK.
- A Figura 5.124 destaca a junta criada.

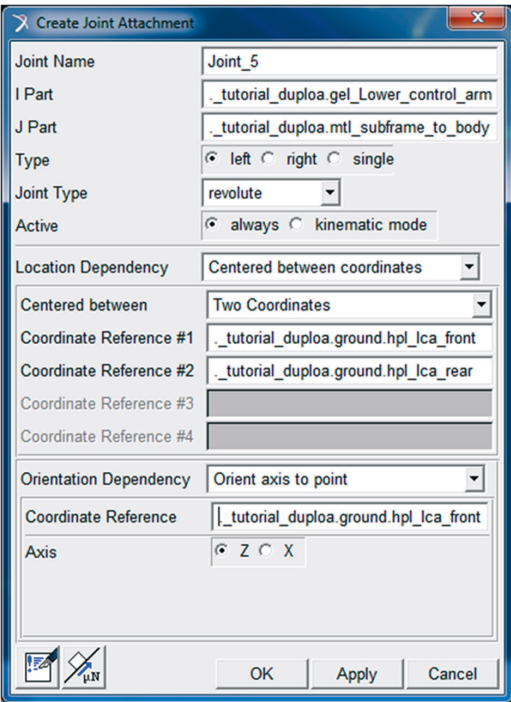


Figura 5.123 – Preenchimento de caixa de diálogo para criação da Junta 5.

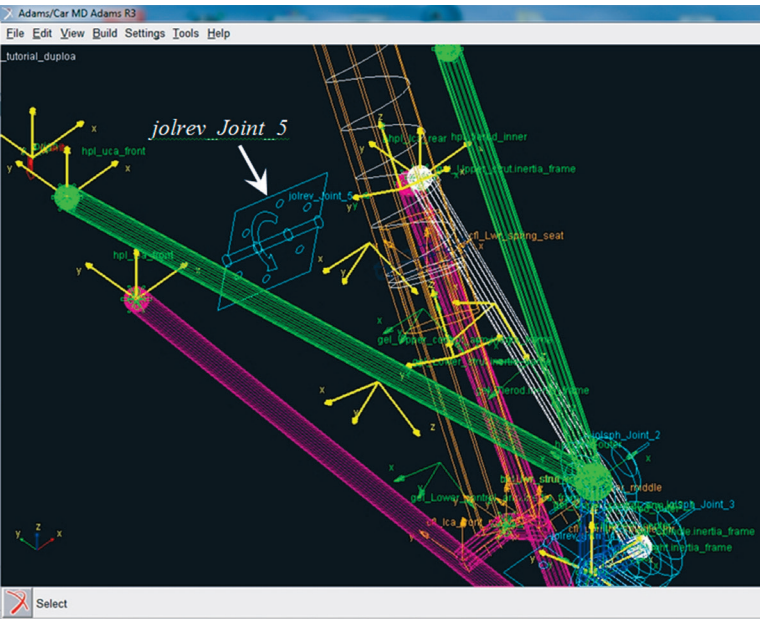


Figura 5.124 – Tela ilustrativa da Junta 5 construída.

O procedimento descrito aqui deve, então, ser repetido para a bandeja superior da suspensão. Sendo assim, prossiga:

- Na janela *Create Joint Attachment*, preencha os campos, conforme mostrado na Figura 5.125. Note que essa junta é do tipo revoluta e é construída entre o *General Part* “gel\_Upper\_control\_arm” e o *Mount* “mtl\_uca\_to\_body”.
- Clique em OK.
- Salve seu projeto.

A Figura 5.126 destaca a junta criada, segundo a sugestão de preenchimento apresentada na Figura 5.125.

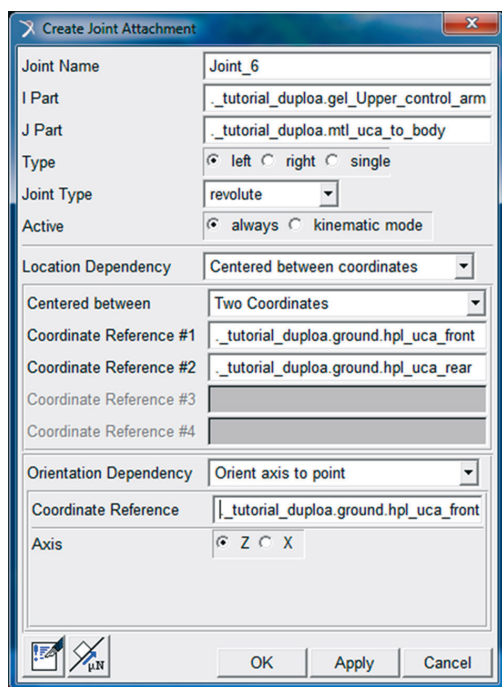


Figura 5.125 – Preenchimento de caixa de diálogo para criação da Junta 6.





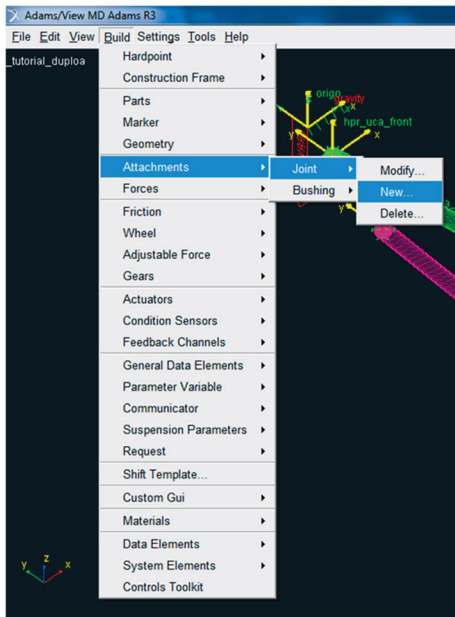


Figura 5.127 – Janela correspondente ao menu para criação da Junta 7.

- Preencha os campos da janela *Create Joint Attachment*, de acordo com o mostrado na Figura 5.128.

Note que essa junta está sendo criada entre o *General Part* “gel\_Lower\_strut” e o *General Part* “Lower\_control\_arm”.

- Clique em OK, ao finalizar.

A Figura 5.129 ilustra a junta *Hooke* construída, a partir do preenchimento da caixa de diálogo mostrada na Figura 5.128.

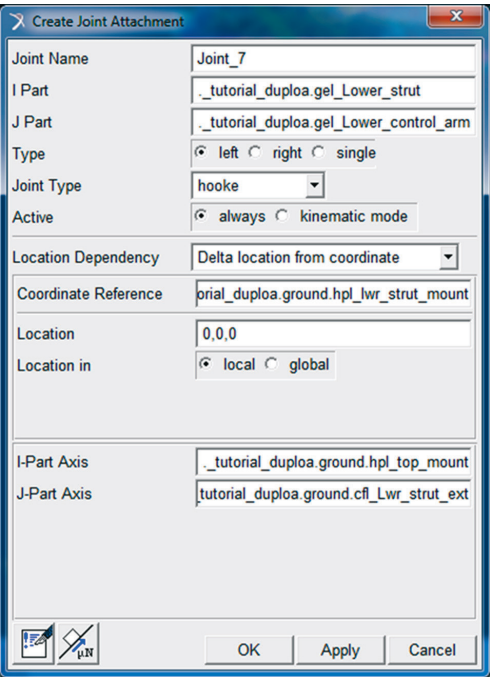


Figura 5.128 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da junta 7, do tipo *Hooke*.

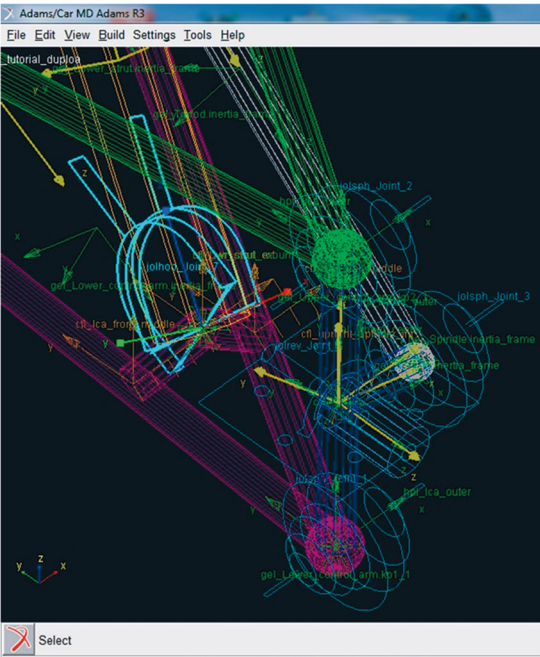


Figura 5.129 – Ilustração em destaque da junta *Hooke* construída.

Para criação da junta que restringirá graus de liberdade entre o amortecedor e o chassi é necessário que o preenchimento dos campos da janela *Create Joint Attachment* esteja de acordo com a Figura 5.130. Está será entre o *General Part* “gel\_Upper\_strut” e o *Mount* “mtr\_strut\_to\_body”.

- Clique em OK.
- Salve seu projeto

A Figura 5.131 ilustra a junta *Hooke* construída.

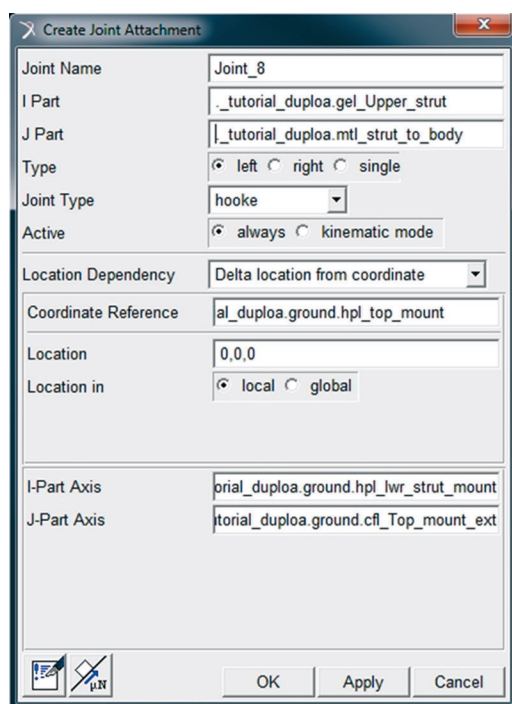


Figura 5.130 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da junta 8 tipo *Hooke*.



Figura 5.131 – Ilustração em destaque da junta *Hooke* construída.

### Etapa 21 – Criação da junta no eixo de direção (*Convel Joint*)

Nesta etapa, será criada uma junta do tipo *Convel*, no eixo de direção (*Tie rod*). Essa junta restringirá os movimentos desse eixo no subsistema Sistema de Direção.

Para criar a referida junta no eixo de direção, proceda assim:

- Acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joint* → *New* (Figura 5.132).

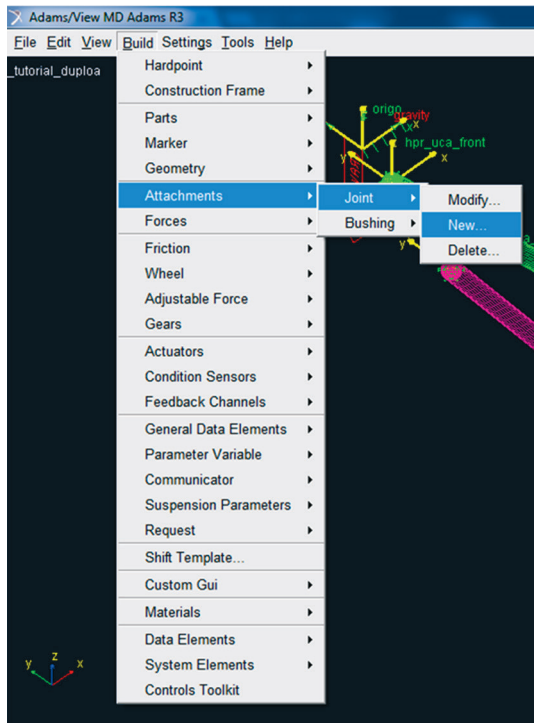


Figura 5.132 – Janela correspondente ao menu para criação da junta *Convel*.

- Crie a junta do tipo *Convel*, conforme ilustrado na Figura 5.133.
- Note que essa junta é definida pelo *General Part* “*gel\_tierod*” e o *Mount* “*mtl\_tierod\_to\_steering*”. Atente-se para o *Hardpoint* destacado na Figura 5.133, perceba que *J – Part Axis* é um *Hardpoint* situado à direita.
- Após preenchimento, clique em OK.
- Salve seu projeto.

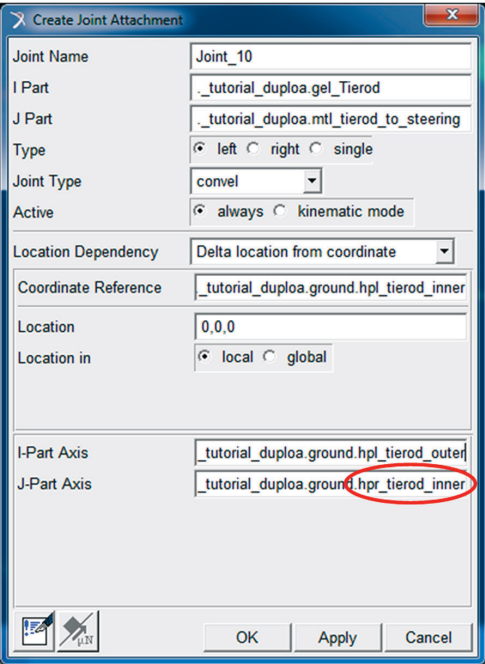


Figura 5.133 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da junta *Convel*.

A Figura 5.134 ilustra a junta do eixo de direção construída.

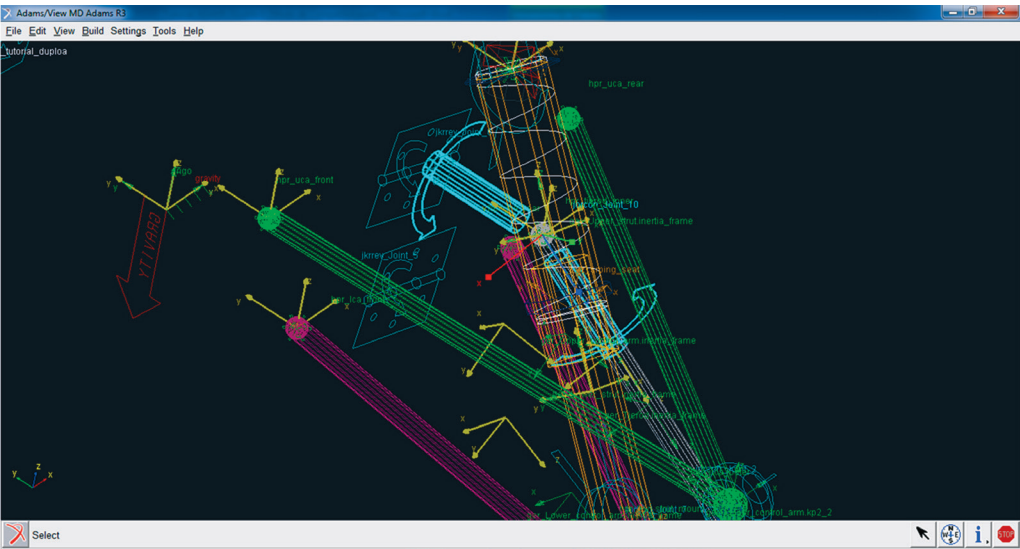


Figura 5.134 – Ilustração em destaque da junta *Convel* do eixo de direção construída.

## Etapa 22 – Construção das junções por buchas (*Bushing Attachments*)

Nesta etapa, serão criadas as buchas da suspensão em um total de quatro buchas entre o chassi e os braços da suspensão, ou seja, uma em cada extremidade do braço de suspensão e duas buchas nas extremidades do amortecedor, que se fixam ao chassi.

- Para criar a primeira bucha, a qual estará localizada na mesma coordenada que o *Hardpoint* “*hpl\_lca\_front*”, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Bushing* → *New* (Figura 5.135).

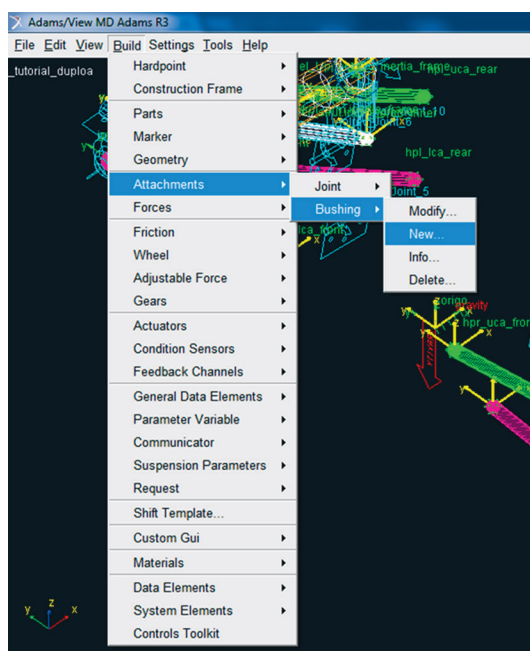


Figura 5.135 – Janela correspondente ao menu de criação da bucha “*bkl\_Bushing1*”.

Os campos da janela *Create Bushing Attachment* deverão ser preenchidos, conforme a Figura 5.136.

Note que essa bucha é criada entre o *General Part* “*gel\_Lower\_control\_arm*” e o *Mount* “*mtl\_subframe\_to\_body*”. Um arquivo com as propriedades da bucha deve ser selecionado (no campo *Property File*), podendo este ser da biblioteca do software ou editado pelo usuário.

- Clique em *OK*.

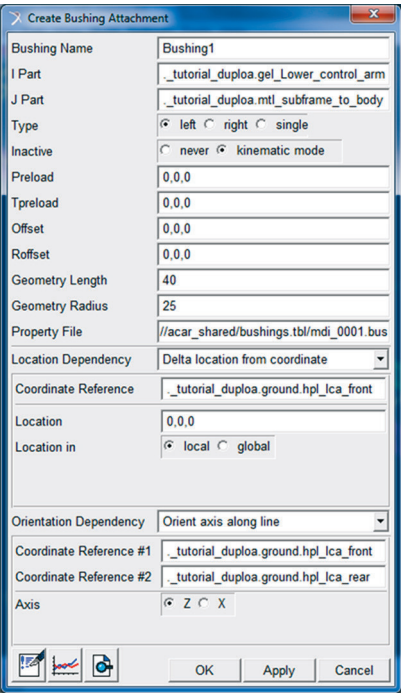


Figura 5.136 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação da bucha “*bkl\_Bushing1*”.

A Figura 5.137 ilustra a bucha criada no passo anterior.

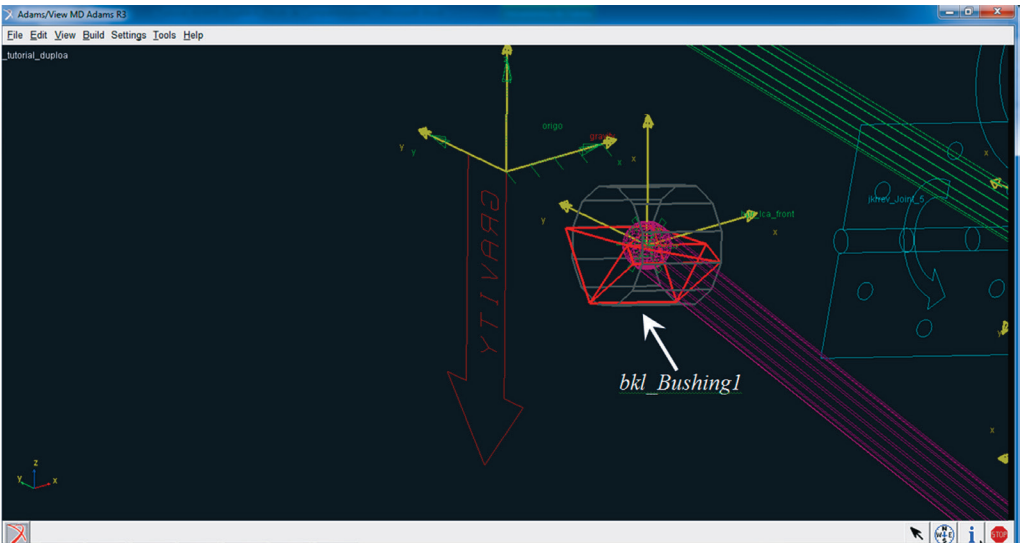


Figura 5.137 – Ilustração da bucha “*bkl\_Bushing1*” inserida no modelo virtual.



Para construção da segunda bucha, a qual estará localizada no *Hardpoint* *hpl\_lca\_rear*:

- Acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Bushing* → *New* (Figura 5.138).

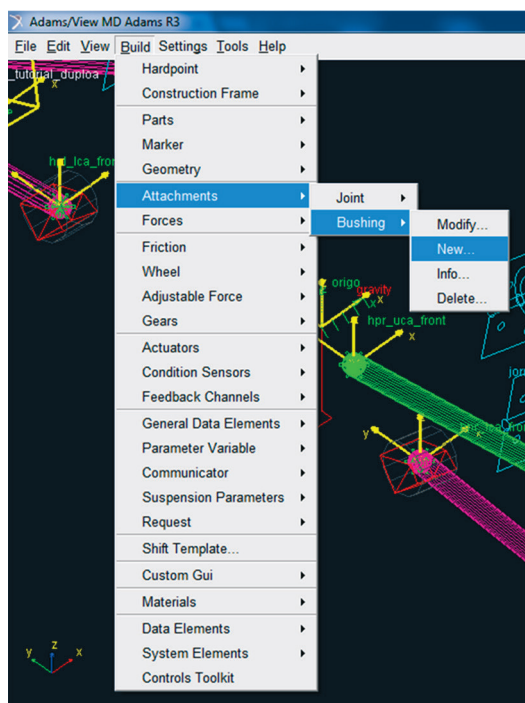


Figura 5.138 – Janela correspondente ao menu de criação da bucha “*bkl\_Bushing2*”.

- Preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment*, como ilustrado na Figura 5.139.
- Clique em OK.

Note que essa bucha também é construída entre o *General Part* “*gel\_Lower\_control\_arm*” e o *Mount* “*mtl\_subframe\_to\_body*”.

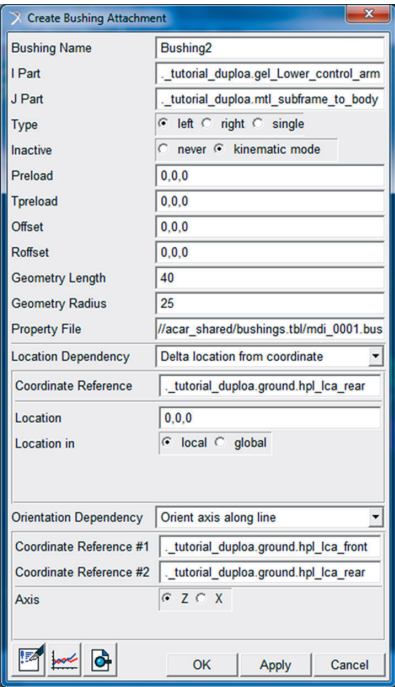


Figura 5.139 – Preenchimento da caixa de diálogo relativa à criação da bucha “*bkl\_Bushing2*”.

A Figura 5.140 ilustra a segunda bucha “*bkl\_Bushing2*” construída.

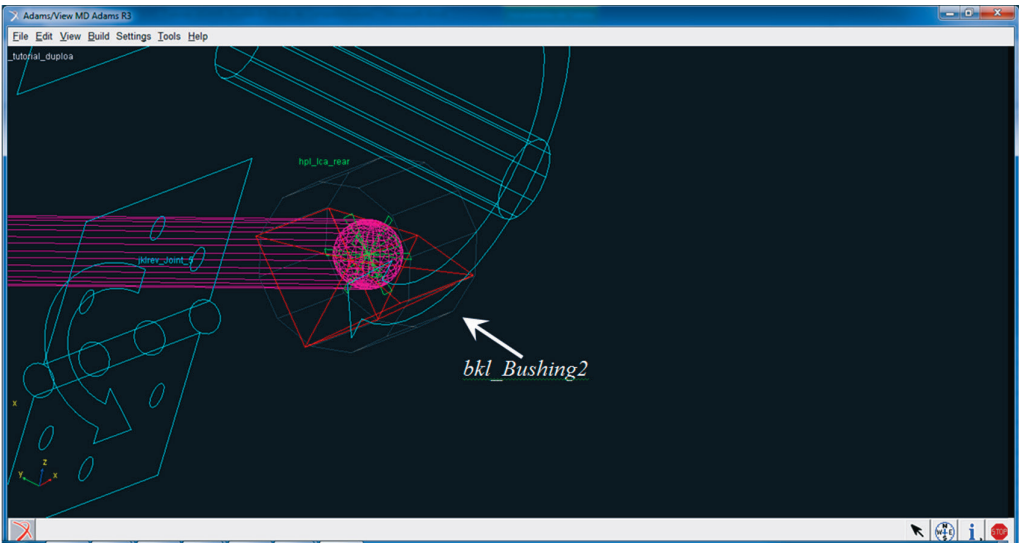


Figura 5.140 – Ilustração da segunda bucha “*bkl\_Bushing2*” inserida no modelo.

- Para construção da terceira bucha, a qual estará localizada no *hardpoint* *hpl\_uca\_front* repita os procedimentos anteriores e preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment* como ilustrado na Figura 5.141.
- Terminado preenchimento, clique em OK.

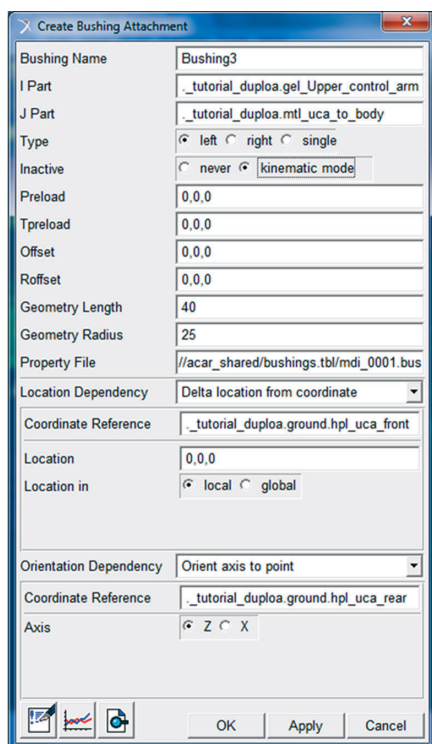


Figura 5.141 – Preenchimento da caixa de diálogo relativa à criação da bucha “*bkl\_Bushing3*”.

A Figura 5.142 ilustra a bucha “*bkl\_Bushing3*” construída.

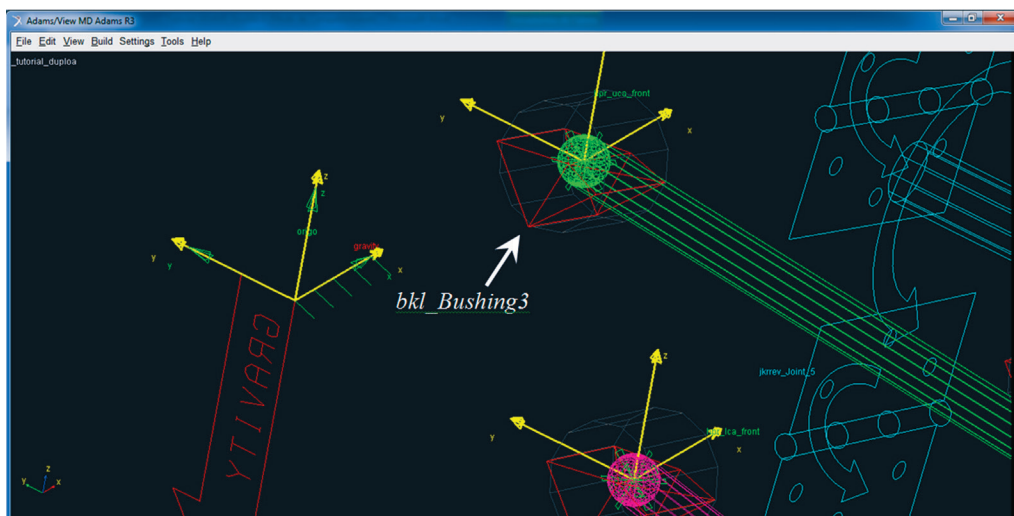


Figura 5.142 – Ilustração da terceira bucha “*bkl\_Bushing3*” inserida no modelo.

A construção da quarta bucha seguirá o mesmo procedimento das três anteriores.

- Repita os procedimentos e preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment*, como ilustrado na Figura 5.143.
- Em seguida, clique em OK.

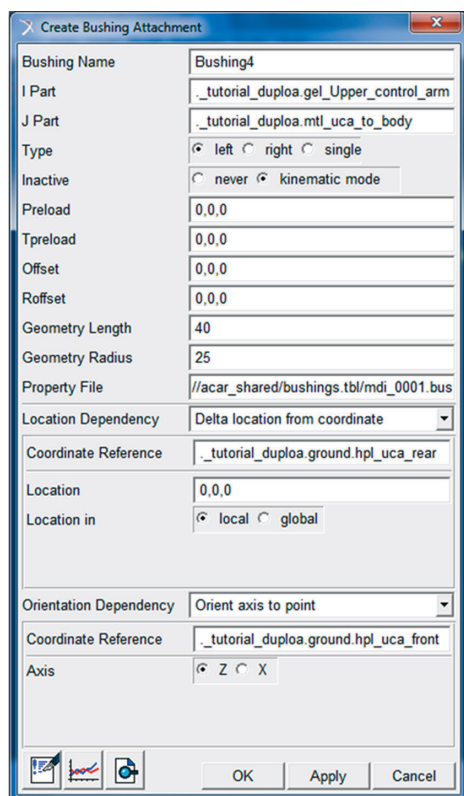


Figura 5.143 – Preenchimento da caixa de diálogo relativa à criação da bucha “*bkl\_Bushing4*”.

A Figura 5.144 ilustra a quarta bucha construída “*bkl\_Bushing4*”.

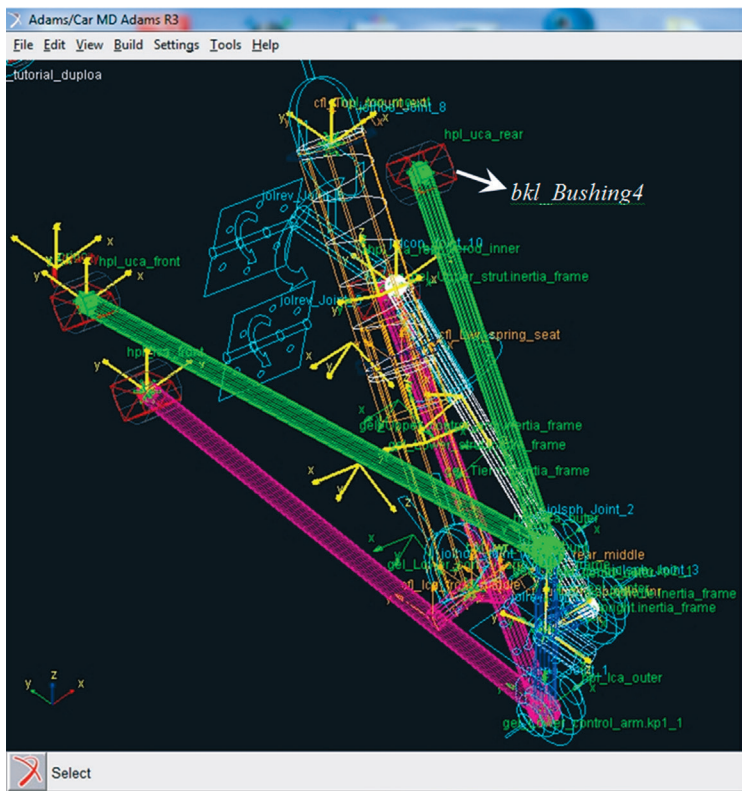


Figura 5.144 – Ilustração da quarta bucha “*bkl\_Bushing4*” inserida no modelo.

- Para a construção da quinta bucha:
- Preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment*, como ilustrado na Figura 5.145.
  - Finalizada a operação, clique em *OK*.

The 'Create Bushing Attachment' dialog box contains the following fields and options:

- Bushing Name:** Bushing5
- I Part:** \_tutorial\_duploa.gel\_Lower\_strut
- J Part:** \_tutorial\_duploa.gel\_Lower\_control\_arm
- Type:** ☒ left ☐ right ☐ single
- Inactive:** ☐ never ☒ kinematic mode
- Preload:** 0,0,0
- Tpreload:** 0,0,0
- Offset:** 0,0,0
- Roffset:** 0,0,0
- Geometry Length:** 60
- Geometry Radius:** 30
- Property File:** //acar\_shared/bushings.tbl/mdi\_0001.bus
- Location Dependency:** Delta location from coordinate
- Coordinate Reference:** prial\_duploa.ground.hpl\_lwr\_strut\_mount
- Location:** 0,0,0
- Location in:** ☒ local ☐ global
- Orientation Dependency:** Orient axis along line
- Coordinate Reference #1:** \_tutorial\_duploa.ground.hpl\_lca\_front
- Coordinate Reference #2:** \_tutorial\_duploa.ground.hpl\_lca\_rear
- Axis:** ☒ Z ☐ X

At the bottom, there are icons for file operations and buttons for OK, Apply, and Cancel.

Figura 5.145 – Preenchimento da caixa de diálogo relativa à criação da bucha “*bkl\_Bushing5*”.

A Figura 5.146 ilustra a quinta bucha construída “*bkl\_Bushing5*”.

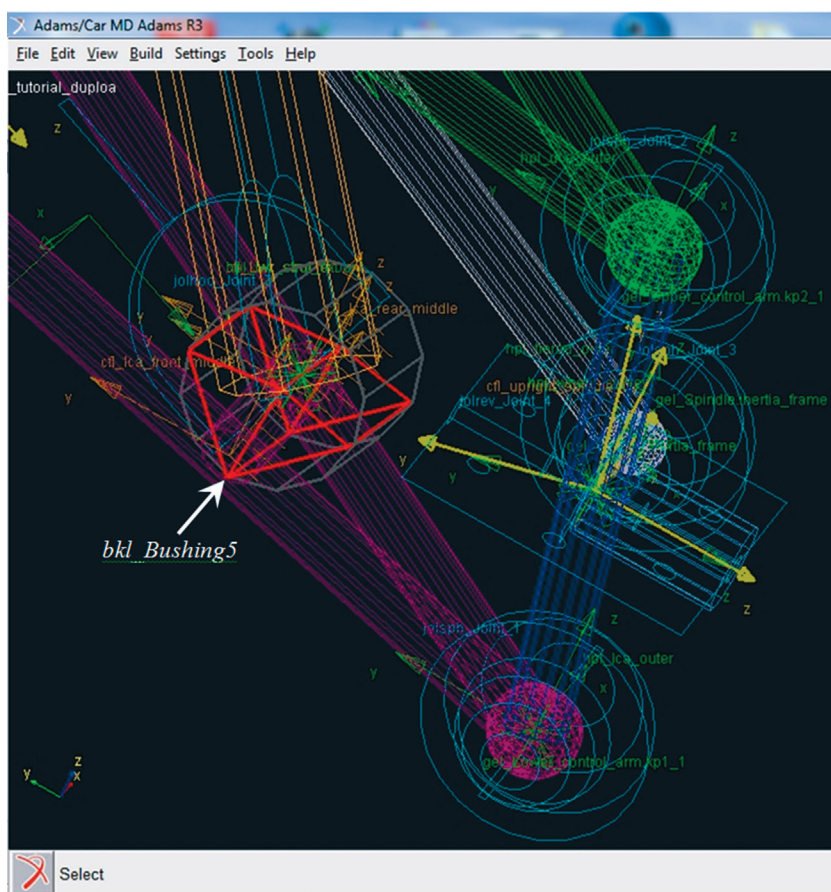


Figura 5.146 – Ilustração da quinta bucha “*bkl\_Bushing5*” inserida no modelo.

- Para finalizar, a construção da sexta bucha se dá da mesma forma que a das cinco anteriores.
- Preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment*, como ilustrado na Figura 5.147.
- Clique em OK.
- Salve seu projeto.



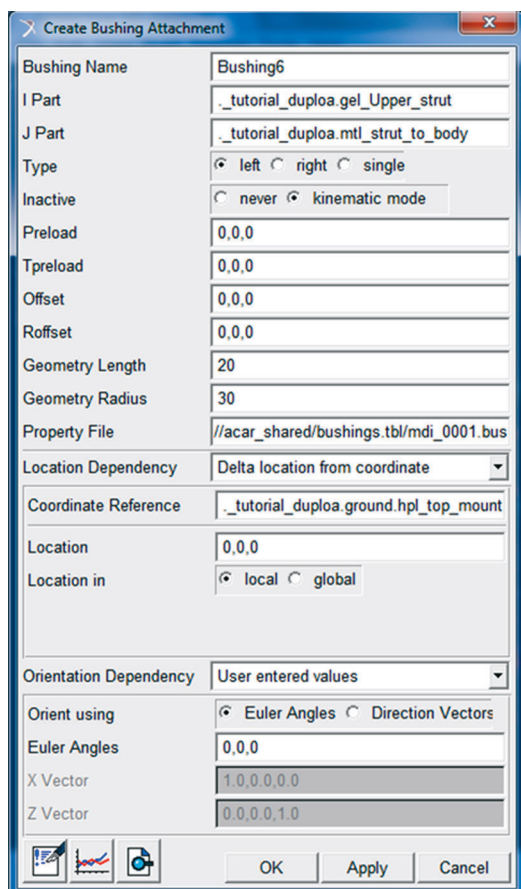


Figura 5.147 – Preenchimento da caixa de diálogo relativa à criação da bucha “*bkl\_Bushing6*”.

A Figura 5.148 ilustra a sexta bucha construída “*bkl\_Bushing6*”.

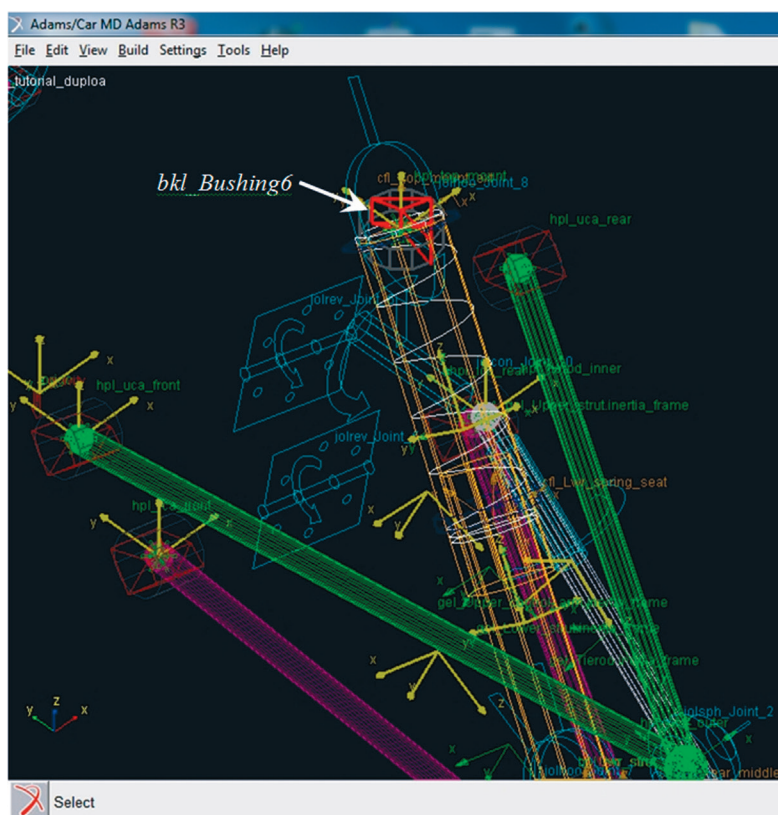


Figura 5.148 – Ilustração da sexta bucha “*bkl\_Bushing6*” inserida no modelo.

### Etapa 23 – Criação de *Communicators*

Nesta etapa, serão criados os *Communicators* do tipo *Output*, os quais estabelecerão a comunicação do subsistema suspensão com os diversos subsistemas que se acoplarão a este (Roda, Sistema de Direção, entre outros). Resalta-se, novamente, que os nomes designados aos *Communicators* devem ser iguais aos dos *Communicators* dos subsistemas de interesse. Outro aspecto a considerar é que um *Communicator output* se relacionará com um *Communicator input* de outro subsistema.

Para criação do primeiro *Communicator* do tipo *Output*, proceda conforme especificado abaixo:

- Acesse o menu *Build* → *Communicator* → *Output New* (Figura 5.149). Este *Communicator* fará a comunicação entre o *General Part* “*Upright*” (cubo de roda) e o subsistema roda.

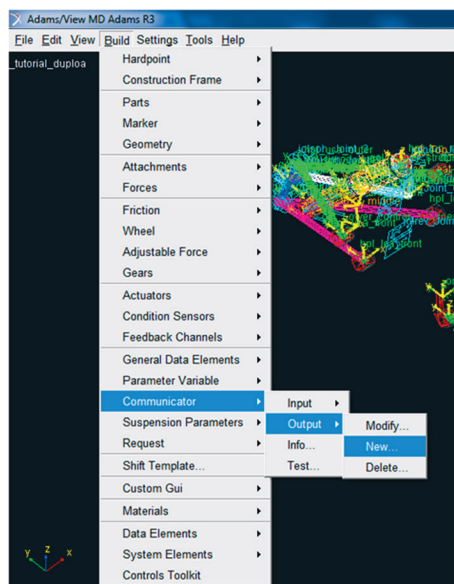


Figura 5.149 – Criando um *Communicator* do tipo *Output*.

A janela *Create Output Communicator* deverá ser preenchida conforme ilustrado na Figura 5.150.

- Clique em *Apply*.

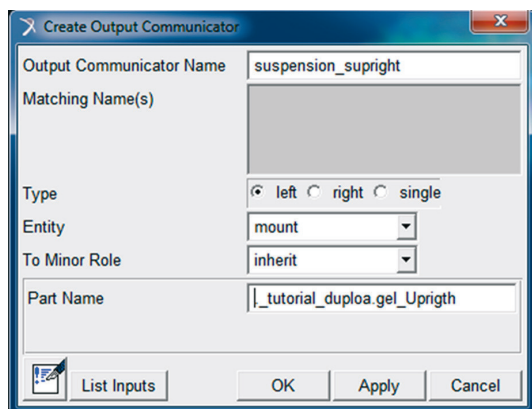


Figura 5.150 – Criação do *Communicator* “*suspension\_supright*”.

Para criação do *Communicator* “*suspension\_mount*”:

- Preencha os campos da janela *Create Output Communicator*, conforme ilustrado na Figura 5.151.
- Clique em *Apply*.

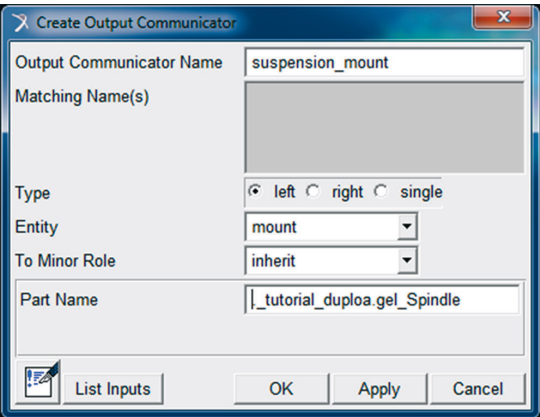


Figura 5.151 – Criação do *Communicator* “*suspension\_mount*”.

A Figura 5.152 ilustra a criação do *Communicator* “*wheel\_center*”.

- Clique em OK.
- Salve seu projeto.

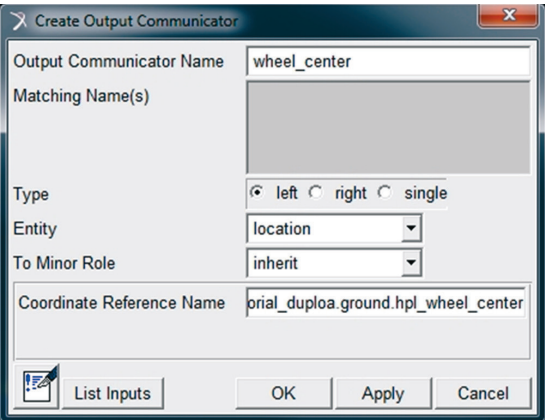


Figura 5.152 – Criação do *Communicator* “*wheel\_center*”.

**Etapa 24 – Realizando teste de compatibilidade entre *Communicators***

Nesta etapa, serão obtidas informações sobre os *Communicators* criados, e ainda será feito um teste de compatibilidade entre estes e os *Communicators* do subsistema de interesse. Nesse caso, o subsistema de interesse é o *MDI\_Suspension\_Testrig*, o qual corresponde ao subsistema de teste da suspensão.

- Para se obter informações sobre os *Communicators* criados, acesse o menu *Build* → *Communicator* → *Info* (Figura 5.153).

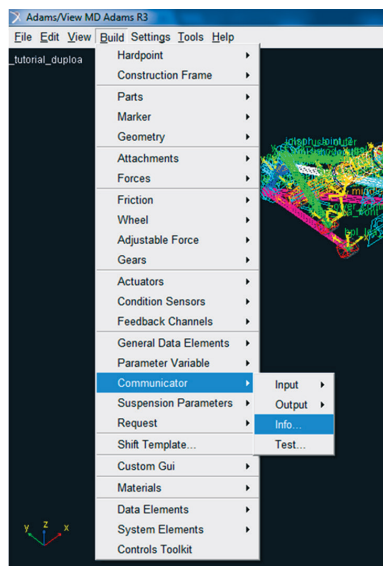


Figura 5.153 – Obtendo informações sobre os *Communicators* criados na Etapa 23.

A janela *Communicators Info* será aberta e se encontra ilustrada na Figura 5.154.

No campo *Model names* aparece automaticamente o nome do *Template* que se está trabalhando, no caso, *\_tutorial\_duploa*.

- No campo *Type*, selecione o item *All*.
- No campo *Entity* selecione o item *All*.
- Clique em *OK*.

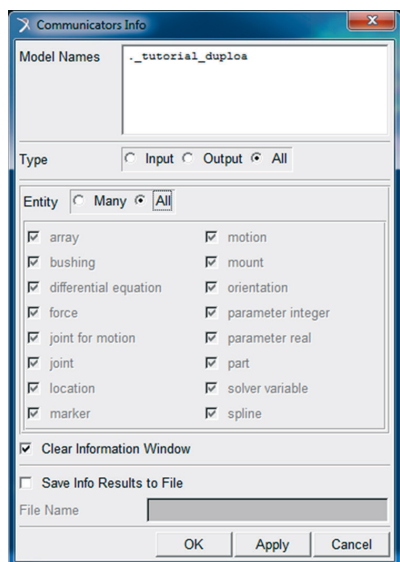


Figura 5.154 – Selecionando os tipos de *Communicators*.

A janela *Information* será aberta, e nela constam as informações requeridas, conforme a Figura 5.155.

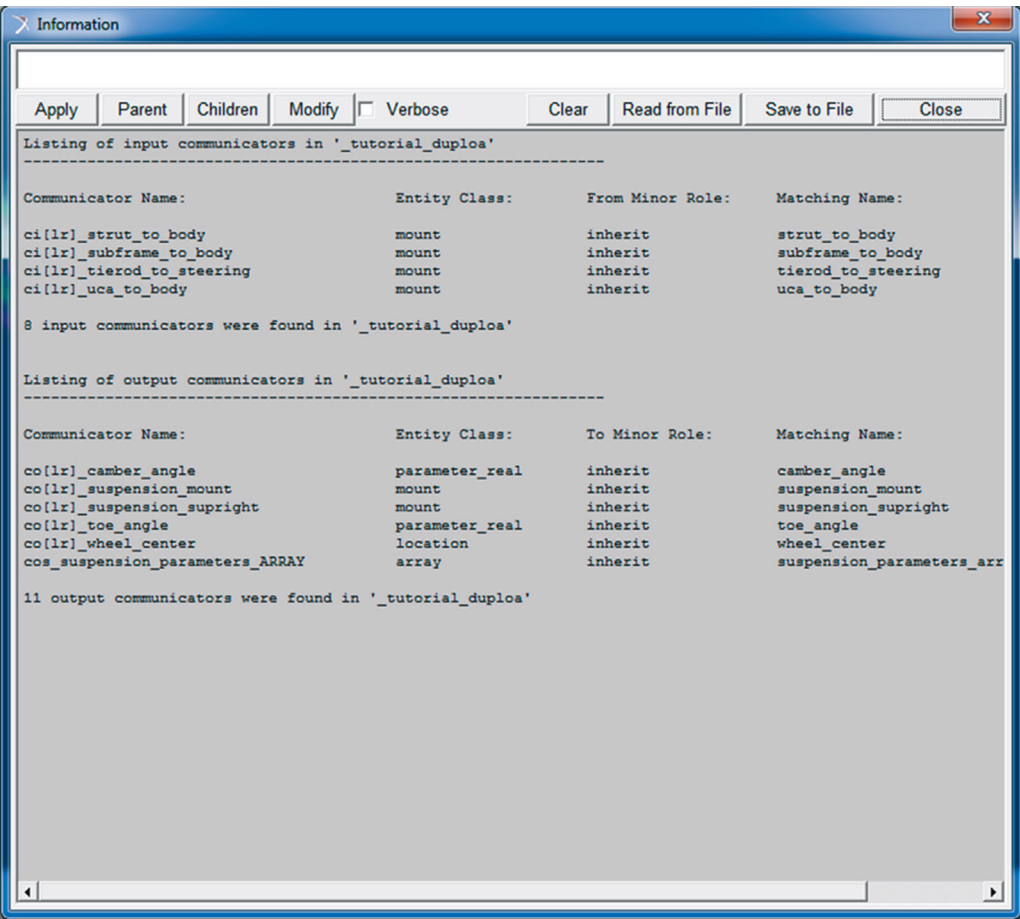


Figura 5.155 – Informações sobre os *Communicators*.

- Após análise das informações, clique em *Close* nesta mesma janela, opção que se encontra no canto superior direito da caixa de diálogo da Figura 5.155.
- Para teste de compatibilidade dos *Communicators* com o subsistema *MDI\_ Suspension\_ Testrig*, acesse o menu *Build* → *Communicator* → *Test* (Figura 5.156).

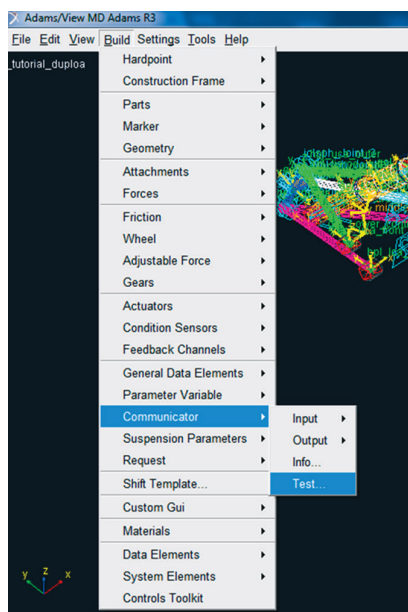


Figura 5.156 – Realizando teste de compatibilidade dos *Communicators* com o dispositivo de teste *MDI\_Suspension\_Testrig*.

Na janela, *Test Communicators*, verifique os subsistemas a serem testados. O campo *Model Names* deve ser preenchido pelo usuário. Para tanto, sobre o campo, clique com o botão direito do mouse. Nesse momento, aparecerá uma caixa de diálogo solicitando o modelo (*Model*). Passe o cursor por cima e selecione a opção *Guesses*. Os nomes dos modelos disponíveis aparecerão, e o usuário deverá selecionar primeiramente o *tutorial\_duploa* e, em seguida, o *MDI\_Suspension\_Testrig*.

Nesse caso, observa-se na Figura 5.157 que o teste será feito entre o subsistema da suspensão (*\_tutorial\_duploa*) em construção e do subsistema correspondente a uma plataforma de teste, denominado *MDI\_Suspension\_Testrig*.

Os parâmetros contidos no campo *Minor Roles* “*front*” e “*any*” devem ser digitados pelo usuário.

- Clique em OK.

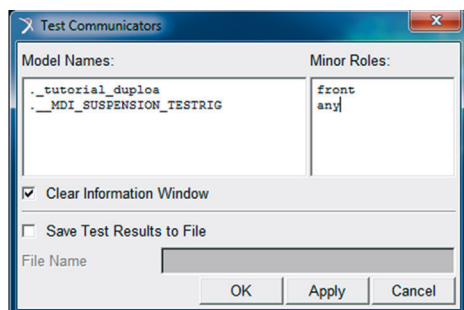


Figura 5.157 – Subsistemas a serem submetidos a teste de compatibilidade de *Communicators*.

A janela mostrada na Figura 5.158, denominada *Information*, será aberta e, nela, é possível verificar se há algum erro de comunicação entre *Communicators* para que possam ser realizadas as correções necessárias.

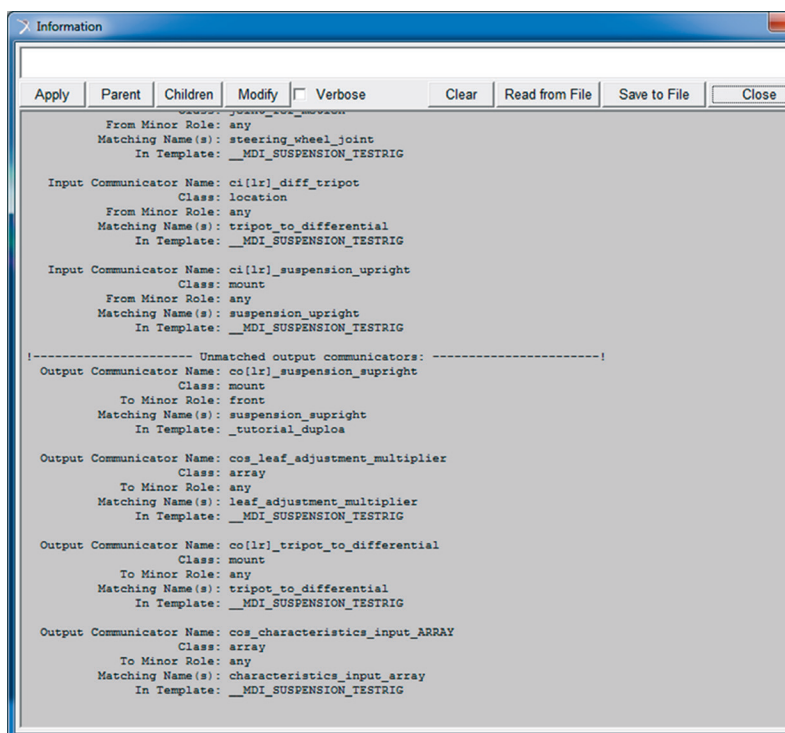


Figura 5.158 – Informação de compatibilidade dos *communicators*.

Note que a lista de *Unmatched input communicators* e *Unmatched output communicators* não significa propriamente erro de projeto. Mostra apenas, como é o caso, que há *Communicators* que não encontraram seu correspondente. De fato, isto acontece por não se estar testando todo o veículo, mas apenas a suspensão dianteira com o dispositivo de teste virtual *Testrig*.

O *Template* da suspensão está, agora, finalizado.

- Feche a janela, selecionando a opção *Close*, em seu canto superior direito.
- Salve seu projeto.



### **Etapa 24 – Verificação das juntas: aplicando o *Kinematic Mode***

Um importante passo para a correta simulação da suspensão *Duplo A* será apresentada nesta Etapa. De fato, durante a construção do projeto, juntas e buchas foram inseridas e precisam de ajustes em sua função.

Nesse sentido, serão feitas modificações nas juntas *Joint\_5* e *Joint\_6*. Lembrando que essas juntas são as revolutas e foram inseridas entre as partes *gel\_Lower\_control\_arm* e o *mtl\_subframe\_to\_body*; *gel\_Upper\_control\_arm* e o *mtl\_uca\_to-body*, respectivamente.

*A notar: Durante a construção do projeto de uma suspensão, há duas maneiras possíveis de se estabelecer como as partes (Parts), que o compõe, irão reagir umas em relação às outras. Essas relações podem ser por meio do uso de Buchas (Bushings) ou pelo uso de Juntas (Joints).*

*Buchas: permitem seis graus de liberdade entre as partes (três translações e três rotações). No entanto, em sua construção, é possível especificar a rigidez, pré-carga (Preload) e ser offset.*

*Juntas: estabelecem uma relação cinemática entre as partes, fornecendo graus de liberdade e restringindo movimentos. As juntas, normalmente, são especificadas de acordo com a ideia de grau de liberdade e restrição de movimento que se deseja no modelo.*

*Na janela de criação das buchas (Bushing) Build → Attachments → Bushing → New há um campo denominado Inactive, enquanto na criação de juntas (Joints) Build → Attachments → Joint → New há outro campo denominado Active. No caso de se criar buchas e juntas no mesmo local de conexão de uma parte (Part) em um dado modelo, o usuário pode alternar a função entre as duas categorias de Attachments, da seguinte forma: ao tornar o Kinematic Mode ativo na junta (basta selecionar esta opção), selecione no campo Inactive da bucha a opção Kinematic Mode. Desta forma, apenas a junta atuará em simulações cinemáticas.*

*Geralmente, a junta se torna inativa em análises dinâmicas, se existe uma bucha. Isso porque a bucha é capaz de modelar tanto o movimento, quanto inserir características de rigidez e amortecimento entre as Parts. A junta tem papel definido no que tange a análise cinemática apenas.*

- Desta forma, clique com o botão direito sobre a *Joint\_5* (Figura 5.124) e altere o campo denominado *Active* para a opção *kinematic mode* como é mostrado a seguir, Figura 5.159
- Em seguida, faça o mesmo com a *Joint\_6* (Figura 5.126), alterando o campo denominado *Active* para a opção *kinematic mode*.

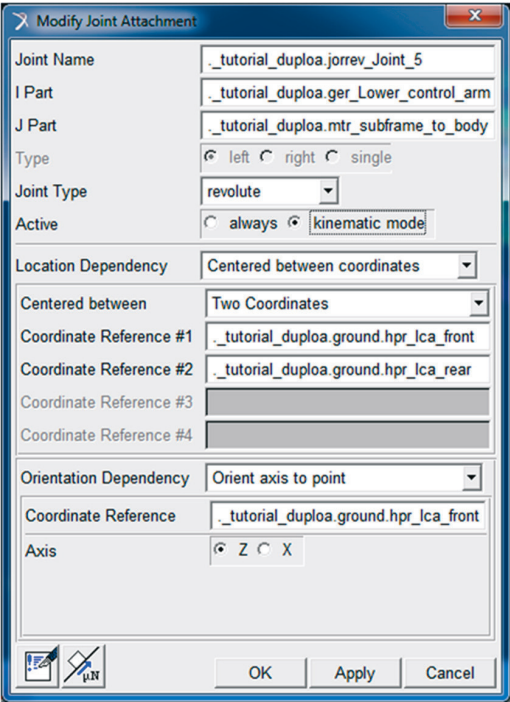


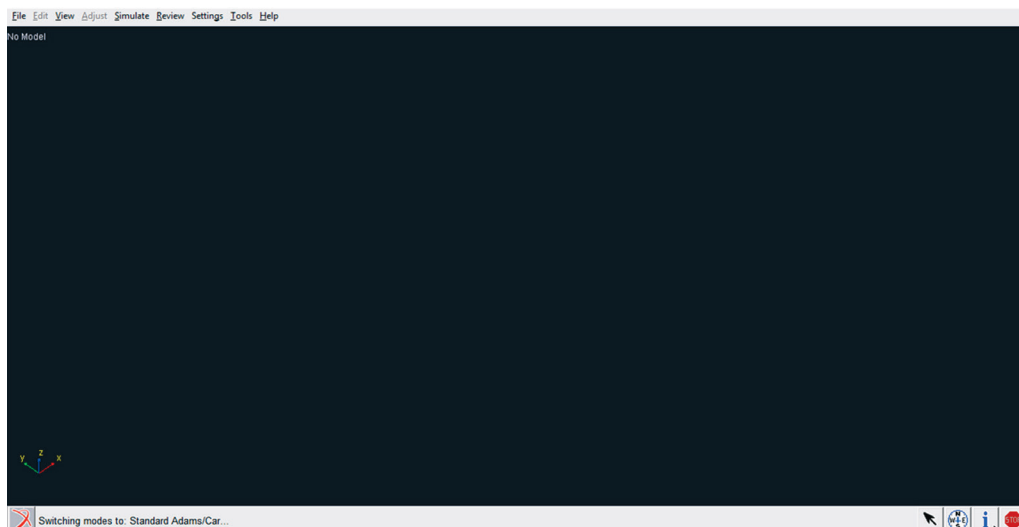
Figura 5.159 – Alterando para *kinematic mode* a opção *Active* em ambas as juntas *jolrev\_Joint\_5* e *jolrev\_Joint\_6*.

- Salve seu projeto.

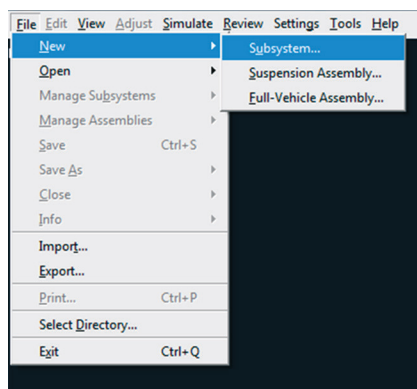
**Etapla 25 – Criação do subsistema associado ao *Template \_tutorial\_duploa (Subsystem)***

Uma vez concluído o projeto da suspensão (*Template*), se faz necessária a criação do subsistema da suspensão (*Subsystem*) para que se possa realizar as devidas simulações no modelo criado. Neste sentido:

- Ainda na tela principal do *Template*, salve o mesmo e aperte a tecla *F9* do teclado. Esta ação resulta na transferência para o ambiente *Standard* do ADAMS/Car destacado na Figura 5.160. Repare no canto inferior esquerdo da tela mostrada na referida figura, onde se lê *Switching modes to: Standard ADAMS/Car....*

Figura 5.160 – Interface do modo *Standard*.

- Para criar o *Subsystem*, acesse o menu *File* → *New* → *Subsystem* (Figura 5.161).

Figura 5.161 – Janela correspondente à criação de um *Subsystem*.

- Preencha os campos da janela *New Subsystem*, conforme ilustrado na Figura 5.162. Note que, como o projeto é de uma suspensão dianteira o campo *Minor Role*, deve estar selecionado com a opção *front*. O nome de *Subsystem* pode ser o mesmo já designado no *Template*.
- Clique em *OK*.

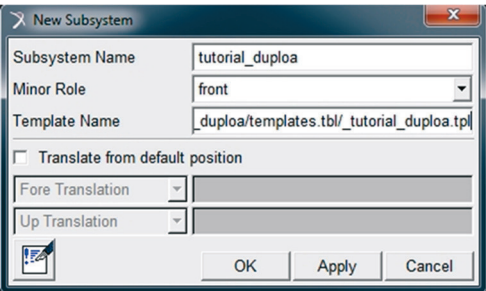


Figura 5.162 – Preenchimento da caixa de diálogo para criação de um *Subsystem*.

- Caso o *Template* esteja aberto, a janela ilustrada na Figura 5.163 será aberta. Para confirmar, clique em *Yes*.

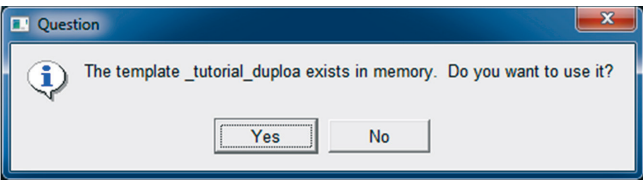


Figura 5.163 – Confirmação de utilização do *Template* em execução.

A Figura 5.164 ilustra o *Subsystem* criado.

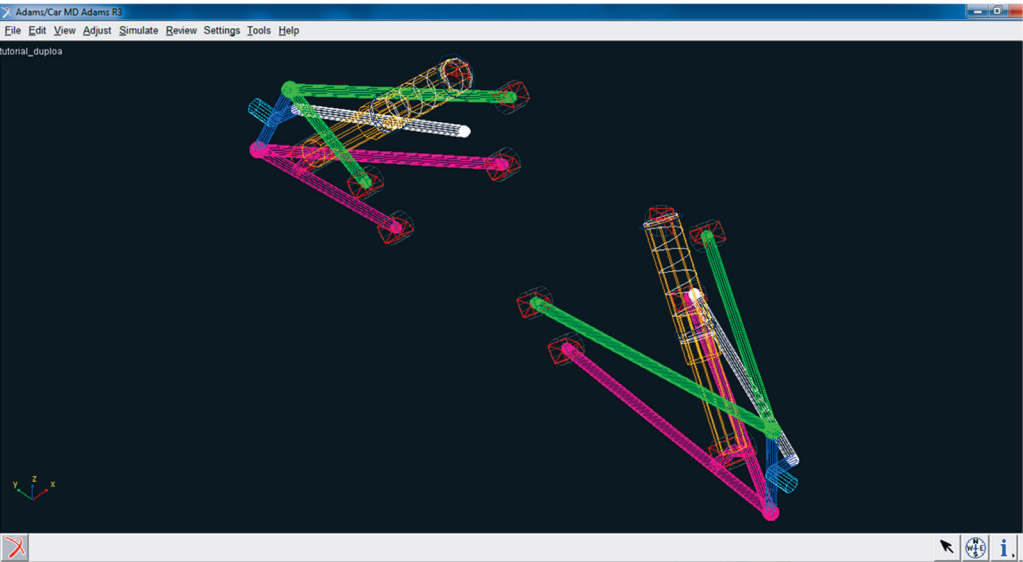


Figura 5.164 – Ilustração do subsistema gerado a partir do *Template \_tutorial\_duploa*.

- Salve o subsistema Para tanto acesse o menu principal do ambiente *Standard* selecione a opção *File* → *Save*.

### Etapa 26 – Criação do *Assembly* associado ao *Template \_tutorial\_duploa (Subsystem)*

Nesta etapa, será criado o *Assembly*, que configura o próximo passo após a criação do *Subsystem*, para que se possam realizar simulações cinemáticas e dinâmicas com o modelo criado.

O *Assembly* configura uma montagem entre subsistemas e no ADAMS/Car pode ser escolhido entre as seguintes opções: *Suspension Assembly* ou *Full-Vehicle Assembly*. Como, nesse caso, a simulação será realizada apenas com o subsistema suspensão e uma plataforma de testes, a primeira opção será escolhida.

- Ainda na tela onde foi criado o subsistema da suspensão, acesse o menu *File* → *New* → *Suspension Assembly* (Figura 5.165).

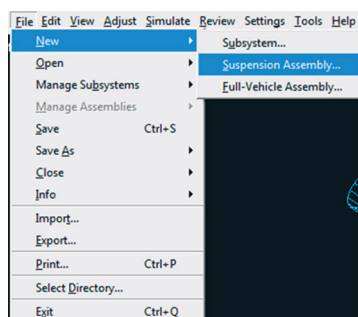


Figura 5.165 – Janela correspondente à criação de um *Assembly*.

A Figura 5.166 ilustra o preenchimento da janela *New Suspension Assembly*.

- Atribua um nome ao *Assembly* no primeiro campo; este já deve ser diferente do nome atribuído ao *Subsystem*.
- Selecione o subsistema de interesse (segundo campo). No campo *Suspension Test Rig* a opção *\_MDI\_SUSPENSION\_TESTRIG* deve estar selecionada, a qual corresponde à plataforma de teste a ser utilizada nas simulações. Caso deseje incluir outros subsistemas na simulação, selecione o item *Other Subsystems*.
- Clique em *OK*.

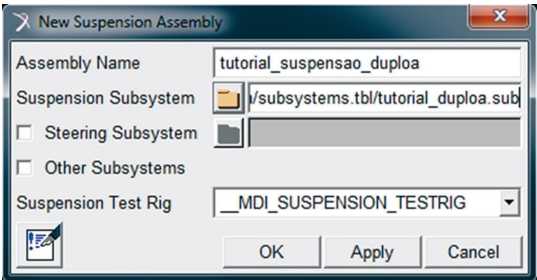


Figura 5.166 – Criação do *Assembly*.

Caso o *Template* do projeto esteja aberto, aparecerá a mensagem mostrada na Figura 5.167. Nesse caso, clique sobre a opção *Yes*.

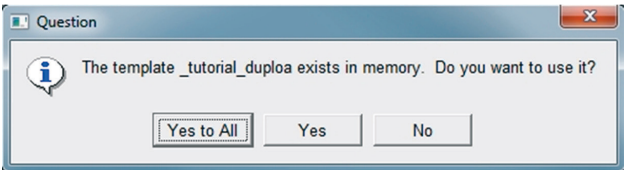


Figura 5.167 – Confirmação de utilização do *Template* em execução.

A Figura 5.168 ilustra a tela de confirmação de criação do *Assembly* “*Message Window*”. Esta mesma janela poderá fornecer a informação de algum erro ocorrido durante a criação do *Assembly*.

- Após verificação de mensagens, clique em *Close*.
- Salve seu projeto.

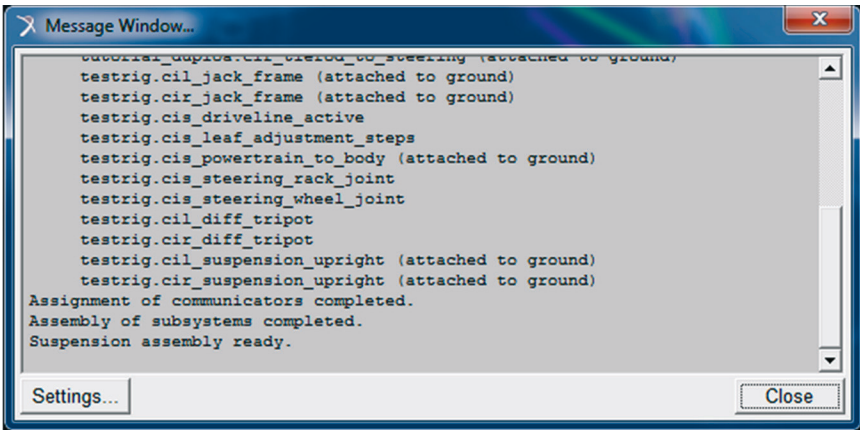


Figura 5.168 – Tela de confirmação de criação do *Assembly*.

A Figura 5.169 ilustra o *Assembly* construído.

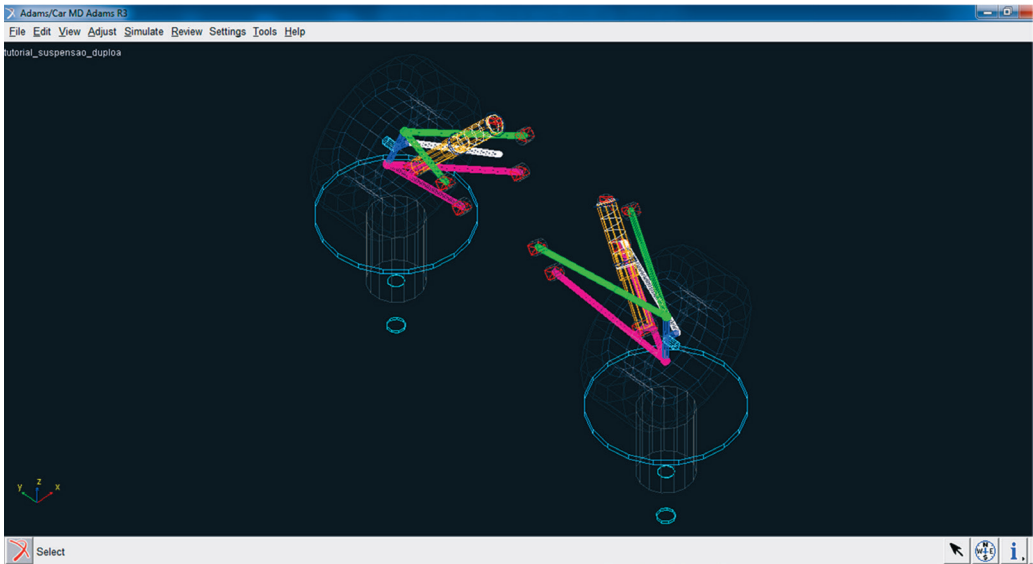


Figura 5.169 – Ilustração do *Assembly* construído.

**Etapla 27 – Simulação do *Assembly* *\_tutorial\_suspensao\_duploa e \_MDI\_SUSPENSION\_TESTRIG***

Nesta etapa, será realizada a simulação do *Assembly*, criado na Etapa 26.

Primeiramente, defina o diretório para armazenar os resultados gerados na simulação. Para tanto:

- Acesse o menu *File* → *Select directory* (Figura 5.170).

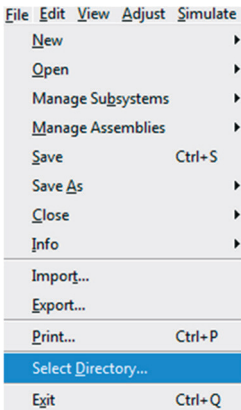


Figura 5.170 – Janela correspondente à seleção do diretório para simulações.

- Selecione o diretório de interesse (Figura 5.171).
- Clique em OK.

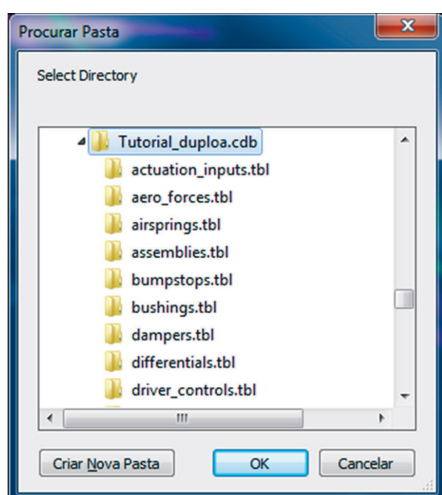


Figura 5.171 – Janela correspondente à seleção de diretório para gravação de simulações

A simulação proposta aqui corresponde a uma solicitação vertical e paralela na suspensão (*left e right*). Essa simulação permite analisar as características geométricas do subsistema, durante todo seu curso vertical. Para isto:

- Acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *Parallel Wheel Travel* (Figura 5.172).

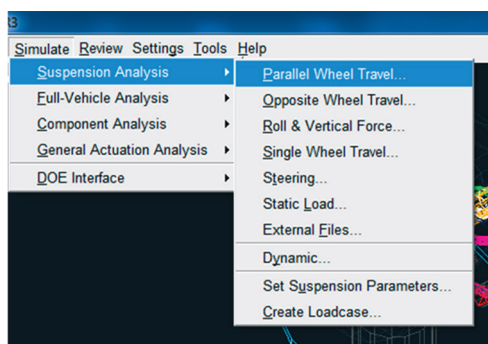


Figura 5.172 – Selecionando o tipo de simulação.

Os parâmetros de simulação devem ser definidos na janela *Suspension Analysis: Parallel Travel*, conforme a Figura 5.173. Note que, na simulação proposta, o percurso total corresponde a 100 mm (50 mm no sentido positivo, ou *Bump* e 50 mm no sentido negativo, *Rebound*).

- Ao finalizar o preenchimento, clique em OK.



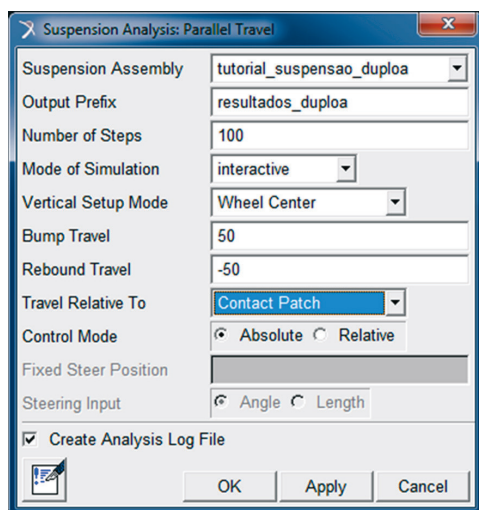


Figura 5.173 – Janela correspondente à definição dos parâmetros de simulação.

A Figura 5.174 ilustra que a simulação foi executada.

- Clique em *Close*.
- Salve seu projeto.

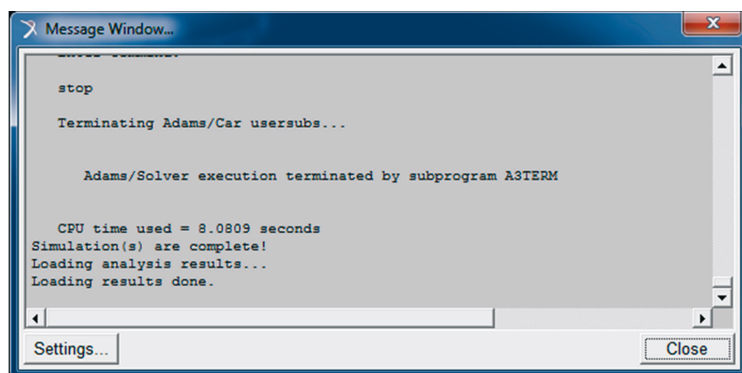


Figura 5.174 – Caixa de diálogo informando que a simulação foi executada.

### Etapa 28 – Visualização da simulação do *Assembly*: animação do modelo virtual para obtenção de resultados

Nesta etapa, o modelo da suspensão criado será visualizado, mediante animação do carregamento vertical aplicado, conforme ensaio virtual estabelecido pela opção *Paralell Wheel Travel*.

Para melhor visualização do modelo da suspensão durante a animação, o usuário pode optar pelo modo *Shaded*. Para isto:

- Clique com o botão direito do mouse na área de trabalho principal (em qualquer ponto que não seja sobre o modelo).
- Selecione a opção *Shaded <S>* (Figura 5.175).

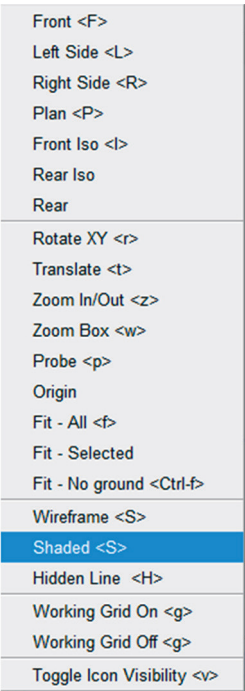


Figura 5.175 – Janela correspondente à seleção do modo de visualização *Shaded*.

Em seguida:

- Acesse o menu *Review* → *Animation Controls* (Figura 5.176).

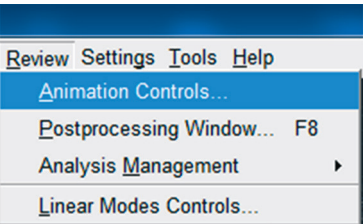


Figura 5.176 – Janela correspondente à animação do modelo da suspensão.

- Na janela *Animation Controls* preencha os campos, conforme a Figura 5.177. O usuário pode definir os parâmetros de animação, de acordo com sua preferência. Segue como sugestão os valores especificados na Figura 5.177.

Logo abaixo das teclas de controle de animação, a barra que oscila entre *-Inc* e *+Inc*, permite ao usuário, dentro de um ciclo de simulação (*Cycles*), avançar ou recuar, a fim de escolher um ponto de análise (*Frame*). O campo *Time Range* dá ao usuário a possibilidade de definir um intervalo de tempo para realização da simulação. A aba *Cycles* permite escolher quantas vezes a simulação irá se repetir, no caso, cinco vezes. O campo *Frame Increment* permite ao usuário definir de quantos em quantos *Frames* ele deseja saltar, no caso, o incremento será de um em um.

- Para inicializar a animação, clique em .

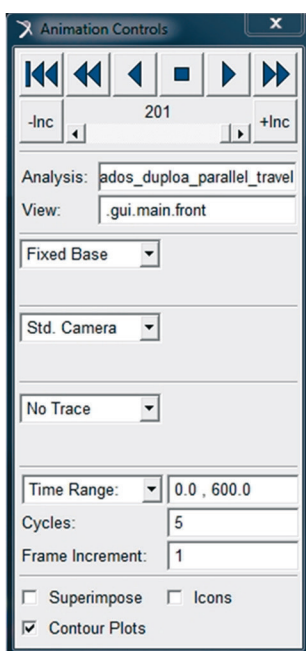



Figura 5.177 – Definição dos parâmetros de animação.

A Figura 5.178 ilustra como o modelo será apresentado na tela principal. A animação pode ser recommçada selecionando o item .

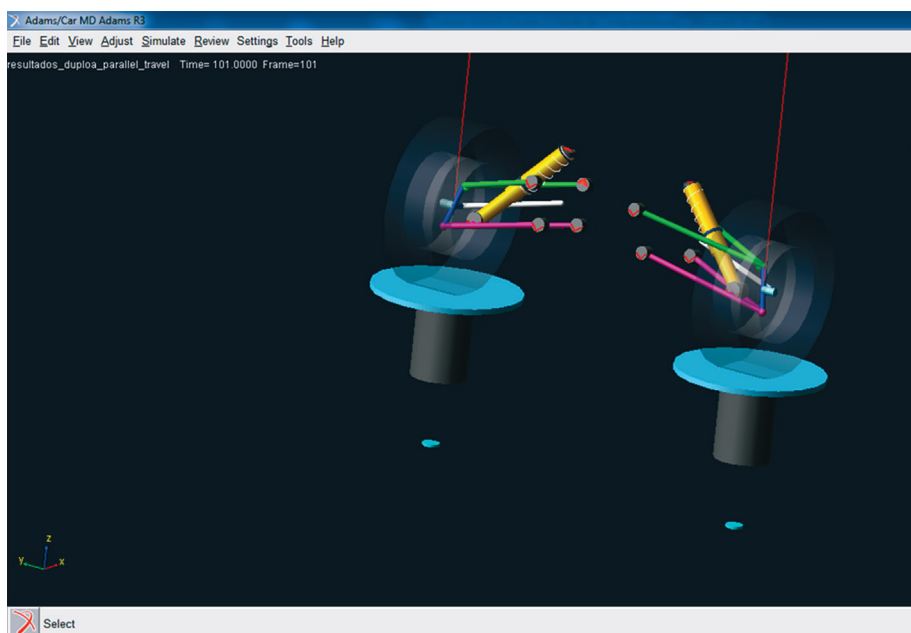


Figura 5.178 – Ilustração da tela referente à animação do *Assembly*.

### **Etapa 29 – Obtenção de resultados: ADAMS/Car *Postprocessing***

Nesta etapa, os resultados serão gerados em forma de gráficos, facilitando, assim, sua análise. Para realizar essa análise, proceda como sugerido a seguir:

- Acesse o menu *Review* → *Postprocessing Window*. Caso deseje, o usuário poderá utilizar o atalho correspondente à tecla F8 do teclado. A Figura 5.179 ilustra a interface *PostProcessing*.

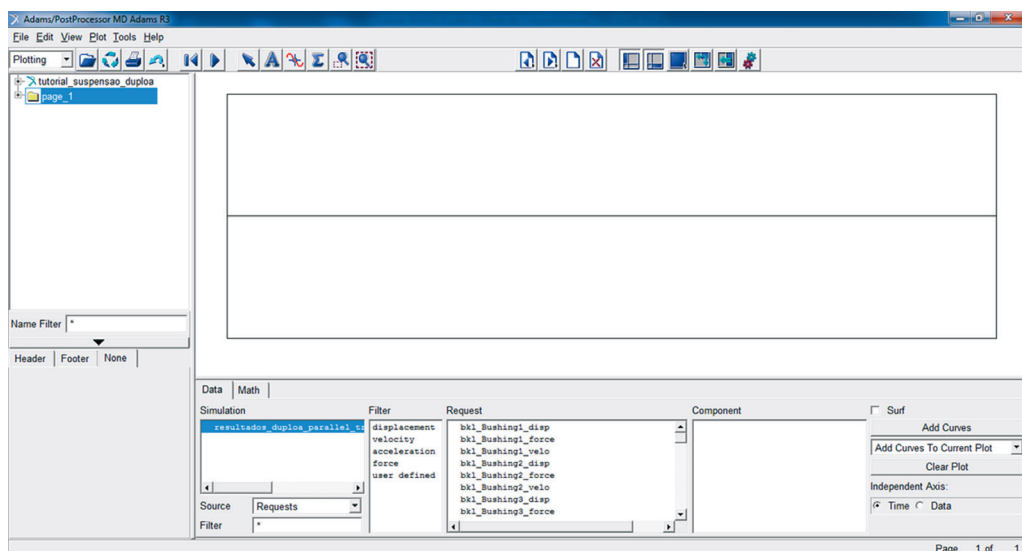


Figura 5.179 – Interface *PostProcessing*.

- Para criar os gráficos, acesse o menu *Plot* → *Create Plot* (Figura 5.180).

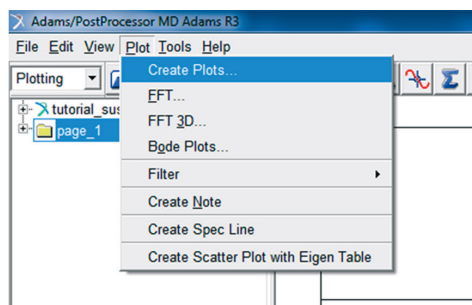


Figura 5.180 – Janela correspondente à criação de gráficos.

A janela *File Import* será aberta.

- Selecione o tipo de arquivo: *Plot Configuration (\*.plt)*.
- O arquivo com a configuração desejada dos resultados deve ser selecionado no campo *Plot Configuration File*. Para isto, clique com o botão direito do mouse sobre esse campo, e selecione a opção mostrada na Figura 5.181.

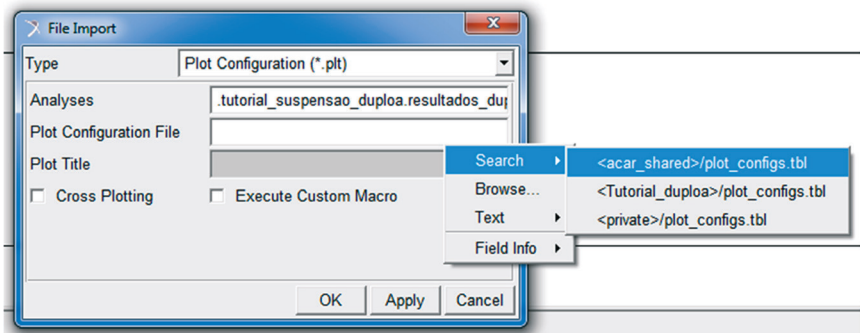


Figura 5.181 – Janela correspondente à importação de arquivos da biblioteca de configuração de gráficos do ADAMS/Car.

- Na biblioteca do ADAMS/Car, já existem diversas opções disponíveis de configurações de gráficos. Nesse caso, como se está interessado nos resultados do *Assembly* relacionados à Suspensão, selecione a opção *mdi\_suspension\_short.plt* (Figura 5.182).

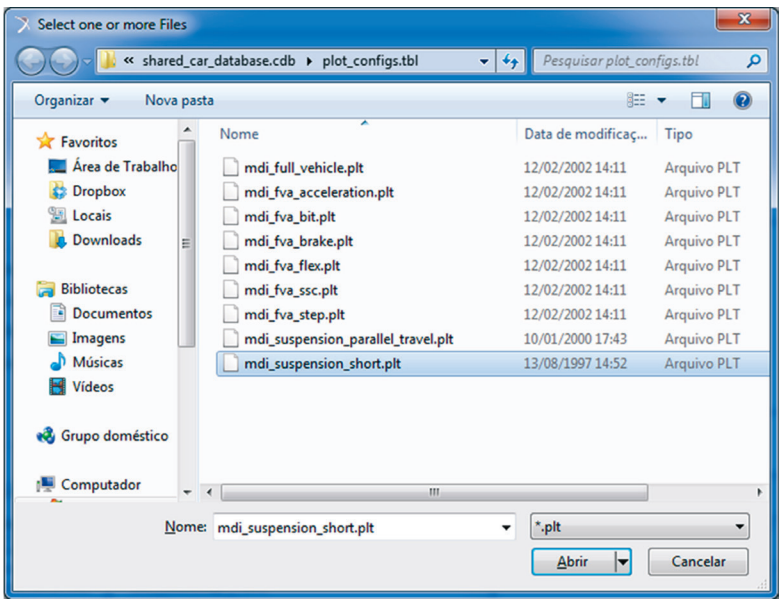


Figura 5.182 – Janela correspondente à definição de arquivo de configuração de gráficos.

O arquivo *mdi\_suspension\_short.plt* gera automaticamente nove gráficos, sendo eles: *anti dive*, *camber angle*, *caster moment arm*, *roll camber coefficient*, *roll center height*, *roll steer*, *scrub radius*, *toe angle* e *wheel rate*.

A Figura 5.183 ilustra a janela *File Import*, após preenchimento dos campos necessários.

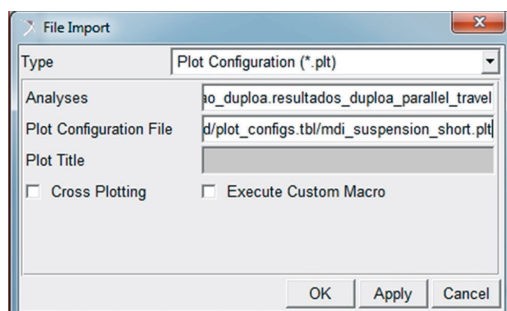


Figura 5.183 – Janela correspondente à importação de arquivos para obtenção de gráficos no *Postprocessor*.

- Clique em OK.
- Para alternar entre os gráficos obtidos, selecione os ícones .

Como exemplo, o sétimo gráfico gerado corresponde ao parâmetro *Caster Moment Arm* (eixo vertical) em função do curso da roda (*Wheel Travel*), como pode ser observado na Figura 5.184.

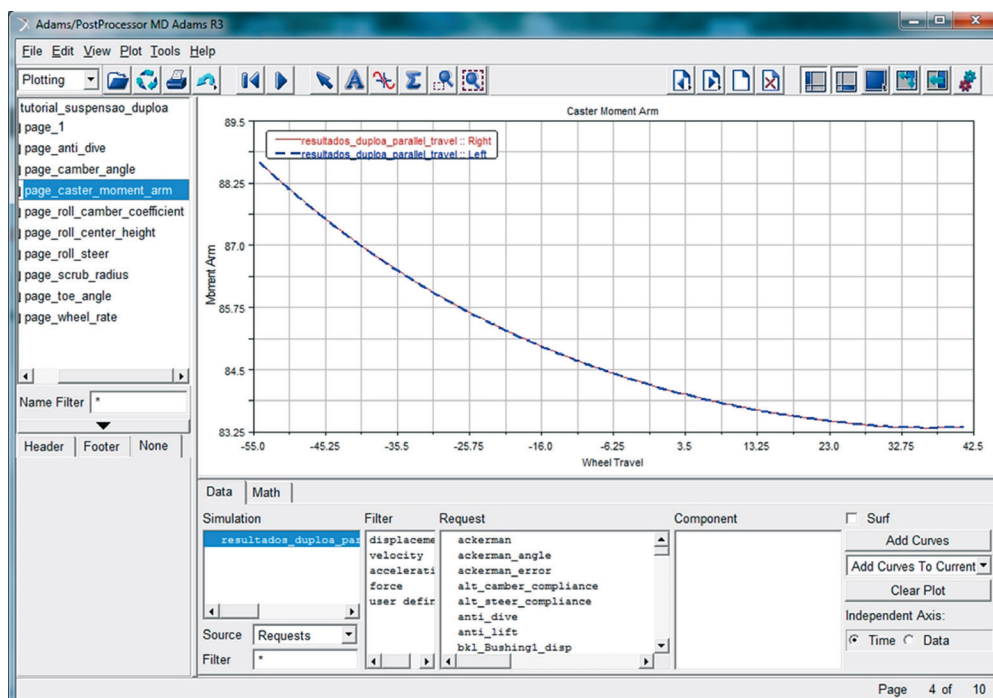


Figura 5.184 – Gráfico *Caster Moment Arm* x *Wheel Travel*.

**A notar:** O termo *Wheel Travel* define o movimento das rodas do veículo, no caso, as rodas do eixo dianteiro, provocado pelo trabalho vertical da suspensão (*ride*) e, também, o movimento destas, ocasionado pelo uso do sistema de direção.

O *Caster* representa uma das medidas de geometria da suspensão, podendo ser definido em vista lateral do veículo, como o ângulo que o eixo de direção faz com uma linha vertical. Essa linha vertical representa um referencial, que passa pelo centro da roda. O eixo da direção, por sua vez, no presente modelo virtual, passará pelas juntas situadas nos Hardpoints *hpl\_uca\_outer* e *hpl\_lca\_outer*. Perceba, pela construção do modelo, aqui proposto que essa reta conterá o *hpl\_tierod\_outer*.

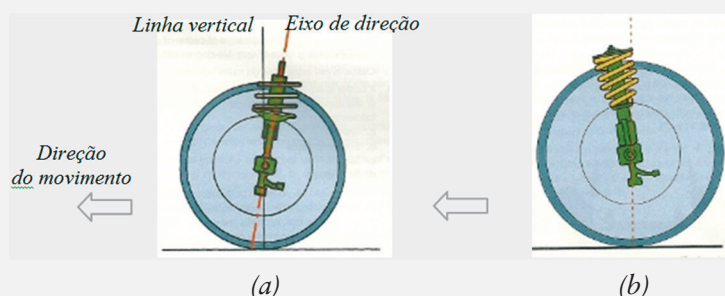


Figura representativa do Caster: (a) Caster positivo; (b) Caster negativo.

Fonte: HALDERMAN J. D. *Automotive technology: principles, diagnosis and service*, New Jersey, Pearson, 2012.

Seu valor é positivo quando o pivô superior, junta superior, está atrás do pivô inferior. No caso negativo observa-se o contrário.

Considerando o caso de um Caster positivo, o Caster Moment Arm representa um braço de alavanca que é medido a partir do centro da roda até o ponto em que o eixo de direção toca a linha horizontal que passa por esse centro. De acordo com a figura a seguir EG representaria o eixo de direção,  $-n\tau$  Caster Moment Arm e  $\tau$  o ângulo de Caster.

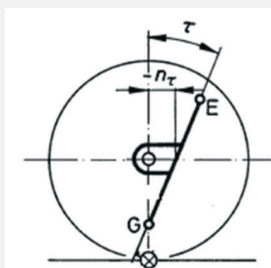


Figura representativa do Caster Moment Arm.

Fonte: REIMPELL, J.; STOLL, H.; BETZLER, J. W. *The automotive chassi: engineering principles*, Butterworth-Heinemann, 2001.



- Caso deseje apagar algum gráfico(s), selecione-o na árvore de diretórios – *Treeview* (à esquerda da tela), conforme ilustrado na Figura 5.185. Recomenda-se apagar individualmente cada gráfico. O atalho *Ctrl+X* também pode ser usado para executar a ação de excluir o gráfico.

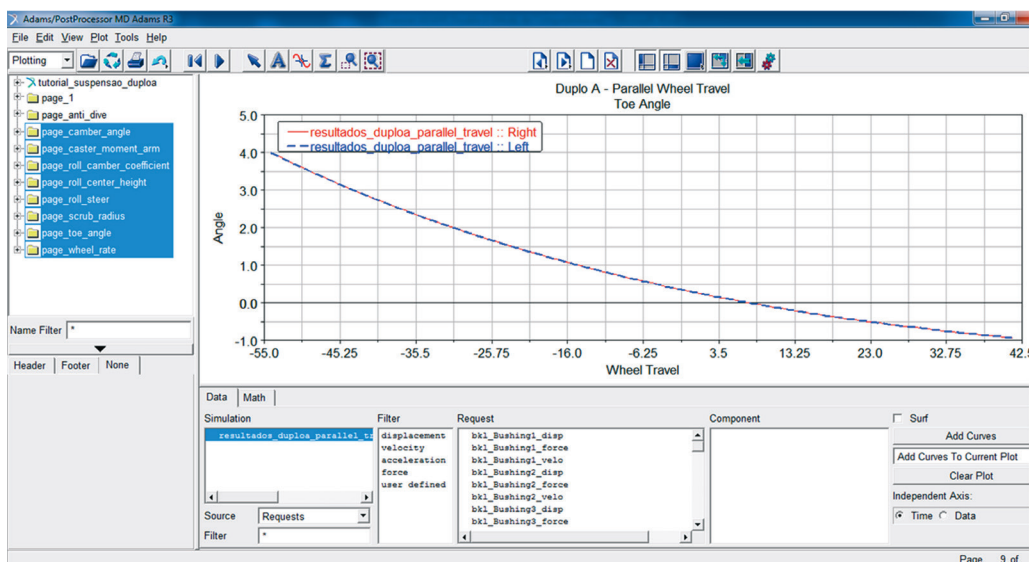


Figura 5.185 – Selecionando gráficos para serem apagados.

- Acesse o menu *Edit* → *Delete* (Figura 5.186).

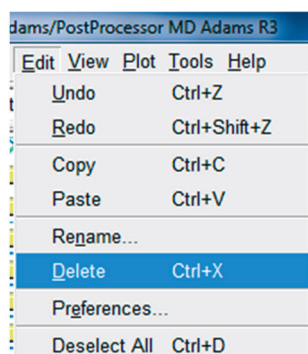


Figura 5.186 – Excluindo gráficos.

- Para sair da interface *PostProcessing*, pressione a tecla F8 ou acesse o menu *File* → *Close Plot Window*.

### Etapa 30 – Salvando as configurações gráficas

Para salvar as modificações nos gráficos gerados anteriormente o usuário deve seguir os passos descritos nesta etapa.

- No menu *File*, selecione *Export* e, em seguida, selecione *Plot Configuration File* (Figura 5.187).

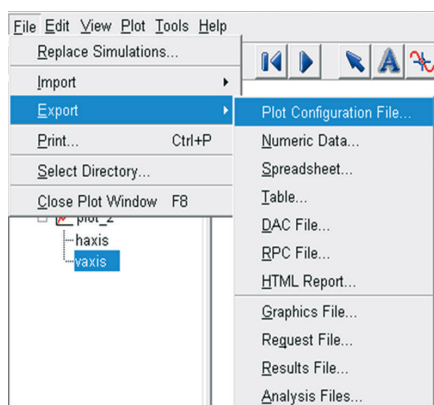


Figura 5.187 – Janela correspondente à exportação de arquivos gráficos.

A janela *Save Plot Configuration File* será aberta. No campo *Configuration File Name*, digite *Parameters\_duploa*. Selecione a opção *All Plots* (Figura 5.188).

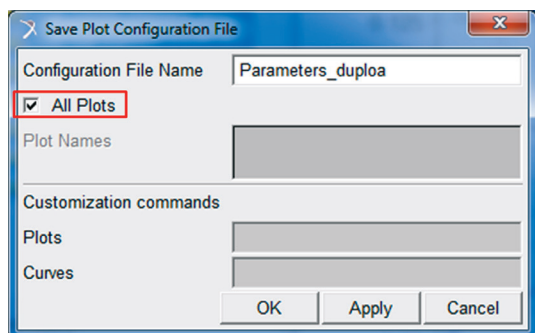


Figura 5.188 – Janela correspondente à definição do arquivo de exportação.

- Clique em *OK*.
- No menu *File*, selecione *Close Plot Window* ou pressione F8 para que o ADAMS/Car retorne para a janela principal.

Assim, considera-se que o presente tutorial atende o que o usuário espera em termos de construção do subsistema, no entanto, a análise dos gráficos gerados da construção fogem ao escopo da presente obra.

# 6

## CAPÍTULO

# Importação de Geometrias CAD no Módulo ADAMS/Car

Neste capítulo, será abordado o procedimento de importação de geometrias CAD – *Computer-Aided Design* (Desenho Assistido por Computador) para compor a visualização dos sistemas modelados no ADAMS/Car.

As geometrias importadas de um software CAD funcionam como uma “maquiagem” para o sistema multicorpo, de modo a compor sua imagem, facilitando o entendimento em relação ao funcionamento, e tornando a visualização mais agradável.

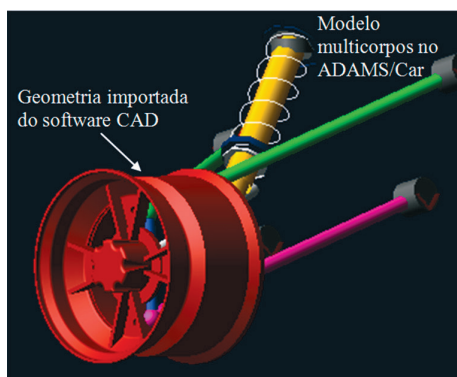
O projeto de geometrias no software CAD possibilita também a extração de propriedades geométricas importantes, tais como, centro de massa, massa, momento de inércia, entre outros, as quais serão necessárias para compor o modelo multicorpos.

Este capítulo tem como objetivo auxiliar o usuário no procedimento de importação dessas geometrias CAD, abordando um pequeno exemplo, onde apenas um componente do subsistema será importado. Os passos aqui descritos podem ser normalmente utilizados para importação de outras geometrias, bem como utilizados em outros módulos do software ADAMS.

Neste capítulo, o subsistema multicorpo abordado é uma suspensão do tipo *Double A-arm* (ou *Double Wishbone*), também conhecida como Duplo A. O desenho CAD aqui utilizado é parte integrante de um projeto Mini-Baja, o qual foi gentilmente cedido pela Equipe “Piratas do Cerrado” da Universidade de Brasília.

Visto que o procedimento de construção de uma suspensão automotiva foi abordado nos capítulos anteriores, neste capítulo, parte-se do modelo multicorpo da suspensão concluído bem como o desenho CAD já pronto.

O procedimento demonstrado neste capítulo corresponde especificamente à importação da geometria CAD da roda do subsistema suspensão. A figura a seguir ilustra o modelo a ser obtido ao fim deste capítulo.



Para facilitar o processo de importação de geometrias CAD para o ADAMS/Car é aconselhável que ambos os modelos (CAD e multicorpos) possuam o mesmo sistema de coordenadas global (mesma localização e orientação dos eixos), evitando, portanto, ajustes adicionais para posicionamento da peça importada. No entanto, afim de demonstração ao leitor, esta premissa não foi adotada neste capítulo visando mostrar as etapas necessárias para contornar esse fato.

Primeiramente, a importação da peça será realizada sem considerar correções no posicionamento da geometria importada. O resultado será apresentado mostrando a não conformidade da metodologia. Posteriormente, uma nova importação desta mesma peça será realizada, considerando, portanto a correção do posicionamento da peça importada em razão da diferença de localização e orientação nos sistemas de referência.

*A notar:* Logo após a II Guerra Mundial a suspensão Double A (Duplo Triângulo) era o tipo mais utilizado no sistema dianteiro dos carros produzidos nessa época. Essa suspensão é composta basicamente de um mecanismo de quatro barras, o qual permite um maior controle dos ângulos do pneu (câmbor e câster). Ela é constituída de dois braços, um superior e outro inferior, que servem como meio de ligação entre a estrutura do veículo e suas rodas. A suspensão Duplo Triângulo também é conhecida internacionalmente como Double Wishbone.

Na atualidade, a suspensão Double A é encontrada principalmente em carros de alto desempenho, por possibilitar um ajuste fino de características importantes, como variação de cambagem e bitola. Além disso, ela se mostra um sistema robusto, apresentando mais elementos em sua constituição em relação a outros sistemas mais enxutos, acrescentando, portanto, massa global ao veículo.



Suspensão Double Wishbone.

Fonte: GTCarz. Disponível em: <http://www.gtcars.ca/online/car-care-detailing-paint-visual-mods/42407-suspension-faq-all-you-need-know.html>. Acesso em: 17/12/2012

A suspensão Double A é encontrada em várias configurações, dependendo da necessidade de projeto. A configuração de braços paralelos e iguais tem a vantagem do centro de rolagem estar posicionado no solo, mas tem a grande desvantagem do ângulo de inclinação da roda acompanhar a inclinação do chassi, o que resulta em uma cambagem positiva durante uma curva, com isso o veículo perde apoio na curva pois o ponto de contato do pneu fica mais próximo ao centro de gravidade do veículo. Outra vantagem dessa configuração é a grande estabilidade ao enfrentar ondulações na pista. Já a suspensão com os braços iguais e não paralelos pode ser projetada para atingir um baixo centro de rolagem, o que auxilia na transferência de peso durante uma curva. Há também a vantagem do fácil posicionamento dos pontos de apoio no chassi. Essa configuração começou a ser usada na Fórmula 1, quando os carros passaram a ter sua frente mais estreita e mais alta.

A suspensão com os braços diferentes e não paralelos é efetivamente o desenho de suspensão mais versátil, pois o projetista pode determinar que a roda esteja na posição ideal em quase todas as situações, mas, como em todo projeto mecânico, há algumas limitações, tais como a posição dos apoios, que torna sua construção um pouco mais complexa.

### Etapa 1 - Escolhendo o tipo de arquivo a ser importado

São três os principais (e mais comum) tipos de arquivos utilizados para importação de geometrias CAD no ADAMS/Car. São eles: STEP (.stp), IGES (.igs) e Parasolid (.x\_t). O termo entre parênteses corresponde à extensão do arquivo.

Na Figura 6.1 está ilustrada a opção de importação de arquivos no ADAMS/Car onde se destacam as três extensões de arquivos mencionadas. Para tanto, o desenho em software CAD deve ser salvo em uma dessas três extensões.

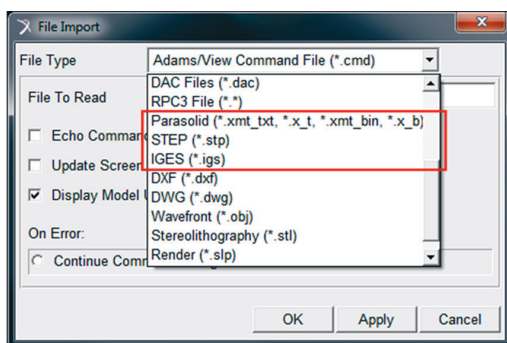


Figura 6.1 – Extensões dos arquivos para importação no ADAMS/Car.

No exemplo a seguir, o arquivo CAD foi salvo com extensão .igs.

### Etapa 2 – Importando a geometria CAD

Para executar esta etapa, é necessário que a geometria CAD esteja concluída no software CAD e o modelo multicorpo esteja disponível no modo *Template* do ADAMS/Car.

- No ADAMS/Car, com o modelo multicorpo na tela do computador, acesse o menu *File* → *Import...*

A caixa de diálogos mostrada na Figura 6.2 será aberta.

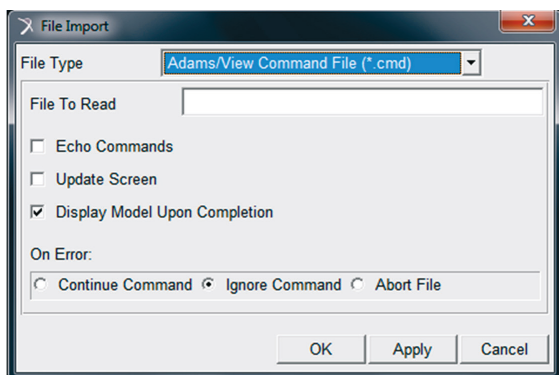


Figura 6.2 – Caixa de diálogo de importação.

- Na caixa de diálogo da Figura 6.2, altere o tipo de arquivo a ser importado para o ADAMS/Car. No campo *File Type*, selecione arquivo do tipo IGES (.igs), como ilustrado na Figura 6.3.
- No campo *File To Read* da Figura 6.2, indique o arquivo que se deseja importar. O arquivo pode ser selecionado clicando-se com o botão direito do mouse sobre o campo citado. Dentre as opções disponíveis, selecione *Search* ou *Browse*. O arquivo poderá ser selecionado no diretório de destino.

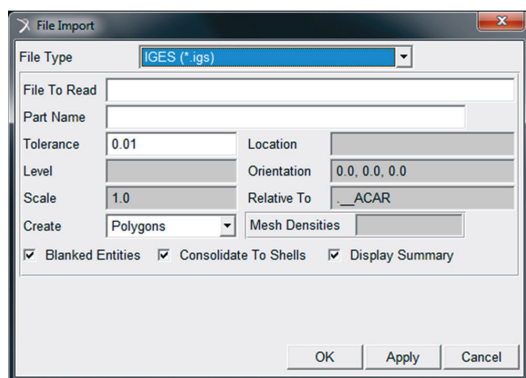
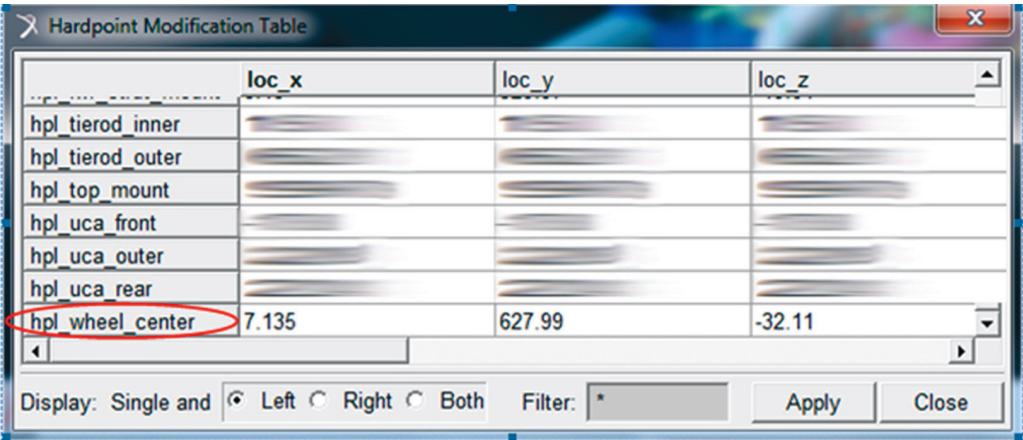


Figura 6.3 – Seleção do arquivo a ser importado.

O próximo passo consiste em especificar o *General Part* (no campo *Part Name*) que estará relacionado com a peça a ser importada. Para isso, uma análise do sistema deverá ser feita pelo usuário a fim de identificar o corpo rígido a ser associado à geometria CAD.

Para este caso, como a geometria a ser importada corresponde à roda do subsistema, tem-se que o *Hardpoint* diretamente relacionado a ela é o denominado *wheel\_center*, conforme ilustrado na tabela de *Hardpoints* do modelo (Figura 6.4). Os valores contidos na Figura 6.4 relacionados à localização de cada



	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_tierod_inner			
hpl_tierod_outer			
hpl_top_mount			
hpl_uca_front			
hpl_uca_outer			
hpl_uca_rear			
hpl_wheel_center	7.135	627.99	-32.11

Display: Single and ☒ Left ☐ Right ☐ Both Filter: \* Apply Close

Figura 6.4 – *Hardpoint* associado à geometria CAD.

*Hardpoint* não são exibidos por motivos de confidencialidade, visto que estes são oriundos de um projeto real.

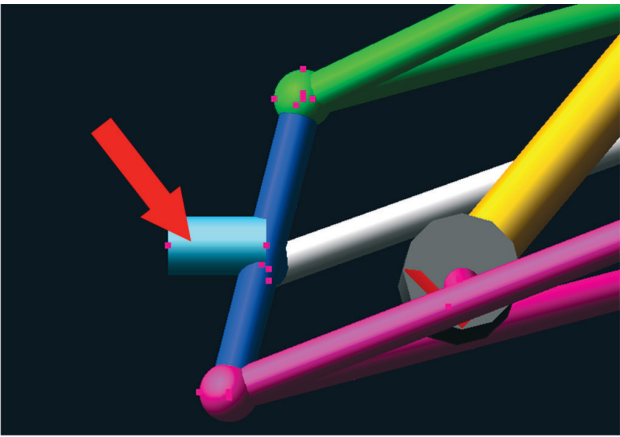


Figura 6.5 – *General Part* associado à geometria CAD.

A partir do *Hardpoint wheel\_center* tem-se que o *General Part* associado a este é o *Uprigth* (indicado pela seta na Figura 6.5, correspondendo à geometria em cor azul claro).



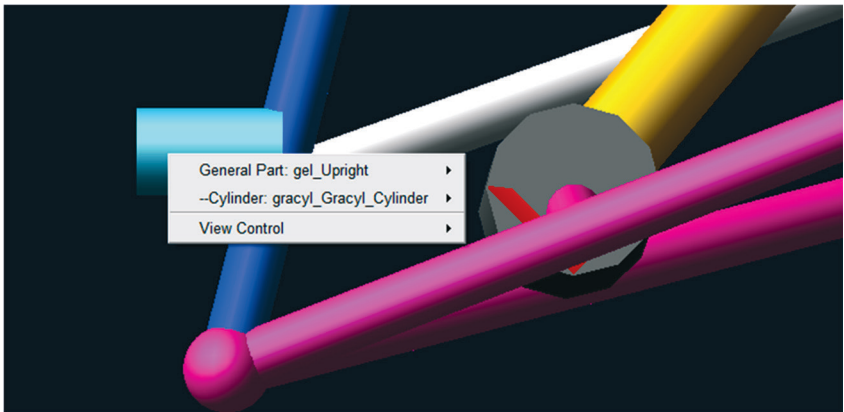


Figura 6.6 – Informações do *General Part* denominado *Uprighth*.

A Figura 6.6 ilustra a identificação do *General Part* associado à geometria CAD a ser importada. Clicando-se com o botão direito do mouse sobre o cilindro em azul claro as informações são exibidas (Figura 6.6).

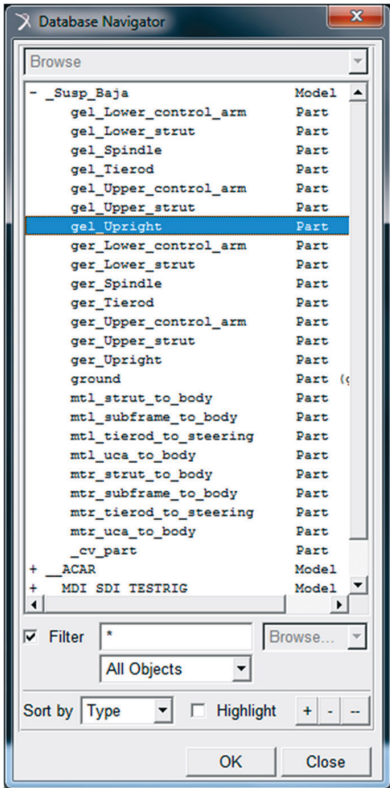


Figura 6.7 – Selecionando o *General Part*.

Uma vez definido qual será o *General Part*, clique com o botão direito do

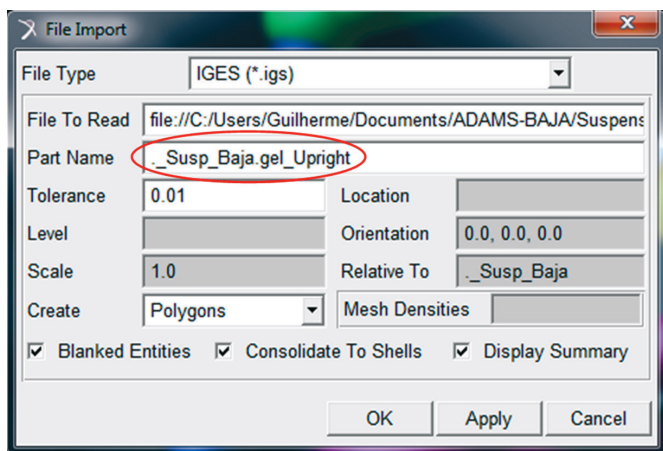


Figura 6.8 – *General Part* selecionado.

mouse no campo *Part Name*, selecione a opção *Browse* e, em seguida, selecione o *General Part gel\_Uprighth*, conforme ilustra a Figura 6.7.

A caixa de diálogo *File Import* resultante está mostrada na Figura 6.8.

- Ainda com relação à Figura 6.8, mantenha o campo *Tolerance* com o valor 0.01 e *Scale* com o valor 1.0. Estes são valores padrões (*default*) do programa.
- No campo *Location*, insira as coordenadas 0,0,0 (Figura 6.9). Nesse caso, estamos informando que as coordenadas 0,0,0 da geometria CAD será posicionada nas coordenadas globais (0,0,0) do modelo multicorpos da suspensão.
- No campo *Relative To*, insira o nome do modelo multicorpos em questão. Nesse caso, denominado como *Susp\_Baja* (Figura 6.9).

**A notar:** Os campos *Location* e *Orientation* da Figura 6.8 são complementados com a informação contida no campo *Relative To*. Dessa maneira, a geometria a ser importada terá sua localização e orientação definidas por seu referencial em relação ao referencial global utilizado no modelo multicorpos. Sendo assim, se a localização é definida como 0,0,0, então o referencial da geometria, quando importada, coincidirá com o referencial global do modelo multicorpos da suspensão.

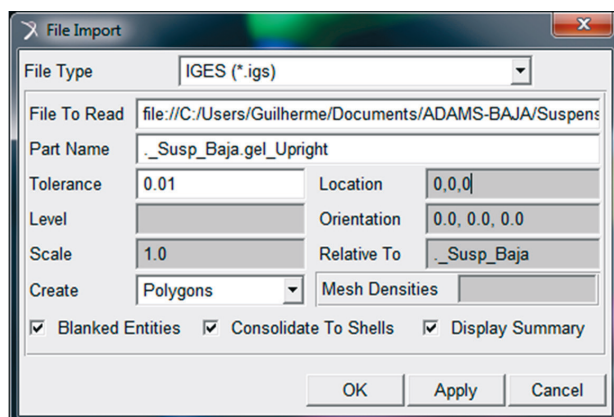


Figura 6.9 – Finalização da caixa de diálogo referente à importação de geometria CAD.

- Clique em OK.

A Figura 6.10 ilustra o processo de importação sendo processado.

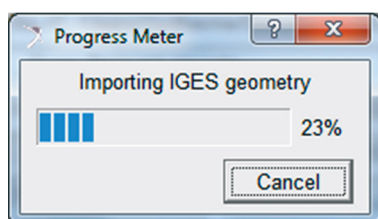


Figura 6.10 – Progresso de importação sendo processado.

A Figura 6.11 mostra a mensagem exibida pelo ADAMS/Car após conclusão da importação da geometria.

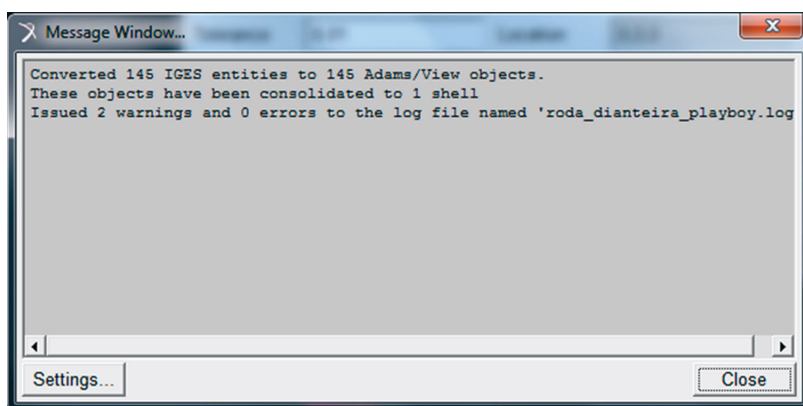


Figura 6.11 – Mensagem indicando a conclusão da importação da geometria.

- Na Figura 6.11, clique em *Close*, após verificar que não houve erros relativos ao processo de importação.

A Figura 6.12 mostra a peça importada, neste caso, a roda.

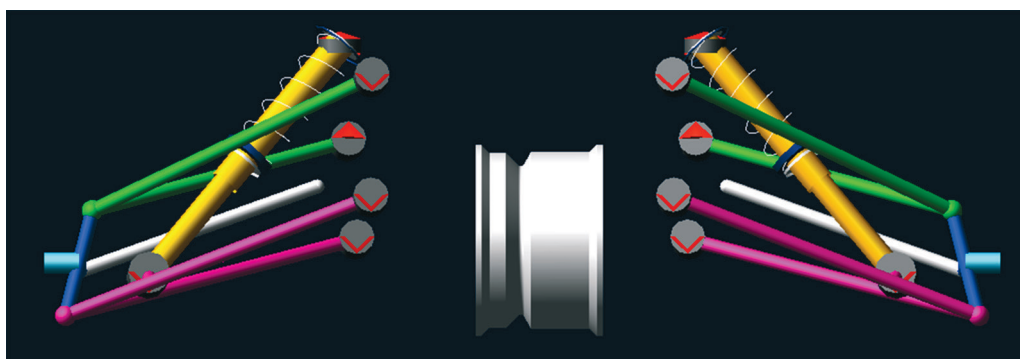


Figura 6.12 – Geometria relativa à roda importada para o ADAMS/Car.

Observa-se na Figura 6.12 que a geometria não se encontra no local desejado, uma vez que esta deveria estar localizada no *General Part Uprigth* (cilindro azul claro), localizado na extremidade lateral da suspensão. Este procedimento foi realizado a título de exemplo ao usuário, mostrando o quanto é importante analisar as coordenadas de referência de ambos os modelos (CAD e multicorpos) a fim de se obter uma importação na posição correta.

Um novo procedimento será necessário para que a peça seja posicionada no local correto do modelo multicorpos. Para isto, uma análise deverá ser feita a fim de verificar o quanto a geometria da roda deverá sofrer translação para que ocupe a posição correta.

Para dar prosseguimento à próxima etapa, considere que a geometria importada foi apagada (excluída) do modelo (clique com o botão direito do mouse sobre a geometria e clique em *Delete*). Um novo procedimento de importação será realizado, levando em conta este posicionamento, em virtude da diferença no referencial de ambos os modelos.

### Etapa 3 – Importação e posicionamento da geometria CAD

Nesta etapa, o processo de importação da geometria CAD para o ADAMS/Car será realizado já com a translação desta, de modo a localizá-la no local desejado no modelo multicorpos, ou seja, posicionando a geometria importada no local de interesse do modelo multicorpos.

Após uma análise entre as coordenadas de referência do modelo no software CAD e no ADAMS/Car, identificou-se que o eixo Y do modelo no ADAMS/Car corresponde ao eixo -Y do modelo construído no software CAD.

A Figura 6.13 mostra a geometria CAD no seu programa de origem, ilustrando o sistema de coordenadas deste.

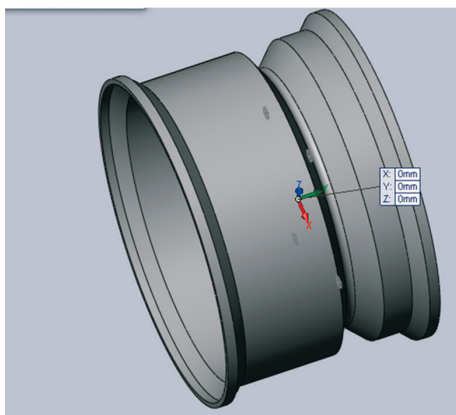


Figura 6.13 – Geometria CAD da roda.

Uma análise de simetria da peça com relação à origem das coordenadas será realizada, tanto na direção longitudinal quanto na radial.

Primeiramente, obtêm-se os valores das coordenadas do aro esquerdo da roda, conforme ilustrado na Figura 6.14 (destacado em azul). Pelas informações fornecidas pelo software CAD o centro deste aro encontra-se a -114,02 mm da origem das coordenadas na direção Y. Já a simetria radial foi também conferida, e sua existência foi verificada.

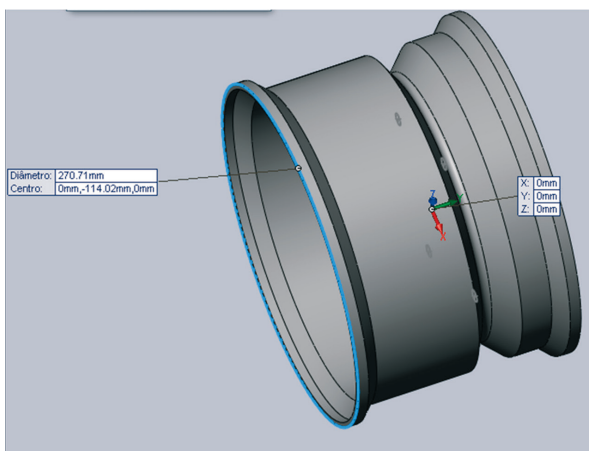


Figura 6.14 – Coordenadas do centro do aro esquerdo da roda no SolidWorks.

As mesmas informações apresentadas aqui (localização do centro do aro) são obtidas para o aro da direita, conforme Figura 6.15.

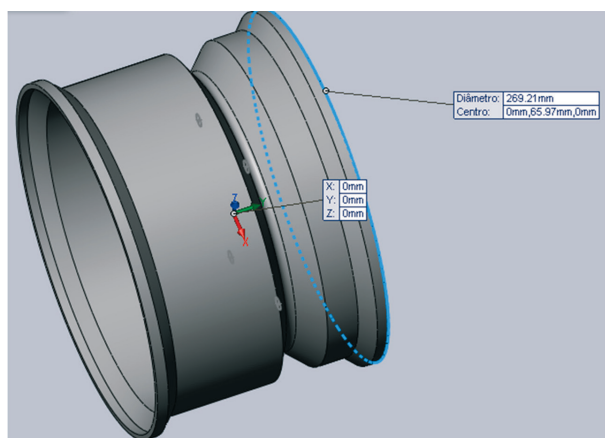


Figura 6.15 – Coordenadas do centro do aro esquerdo da roda no *Solid Works*.

Pelos resultados obtidos nas Figuras 6.14 e 6.15 nota-se que a origem das coordenadas da roda não se encontra localizada no meio do comprimento longitudinal da peça. Como se pode observar, as distâncias no eixo Y entre a origem e o centro de cada aro são diferentes (-114,02 mm na primeira medição e 65,97 mm na segunda medição).

Para que essa origem de coordenadas esteja localizada exatamente no centro da peça, tanto radial quanto longitudinal, os seguintes cálculos devem ser feitos:

- Comprimento total longitudinal da roda: 114,02 mm + 65,97 mm = 180 mm
- Centro do comprimento longitudinal: 180 mm / 2 = 90 mm
- Distância a ser percorrida pelo sistema de referência na direção Y para que esta fique localizada exatamente no centro do comprimento longitudinal da roda: 114,02 mm - 90 mm = 24 mm.

Desta maneira, o sistema de coordenadas do software CAD precisaria ser deslocado em 24 mm na direção do eixo Y, porém em seu sentido negativo, para que o sistema de referência ficasse localizado no centro da peça (radial e longitudinal).

Enquanto é necessário deslocar-se -24 mm em Y no software CAD, no ADAMS/Car será necessária uma translação de +24 mm em Y (como ressaltado anteriormente ambos os eixos estão em sentidos opostos).

Para que esse centro (radial e longitudinal) da geometria importada ocupe a posição correta no modelo multicorpos, ou seja, na localização do *Hardpoint*

de interesse, é necessário analisar o quanto a peça deverá ser deslocada nos respectivos eixos cartesianos X, Y e Z. O centro da roda deverá ser posicionado no *Hardpoint wheel\_center* cujas coordenadas (7,135; 627,99; -32,11) no ADAMS/Car estão mostradas na Figura 6.4.

Para realizar a importação considerando o posicionamento da peça, considere o campo *Location* da caixa de diálogo *File Import*, o qual deve ser preenchido conforme a Figura 6.16. Note que a coordenada Y corresponde à soma dos valores 627,99 mm e 24 mm, resultando em 652 mm. Os demais valores (X e Z) correspondem à posição do *Hardpoint wheel\_center*.

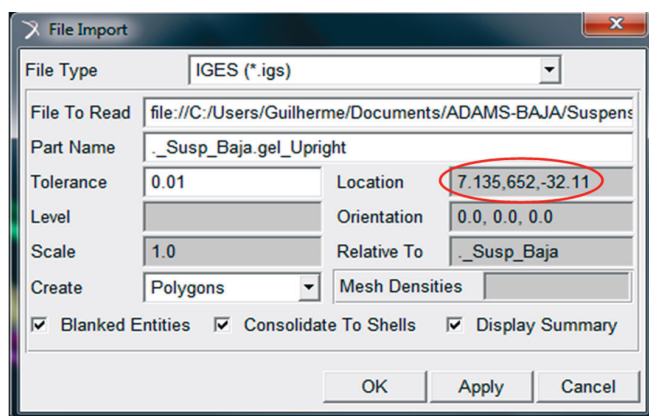


Figura 6.16 – Importação da geometria CAD com translação no ambiente ADAMS/Car.

- Clique em OK.

A Figura 6.17 ilustra o processo de importação da peça.

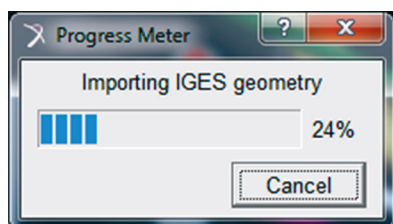


Figura 6.17 – Progresso de importação da geometria.

A Figura 6.18 mostra a geometria importada na posição correta no modelo multicorpos no ADAMS/Car.

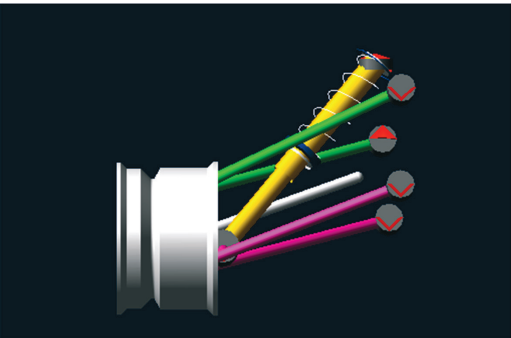


Figura 6.18 – Geometria CAD importada na posição desejada.

**Etapa 4 – Modificando a aparência da geometria importada**

O processo de importação do ADAMS/Car não importa características gráficas definidas no software CAD, tais como a cor, dificultando, no entanto, sua identificação.

Entretanto, o ADAMS/Car possui ferramentas que alteram a cor da geometria e ainda seu nome. Nesta etapa, estas ações referentes às modificações de características gráficas e nomes serão executadas.

- Para alterar o nome da geometria importada, clique com o botão direito nela, aponte o mouse para a geometria de interesse (o ADAMS automaticamente denomina a geometria importada com uma sigla SHL, proveniente da palavra *Shell*, seguida de um número) e, em seguida, selecione *Rename* (Figura 6.19).

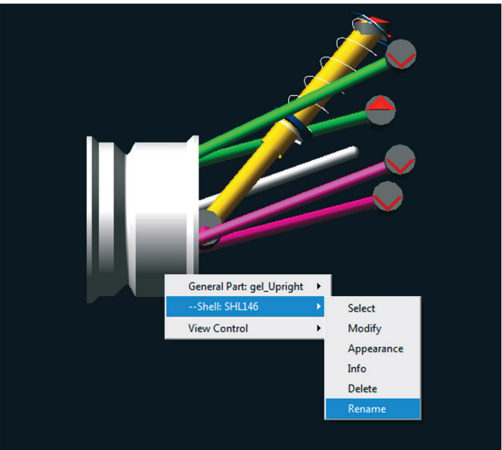


Figura 6.19 – Propriedades da geometria importada.



- Uma caixa de diálogo será aberta. Preencha o campo *New Name* com o novo nome da mesma (Figura 6.20).

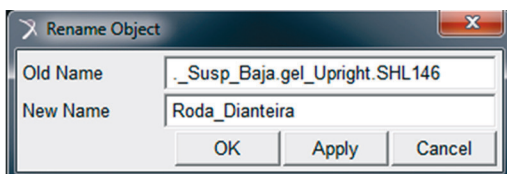


Figura 6.20 – Renomeando a geometria importada.

- Para alterar a aparência (cor) da peça importada clique novamente com o botão direito do mouse sobre a geometria de interesse. Posicione o cursor do mouse sobre o nome dessa geometria e selecione o item *Appearance* (Figura 6.21).

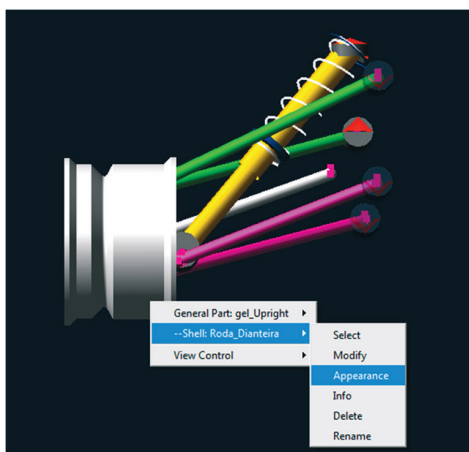


Figura 6.21 – Alterando a aparência da geometria importada.

Uma caixa de diálogo (*Edit Appearance*) será aberta. Os campos de interesse nessa janela serão *Color* e *Transparency* as quais dizem respeito à cor e o nível de transparência (Figura 6.22).

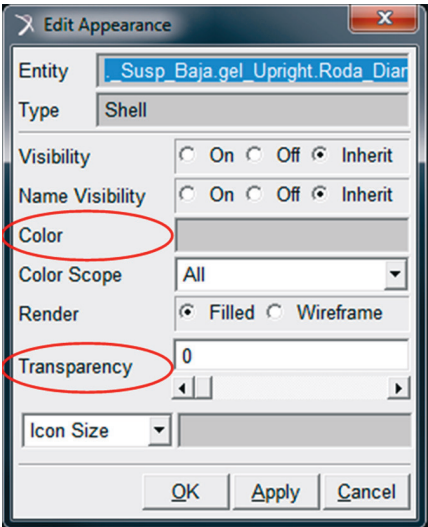


Figura 6.22 – Caixa de diálogo *Edit Appearance*.

- No campo *Color*, clique com o botão direito do mouse, aponte o cursor para *Color* → *Guesses* e, então, selecione a cor desejada (Figura 6.23).

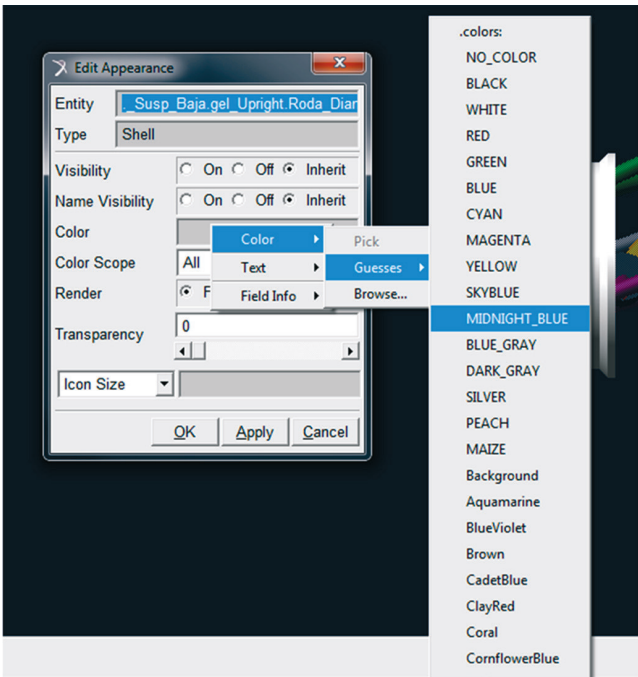


Figura 6.23 – Selecionando a cor da peça.

- Clique em *OK*.

A Figura 6.24 ilustra a geometria importada (roda dianteira) com a cor alterada de cinza para vermelho.

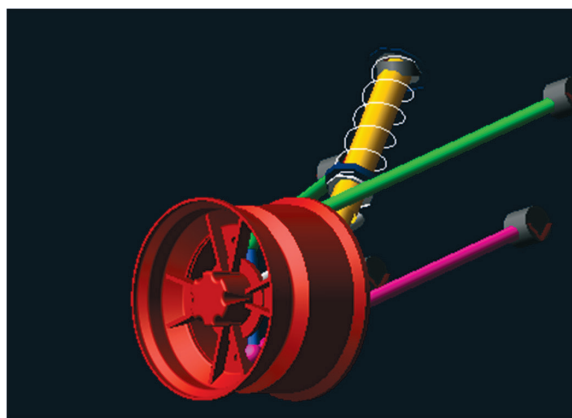


Figura 6.24 – Aparência final da peça importada.

As demais peças desse subsistema poderão ser importadas do software CAD seguindo a mesma metodologia descrita neste capítulo.



# **Como copiar e executar tarefas com um arquivo .cdb (ADAMS/Car) em seu computador**

**ATENÇÃO:** o leitor tem acesso a duas pastas .cdb das suspensões independentes: Macpherson e Duplo “A”. Cada uma dessas pastas deve ser aberta individualmente, conforme indicado nos passos especificados abaixo.

## **Primeiro passo**

Faça o download da pasta compactada referente aos tutoriais das Suspensões Macpherson e Duplo “A” no local desejado em seu computador. Por exemplo, no diretório C:\, crie uma pasta de nome “Suspensão\_Macpherson” e outra “Suspensão\_duploA”. Copie para dentro dessas pastas o respectivo arquivo compactado.

## **Segundo passo**

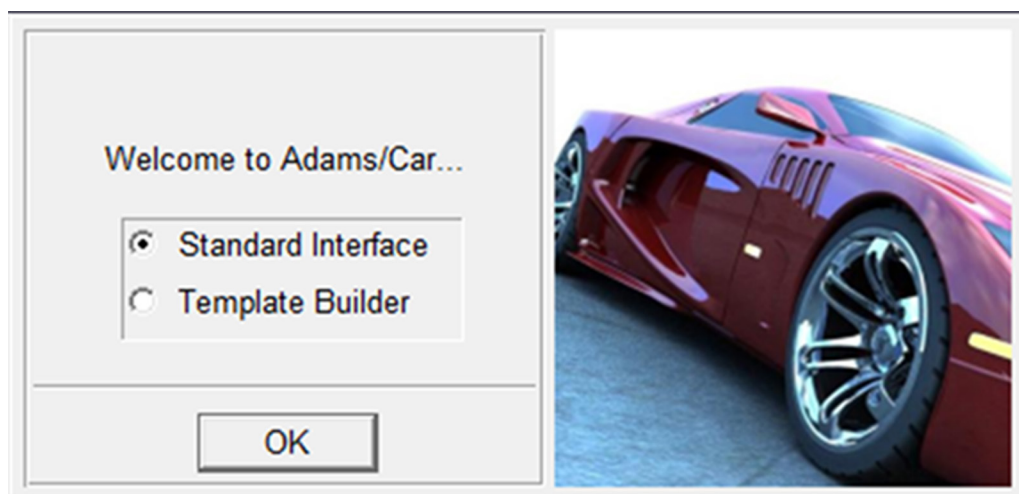
Descompacte os arquivos nas referidas pastas tendo o cuidado de manter os mesmos nomes, quais sejam:

- *Tutorial\_macpherson.cdb* (caso vá trabalhar com a suspensão Macpherson)  
ou
- *Tutorial\_duploa.cdb* (caso vá trabalhar com a suspensão Duplo “A”)

Obs.: o botão direito do mouse permite que clicando sobre o arquivo compactado e selecionando a opção: “*Extrair para Tutorial\_macpherson.cdb*” ou “*Extrair para Tutorial\_duploa.cdb*”, os arquivos sejam copiados nas pastas criadas anteriormente.

### Terceiro passo

Inicie o ADAMS/Car clicando no ícone referente a ele e, em seguida, escolha, conforme tela abaixo a opção “Standard Interface”.



### Quarto passo

Em seguida, selecione a opção *File* → *Select Directory* e navegue de forma a indicar o local onde a pasta *.cdb* foi armazenada em seu computador (selecione o último nível desta pasta). Por exemplo:

*C:\Suspensao\_Macpherson\Tutorial\_macpherson.cdb\Tutorial\_macpherson.cdb*  
ou

*C:\Suspensao\_duploa\Tutorial\_duploa.cdb\Tutorial\_duploa.cdb*

### Quinto passo

Por fim, vá ao menu principal e selecione a opção *Tools → Database Management → Add to Session* para carregar a pasta .cdb na sessão aberta do ADAMS/Car.

Neste caso, deve-se informar o *Database Alias*, que é o próprio nome da pasta .cdb (*Tutorial\_duploa* ou *Tutorial\_macpherson*) e o *Database Path*, que indica o local onde a mesma se encontra (*C:\Suspensao\_Macpherson\Tutorial\_macpherson.cdb\Tutorial\_macpherson.cdb*) ou (*C:\Suspensao\_duploa\Tutorial\_duploa.cdb\Tutorial\_duploa.cdb*).

### Sexto passo

O subsistema existente na pasta descompactada já pode ser aberto. Para isto vá em *File → Open → Subsystem*. Na caixa de diálogo *Open Subsystem*, clique com o botão direito do mouse na caixa de texto e em seguida clique em *Browse*. Duplo clique na pasta *subsystems.tbl* e em sequência selecione o arquivo *tutorial\_macpherson.sub* ou *tutorial\_duploa.sub*. Clique em *OK* em ambas as janelas. Clique em *Close* para fechar a janela que se abrirá sobre a área de trabalho. Pronto, seu modelo já está pronto para ser trabalhado.





# Referências

- [1] Manual Técnico MSC. Software Corporation, MD Adams Basic Full Simulation, ADM701 Course Notes, 2008, MSC.ADAMS®.
- [2] Manual Técnico MSC. Software Corporation, MD Adams Basic Full Simulation, ADM701 Workshops, 2008, MSC.ADAMS®.
- [3] Manual Técnico MSC. Software Corporation, MD R2 Adams/Car, ADM740 Course Notes, 2007, MSC.ADAMS®.
- [4] Manual Técnico MSC. Software Corporation, MD R2 Adams/Car, ADM740 Workbook, 2007, MSC.ADAMS®.
- [5] Manual Técnico MSC. Software Corporation, Getting Started Using ADAMS/Car, 2003, MSC.ADAMS®.
- [6] Manual Técnico Mechanical Dynamics, Incorporated, Building Models ADAMS/View 2000, ADAMS®.

- [7] Manual Técnico Mechanical Dynamics, Incorporated, ADAMS/Car Training Guide, Version 11.0, 2000, ADAMS®.
- [8] MERLING, M. C. C. **Uma abordagem gerencial para o procedimento de projeto de suspensões de veículos terrestres**. 2007. 174p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [9] COSTA, V. A. S. **Dimensionamento e calibração de suspensão tipo duplo A para veículos mini baja**. 2006. 64 p. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [10] OKABE, E. P. **A project methodology for vehicle suspension developing**. 2003. 158 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- [11] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física – vol. 1**. 3ª ed. São Paulo: LTC, 1998.
- [12] HALDERMAN, J. D. **Automotive chassis systems: brakes, steering, suspension and alignment**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [13] DIXON, J. C. **Tires, suspension and handling**. Society of Automotive Engineers (SAE), 1996.
- [15] BASTOW, D.; HOWARD, G. WHITEHEAD, J. P. **Car, suspension and handling**. 4th ed. Society of Automotive Engineers (SAE), 1993.
- [16] RAHNEJAT, H.; ROTHBERG, S. **Multi-body dynamics: monitoring and simulation techniques**. London: Professional Engineering Publishing, 2004.

# Você sabia?

Engenheiros com experiência CAE  
ganham um salário inicial de 51% a  
mais em relação aos demais?



Para saber mais sobre as ofertas de produtos  
MSC Software, por favor, visite nosso website em:

**[www.mscsoftware.com/portfolio](http://www.mscsoftware.com/portfolio)**

Para saber mais sobre o nosso Programa Universidade, por favor,  
visite nosso website em:

Centro de Ensino: **[www.mscsoftware.com/ensinar-com-msc](http://www.mscsoftware.com/ensinar-com-msc)**

Centro de Pesquisa: **[www.mscsoftware.com/pesquisa-com-msc](http://www.mscsoftware.com/pesquisa-com-msc)**

Estudante: **[www.mscsoftware.com/student.editions](http://www.mscsoftware.com/student.editions)**

Para solicitar um orçamento para o ensino ou pesquisa, por favor  
visite nosso website em: **[www.mscsoftware.com/ProductsQuote](http://www.mscsoftware.com/ProductsQuote)**

**MSC**  **Software**

