

MARCELO DE ALMEIDA FIGUEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS MULTICORPOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA

MINAS GERAIS - BRASIL

2008

MARCELO DE ALMEIDA FIGUEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS MULTICORPOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 26 de maio de 2008.

Prof. Francisco de Assis de Carvalho Pinto

(Co-orientador)

Prof. Márcio Arêdes Martins

Prof. Kleos Magalhães Lenz Cesar Júnior

Prof. Joseph Kalil Khoury Junior

Prof. Daniel Marçal de Queiroz

(Orientador)

À Deus.

À minha esposa Andréa Cristina.

Aos meus filhos Matheus e Isadora.

Ao meu pai José Carlos.

À minha mãe Ivone.

Aos meus irmãos José Carlos, Bruno e Carla.

À minha família.

Aos meus amigos.

Ofereço.

“A essência do conhecimento científico é a sua aplicação prática”

Confúcio.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso e pelos ensinamentos.

À Fábrica Boechat Ltda e à PETROBRAS, pelo apoio e pela confiança que, sem dúvida, foi fundamental para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Daniel Marçal de Queiroz, pelo inestimável apoio, confiança, amizade, pelo conhecimento e orientação transmitidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos co-orientadores Prof. Francisco de Assis de Carvalho Pinto e Prof. Ricardo Capúcio de Resende, pelas contribuições e sugestões.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pela colaboração e ensinamentos.

A minha esposa e meus filhos, pelo incentivo e compreensão, dando-me forças nos momentos difíceis, ajudando-me a vencer mais este desafio. Não tenho dúvidas de que, por muitos momentos, me ausentei em prol desta conquista e agora percebo o quanto eles foram importantes ao me incentivar.

A meus Pais, pela orientação e educação transmitidas ao longo de toda uma vida. Sou muito grato por isso, e tenho consciência de que uma grande parcela desta conquista eu devo a eles.

Aos colegas de curso, pelas contribuições e pelo bom convívio.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) e àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus que a todo tempo me iluminou, mostrando-me o melhor caminho a seguir.

BIOGRAFIA

MARCELO DE ALMEIDA FIGUEIRA, filho de José Carlos Figueira e Ivone de Almeida Figueira, nasceu em 03 de novembro de 1970, em Itaperuna, Rio de Janeiro.

Em 1989, iniciou o curso de Engenharia Mecânica na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), graduando-se em dezembro de 1993.

Em janeiro 1994, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Mecânica na Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE /UFRJ), concluindo todos os créditos em janeiro de 1995, e cuja tese foi interrompida após ingressar na Fábrica Boechat.

Em novembro de 1995, foi contratado pela Fábrica Boechat, onde desenvolveu funções de projetista de máquinas, engenheiro de produção, gerente de engenharia e gerente industrial, desligando-se da empresa em julho de 2006.

Em março de 2000, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia de Produção na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), concentrando seus estudos na área de otimização da produção, graduando-se em maio de 2002.

Em fevereiro de 2001 foi contratado pela Universidade Iguazu (UNIG), na função de professor, para lecionar disciplinas da área de modelagem e programação de computadores no curso de Sistemas de Informação.

Em 2002 foi contratado pela Faculdade Redentor, na função de professor, para lecionar disciplinas da área de física, termodinâmica, informática, desenho técnico e elementos de máquinas no curso de Engenharia Mecânica.

Em 2003 e 2004, exerceu a função de coordenador do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Redentor.

Em março de 2004, iniciou o Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de mecanização agrícola, submetendo-se à defesa da tese em maio de 2008.

Em julho de 2006, foi contratado pela PETROBRAS na função de Engenheiro de Equipamentos Pleno, na Unidade de Serviços Submarinos, no setor de Manutenção e Inspeção Submarina (US-SUB/MIS), onde continua até o momento.

ÍNDICE

RESUMO	XV
ABSTRACT.....	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 LITERATURA CITADA	4
2 MODELAGEM DE SISTEMAS MECÂNICOS MULTICORPOS - MBS	6
2.1 INTRODUÇÃO	6
2.2 CINEMÁTICA PLANAR	9
2.2.1 Restrições cinemáticas	10
2.3 DINÂMICA PLANAR.....	18
2.3.1 Sistema de corpos sem restrições de movimento.....	18
2.3.2 Sistema de corpos com restrições de movimento	19
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
2.5 LITERATURA CITADA	21
3 FORÇAS DE INTERAÇÃO ENTRE PNEU E SOLO E FORÇAS DO USUÁRIO.	22
3.1 INTRODUÇÃO	22
3.2 FORÇAS DE INTERAÇÃO ENTRE PNEU E SOLO.....	28
3.2.1 Forças Horizontais.....	29
3.2.2 Forças Verticais	32
3.2.3 Deformação vertical do pneu ($\delta(t)$ e $\dot{\delta}(t)$)	33
3.3 FORÇAS DO USUÁRIO.....	33
3.3.1 Forças tipo STEP (degrau).....	33
3.3.2 Forças tipo impacto.	34
3.3.3 Forças Harmônicas Simples (SHF - Single Harmônic Function).....	36
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
3.5 LITERATURA CITADA	37
4 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS.....	38
4.1 INTRODUÇÃO	38
4.2 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS.....	39
4.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA MULTICORPO (PRÉ-PROCESSAMENTO).....	41
4.4 GERAÇÃO E SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES (PROCESSAMENTO).....	48
4.5 ANIMAÇÃO (PÓS-PROCESSAMENTO).....	57

4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
4.7	LITERATURA CITADA	61
5	VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS - FSSM	62
5.1	INTRODUÇÃO	62
5.2	TESTE 1: TRELIÇA	63
5.2.1	<i>Solução analítica</i>	63
5.2.2	<i>Simulação com a FSSM</i>	65
5.2.3	<i>Conclusão</i>	69
5.3	TESTE 2: MECANISMO TIPO QUATRO BARRAS.....	69
5.3.1	<i>Solução analítica</i>	70
5.3.2	<i>Simulação com a FSSM</i>	73
5.3.3	<i>Conclusão</i>	77
5.4	TESTE 3: SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR ENGRENAGENS PLANETÁRIAS	78
5.4.1	<i>Solução analítica</i>	79
5.4.2	<i>Simulação com a FSSM</i>	79
5.4.3	<i>Conclusão</i>	83
5.5	TESTE 4: SISTEMA MASSA-MOLA NA VERTICAL.....	83
5.5.1	<i>Solução analítica</i>	84
5.5.2	<i>Simulação com a FSSM</i>	87
5.5.3	<i>Conclusão</i>	91
5.6	TESTE 5: SISTEMA MASSA-MOLA-AMORTECEDOR	91
5.6.1	<i>Solução analítica</i>	91
5.6.2	<i>Simulação com a FSSM</i>	93
5.6.3	<i>Conclusão</i>	96
6	USO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM TRATOR AGRÍCOLA	97
6.1	INTRODUÇÃO	97
6.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	99
6.3	COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS E SIMULADOS	110
6.4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	120
6.5	DISCUSSÃO DE ALGUNS FATORES QUE PODEM TER INFLUENCIADO OS RESULTADOS OBTIDOS.....	124
6.6	CONCLUSÕES.....	125
6.7	LITERATURA CITADA	127

7 RESUMO E CONCLUSÕES	129
APÊNDICE A	134
APÊNDICE B	135
APÊNDICE C	137
APÊNDICE D	139
APÊNDICE E	140
APÊNDICE F.....	143
APÊNDICE G.....	147
APÊNDICE H.....	153
APÊNDICE I	172
APÊNDICE J.....	184
APÊNDICE K.....	189
APÊNDICE L	219

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Localização do ponto P em relação ao corpo i e ao sistema de coordenada global (Fonte: Nikravesh, 1988).....	9
Figura 2.2 - Junta de revolução P conectando os corpos i e j (Fonte: Nikravesh, 1988).	11
Figura 2.3- Junta de translação entre os corpos i e j (Fonte: Nikravesh, 1988).	13
Figura 2.4- Os corpos podem se mover com (a) x_i constante, (b) y_i constante e (c) ϕ_i constante (Fonte: Nikravesh, 1988).....	14
Figura 2.5- (a) um par de engrenagens, e (b) um par de cilindros equivalentes (Fonte: Nikravesh, 1988).	16
Figura 2.6 - Um par de engrenagens montadas em (a) um corpo fixo e (b) um corpo em movimento (Fonte: Nikravesh, 1988).....	16
Figura 3.1 – Traçado de rodado rígido sobre solo também rígido, segundo Ahmed e Goupillon (1997).	23
Figura 3.2 - Representação simplificada da cinta do modelo Ftire (Fonte: Gipser, 2004).....	24
Figura 3.3 - Características gerais de deflexão da carcaça sob carga segundo Fervers (2004). ..	26
Figura 3.4- Modelo planar de um trator com 03 graus de liberdade	29
Figura 3.5 - Forças atuando na interação pneu-solo.....	29
Figura 3.6: Função STEP (Fonte: Adams, 1993)	34
Figura 3.7 - Exemplo ilustrando uma colisão, em que (a) representa o corpo em queda livre e (b) o corpo em colisão com uma superfície (Fonte: Adams, 1993)	35
Figura 3.8 - Coeficiente de amortecimento versus penetração (Fonte: Adams, 1993)	35
Figura 4.1- Esboço de um mecanismo tipo quatro barras desenhado no AutoCAD	42
Figura 4.2- Tela gráfica da FSSM na definição dos corpos de mecanismo tipo quatro-barras. 42	
Figura 4.3- Mecanismo tipo quatro-barras com os ícones indicando as juntas, eixos e ponto de interesse.	43
Figura 4.4- Tela de entrada de dados da FSSM.....	43
Figura 4.5- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Corpos.....	44
Figura 4.6- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Juntas Revolução	44
Figura 4.7- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Motores	45
Figura 4.8- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Pontos Interesse	45
Figura 4.9- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Execução.....	46
Figura 4.10- Arquivo de dados de configuração gerado pela fase de pré-processamento	47
Figura 4.11– Arquivo de dados de configuração resumido.....	47
Figura 4.12– Fluxograma geral de processamento da FSSM.....	49
Figura 4.13 - Fluxograma com o algoritmo da subrotina SFORCE().	56
Figura 4.14- Tela de resultados da simulação na FSSM: Aba <i>Dinâmica dos Corpos</i>	57
Figura 4.15- Tela de Resultados da Simulação na FSSM: Aba <i>Pontos de Interesse</i>	58
Figura 4.16 - Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0s$	58
Figura 4.17- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0,2s$	59
Figura 4.18- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0,4s$	59
Figura 4.19- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0,6s$	59
Figura 4.20- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0,8s$	60
Figura 4.21- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=1s$	60
Figura 5.1 Modelo de treliça para validação da simulação estática da FSSM	63
Figura 5.2 - Juntas de revolução do modelo de treliça na FSSM	65

Figura 5.3 - Dados de configuração do modelo de treliça estática.....	66
Figura 5.4 - Mecanismo tipo quatro-barras	70
Figura 5.5 - Dados para configuração do mecanismo de quatro barras na FSSM.	73
Figura 5.6 – Gráfico comparativo das soluções analíticas e simuladas da posição, velocidade e aceleração angular da barra <i>b</i> do mecanismo tipo quatro-barras.....	75
Figura 5.7 – Gráfico comparativo das soluções analíticas e simuladas da posição, velocidade e aceleração angular da barra <i>c</i> do mecanismo tipo quatro-barras.....	77
Figura 5.8 - Sistema de transmissão por engrenagens planetárias	78
Figura 5.9 - Arquivo de configuração para simulação do sistema de engrenagens planetárias.	80
Figura 5.10- Imagens da simulação de engrenagens planetárias na FSSM, intervalo de 0,00 a 0,75s.....	81
Figura 5.11 - Imagens da simulação de engrenagens planetárias na FSSM, intervalo de 1.00 a 2.00s.....	82
Figura 5.12 - Trajetória de um ponto de interesse (PI) preso à engrenagem planetária 4.....	83
Figura 5.13 - Desenho esquemático do sistema massa-mola na vertical.....	84
Figura 5.14 - Diagrama de corpo livre (DCL) do sistema massa-mola na vertical.....	84
Figura 5.15 - Dados de configuração do problema tipo massa-mola na vertical.	88
Figura 5.16 - Gráfico comparativo das soluções analíticas e simuladas da posição, velocidade e aceleração da massa <i>m</i> do sistema massa-mola na vertical.	90
Figura 5.17- Sistema massa-mola-amortecedor	91
Figura 5.18 - Dados de configuração do sistema massa-mola-amortecedor.	94
Figura 5.19 - Gráfico comparativo das soluções analíticas e simuladas da posição, velocidade e aceleração da massa <i>m</i> do sistema massa-mola-amortecedor.....	95
Figura 6.1 – Esquema do trator agrícola passando por uma lombada simples em piso rígido (asfalto). As dimensões apresentadas estão em metros.	103
Figura 6.2– Esquema do trator agrícola passando por uma lombada trapezoidal em piso rígido (asfalto). As dimensões apresentadas estão em metros.	104
Figura 6.3 – Esquema do trator agrícola passando por duas depressões em solo firme (de terra batida). As dimensões apresentadas são expressas em metros.....	104
Figura 6.4 – Esquema da localização dos sensores e sistema de aquisição de dados.	107
Figura 6.5 - Trator instrumentado	107
Figura 6.6 - Dados para configuração da simulação do trator no cenário A.....	109
Figura A.1- Gráfico e coordenadas <i>x</i> e <i>y</i> que definem o perfil da lombada simples utilizada na simulação.....	134
Figura B.1- Fotografia da dupla depressão utilizada no teste de campo.	135
Figura B.2 - Regressão polinomial de 6ª ordem para obtenção do perfil 1 da depressão dupla.	136
Figura B.3 - Regressão polinomial de 6ª ordem para obtenção do perfil 2 da depressão dupla.	136
Figura C.1 - Fotografia da pista de prova com depressão dupla utilizada no teste de campo (obstáculo C).	137
Figura C.2 - Fotografia da pista de prova com lombada trapezoidal (obstáculo B).....	138
Figura C.3 - Fotografia da pista de prova com lombada simples (obstáculo A).	138
Figura D.1- Fotografias do trator equipado com o sistema de aquisição de dados	139
Figura E.1– Dimensões básicas para determinação do C.G.	140
Figura E.2- Inclinação do trator para determinação do CG.....	141

Figura F.1 - Esquema do chassi do trator em 3D utilizado no cálculo do momento de inércia.	143
Figura F.2- Esquema com detalhamento dos centros de gravidade de cada parte do chassi do trator.	144
Figura H.1 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 1 - teste 1.	153
Figura H.2 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 1 - teste 2.	154
Figura H.3 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 1 - teste 3.	154
Figura H.4 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 2 - teste 1.	155
Figura H.5 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 2 - teste 2.	155
Figura H.6 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 2 - teste 3.	156
Figura H.7 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 3 - teste 1.	156
Figura H.8 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 3 - teste 2.	157
Figura H.9 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 3 - teste 3.	157
Figura H.10 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 4 - teste 1.	158
Figura H.11 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 4 - teste 2.	158
Figura H.12 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 4 - teste 3.	159
Figura H.13 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 5 - teste 1.	159
Figura H.14 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 5 - teste 2.	160
Figura H.15 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 5 - teste 3.	160
Figura H.16 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 6 - teste 1.	161
Figura H.17 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 6 - teste 2.	161
Figura H.18 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 6 - teste 3.	162
Figura H.19 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 7 - teste 1.	162
Figura H.20 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 7 - teste 2.	163
Figura H.21 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 7 - teste 3.	163
Figura H.22 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 8 - teste 1.	164
Figura H.23 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 8 - teste 2.	164
Figura H.24 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 8 - teste 3.	165
Figura H.25 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 9 - teste 1.	165
Figura H.26 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 9 - teste 2.	166
Figura H.27 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 9 - teste 3.	166
Figura H.28 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 10 - teste 1.	167
Figura H.29 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 10 - teste 2.	167
Figura H.30 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 10 - teste 3.	168
Figura H.31 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 11 - teste 1.	168
Figura H.32 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 11 - teste 2.	169
Figura H.33 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 11 - teste 3.	169
Figura H.34 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 12 - teste 1.	170
Figura H.35 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 12 - teste 2.	170
Figura H.36 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 12 - teste 3.	171
Figura I.1 – Espectro de frequências nos testes do cenário 1.	172
Figura I.2 – Espectro de frequências nos testes do cenário 2.	173
Figura I.3 – Espectro de frequências nos testes do cenário 3.	174
Figura I.4 – Espectro de frequências nos testes do cenário 4.	175
Figura I.5 – Espectro de frequências nos testes do cenário 5.	176
Figura I.6 – Espectro de frequências nos testes do cenário 6.	177

Figura I.7 – Espectro de frequências nos testes do cenário 7.....	178
Figura I.8 – Espectro de frequências nos testes do cenário 8.....	179
Figura I.9 – Espectro de frequências nos testes do cenário 9.....	180
Figura I.10 – Espectro de frequências nos testes do cenário 10.....	181
Figura I.11 – Espectro de frequências nos testes do cenário 11.....	182
Figura I.12 – Espectro de frequências nos testes do cenário 12.....	183
Figura J.1 - Acelerações verticais simuladas na FSSM em três diferentes velocidades (V), mantendo os demais parâmetros constantes.....	184
Figura J.2 – Espectros de frequência das acelerações nas três diferentes velocidades (V), mantendo os demais parâmetros constantes.....	185
Figura J.3 - Acelerações verticais simuladas na FSSM em três diferentes coeficientes de amortecimento (C), mantendo os demais parâmetros constantes.....	185
Figura J.4 – Espectros de frequência das acelerações nos três diferentes coeficientes de amortecimento (C), mantendo os demais parâmetros constantes.....	186
Figura J.5 - Acelerações verticais simuladas na FSSM em três diferentes pressões (P) nos pneus, mantendo os demais parâmetros constantes.....	186
Figura J.6 – Espectros de frequências das acelerações nas três diferentes pressões (P) dos pneus, mantendo os demais parâmetros constantes.....	187
Figura J.7 - Acelerações verticais simuladas na FSSM em três diferentes momentos de inércia de massa (I_z), mantendo os demais parâmetros constantes.....	187
Figura J.8 – Espectros de frequências das acelerações nos três diferentes momentos de inércia de massa (I_z), mantendo os demais parâmetros constantes.....	188
Figura L.1 – Tela principal do ambiente de programação Visual Basic para AutoCAD®	219
Figura L.2 – Formulário FrmARQs.....	220
Figura L.3 – Formulário FrmCAD	221
Figura L.4 – Formulário FrmCADSL	221
Figura L.5 – Formulário FrmCADSM	222
Figura L.6 – Formulário FrmDados, aba Arquivos.....	222
Figura L.7 – Formulário FrmDados, aba Corpos	223
Figura L.8 – Formulário FrmDados, aba Juntas Revolução.....	224
Figura L.9 – Formulário FrmDados, aba Juntas Translação	225
Figura L.10 – Formulário FrmDados, aba Juntas Simples	226
Figura L.11 – Formulário FrmDados, aba Mola-Amortecedor.....	227
Figura L.12 – Formulário FrmDados, aba Engrenagens	228
Figura L.13 – Formulário FrmDados, aba Correias	228
Figura L.14 – Formulário FrmDados, aba Motores.....	229
Figura L.15 – Formulário FrmDados, aba Forças Usuário.....	230
Figura L.16 – Formulário FrmDados, aba Pontos Interesse.....	231
Figura L.17 – Formulário FrmDados, aba Execução	231
Figura L.18 – Formulário FrmExporta.....	272
Figura L.19 – Formulário FrmIMPACT	274
Figura L.20 – Formulário FrmPneu.....	275
Figura L.21 – Formulário FrmRigidez	276
Figura L.22 – Formulário FrmSHF	277
Figura L.23 – Formulário FrmSolo	278
Figura L.24 – Formulário FrmSTEP	280

Figura L.25 – Formulário FrmSimulação, aba análise Estática	281
Figura L.26 – Formulário FrmSimulação, aba Dinâmica dos Corpos.....	282
Figura L.27 – Formulário FrmSimulação, aba Pontos de Interesse	283
Figura L.28 – Formulário FrmSimulação, aba Molas e Amortecedores	284
Figura L.29 – Formulário FrmSimulação, aba Juntas de Revolução	285
Figura L.30 – Formulário FrmSimulação, aba Juntas de Translação.....	286

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1– Coeficientes da equação de tração apresentado por Brixius (1987), citado por Zoz e Grizo (2003).....	30
Tabela 4.1 - Códigos utilizados nos dados de configuração da FSSM.	48
Tabela 5.1 - Resultado dos valores de força nas juntas de revolução (em Newton) obtidos com o uso da FSSM para o modelo de treliça.	67
Tabela 5.2 - Tabela comparativa dos resultados analíticos e simulados.	69
Tabela 5.3 - Comparação das soluções analíticas e simuladas da barra <i>b</i> do mecanismo tipo quatro-barras.	74
Tabela 5.4 - Comparação das soluções analíticas e simuladas da barra <i>c</i> do mecanismo tipo quatro-barras.	76
Tabela 5.5 - Comparação das soluções Analítica x Simulado do sistema massa-mola na vertical.	89
Tabela 5.6- Comparação entre soluções Analítica x FSSM de um modelo massa-mola-amortecedor.	94
Tabela 6.1 - Coeficientes de rigidez dos pneus	102
Tabela 6.2- Coeficiente de amortecimento de pneus agrícolas encontrados na literatura.....	103
Tabela 6.3 – Velocidades médias em todos os cenários e testes do ensaio de campo.	105
Tabela 6.4 - Cenários para medição da aceleração vertical nos pontos P1 e P2 do trator.....	108
Tabela 6.5 – Freqüências de oscilação das acelerações observadas e simuladas, no ponto P1 localizado na dianteira do trator agrícola.	112
Tabela 6.6 – Freqüências de oscilação das acelerações observadas e simuladas, no ponto P2 localizado na traseira do trator agrícola.....	113
Tabela 6.7 – Máximas acelerações (amplitude) observadas e simuladas, no ponto P1 localizado na traseira do trator agrícola.....	115
Tabela 6.8 – Máximas acelerações (amplitude) observadas e simuladas, no ponto P2 localizado na dianteira do trator agrícola.	116
Tabela 6.9 - Resultados das acelerações RMS Observadas e Simuladas, no ponto P1 localizado na traseira do trator agrícola.....	118
Tabela 6.10 - Resultados das acelerações RMS observada e simulada, no ponto P2 localizado na dianteira do trator agrícola.....	119
Tabela 6.11 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a freqüência em relação à velocidade, no ponto P1	120
Tabela 6.12 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a freqüência em relação à velocidade, no ponto P2.....	121
Tabela 6.13 – Máxima aceleração (amplitude), aceleração RMS e a freqüência em relação ao coeficiente de amortecimento , no ponto P1	121
Tabela 6.14 – Máxima aceleração (amplitude), aceleração RMS e a freqüência em relação ao coeficiente de amortecimento , no ponto P2	122
Tabela 6.15 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a freqüência em relação às pressões nos pneus, no ponto P1	122
Tabela 6.16 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a freqüência em relação às pressões nos pneus, no ponto P2	123
Tabela 6.17 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a freqüência em relação aos momentos de inércia de massa, no ponto P1	123
Tabela 6.18 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a freqüência em relação aos momentos de inércia de massa, no ponto P2	124

LISTA DE QUADROS

Quadro G.1- Descrição detalhada dos códigos e assinaturas utilizadas nos dados de configuração da FSSM.	147
--	-----

RESUMO

FIGUEIRA, Marcelo de Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Maio de 2008. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para simulação de sistemas mecânicos multicorpos.** Orientador: Daniel Marçal de Queiroz. Co-orientadores: Francisco de Assis de Carvalho Pinto e Ricardo Capúcio de Resende.

A simulação matemática é uma ferramenta muito importante na redução de custos de produção e viabilização de novos projetos de máquinas agrícolas. Este trabalho consiste no desenvolvimento de um programa computacional para simulação de sistemas mecânicos multicorpos, com funcionalidades adequadas às necessidades dos fabricantes de máquinas agrícolas, denominada FSSM (Ferramenta para Simulação de Sistemas Mecânicos), utilizando os recursos de programação gráfica do AutoCAD. Um algoritmo computacional, capaz de gerar automaticamente as equações que descrevem o movimento (posição, velocidade e aceleração) dos corpos rígidos do sistema multicorpo, é apresentado. O sistema de equações gerado é resolvido usando métodos numéricos. Para resolver os sistemas de equações não-lineares é usado o método de Newton-Raphson e, para o sistema de equações diferenciais ordinárias, é usado o método de Runge-Kutta de quarta ordem. Para atender as demandas mais usuais, um conjunto de elementos de força foi modelado e implementado, possibilitando simulações em um universo maior de problemas. A FSSM permite análises estática, cinemática e dinâmica de sistemas multicorpos. Na análise estática são obtidas as forças nas juntas do sistema multicorpos a partir das forças gravitacionais e forças aplicadas nos corpos, definidas pelo usuário. Na análise cinemática, em cada instante de tempo, previamente definidos, são obtidas a posição, velocidade e aceleração de cada corpo. Na análise dinâmica, são determinados os esforços nas juntas, bem como a posição, velocidade e aceleração de cada corpo a cada intervalo de tempo. Pontos de interesse presos aos corpos podem ser definidos, tanto para análise cinemática quanto para análise dinâmica. Forças do tipo: mola-amortecedor, constante, de impacto e harmônicas são implementadas, bem como a cinemática de pares de engrenagens e pares de polias ligadas por correias. As forças de interação entre pneu e solo também são implementadas, possibilitando a simulação do movimento de veículos terrestres sobre o solo. A implementação da FSSM é composta por três módulos distintos: pré-processamento (em linguagem VBA), processamento (programa executável em linguagem VB) e pós-processamento (também em linguagem VBA). Alguns testes foram realizados para validar a FSSM. Os testes são basicamente a comparação entre o resultado obtido analiticamente e o obtido pela FSSM. Para isso, se faz necessária a modelagem de sistemas simples, cujas equações geradas possam ser resolvidas analiticamente. O primeiro

sistema foi uma treliça, usada para validar o módulo de análise estática. O segundo foi um mecanismo tipo quatro-barras visando validar a geração das equações que simulam as juntas de revolução e validar a análise cinemática da FSSM. O terceiro foi um conjunto de engrenagens planetárias, que permitiu validar simultaneamente o uso de restrições relativas aos pares de engrenagens e juntas de revolução em análise do tipo cinemática. O quarto sistema foi do tipo massa-mola com movimento vertical que foi usado para validar as forças do tipo mola, forças gravitacionais e a análise dinâmica de sistemas. O quinto sistema foi do tipo massa-mola-amortecedor com movimento horizontal que foi usado para validar as forças do tipo mola com amortecimento, junta de translação e a análise dinâmica de sistemas. Testes de campo em um trator agrícola também foram realizados, consistindo da medição da vibração vertical em dois pontos, um localizado na parte dianteira e outro na parte traseira. As medições foram feitas a partir de um sistema automático de aquisição de dados, a bordo do trator, e os valores da aceleração vertical, ao longo do tempo, foram comparados com os valores simulados na FSSM. Os resultados foram satisfatórios, mostrando que a FSSM modelou adequadamente o sistema nos cinco testes realizados, bem como nos testes de campo.

ABSTRACT

FIGUEIRA, Marcelo de Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2008.
Simulation software development for multibody systems. Adviser: Daniel Marçal de Queiroz. Co-advisers: Francisco de Assis de Carvalho Pinto and Ricardo Capúcio de Resende.

The mathematical simulation is a very important tool to reduce production costs in new projects of agricultural machines. This work consists of a simulation software development for multibody systems (MBS), called FSSM (tool for simulation of mechanical systems), with appropriate functionalities for manufacturers of agricultural machines, using the AutoCAD graphic programming resources. A computational algorithm, capable to generate the equations that automatically describe the rigid body's movement (displacement, velocity and acceleration) in MBS is presented. The system of equations generated is solved using numeric methods. It was used the Newton-Raphson method to solve the linear system of equations, and then fourth-order Runge-Kutta method to differentiate ordinary equations. To assist the most usual demands, a set of force elements was modeled and implemented, to make possible simulations of a greater variety of problems. The FSSM allows static, kinematics and dynamics analyses in MBS. In the static analysis it is obtained the forces in the MBS joints considering the gravitational forces and users forces applied on the bodies. In the kinematics analysis, at any time, previously defined, it is obtained the displacement, velocity and acceleration of each body. In the dynamic analysis the joint efforts are solved, as well as the displacement, velocity and acceleration of the body at any instant of time. Points of interest attached to the bodies can be defined for kinematics and dynamic analysis. Force-type spring-damping, constant, impact and harmonics are implemented, as well as a pair of spur gears and belt kinematics. The interaction forces between tire and soil are also implemented. It makes possible the simulation of off-road vehicles working on the soil. The FSSM implementation is composed by three different modules: pre-processing (VBA language), processing (executable program in VB language) and after-processing (also in VBA language). Some tests were accomplished to validate the FSSM. The tests are basically the comparison between the analytical and simulated results. Simple systems were modeled in order to obtain a set of equations that could be solved analytically. The first system was a static truss structure, used to validate the static analysis module. The second was a four-bar mechanism to validate the generation of the equations that simulate the revolution joint and validate the FSSM kinematics analysis. The third system was a set of planetary gears that allowed the simultaneous validation of relative restrictionsof pairs of gears and revolution

joints usage in kinematics analysis. The fourth system was the mass-spring type with vertical movement that was used to validate the spring and gravitational forces generation and dynamic analysis. The fifth system was mass-spring-damping system with horizontal movement, used to validate the spring and damping forces generation, translation joint and dynamic analysis. Field tests using an agricultural tractor were also made. During the tests, the vertical vibration in two points were measured one located in the front and other at the rear of the tractor. The measurements were done using an automatic data acquisition system, installed on the tractor. The vertical acceleration values measured were compared to the simulated values using FSSM. The results were satisfactory showing that FSSM simulated the system appropriately in the five tests performed.

1 INTRODUÇÃO

Segundo projeções da ONU, o Brasil tem capacidade para tornar-se o maior produtor agrícola do mundo nas próximas décadas, sendo considerado uma superpotência agrícola mundial, de acordo com o ex-secretário do estado americano Colin Powell, citado por Mano e Toledo (2005).

Na década de 80, o Brasil era o quinto produtor mundial de máquinas e equipamentos. Atualmente está posicionado em 14º lugar. Segundo Neto (2007), presidente da ABIMAQ¹, para retornar ao topo da lista, um longo caminho precisa ser percorrido. É necessário fortalecer a representatividade do setor, atuar institucionalmente com profissionalismo e com foco, estimular para que as indústrias do setor se reestruturem, fortaleçam-se e incorporem novas tecnologias no sentido de tornarem-se competitivas, interna e externamente.

Romano (2001), ao realizar um estudo relacionado ao desenvolvimento de produtos em algumas empresas do setor de máquinas e implementos agrícolas, concluiu que a forma como o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas (DMA) vem sendo realizado é um aspecto preocupante para a sobrevivência das empresas neste atual mercado globalizado, principalmente nas empresas de pequeno porte. Entre outros, foi observado que: o processo de DMA é realizado de maneira informal; os projetos são do tipo evolutivo e adaptativo; a duração dos projetos varia principalmente em função da experiência de quem os conduz e o planejamento do produto é praticamente inexistente nas indústrias de pequeno porte.

Após um estudo de competitividade de empresas brasileiras para exportar máquinas, Vermulm (2002) concluiu que as empresas brasileiras enfrentam várias dificuldades. O Brasil não é reconhecido internacionalmente como importante país produtor de bens de capital, o que sempre leva o comprador a desconfiar do produto brasileiro. Para exportar, é preciso que o fabricante tenha uma máquina competitiva cuja propriedade intelectual lhe pertença. Ou seja, se o Brasil não detiver competência para projetar máquinas, dificilmente será relevante no mercado internacional. Continuar exportando máquinas que são desenvolvidas à base da tentativa e erro, para nichos específicos de mercado ou tecnologicamente defasadas pode ser uma estratégia muito arriscada a longo prazo.

Algumas técnicas de projeto auxiliado por computador vêm sendo utilizadas para reduzir o tempo total de projeto, aumentando a qualidade e a confiabilidade, reduzindo custos

¹ Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos.

e facilitando a inovação tecnológica. Técnicas como a modelagem de sólidos, modelagem matemática usando elementos finitos e simulação de sistemas mecânicos vêm sendo utilizadas para auxiliar no projeto de máquinas, equipamentos, veículos automotores, entre outros. Atualmente já é possível construir um protótipo virtual, permitindo fazer diversos testes (simulações) antes mesmo de o produto ser construído.

Kondo (1997) cita que as técnicas de modelagem e análise de sistemas mecânicos multicorpos geralmente são apoiadas por programas de computador conhecidos como *Engenharia Auxiliada por Computador* (CAE - *Computer-Aided Engineering*), que são atualmente ferramentas indispensáveis nos processos de projeto e manufatura. Tais ferramentas permitem também a realização de diversos outros cálculos de engenharia, tais como: análise de tensões, transferência de calor, mecânica de fluidos, vibrações, dentre outros.

A simulação de sistemas pode ser vista como ensaios virtuais que permitem a substituição dos longos e caros experimentos de campo, por análises mais rápidas, mais baratas e mais detalhadas a partir de simulações em computador (Nakhimovski, 2002). A modelagem de sistemas mecânicos consiste em interconectar uma coleção de corpos rígidos por meio de juntas, como, por exemplo, de rotação e/ou de translação, que restringem os graus de liberdade do sistema. Os corpos são submetidos a tradicionais elementos de força como mola, amortecedor, carga externa, dentre outras (Nikraves, 1988).

Nakhimovski (2002) afirma que sistemas mecânicos são excelentes candidatos para simulação, por muitas razões:

- A construção de um protótipo de um sistema mecânico para efetuar ensaios é muito cara e consome um tempo elevado. A confecção de uma simples peça pode levar semanas, dependendo de sua complexidade.
- Muitas máquinas podem ser perigosas e colocar em risco a vida humana. O uso de simulação passa a ser obrigatório, como por exemplo, em projeto de aviões, automóveis, motocicletas, etc.
- Algumas medidas em sistemas dinâmicos reais são muito difíceis ou impossíveis de serem obtidas. Entretanto, em uma simulação todas as variáveis são acessíveis.
- O ajuste de parâmetros do sistema é muito mais fácil em uma simulação do que em uma máquina real.

- Alguns efeitos particulares em sistemas reais podem ser mascarados por outros fenômenos. Estes efeitos podem ser isolados e cuidadosamente estudados em uma simulação. Em outras situações, estes pequenos efeitos podem ser completamente negligenciados em uma simulação, devendo haver um cuidado especial para certos efeitos.

Em busca de maior competitividade e agilidade nos projetos, a grande maioria das empresas, inclusive as pequenas, já utilizam algum tipo de ferramenta CAD (Computer Aided Design, ou seja, Desenho Auxiliado por Computador) na elaboração dos projetos. Infelizmente o mesmo não ocorre quando se trata de ferramentas computacionais para simulação de sistemas mecânicos. Isto se deve ao fato deste tipo de ferramenta ainda ter um elevado custo de aquisição.

O desenvolvimento de uma ferramenta de simulação de sistemas mecânicos, com funcionalidades adequadas às necessidades dos fabricantes de máquinas agrícolas, que pudesse rodar dentro do AutoCAD^{®2} seria uma solução para o problema, visto que o AutoCAD[®] é um dos programas mais utilizados e populares.

Devido à necessidade de tornar a tecnologia de simulação acessível ao meio acadêmico e aos pequenos fabricantes de máquinas, o objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para simulação de sistemas multicorpos, denominada FSSM, com funcionalidades adequadas às necessidades dos fabricantes de máquinas agrícolas, utilizando os recursos de programação gráfica do AutoCAD[®]. Para isso, os seguintes objetivos específicos foram necessários:

- Desenvolver um modelo para simulação de sistemas multicorpos no plano, apropriado para aplicações na engenharia agrícola.
- Desenvolver uma interface no AutoCAD[®] utilizando VBA (Visual Basic for Application) para extrair dados e configurar o sistema multicorpo a ser analisado.
- Desenvolver um conjunto de subrotinas para simular a cinemática, dinâmica e estática do sistema multicorpo.
- Desenvolver uma interface no AutoCAD[®] utilizando VBA para animação dos movimentos do sistema multicorpo.

² AutoCAD[®] é um produto e uma **marca registrada** da companhia Autodesk.

- Validar o sistema desenvolvido, comparando os dados simulados com os dados experimentais e dados gerados por problemas que têm solução analítica.

Este trabalho é formado por sete capítulos. O primeiro apresenta uma introdução ao assunto. No segundo capítulo, o modelo matemático de sistemas mecânicos multicorpos adotado é apresentado. No terceiro, um modelo dos esforços provenientes da interação entre pneu e solo é desenvolvido. No quarto capítulo é apresentada a implementação em computador do modelo matemático proposto. A validação da FSSM é apresentada no quinto capítulo, com a comparação entre os resultados simulados e os obtidos analiticamente. No sexto capítulo, um método para ensaio de um trator agrícola em pistas com obstáculos é apresentado, bem como a sua modelagem na FSSM seguida de comparações entre os resultados simulados e os observados nos testes de campo. Finalmente no sétimo capítulo são apresentados os resumos e conclusões do presente trabalho.

1.1 LITERATURA CITADA

KONDO, R. T. **Animação de simulações de sistemas mecânicos multicorpos**. 1997. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos. Departamento de Ciência de Computação e Estatística. São Carlos.

MANO, A. P.; TOLEDO, J. C. A integração interfuncional na gestão de desenvolvimento do produto: um estudo de caso em uma empresa de máquina agrícola. **V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos – CBGDP**. Curitiba. 2005.

NAKHIMOVSKI, I. **Modeling and simulation of contacting flexible bodies in multibody systems**. 2002. Licentiate of Engineering. School of Engineering at Linköping University. Department of Computer and Information Science. Linköpings.

NETO, L. Palavra do Presidente. **Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos – ABIMAQ**. São Paulo, dez. 2007. Disponível em : <http://www.abimaq.org.br/presidente_show.asp?id=93>. Acesso em 30 dez. 2007.

NIKRAVESH, P. E. Computer-aided analysis of mechanical systems. **Prentice Hall**. Englewood Cliffs. New Jersey, 1988.

ROMANO, L. N.; BACK, N.; OGLIARI, A. Indústria brasileira de máquinas agrícolas: estudos preliminares do processo de desenvolvimento de produto. **XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA**, 2001.

VERMULM, R.; ERBER, F. **Estudo da competitividade de cadeias integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio**. Cadeia: Bens de Capital. Universidade Estadual de Campinas. Nota Técnica Final. Campinas, Dez, 2002.

2 MODELAGEM DE SISTEMAS MECÂNICOS MULTICORPOS - MBS

2.1 Introdução

A técnica de modelagem de sistemas mecânicos multicorpos (MBS - *Multibody Systems*) pode ser utilizada para realizar a concepção do modelo matemático de qualquer sistema mecânico que possa ser modelado fisicamente como um conjunto de corpos rígidos interligados por juntas cinemáticas, influenciado por forças, direcionado por movimentos preestabelecidos e limitados por restrições (Adams, 1990, citado por Barbosa, 1999).

No passado, a obtenção das equações dinâmicas de movimentos que compõem um modelo matemático para MBS era realizada manualmente por meio da aplicação dos princípios físicos em suas várias formas. Entretanto, devido ao aumento da complexidade com a qual se deseja estudar os novos sistemas, este processo tornou-se trabalhoso, tedioso e passível de erros.

A solução das equações pode ser obtida de duas formas: analiticamente ou numericamente. A solução analítica é de maior exatidão, entretanto, nem todos os modelos têm solução analítica. Quando não é possível resolver as equações analiticamente, se faz necessário o uso de métodos numéricos, implementados em computador, com os quais é possível obter uma solução aproximada do problema em questão.

A abordagem MBS foi introduzida na área mecânica e de transportes terrestres no final dos anos 60, início dos anos 70, através do trabalho de Paul e Chace (Barbosa, 1999).

Muitos trabalhos utilizando a técnica MBS vem sendo apresentados ao longo dos anos. Diversos programas com diferentes técnicas para geração e solução das equações foram apresentados.

Queiroz e Gibson (1997) modelaram um trator de esteiras flexíveis, simulando o tráfego deste veículo em condições “off-road” e também em superfícies pavimentadas. Para realizar a validação, testes experimentais foram realizados com o trator se locomovendo em concreto, solo firme e solo fofo, onde foram observados resultados com erros em geral menores que 10%.

Zboifiski (1998) investigou a dinâmica de veículos de estrada de ferro durante o movimento em trilho curvado, mostrando as vantagens da técnica de modelagem de MBS sobre a limitada modelagem quase-estática. Estudos com irregularidades geométricas nos trilhos, fenômenos transientes e outras investigações não são possíveis utilizando modelagem

quase-estática. Além da originalidade e excepcionais resultados cognitivos, os resultados confirmam a tese do autor sobre a limitada aplicabilidade da modelagem quase-estática neste tipo de problema.

Barbosa (1999) aplicou a técnica de modelagem de MBS na dinâmica de veículos guiados (trilhos). O veículo foi modelado com 35 graus de liberdade, produzindo mais de 1100 equações algébricas diferenciais. Os resultados obtidos apresentaram boa concordância com os resultados publicados por outros autores, mostrando que a técnica pode ser usada para simular o comportamento de veículos guiados.

Nukulwuthiopas e Maneewarm (2002) fizeram a modelagem do robô de uma roda, o qual está sujeito a restrições não holonômicas, utilizando o método de derivação de Kane. Simulações numéricas são apresentadas para verificar a validade do método frente à formulação de Lagrange utilizadas em trabalhos recentes de outros pesquisadores. O autor concluiu que a utilização do método de Kane apresenta vantagens e se mostrou satisfatório para solução de sistemas não holonômicos.

Nakhimovski (2002) modelou e simulou o contato de corpos flexíveis como uma extensão do atual sistema de simulação de corpos rígidos chamado de BEAST (BEARING Simulation Tool) desenvolvida pela SKF e originalmente utilizada para simulação dinâmica de rolamentos. O modelo matemático necessário para simular o comportamento de corpos deformáveis é apresentado e discutido, bem como implementado com sucesso na simulação industrial de um processo de retífica, que atualmente é utilizado pela SKF em seus projetos.

Toyoshima et al. (2003) apresentaram uma metodologia para calcular o comportamento de veículos automotores em uma situação de manipulação limite dos pneus utilizando análise de sistemas mecânicos, mostrando resultados com boa precisão, e diversas vantagens sobre as técnicas convencionais de cálculo.

Wszolek (2004) utilizou o GRAFSIM, um software de simulação de MBS para análise de vibrações de um modelo de escavador. A razão principal do trabalho foi apresentar as possibilidades do programa GRAFSIM, mostrando a praticidade em se obter um vasto estudo dinâmico num tempo de resposta reduzido em diversas situações de uso.

Mundim (2003) modelou uma máquina colhedora de feijão, dividindo-a em 147 componentes rígidos, utilizando a técnica de modelagem de MBS para análise da demanda de potência dos mecanismos internos. O modelo foi validado a partir de testes experimentais, apresentando erros médios em torno de 18, 11 e 17% para a potência requerida no eixo

cardam de acionamento da máquina, na plataforma de recolhimento e no sistema de elevação de grãos, respectivamente.

Eberhard e Schiehlen (2006) apresentaram alguns marcos históricos da dinâmica de sistemas multicorpos. Alguns fundamentos e formalismos da dinâmica multicorpo, algoritmos recursivos e métodos para análise dinâmica, em particular, métodos para análise de sistemas lineares e dinâmicas não lineares foram mostrados. Por final, algumas aplicações do método são apresentadas.

Na década de 90 vários esforços de pesquisa foram direcionados para o tratamento de estruturas flexíveis e dinâmica de multicorpos (Huston, 1996) e mais recentemente a integração de programas de elementos finitos em conjunto com programas MBS.

Nikraves (1988) apresentou um modelo para análise cinemática por meio da geração automática de um sistema de equações não-lineares. Apresentou, também, um modelo para análise dinâmica e estática por meio da geração de um sistema de equações não-lineares conjugadas com equações diferenciais ordinárias obtido com base na segunda Lei de Newton. Os modelos são resolvidos numericamente e para isso foi implementado um conjunto de subrotinas em linguagem Fortran 77. Embora muitos elementos, tais como juntas de rotação, de translação, molas e elementos de força do tipo mola-amortecedor tenham sido considerados, elementos importantes na simulação, tais como engrenagens, correias e diferentes opções de funções para forças aplicadas aos corpos não foram implementadas, tornando o modelo limitado para o uso em problemas de engenharia agrícola.

O objetivo deste capítulo é apresentar, de forma resumida, o modelo matemático adotado neste trabalho para modelagem do MBS. O material apresentado na seqüência é baseado principalmente no livro de Nikraves (1988), seguindo uma nomenclatura similar.

Um sistema de corpos rígidos pode ou não ter juntas que restringem o movimento. Um sistema sem juntas de restrição pode ser representado por um conjunto de equações diferenciais ordinárias. As juntas de restrição são simuladas por um sistema de equações não-lineares. A seguir são apresentadas as equações para simular sistemas com e sem restrições de movimento.

2.2 Cinemática Planar

Para especificar a configuração ou estado de um sistema mecânico planar, inicialmente é necessário definir as coordenadas que especificam a localização de cada corpo. A Figura 2.1 mostra um sistema de coordenadas global xy e um sistema de coordenadas local ξ_i (*Qui*) e η_i (*Neta*) fixo no corpo i . O ângulo ϕ_i representa a rotação do corpo i em relação ao sistema de coordenadas global. O vetor que define a posição de um ponto P_i , num corpo i é dado pela Equação 2.1.

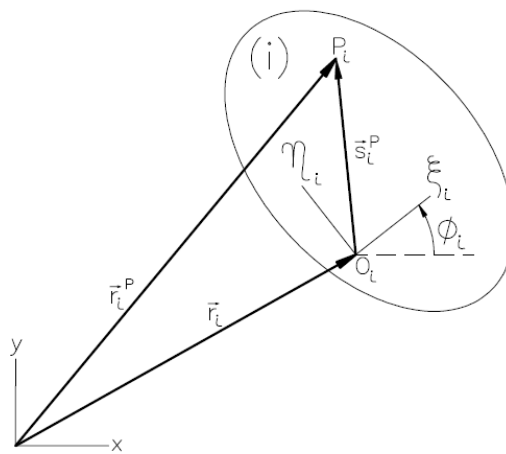


Figura 2.1 - Localização do ponto P em relação ao corpo i e ao sistema de coordenada global (Fonte: Nikravesh, 1988).

$$\mathbf{r}_i^P = \mathbf{r}_i + \mathbf{A}_i \mathbf{s}_i^P \quad (2.1)$$

em que,

\mathbf{r}_i^P - vetor que define a posição de um ponto P_i , no corpo i , em relação ao sistema de coordenadas global xy ;

\mathbf{r}_i - vetor que define a posição da origem O_i , do sistema de coordenadas local fixo no corpo i , em relação ao sistema de coordenadas global xy ;

\mathbf{A}_i - matriz que transforma as coordenadas local de um vetor no corpo i , em coordenadas global xy , e;

\mathbf{s}_i^P - vetor posição do ponto P em relação ao sistema de coordenadas local fixo no corpo i .

A matriz \mathbf{A}_i , em um sistema de coordenadas bidimensional, é expressa como:

$$\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\text{sen} \phi \\ \text{sen} \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

A Equação 2.1 na forma expandida pode ser reescrita como:

$$\begin{bmatrix} x^P \\ y^P \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} \cos \phi & -\text{sen} \phi \\ \text{sen} \phi & \cos \phi \end{bmatrix}_i \begin{bmatrix} \xi^P \\ \eta^P \end{bmatrix}_i \quad (2.3)$$

ou

$$\begin{aligned} x_i^P &= x_i + \xi_i^P \cos \phi - \eta_i^P \text{sen} \phi \\ y_i^P &= y_i + \xi_i^P \text{sen} \phi + \eta_i^P \cos \phi \end{aligned} \quad (2.4)$$

note que,

$$s_i^P = \mathbf{A}_i s_i'^P \quad (2.5)$$

é a relação entre os componentes locais e globais do vetor $s_i'^P$.

2.2.1 Restrições cinemáticas

As restrições cinemáticas são modeladas por meio de equações algébricas não-lineares, representadas pela letra Φ e apresentadas na forma:

$$\Phi^{(m,n)} = 0 \quad (2.6)$$

em que,

m - sobrescrito que identifica o tipo de restrição, por exemplo, r para revolução, t para translação, g para engrenagem;

n - sobrescrito que identifica o número de equações não lineares necessárias para modelar a restrição.

A seguir serão apresentadas as equações não lineares para simular as diferentes restrições cinemáticas.

Juntas de Revolução

Juntas de revolução são juntas cinemáticas que unem um par de corpos, restringindo-os ao movimento de rotação em relação a um ponto. Uma representação esquemática de uma junta de revolução conectando os corpos i e j é mostrada na Figura 2.2. O centro da junta é denotado pelo ponto P .

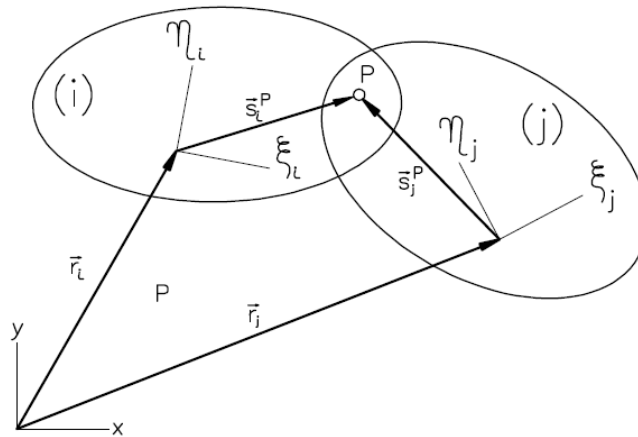


Figura 2.2 - Junta de revolução P conectando os corpos i e j (Fonte: Nikravesh, 1988).

As equações de restrição para uma junta de revolução são obtidas a partir de um *loop* dos vetores, resultando na seguinte equação:

$$\mathbf{r}_i + \mathbf{s}_i^P - \mathbf{r}_j - \mathbf{s}_j^P = 0 \quad (2.7)$$

que é equivalente a:

$$\Phi^{(r,2)} \equiv \mathbf{r}_i + A_i \mathbf{s}_i^P - \mathbf{r}_j - A_j \mathbf{s}_j^P = 0 \quad (2.8)$$

mais especificamente, pode ser reescrita na seguinte forma:

$$\Phi^{(r,2)} \equiv \begin{bmatrix} x_i^p - x_j^p \\ y_i^p - y_j^p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

A Equação 2.9 pode ser reescrita na forma expandida:

$$\Phi^{(r,2)} \equiv \begin{bmatrix} x_i + \xi_i^p \cos \phi_i - \eta_i^p \sin \phi_i - x_j - \xi_j^p \cos \phi_j + \eta_j^p \sin \phi_j \\ y_i + \xi_i^p \sin \phi_i + \eta_i^p \cos \phi_i - y_j - \xi_j^p \sin \phi_j - \eta_j^p \cos \phi_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Juntas de Translação

Juntas de translação são juntas cinemáticas que unem um par de corpos, restringindo-os ao movimento de translação de um corpo em relação ao outro, paralelamente a um eixo conhecido como linha de translação. Não existe movimento de rotação relativo entre os corpos. Existem infinitas linhas paralelas de translação em uma junta de translação. Uma representação esquemática de uma junta de translação conectando os corpos i e j é mostrada na Figura 2.3.

A equação de restrição para eliminar o movimento de rotação relativo entre os dois corpos i e j é descrita por:

$$\phi_i - \phi_j - (\phi_i^0 - \phi_j^0) = 0 \quad (2.11)$$

Em que ϕ_i^0 e ϕ_j^0 são ângulos de rotação inicial. Para eliminar o movimento relativo entre os dois corpos na direção perpendicular à linha de translação, os dois vetores \vec{s}_i e \vec{d} mostrados na Figura 2.3 devem se manter paralelos. Estes vetores são definidos pela localização de três pontos na linha de translação - dois pontos no corpo i e um ponto no corpo j . Esta condição é satisfeita sempre que o produto vetorial entre estes dois vetores seja igual a zero. Um outro vetor \vec{n}_i , perpendicular à linha de translação é definido, e requer que \vec{d} permaneça perpendicular a \vec{n}_i , conforme estabelecido na Equação 2.12.

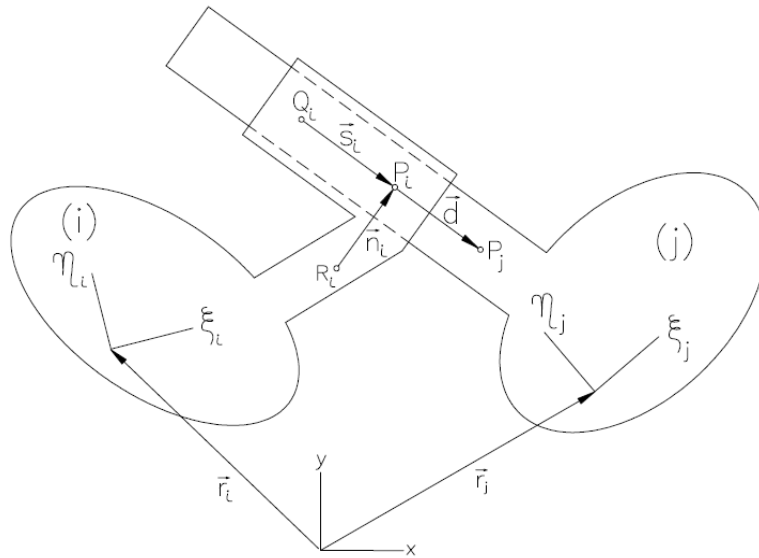


Figura 2.3-Junta de translação entre os corpos i e j (Fonte: Nikravesh, 1988).

$$\mathbf{n}_i^T \mathbf{d} = 0 \quad (2.12)$$

ou

$$(x_i^P - x_i^R)(x_j^P - x_i^P) + (y_i^P - y_i^R)(y_j^P - y_i^P) = 0 \quad (2.13)$$

em que,

$$\mathbf{n}_i = \begin{bmatrix} x_i^P - x_j^R \\ y_i^P - y_j^R \end{bmatrix} \quad \mathbf{d}_i = \begin{bmatrix} x_j^P - x_i^P \\ y_j^P - y_i^P \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Se os módulos n_i e s_i forem iguais, então:

$$\mathbf{n}_i = \begin{bmatrix} x_i^P - x_j^R \\ y_i^P - y_j^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(y_i^P - y_i^Q) \\ x_i^P - x_j^Q \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Conseqüentemente, as Equações 2.11 e 2.13 formam as equações de restrição para as juntas de translação:

$$\Phi^{(t,2)} \equiv \begin{bmatrix} (x_i^P - x_i^Q)(y_i^P - y_i^P) - (y_i^P - y_i^Q)(x_j^P - x_i^P) \\ \phi_i - \phi_j - (\phi_i^0 - \phi_j^0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Juntas Simples

As juntas simples, também chamadas de restrições simples, eliminam um grau de liberdade do sistema, tornando uma das variáveis x , y ou ϕ constantes, conforme Equações 2.17.

$$\begin{aligned}\Phi^{(s-1,1)} &\equiv x_i - c_1 = 0 \\ \Phi^{(s-2,1)} &\equiv y_i - c_2 = 0 \\ \Phi^{(s-3,1)} &\equiv \phi_i - c_3 = 0\end{aligned}\tag{2.17}$$

em que c_1 , c_2 e c_3 são constantes.

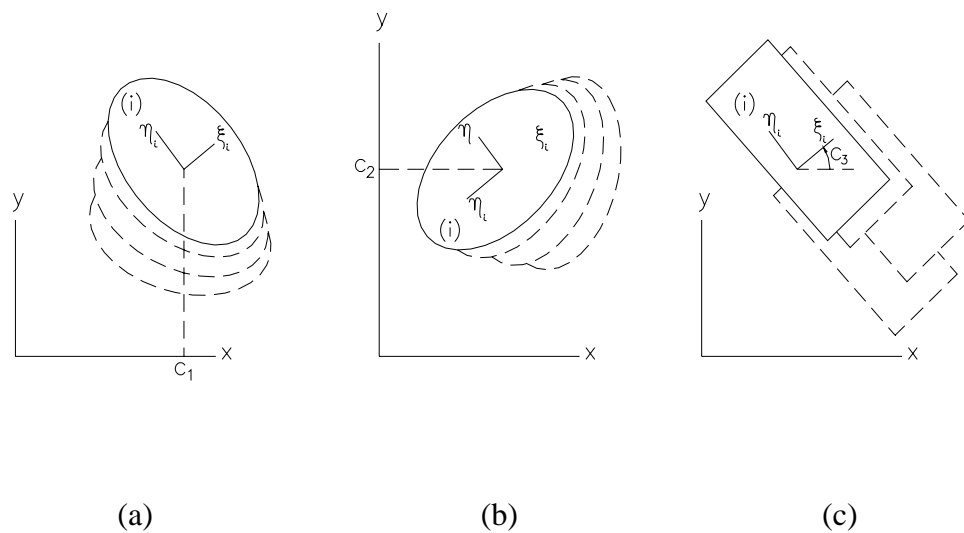


Figura 2.4- Os corpos podem se mover com (a) x_i constante, (b) y_i constante e (c) ϕ_i constante (Fonte: Nikravesh, 1988).

Motores (Corpos Motrizes)

Os corpos motrizes ou motores são movimentos impostos a alguns corpos do sistema mecânico, podendo ser acelerados ou não. A equação de restrição de um motor para movimento angular pode ser expressa por:

$$\Phi^{(d-1,1)} \equiv \phi_i - d_1(t) = 0 \quad (2.18)$$

em que, $d_1(t) = \phi_i^0 + \omega t$, t é o tempo, ϕ_i^0 é o ângulo ϕ_i em $t=0$. Para motores angulares acelerados, $d_1(t) = \frac{1}{2}\alpha t^2 + \dot{\phi}_i^0 t + \phi_i^0$, em que α é a aceleração angular e $\dot{\phi}_i^0$ é a velocidade angular em $t=0$.

De maneira semelhante, as equações de restrições de motores para movimentos lineares horizontais (eixo x) e motores lineares verticais (eixo y), podem ser expressas como:

$$\Phi^{(d-2,1)} \equiv x_i - d_2(t) = 0 \quad (2.19)$$

$$\Phi^{(d-3,1)} \equiv y_i - d_3(t) = 0$$

Par de engrenagens

Pares de engrenagens são usados para transmitir movimento entre eixos. Um par de engrenagens é mostrado nas Figuras 2.5 e 2.6. Os pontos de contato R_i e R_j , no tempo t , têm velocidades tangenciais iguais, isto é:

$$v_i^R = v_j^R \quad (2.20)$$

em que, v_i^R é a velocidade tangencial do corpo i no ponto de contato R e v_j^R é a velocidade tangencial do corpo j no ponto de contato R .

Se os sistemas de coordenadas $\xi_i \eta_i$ e $\xi_j \eta_j$ estão fixos ao corpo e são definidos para cada engrenagem, então a Equação 2.20 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\rho_i \dot{\phi}_i = -\rho_j \dot{\phi}_j \quad (2.21)$$

em que ρ_i é o raio nominal da engrenagem i , ρ_j é raio nominal da engrenagem j , $\dot{\phi}_i$ é a velocidade angular da engrenagem i e $\dot{\phi}_j$ é a velocidade angular da engrenagem j . Note que, se o engrenamento for do tipo externo, as engrenagens i e j giram em sentidos opostos, e, por isso, $\dot{\phi}_i$ e $\dot{\phi}_j$ tem sinais opostos. Se o engrenamento for do tipo interno, as engrenagens i e j giram no mesmo sentido, e conseqüentemente $\dot{\phi}_i$ e $\dot{\phi}_j$ possuem o mesmo sinal. Integrando a Equação 2.21, tem-se:

$$\Phi^{(g-1,1)} \equiv (\phi_i - \phi_i^0)\rho_i + (\phi_j - \phi_j^0)\rho_j = 0 \quad (2.22)$$

em que ϕ_i^0 e ϕ_j^0 são as condições iniciais. A Equação 2.22 é a equação de restrição para o par de engrenagens. Nesta equação, ϕ_i e ϕ_j devem ser associados a seus ângulos acumulados da rotação, isto é, quando os corpos i e j giram, ϕ_i e ϕ_j podem exceder 2π , 4π ,

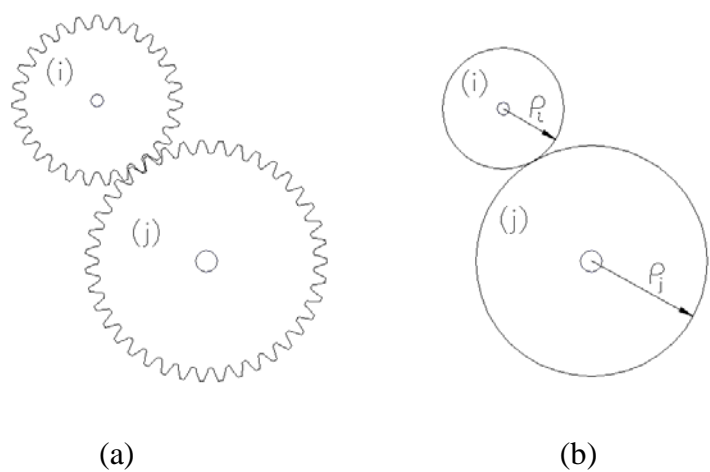


Figura 2.5- (a) um par de engrenagens, e (b) um par de cilindros equivalentes (Fonte: Nikravesh, 1988).

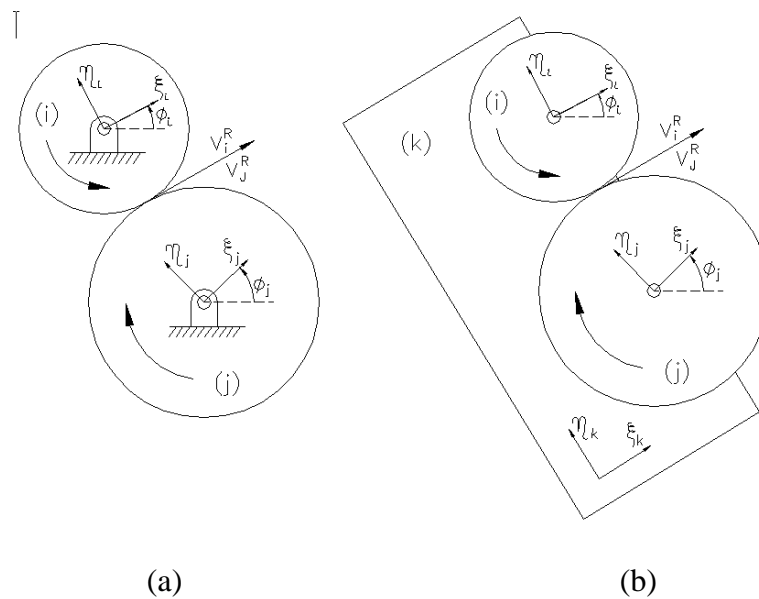


Figura 2.6 - Um par de engrenagens montadas em (a) um corpo fixo e (b) um corpo em movimento (Fonte: Nikravesh, 1988).

A Figura 2.6-b mostra um par de engrenagens i e j , montados em um corpo k . Uma vez que todos os corpos giram na condição de não-patinagem no ponto de contato entre os corpos i e j , pode-se definir:

$$(\dot{\phi}_i - \dot{\phi}_k)\rho_i = -(\dot{\phi}_j - \dot{\phi}_k)\rho_j \quad (2.23)$$

Integrando, tem-se:

$$\Phi^{(g-2,1)} \equiv [(\phi_i - \phi_i^0) - (\phi_k - \phi_k^0)]\rho_j + [(\phi_j - \phi_j^0) - (\phi_k - \phi_k^0)]\rho_i = 0 \quad (2.24)$$

Se o corpo k não gira, então $\phi_k = \phi_k^0$, a Equação 2.24 se torna idêntica a 2.22.

Par de polias ligadas por correias

De forma análoga ao par de engrenagens, para um par de polias ligadas por correias pode-se reescrever a Equação 2.20 da seguinte forma:

$$\rho_i \dot{\phi}_i = \rho_j \dot{\phi}_j \quad (2.25)$$

Note que $\dot{\phi}_i$ e $\dot{\phi}_j$ sempre possuem o mesmo sinal, diferentemente do par de engrenagens, visto que as polias ligadas por correias giram no mesmo sentido. Integrando a Equação 2.25, tem-se:

$$\Phi^{(g-1,1)} \equiv (\phi_i - \phi_i^0)\rho_i - (\phi_j - \phi_j^0)\rho_j = 0 \quad (2.26)$$

em que ϕ_i^0 e ϕ_j^0 são as condições iniciais. A Equação 2.26 é a equação de restrição para o par de polias ligadas por correia.

Se os corpos giram na condição de não-patinagem no ponto de contato entre a correia e os corpos i e j , pode-se definir:

$$(\dot{\phi}_i - \dot{\phi}_k)\rho_i = (\dot{\phi}_j - \dot{\phi}_k)\rho_j \quad (2.27)$$

Integrando, tem-se:

$$\Phi^{(g-2,1)} \equiv [(\phi_i - \phi_i^0) - (\phi_k - \phi_k^0)]\rho_i - [(\phi_j - \phi_j^0) - (\phi_k - \phi_k^0)]\rho_j = 0 \quad (2.28)$$

2.3 Dinâmica Planar

2.3.1 Sistema de corpos sem restrições de movimento

As equações de movimento para um conjunto de corpos sem restrição de movimento, escritas na forma matricial, são dadas por:

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i = \mathbf{f}_i \quad (2.29)$$

$$\mathbf{J}'_i \dot{\boldsymbol{\omega}}'_i + \tilde{\boldsymbol{\omega}}'_i \mathbf{J}'_i \boldsymbol{\omega}'_i = \mathbf{n}'_i \quad (2.30)$$

em que,

- m_i - massa do corpo i ;
- $\ddot{\mathbf{r}}_i$ - Aceleração do corpo i ;
- \mathbf{f}_i - soma de todas as forças atuando no corpo i ;
- \mathbf{J}'_i - tensor de inércia para o corpo i ;
- $\boldsymbol{\omega}'_i$ - Velocidade angular do corpo i ;
- $\tilde{\boldsymbol{\omega}}'_i$ - matriz anti-simétrica da velocidade angular do corpo i , e ;
- \mathbf{n}'_i - soma de todos os momentos de \mathbf{f}_i atuando no corpo i .

Na Equação 2.30, a aspa simples à direita de algumas variáveis indica que os valores são em relação às coordenadas local fixas ao corpo.

As Equações 2.29 e 2.30 representam, respectivamente, as equações de movimento de translação e de rotação para o corpo i , podendo ser escritas na forma matricial, como:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{N} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{J}'_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{r}} \\ \dot{\boldsymbol{\omega}}' \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \tilde{\boldsymbol{\omega}}' \mathbf{J}'_i \boldsymbol{\omega}' \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{n}' \end{bmatrix}_i \quad (2.31)$$

em que,

$$\mathbf{N}_i = \text{diagonal}[m, m, m]_i \quad (2.32)$$

A Equação 2.31 pode ser escrita na forma compacta como:

$$\mathbf{M}_i \dot{\mathbf{h}}_i + \mathbf{b}_i = \mathbf{g}_i \quad (2.33)$$

em que,

$$\mathbf{M}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{N} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{J}' \end{bmatrix}_i \quad - \text{Matriz que contém as massas e momentos de inércia do corpo } i;$$

$$\mathbf{h}_i = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{r}} \\ \boldsymbol{\omega}' \end{bmatrix}_i \quad - \text{vetor de velocidade do corpo } i;$$

$$\mathbf{b}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \tilde{\boldsymbol{\omega}}' \mathbf{J}' \boldsymbol{\omega}' \end{bmatrix}_i \quad - \text{vetor que contém os termos quadráticos da velocidade do corpo } i, e;$$

$$\mathbf{g}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{n}^i \end{bmatrix}_i \quad - \text{vetor que contém as forças e momentos aplicados ao corpo } i.$$

Reescrevendo a Equação 2.33 para um sistema com n componentes, tem-se:

$$\mathbf{M} \dot{\mathbf{h}} + \mathbf{b} = \mathbf{g} \quad (2.34)$$

2.3.2 Sistema de corpos com restrições de movimento

Em um sistema de corpos rígidos, geralmente, dois ou mais componentes são interligados por meio de juntas cinemáticas, que impõem condições de restrição ao movimento relativo entre os componentes do sistema. Se o vetor de coordenadas de um sistema com b corpos é denotado por q , então as juntas cinemáticas do sistema podem ser representadas por m equações independentes em termos de q :

$$\boldsymbol{\Phi} = \boldsymbol{\Phi}(q) = 0 \quad (2.35)$$

Em que, $\boldsymbol{\Phi}$ representa o conjunto de restrições do sistema, formado por um sistema de equações, geralmente não-lineares.

Cada junta cinemática introduz forças de reação entre os componentes conectados, denominadas “forças de restrição”, sendo expressas por um vetor $\mathbf{g}^{(c)}$ que deve ser adicionado ao vetor g da Equação 2.34.

$$\mathbf{g}^{(c)} = \left[\mathbf{g}_1^{(c)T}, \mathbf{g}_2^{(c)T}, \dots, \mathbf{g}_b^{(c)T} \right]^T \quad (2.36)$$

em que, $\mathbf{g}_i^{(c)}$ é o vetor de forças de reação da junta cinemática atuando no corpo i , e seu valor é calculado a partir das equações de restrição.

Desta maneira, para um sistema de componentes rígidos com restrições representados pela Equação 2.34 é reescrita como:

$$\mathbf{M} \dot{\mathbf{h}} + \mathbf{b} = \mathbf{g} + \mathbf{g}^{(c)} \quad (2.37)$$

Assumindo que $\mathbf{g}^{(c)}$ possa ser transformado para um sistema de coordenadas consistentes com q , e denotada como $\mathbf{g}^{(*)}$, as forças de reação das restrições são calculadas pela equação:

$$\mathbf{g}^{(*)} = \Phi^T \lambda \quad (2.38)$$

em que, λ é um vetor conhecido como *multiplicador de Lagrange*.

A partir do modelo representado pelas Equações 2.1 a 2.38, foi possível construir um algoritmo computacional capaz de gerar automaticamente os coeficientes das equações que descrevem o movimento (posição, velocidade e aceleração) dos corpos rígidos do sistema multicorpo. O sistema de equações gerado é resolvido usando métodos numéricos tendo em vista que não é possível a obtenção de uma solução analítica devido à complexidade das equações. Para resolver os sistemas de equações não-lineares, é usado o método de Newton-Raphson e, para o sistema de equações diferenciais ordinárias, é usado o método de Runge-Kutta de quarta ordem.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, um modelo matemático para cinemática e dinâmica de MBS no plano, com e sem restrições de movimento, foi apresentado. Este modelo foi a base para elaboração do algoritmo computacional utilizado neste trabalho. No Capítulo 3, a modelagem de restrições complementares, específicas do contato entre pneu-solo, será apresentada.

2.5 LITERATURA CITADA

BARBOSA, R. S. **Aplicação de sistemas multicorpos na dinâmica de veículos guiados**. 1999. Dissertação de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.

EBERHARD, P.; SCHIEHLEN, W. Computational Dynamics of Multibody Systems : History, Formalisms, and Applications. **Journal of Computacional and Nonlinear Dynamics**. Vol.1, Jan. 2006

MUNDIM, J. L. C. **Modelagem da demanda de potência de uma colhedora de feijão**. 2003. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

NAKHIMOVSKI, I. **Modeling and simulation of contacting flexible bodies in multibody systems**. 2002. Licentiate of Engineering. School of Engineering at Linköping University. Department of Computer and Information Science. Linköpings.

NIKRAVESH, P. E. **Computer-aided analysis of mechanical systems**. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey, 1988.

NUKULWUTHIOPAS, W.; MANEEWARN, T. **Dynamic modeling of a one-wheel robot by using Kane's method**. Institute of Field Robotics (FIBO). King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2002.

QUEIROZ, D. M. e GIBSON, H. G.. Dynamic analysis of a rubber-tracked tractor during the steering process - the effect of the drawbar type. In: **Proceedings of the 7th European Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems (ISTVS)**. Ferrara, Italia, v. 01, p. 327-334, 1997.

TOYOSHIMA, T.; MIYATANI, Y.; SATO, Y.; ARAI, S. Study of simulation technology for limit drivability. **JSAE Review**. v. 24, p. 141-148, 2003.

WSZOLEK, G. Vibration analysis of the excavator model in GRAFSIM program on the basis of a block diagram method. **Journal of Materials Processing Technology**. 157-158, p. 268-273, 2004.

ZBOIFISKI, K. Dynamical investigation of railway vehicles on a curved track. **European Journal of Mechanics A/Solids**. Paris. N. 17, p.1001-1020, 1998.

3 FORÇAS DE INTERAÇÃO ENTRE PNEU E SOLO E FORÇAS DO USUÁRIO.

3.1 Introdução

As forças de interação entre pneu e solo vêm sendo muito estudadas, na tentativa de modelar o complexo comportamento da interação não linear entre pneus e solo. Tais forças são as principais causadoras da vibração do trator agrícola em movimento, influenciando diretamente no conforto do operador.

Ahmed e Goupillon (1997) apresentaram um modelo analítico para descrever as vibrações transmitidas para o assento do motorista em um trator agrícola. O modelo foi construído e subdividido em três estágios: interação pneu solo (primeiro estágio), suspensão da cabine (segundo estágio) e suspensão do assento do motorista (terceiro estágio).

No primeiro estágio, foi modelado um rodado³ rígido (pneu rígido), e o solo também rígido, conforme representado na Figura 3.1. Desta maneira foi possível estimar o traçado do deslocamento no centro do rodado, como sendo:

$$u(x) = p(x + x') + \sqrt{R^2 - x'^2} \quad (3.1)$$

em que, $p(x)$ representa o traçado do perfil do solo, $u(x)$ o traçado do centro do rodado, R o raio do pneu indeformado e x' é a diferença horizontal entre o ponto de contato S e o centro do rodado. Neste modelo, a trajetória $p(x)$, que representa o traçado do perfil do solo, é substituída por $u(x)$.

³ O rodado é formado pelo conjunto roda e pneu. A roda é a parte rígida do rodado que é fixado ao cubo do veículo, também conhecido como cubo de roda.

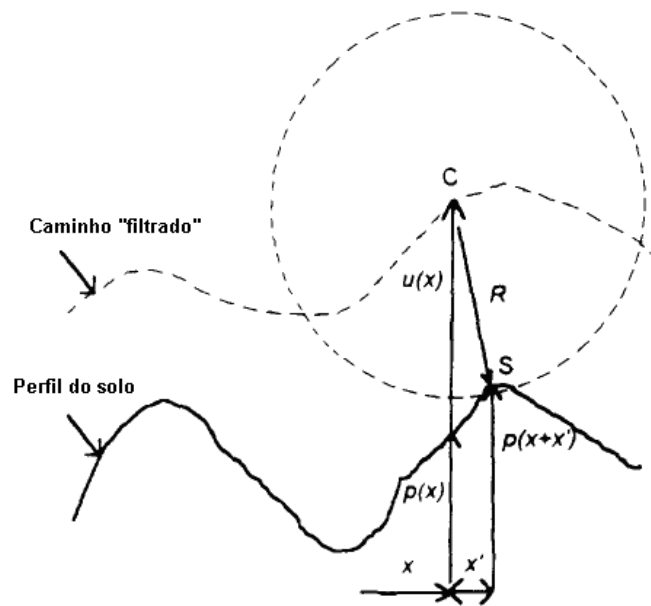


Figura 3.1 – Traçado de rodado rígido sobre solo também rígido, segundo Ahmed e Goupillon (1997).

A suspensão da cabine, segundo estágio, era composta por quatro elementos do tipo mola-amortecedor, e um conjunto de barras de ligação de forma a permitir o deslocamento vertical em relação ao chassi. A ligação entre a cabine e o chassi foi feita por uma junta de rotação localizada na parte traseira. A suspensão do assento, terceiro estágio, era composta por um conjunto mola- amortecedor vertical, que conecta o assento do motorista à cabine, além de barras de ligação que permitem o deslocamento do assento em relação à cabine.

As características dinâmicas (coeficiente de amortecimento e rigidez) dos pneus foram obtidas por meio de ensaios práticos em várias velocidades. O modelo do trator foi construído no programa DADS (*Dynamic Analysis of Design Systems*), que permitiu a simulação e análise cinemática e dinâmica do MBS (*Multi-Body System*). Testes experimentais foram realizados para medição das acelerações verticais, laterais e longitudinais e em seguida comparados com os valores encontrados no modelo. As velocidades utilizadas foram 5, 10,7 , 16 e 19,2 km/h.

No primeiro estágio da suspensão, bons resultados foram obtidos comparando a aceleração medida com a simulada, particularmente a vertical e a lateral. No segundo estágio da suspensão, bons resultados também foram obtidos, exceto a aceleração lateral, que, segundo os autores, foi causada por um modelo inadequado de ligação da cabine com o chassi. O maior problema na construção do modelo foi a modelagem dos pneus, em particular, a grande variação das suas características em função da velocidade de rolagem e da complexidade de sua interação com o solo. Outro fator importante que impactou

negativamente nos resultados foi a velocidade do trator, pois o tratorista não conseguiu manter a velocidade constante ao longo do teste.

Lehtonen e Juhala (2005) apresentaram um estudo de desenvolvimento de uma suspensão independente para o eixo dianteiro do trator agrícola. Validações foram realizadas por meio de modelo MBS, construído no programa comercial MSC ADAMS. Diferentes simulações foram realizadas para avaliar a performance de diferentes eixos dianteiros, em diferentes pistas de teste e os resultados foram analisados de acordo com as normas. Os resultados mostram claramente que o conforto do operador pode ser melhorado consideravelmente em um trator equipado com suspensão no eixo dianteiro, mesmo com o assento posicionado em cima do eixo traseiro sem suspensão.

Gipser (2004) apresentou um novo tipo de modelagem de pneu denominado FTire (*Flexible Ring Tire Model*), que pode ser usado em modelos de MBS. O FTire é projetado como um modelo não linear com “2+1/2” dimensões. O modelo apresenta um método intermediário entre os modelos espaciais “reais”, como o modelo Dtire (*Dynamic Nonlinear Spatial Tire Model*), que tende a consumir muito tempo de processamento computacional, e o puro modelo planar como o CTire (*Confort Tire Model*), que é limitado. No modelo FTire, Figura 3.2, a cinta do pneu é descrita como um anel flexível e extensível, transferindo rigidez ao dobramento, elasticidade ao aro através da rigidez distribuída na direção radial (Crad), tangencial (Ctang) e lateral (Clat). A cinta é aproximada numericamente por um número finito de elementos de massa. Estes elementos são acoplados aos seus vizinhos diretos por molas (Ccinta) e por rigidez aos dobramentos (Cflexão), ambos no plano e fora do plano. A grande vantagem do modelo é a acurácia dos resultados e o esforço computacional muito inferior aos modelos existentes. Simulações foram realizadas utilizando diversas velocidades e dois tipos de obstáculos, os resultados encontrados parecem bastante semelhantes aos obtidos com o modelo mais complexo e que consome maior tempo, o modelo DTire.

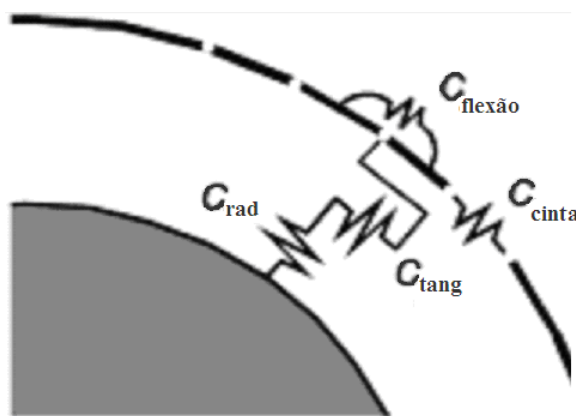


Figura 3.2 - Representação simplificada da cinta do modelo Ftire (Fonte: Gipser, 2004)

Zoz e Grisso (2003) apresentaram uma revisão da mecânica da tração e os diversos parâmetros relacionados, para prever o desempenho de trator durante operações de campo. Pesquisas demonstraram que aproximadamente 20% a 55% da energia disponível no trator é dissipada na interface do dispositivo trativo com o solo. Parte desta energia dispendida incorre da compactação do solo, e pode causar enormes prejuízos na colheita. O propósito básico dos tratores agrícolas, especialmente os de média e alta potência, é executar trabalho na barra de tração. A compreensão e predição do desempenho do trator têm sido a principal meta de muitos pesquisadores. Baseados nestes fatores, os autores fizeram uma revisão de uma série de equações relacionadas à mecânica da tração do trator. Diversos parâmetros relacionados à performance da tração foram definidos e diversos experimentos foram apresentados para comparações. Efeitos da velocidade sobre a resistência ao movimento (rolamento) do trator foram avaliados, mostrando que houve pouca variação da resistência ao movimento quando variou-se a velocidade. Efeitos do tipo de solo, pressão, tamanho e carga (peso) nos pneus, são apresentados e relacionados à eficiência da tração. Equações para predição da mecânica da tração foram relacionadas com o índice de cone (propriedade do solo), com o peso dinâmico sobre o rodado e as dimensões do pneu. Recomendações, orientando a otimização da performance da barra de tração do trator, a partir da escolha do tipo e dimensões dos pneus, pressão e lastro, foram analisadas.

Fervers (2004) apresentou uma melhoria, que ele diz ter sido uma evolução do modelo, apresentado por Aubel (1994), de interação pneu-solo utilizando o Método de Elementos Finitos, que foi o primeiro modelo que mostrou, de alguma forma, a real interação do pneu rolando sobre o solo. Neste modelo o pneu e o solo são modelos separados que interagem durante a simulação. Embora esta aproximação apresente grande correlação com o mecanismo real, alguns efeitos importantes do ar comprimido no interior do pneu não puderam ser representados. Além disso o modelo de solo usado por Aubel negligenciou a influência da compactação do solo. Para um estudo mais detalhado da interação pneu-solo foi então necessário estabelecer um modelo melhorado de pneu.

Segundo Fervers (2004), a carcaça é altamente influenciada pela deformação nas três dimensões. Para obter um modelo 2D de um pneu inflado, é necessário, então, configurar um modelo apropriado para a carcaça. Em relação à mecânica do pneu inflado, a carcaça é somente um elemento que transmite forças do aro para a cinta externa. Ao contrário de algumas outras idéias que podem ser encontradas na literatura, a carga do rodado não é apoiada pelas forças de pressão na metade mais baixa da carcaça, e sim pelas forças de pressão da metade superior da carcaça. Isto significa que a carcaça está carregada

principalmente pelas forças de tração entre o aro e a cinta. Estas forças de tração tendem a endireitar a carcaça, que por sua vez tendem a ficar na forma circular devido à pressão do ar. A forma da deflexão da carcaça é o resultado do equilíbrio entre a pressão do pneu e a tração local entre o aro e a cinta externa. Isso significa que, de maneira inversa, a tensão local da carcaça pode ser calculada pela altura h e pela pressão p . A relação entre h e p só depende da pressão e da dimensão geométrica do pneu, podendo ser expressa de forma geral como é mostrada na Figura 3.3.

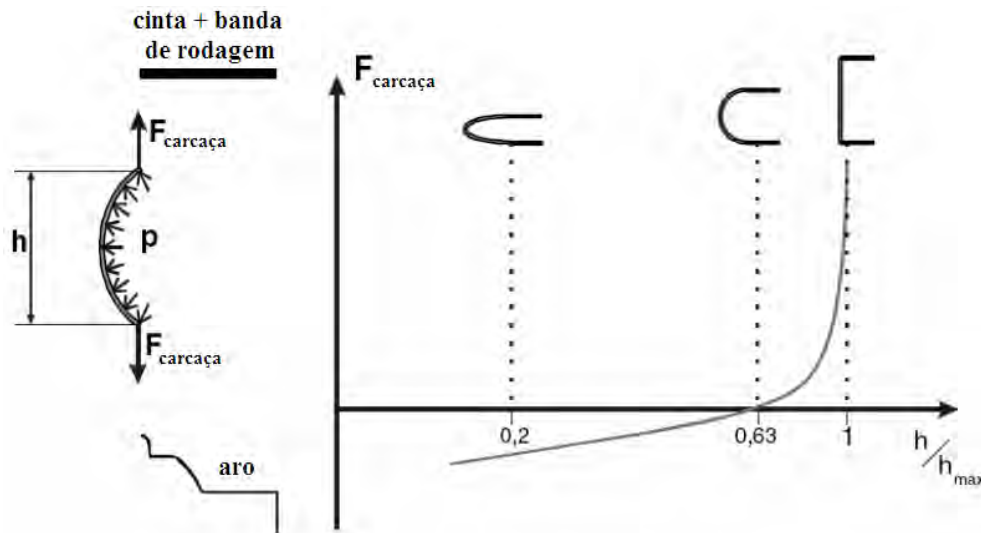


Figura 3.3 - Características gerais de deflexão da carcaça sob carga segundo Fervers (2004).

Tendo esta relação para um certo pneu a uma determinada pressão, pode-se modelar a carcaça em um modelo de pneu 2D substituindo a ação da carcaça pela força encontrada a partir da relação de deflexão. Para validar o modelo, testes foram realizados com pneus em estrada rígida e em seguida comparados com a simulação, onde foi encontrada boa correlação entre o testado e o simulado. Os resultados encontrados mostram a aplicabilidade deste modelo para modelar a interação pneu-solo, em diferentes situações de pressão de inflação do pneu e em diferentes tipos de solos, inclusive com obstáculos.

Taylor et al. (2001) apresentaram um estudo de diversos métodos para medir a rigidez vertical do pneu. Para isto, cinco diferentes métodos foram aplicados: carga-deflexão, vibração vertical livre e sem rolagem, equilíbrio de carga-deflexão sem rolagem, vibração vertical livre com rolagem, e equilíbrio carga-deflexão com rolagem. As experimentos foram realizados utilizando um pneu radial 260/80R20, em três diferentes pressões de inflação (41, 83, e 124 kPa), em que os dados foram ajustados por regressão a uma equação do tipo:

$$L = a\delta + b\delta^2 \quad (3.1)$$

em que,

- L - carga vertical, N ;
 δ - deflexão vertical, m ;
 a - coeficiente de regressão, N/m ;
 b - coeficiente de regressão, N/m^2 .

A rigidez vertical (k) foi encontrada pela derivação da equação acima, obtendo-se:

$$k = a + 2b\delta \quad (3.2)$$

Após os diversos experimentos, utilizando os cinco diferentes métodos, as seguintes conclusões foram tiradas baseadas nos dados encontrados: (1) O método de vibração livre sem rolagem resultou na maior rigidez em todas as pressões; (2) Os resultados pelo método de equilíbrio carga-deflexão sem rolagem foram semelhantes em todas as pressões; (3) A vibração vertical livre com rolagem e equilíbrio carga-deflexão com rolagem apresentaram resultados semelhantes em pressões de 83 e 124 kPa; (4) Se o pneu é representado por uma mola e amortecedor em paralelo, o método de vibração livre sem rolagem não é o método adequado para determinar a rigidez vertical do pneu; (5) A discrepância entre os resultados dos métodos carga-deflexão e vibração livre sem rolagem foi devido ao efeito histerese do pneu; (6) Se o pneu é modelado como mola e amortecedor em paralelo, as propriedades do pneu deveriam ser medidas na velocidade desejada; (7) Se o pneu é modelado como mola e amortecedor em paralelo, o método de vibração livre não é um método adequado para determinar a rigidez vertical do pneu a baixas pressões de inflação.

Adams et al. (2004) apresentaram um estudo sobre os efeitos dos sistemas centrais de inflação de pneu (CTIS) para qualidade do trabalho em veículos agrícolas. Instrumentação para coleta de dados conforme norma ISO2631 foi instalada em um trator Case IH 8950 equipado com um sistema CTIS. Foram coletados dados em duas velocidades, em três diferentes trajetos que representaram estradas secundárias degradadas, campos moderadamente ásperos e as mais difíceis condições de agricultura. Um vídeo da operação do trator, mostrou que as rodas ocasionalmente saem do chão nos locais mais ásperos dos trajetos. Quando os pneus perdem contato com o solo, nenhum amortecimento pode acontecer, pois não ocorre deflexão do pneu, aumentando a vibração do veículo. Para alcançar uma boa qualidade de trabalho, os pneus têm de manter contato com o solo para que haja

dissipação da energia oscilatória não desejada no veículo. Após os testes, o autor concluiu que as reduções nas pressões do pneu resultaram em maior deflexão do pneu e, por conseguinte, quase sempre proporcionam um tráfego mais suave. A redução na pressão de inflação causou uma redução na frequência ressonante do veículo de 1,85 para 1,5 Hz. Reduções na pressão de inflação de pneu devido à instalação de um CTIS melhoraram a vibração do veículo em média 99%, conforme norma ISO2631, e 177% quando não ocorre ressonância. A utilização de pneus traseiros duplos melhorou a vibração em 10%.

Bernhard et al. (2001) apresentaram um estudo da influência do lastro, utilizando preenchimento do pneu com água, nas propriedades de rigidez e amortecimento do pneu agrícola, onde teste de não circularidade do pneu também foi executado. Os testes foram realizados utilizando o equipamento da Universidade de Hohenheim, que permitiu, por meio de diversos sensores, obter leituras de velocidades, forças verticais e horizontais, e deflexão dos pneus, a partir de três condições iniciais de pneu: inflado com ar, metade do preenchimento máximo de água e máximo preenchimento de água permitido pelo fabricante. Os parâmetros de rigidez e amortecimento foram calculados com o modelo de pneu não-linear de Langenbeck (1992) e Plessner (1997), citados por Bernhard et al.(2001). A pesquisa com pneus preenchidos com água mostrou um aumento da rigidez do pneu. Nenhuma influência foi encontrada para os parâmetros de amortecimento. A velocidade crítica devido à frequência de ressonância foi “movida” para velocidades mais altas. A partir dos dados acima, conclui-se que o uso de pneus cheios de água alteram a rigidez e a frequência natural do sistema, e por isso devem ser levadas em conta para desenvolvimentos futuros.

Neste capítulo serão estudadas as forças de interação entre pneu e solo durante o movimento do pneu em relação ao solo. As forças horizontais foram baseadas nas equações apresentadas na ASAE (2006). Forças verticais são formuladas considerando as forças elásticas e de amortecimento dos pneus.

3.2 Forças de interação entre pneu e solo

O trator pode ser modelado representando os rodados dianteiros e traseiros por forças do tipo mola-amortecedor. Na Figura 3.4 é esquematizado o modelo do trator no plano, com três graus de liberdade, em que θ é o ângulo de inclinação do chassi, F_g é a força-peso atuando sobre o centro de gravidade CG , C_t e C_d são os coeficientes de amortecimento gerados pelos pneus traseiros e dianteiros respectivamente, K_t e K_d , analogamente, representam as constantes elásticas também geradas pelos pneus traseiros e dianteiros.

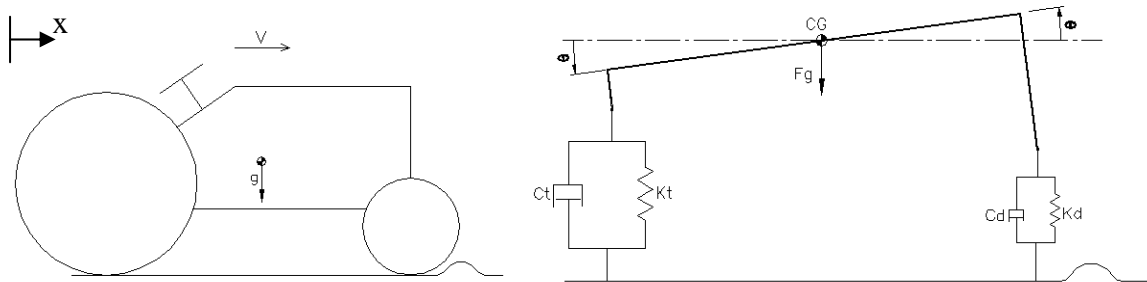


Figura 3.4- Modelo planar de um trator com 03 graus de liberdade

As forças atuantes em cada rodado são: peso dinâmico (W), força de tração (F_x), força de resistência ao torque ou cisalhamento (GT) e resistência ao rolamento (MR), conforme representado na Figura 3.5.

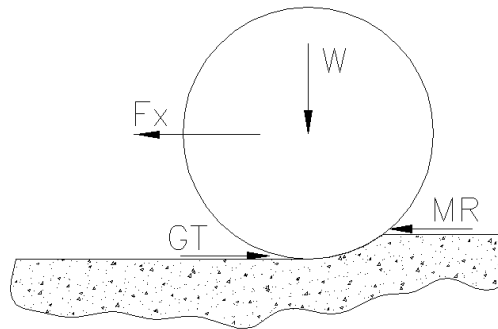


Figura 3.5 - Forças atuando na interação pneu-solo

3.2.1 Forças Horizontais

Na ASAE (2006) é apresentada a seguinte equação empírica para o cálculo da força de resistência ao torque ou cisalhamento do solo:

$$GT = W \left\{ 0,88 \left(1 - e^{-0,1B_n} \right) \left(1 - e^{-7,5s} \right) + 0,04 \right\}, \text{ para pneu diagonal} \quad (3.3)$$

em que,

GT - resistência do solo ao cisalhamento, N;

W - carga dinâmica atuando sobre o pneu, N;

B_n - coeficiente de mobilidade, adimensional ;

s - patinagem do pneu, adimensional

A Equação 3.3 é aplicada em pneus diagonais. A Tabela 3.1 compara os coeficientes originais utilizados (pneus diagonais), com outros atualmente em uso.

Tabela 3.1– Coeficientes da equação de tração apresentado por Brixius (1987), citado por Zoz e Grizo (2003)

Coeficientes originais para pneus diagonais	Coeficientes propostos para pneus radiais	Coeficientes atualmente usados em planilhas eletrônicas para análise de desempenho de trator
7,50	8,50 a 10,50	7,00
0,88	0,88	0,88
0,10	0,10	0,08
0,04	0,03 a 0,035	0,03
1,00	0,90	1,20

O coeficiente de mobilidade B_n é calculado de acordo com a equação:

$$B_n = \left(\frac{CI \cdot b \cdot d}{W} \right) \left(\frac{1 + 5 \left(\frac{\delta}{h} \right)}{1 + 3 \left(\frac{b}{d} \right)} \right) \quad (3.4)$$

em que,

CI - índice de cone do solo, Pa;

b - largura do pneu, m;

d - diâmetro externo do pneu em situação indeformada, m;

δ - deflexão do pneu;

h - altura da seção do pneu.

A resistência ao rolamento (MR) em pneu diagonal é calculada da seguinte forma:

$$MR = -W \left(\frac{1,0}{Bn} + 0,04 + \frac{0,5 s}{\sqrt{Bn}} \right) \quad (3.5)$$

A força longitudinal resultante (F_x) para pneus diagonais é expressa por:

$$F_x = GT + MR \quad (3.6)$$

em que,

F_x - componente de força longitudinal, N;

Em tratores tipo 4x4, situação de tração tanto nos rodados dianteiros quanto nos traseiros, a Equação 3.6 é expandida e escrita da seguinte forma:

$$F_{xt}^{4x4} = W_t \left(0,88(1 - e^{-0,1Bn_t})(1 - e^{-7,5s_t}) - \left(\frac{1,0}{Bn_t} + \frac{0,5 s_t}{\sqrt{Bn_t}} \right) \right) \quad (3.7)$$

$$F_{xd}^{4x4} = W_d \left(0,88(1 - e^{-0,1Bn_d})(1 - e^{-7,5s_d}) - \left(\frac{1,0}{Bn_d} + \frac{0,5 s_d}{\sqrt{Bn_d}} \right) \right) \quad (3.8)$$

em que,

F_{xt}^{4x4} - componente de força longitudinal do rodado traseiro para tratores 4x4, N.

F_{xd}^{4x4} - componente de força longitudinal do rodado dianteiro para tratores 4x4, N.

W_t - peso dinâmico sobre o rodado traseiro;

W_d - peso dinâmico sobre o rodado dianteiro;

Bn_t - coeficiente de mobilidade do rodado traseiro;

Bn_d - coeficiente de mobilidade do rodado dianteiro;

s_t - coeficiente de patinagem do rodado traseiro;

s_d - coeficiente de patinagem do rodado dianteiro;

Em tratores do tipo 4x2, situação de tração somente no rodado traseiro, a força longitudinal resultante nos pneus traseiros é calculada conforme Equação 3.7, e nos pneus dianteiros (F_{xd}^{4x2}) é expressa por:

$$F_{xd}^{4x2} = MR = -W_d \left(\frac{1,0}{Bn_d} + 0,04 + \frac{0,5 s_d}{\sqrt{Bn_d}} \right) \quad (3.9)$$

3.2.2 Forças Verticais

O componente vertical é representado por uma força elasto-viscosa, tipo mola-amortecedor, considerando-se a força nula quando não houver contato entre pneu e solo. A força vertical em cada pneu será:

para pneus dianteiros,

$$\begin{aligned} F_{zd} &= K_d \delta_d + C_d \dot{\delta}_d, \text{ quando } \delta_d > 0 \\ F_{zd} &= 0, \text{ quando } \delta_d \leq 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

e para pneus traseiros,

$$\begin{aligned} F_{zt} &= K_t \delta_t + C_t \dot{\delta}_t, \text{ quando } \delta_t > 0 \\ F_{zt} &= 0, \text{ quando } \delta_t \leq 0 \end{aligned} \quad (3.11)$$

em que,:

F_{zd}, F_{zt} - componente de força vertical nos pneus dianteiro e traseiro respectivamente, N ;

K_d, K_t - constante elástica nos pneus dianteiro e traseiro respectivamente, $\frac{N}{m}$;

δ_d, δ_t - deformação vertical nos pneus dianteiro e traseiro respectivamente, m ;

C_d, C_t - coeficiente de amortecimento nos pneus dianteiro e traseiro respectivamente, $\frac{Ns}{m}$;

$\dot{\delta}_d, \dot{\delta}_t$ - velocidade da deformação vertical nos pneus dianteiro e traseiro respectivamente, $\frac{m}{s}$

3.2.3 Deformação vertical do pneu ($\delta(t)$ e $\dot{\delta}(t)$)

Conforme apresentado por Ahmed e Goupillon (1997), considerando o pneu e o solo como indeformáveis (Figura 3.1), o deslocamento no centro do rodado é dado como :

$$u(x) = p(x + x') + \sqrt{R^2 - x'^2} \quad (3.12)$$

em que $p(x)$ representa a trajetória do perfil do solo, $u(x)$ o traçado do centro do rodado, R o raio do pneu indeformado e x' é a diferença horizontal entre o ponto de contato S e o centro do rodado. Para cada instante t , o modelo MBS pode retornar à posição $x(t)$ e $y(t)$ do centro da rota (análise cinemática), sendo assim, pode-se dizer que $u(x) = u(x(t)) = u'(t)$.

A deformação vertical do pneu pode ser definida como:

$$\begin{aligned} \delta(t) &= u'(t) - y(t) , \quad \text{para } u'(t) > y(t) \\ \delta(t) &= 0 , \quad \text{para } u'(t) \leq y(t) \end{aligned} \quad (3.13)$$

e a velocidade da deformação vertical do pneu, como:

$$\dot{\delta}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\delta(t + \Delta t) - \delta(t)}{\Delta t} \quad (3.14)$$

3.3 Forças do usuário

Para atender às necessidades mais comuns dos usuários, um conjunto de elementos de força foram modelados e implementados, possibilitando simulações em um universo maior de problemas. As seguintes funções, extraídas de Adams (1993), foram implementadas: Forças do tipo impacto; forças harmônicas; e, por último, força do tipo STEP (degrau).

3.3.1 Forças tipo STEP (degrau)

Foi implementada força do tipo STEP (degrau) conforme a função modelada na Equação 3.15, possibilitando simular forças com variações descontínuas ao longo do tempo. Na Figura 3.6 é apresentada a função do tipo STEP de forma esquemática.

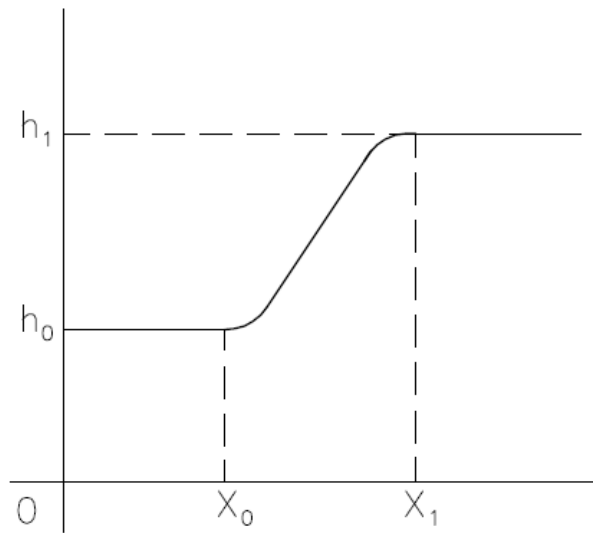


Figura 3.6: Função STEP (Fonte: Adams, 1993)

$$STEP = \left\{ \begin{array}{ll} h_0 & : x \leq x_0 \\ h_0 + (h_1 - h_0) \left[\frac{(x - x_0)}{(x_1 - x_0)} \right]^2 \left\{ 3 - 2 \left[\frac{(x - x_0)}{(x_1 - x_0)} \right] \right\} & : x_0 < x < x_1 \\ h_1 & : x \geq x_1 \end{array} \right\} \quad (3.15)$$

em que,

- x - Variável independente na função;
- x_0 - Valor de x no qual a função STEP começa;
- x_1 - Valor de x no qual a função STEP termina;
- h_0 - O valor inicial da função STEP;
- h_1 - O valor final da função STEP.

3.3.2 Forças tipo impacto.

Quando dois corpos em movimento entram em colisão, é gerada uma força de reação oriunda do contato, caracterizada por ser de elevada intensidade em um pequeno intervalo de tempo. Esta força é conhecida como força do tipo impacto, a qual foi modelada conforme Equação 3.16. Na Figura 3.7 é apresentado um desenho esquemático de um corpo e uma superfície na situação em que não ocorre contato (a), e na situação em que ocorre o contato (b). Na Figura 3.8 é mostrada a relação entre coeficiente de amortecimento e a penetração.

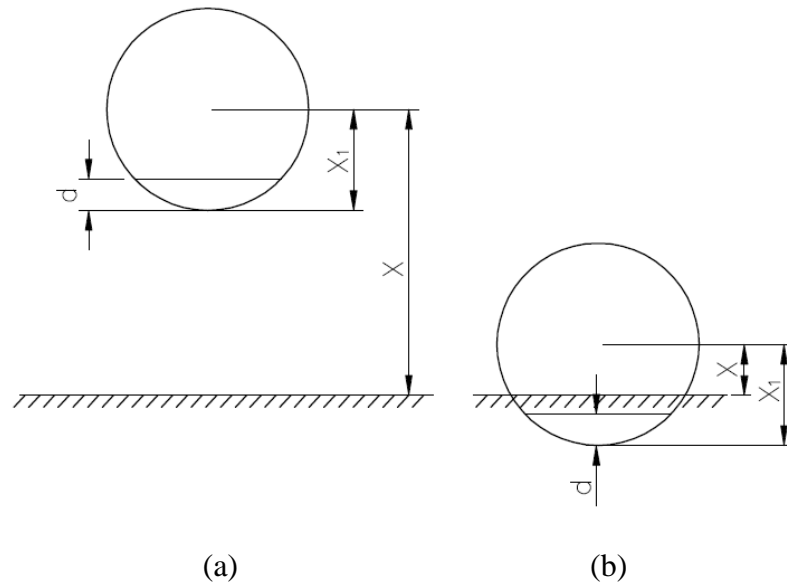


Figura 3.7 - Exemplo ilustrando uma colisão, em que (a) representa o corpo em queda livre e (b) o corpo em colisão com uma superfície (Fonte: Adams, 1993)

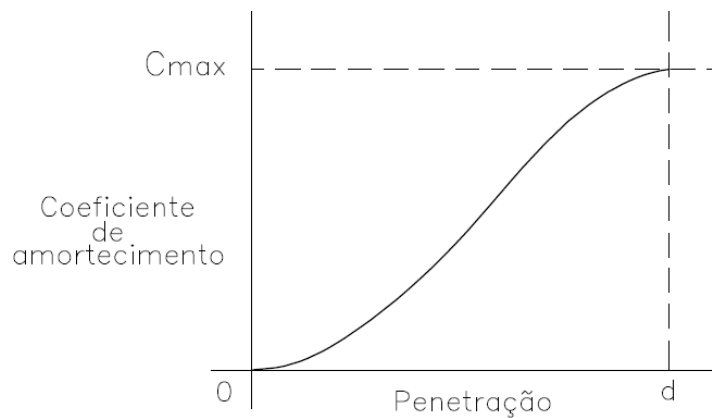


Figura 3.8 - Coeficiente de amortecimento versus penetração (Fonte: Adams, 1993)

$$IMPACTO = \begin{cases} k(x_1 - x)^e - STEP(x, x_1 - d, C_{max}, x_1, 0)\dot{x} & : x < x_1 \\ 0 & : x \geq x_1 \end{cases} \quad (3.16)$$

em que,

- x - distância entre o centro do corpo circular e uma superfície rígida, ou entre o centro do corpo circular e o centro de outro corpo circular;
- x_1 - distância à qual ocorre o contato em um determinado corpo. Se o corpo for circular $x_1 = \text{raio}$, se o corpo for uma superfície, $x_1 = 0$;
- k - rigidez do material;

- e - expoente da força característica da deformação elástica. Para uma característica mais rígida $e > 1,00$. Para característica de mola menos rígida $0 < e < 1,0$;
- C_{max} - máximo coeficiente de amortecimento;
- d - penetração em que ocorre o coeficiente máximo de amortecimento.
- STEP - função degrau conforme apresentada na Equação 3.15

3.3.3 Forças Harmônicas Simples (SHF - Single Harmonic Function)

Em muitas aplicações de engenharia é necessária a aplicação de forças harmônicas ou oscilatórias, provocando vibrações ao sistema mecânico. Tais forças, chamadas de Forças Harmônicas Simples (SHF), foram modeladas conforme Equação 3.17.

$$SHF = a \sin(\omega(x - x_0) - \phi) + b \quad (3.17)$$

em que,

- x - variável independente na função;
- x_0 - deslocamento da fase da variável x ;
- a - amplitude da função harmônica;
- w - frequência da função harmônica;
- ϕ - fase da função harmônica;
- b - valor médio do deslocamento da função harmônica.

3.4 Considerações Finais

Neste capítulo, forças de interação entre pneu e solo durante o movimento do pneu em relação ao solo foram modeladas. As forças horizontais foram baseadas nas equações apresentadas na ASAE (2006), e as forças verticais foram formuladas considerando as forças elásticas e de amortecimento dos pneus.

Para atender às necessidades mais comuns dos usuários, forças do tipo impacto, forças harmônicas e forças do tipo STEP (degrau), foram também modeladas.

As forças apresentadas neste capítulo, complementam o modelo para implementação da FSSM.

3.5 LITERATURA CITADA

ADAMS, B. T. Solver Reference Manual. 1993.

ADAMS, B.T.; REID, J.F. HUMMEL, J.W.; ZHANG, Q.;HOEFT, R.G. Effects of central tire inflation systems on ride quality of agricultural vehicles. **Journal of Terramechanics**, v.41, p.199-207, April 2004.

AHMED, B.;GOUPILLON, J. F. Predicting the ride vibration of agricultural tractor. **Journal of Terramechanics**. Vol. 34, No.1, p.1-11, 1997.

ASAE D497.5 - Agricultural machinery management data. in: Standards 2006. **American Society of Agricultural Engineers**. p.391-398. Feb. 2006.

AUBEL T. **Simulationsverfahren zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Reifen und nachgiebiger Fahrbahn auf der Basis der Finite Elemente Methode**. 1994. Doctoral Thesis at the Institute of Automotive Engineering of the University of Federal Armed Forces, Hamburg.

BERNHARD, B.;SCHLOTTER, V.; KUTZBACH, H. D. Spring and damping characteristics of water-filled tyres. **ASAE annual International Meeting**..California-USA, July, 2001. 7p

FERVERS, C.W. Improved FEM simulation model for tire-soil interaction. **Journal of Terramechanics**, Hamburg, v. 41, p. 87-100, 2004.

GIPSER, M. **FTire, a new fast tire model for ride comfort simulations**. Esslingen University of Applied Sciences. Germany. 2004.

LEHTONEN, T.J.; JUHALA, M. Predicting the ride behaviour of suspended agricultural tractor. **Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing**. v.1, p.131-142, 2005.

TAYLOR, R.K.; BASHFORD, L.L ; SCHROCK, M.D. Methods for measuring vertical tire stiffness. **Transactions of the ASAE**, Vol. 43(6), p. 1415-1419, 2001.

ZOZ, F.M.; GRISSO, R.D.; Traction and tractor performance. **Agricultural Equipment Technology Conference**, Louisville-Kentucky-USA, p.1-47, Feb. 2003.

4 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS

4.1 Introdução

Diversos programas para simulação de sistemas multicorpos (MBS – *MultiBody Systems*) vêm sendo desenvolvidos e comercializados em todo o mundo, nos quais diferentes técnicas são utilizadas para geração e solução automática das equações que descrevem o movimento. A implementação detalhada e o código-fonte destes programas são geralmente omitidos, pois os interesses comerciais geralmente se sobrepõem à disseminação do conhecimento.

Alguns programas de MBS possuíam interfaces gráficas limitadas e, objetivando melhorar essa interface, Kondo (1997) apresentou o programa ANIMBS (Animation for MBS), um sistema capaz de visualizar os dados gerados pelo SD/FAST (programa de simulação de MBS disponível no mercado) na forma de animações por computador. O sistema ANIMBS permitiu a associação de uma geometria ao MBS, utilizando os dados produzidos pela simulação do SD/FAST para criar uma animação do comportamento do sistema mecânico e, dessa forma, melhorar a análise de dados feita pelos usuários do SD/FAST.

Nessa mesma linha de pensamento, isto é, propor um programa computacional para simulação de MBS com interface amigável para o usuário, Dixit et al. (1999) descreveram o projeto de um pacote chamado *Clodion*, desenvolvido utilizando modelagem orientada a objetos.

Os programas para MBS devem ser fáceis de aprender e de utilizar, e de modo que sua interface gráfica favoreça o entendimento do sistema mecânico e todas as restrições cinemáticas. Os usuários dos programas de MBS devem estar atentos ao risco de elaborarem modelos aparentemente corretos, que funcionem, mas de um sistema mecânico que não retrata a realidade. Para este problema, pré-processadores com introdução de dados via gráficos são muito úteis. Se o programa não é um pacote completo de simulação, então deve ser capaz de integrar-se eficientemente a outros programas, especialmente os pré e pós-processamento, que assumem um papel importante na geração dos dados de entrada para simulação e posterior animação.

O objetivo deste capítulo é apresentar a implementação em computador do modelo matemático proposto, que foi dividido em três partes distintas: pré-processamento, processamento e pós-processamento. Cada uma destas partes é exemplificada e discutida, mostrando os recursos do programa, bem como as interfaces com o usuário.

4.2 Considerações teóricas

O sistema computacional desenvolvido neste trabalho, denominado FSSM (Ferramenta para Simulação de Sistemas Mecânicos) teve sua implementação dividida entre as seguintes etapas: configuração do sistema multicorpo (pré-processamento), geração e solução das equações (processamento) e animação (pós-processamento).

As seguintes restrições e forças podem ser simuladas por meio da FSSM:

- Juntas de translação e/ou de revolução;
- Juntas simples;
- Juntas motrizes;
- Engrenagens e correias;
- Forças do tipo mola-amortecedor;
- Força peso;
- Força tipo atuador com valor constante;
- Forças a partir da interação pneu-solo;
- Força com função definida pelo usuário.

O FSSM permite análises estática, cinemática e dinâmica de sistemas multicorpos. Na análise estática são obtidas as forças nas juntas do sistema multicorpos a partir das forças-peso e forças aplicadas nos corpos, definidas pelo usuário. Na análise cinemática, em cada instante de tempo, previamente definido, são obtidas a posição, a velocidade e a aceleração de cada corpo. Na análise dinâmica, as forças do tipo mola-amortecedor, peso, força tipo atuador com valor constante e funções definidas pelo usuário são consideradas, permitindo a obtenção das forças nas juntas, e a posição, a velocidade e a aceleração de cada corpo a cada instante. Pontos de interesse presos aos corpos podem ser definidos, tanto para análise cinemática quanto para análise dinâmica.

Desta forma, o sistema é composto por três módulos distintos: pré-processamento (em linguagem VBA), processamento (programa executável em linguagem VB) e pós-processamento (também em linguagem VBA). A concepção da construção do sistema em módulos provê uma série de vantagens, como por exemplo, a facilidade de implementação do pré ou pós-processamento em outra linguagem ou em outro CAD, utilizando o mesmo programa de processamento. Convém lembrar que a “tecnologia” está no módulo de processamento, pois contém todas as rotinas de cálculo da simulação. Os demais módulos são apenas interfaces.

Na etapa de pré-processamento são definidos os corpos rígidos que compõem o sistema levando-se em consideração os vínculos e restrições de movimento de cada corpo, as propriedades de massa, geometria, bem como as forças atuantes, a partir de uma interface gráfica de fácil uso, utilizando o potencial do AutoCAD® 2006⁴, somada às caixas de diálogos programadas em VBA (Visual Basic for Application). Esta interface será apresentada com mais detalhes na próxima seção.

Na fase de processamento da FSSM, são implementadas todas as rotinas computacionais baseadas no modelo proposto nos capítulos 2 e 3. Nesta fase, um conjunto de dados de saída é gerado, contendo os resultados da simulação em forma de tabela, podendo ser visualizados e analisados em editores de textos e planilhas eletrônicas. Além disso, essa tabela é utilizada para gerar a animação do movimento na fase de pós-processamento.

A implementação da fase de processamento foi feita utilizando o programa Microsoft Visual Basic (VB) versão 6, que é similar ao VBA, porém possui o recurso de criação de arquivos executáveis.

Ao final da fase de processamento, uma tabela contendo todos os dados da simulação é gerada. Esta tabela contém dados como posição, ângulo, velocidade, aceleração e forças nas juntas de cada corpo em cada instante de tempo. A partir destes dados é realizada no próprio AutoCAD® a animação do movimento, permitindo a visualização gráfica de toda dinâmica do sistema mecânico.

⁴ O pré e pós-processamento da FSSM podem não funcionar adequadamente em outras versões do AutoCAD®.

4.3 Configuração do sistema multicorpo (pré-processamento)

A configuração do MBS é feita utilizando uma interface amigável desenvolvida dentro do ambiente AutoCAD[®], utilizando programação Visual Basic for Application (VBA).

O VBA possibilita a criação de macros de comandos com pausas para introdução de dados, criação e adaptação de caixas de diálogo para melhor interface com o usuário, efetuação de cálculos matemáticos envolvendo parâmetros geométricos das entidades (linhas, círculos, textos, blocos, entre outros), acesso à base de dados do desenho para pesquisa e modificações, trabalho com arquivos e comunicação com outros programas. Todos estes recursos e potencialidades corroboram a escolha do VBA para este projeto.

O primeiro passo é desenhar os corpos que compõem o sistema mecânico no AutoCAD[®]. É importante que os corpos fechados sejam transformados em Região (Region) ou bloco (Block) para que o sistema consiga identificar os corpos. O segundo passo é abrir o sistema FSSM, adicionar os corpos já desenhados no AutoCAD[®], e, em seguida, localizar as diversas restrições e forças já mencionadas anteriormente. O terceiro passo é a execução da simulação, onde ocorre a chamada de um programa externo que executa todos os cálculos.

Para se definir um corpo do tipo solo na FSSM, é necessário desenhar o traçado do solo no AutoCAD, transformá-lo em entidade do tipo *polyline* ou *spline*, e configurar esta entidade (corpo) como sendo do tipo solo. A FSSM transforma o traçado contínuo, desenhado no AutoCAD, em coordenadas discretas espaçadas de *deltax*, sendo assim, o “delta x” deve ser informado, lembrando que o seu valor está diretamente relacionado à precisão do traçado do solo e conseqüentemente aos resultados da simulação.

O sistema é flexível, permitindo que a qualquer momento o usuário possa editar as entidades do sistema e realizar nova simulação.

São utilizadas diferentes cores para identificar cada entidade do sistema a ser modelado, isso facilita a visualização por parte do usuário.

Para melhor entendimento, em seguida será apresentado todo o processo necessário para simulação de um sistema mecânico do tipo Quatro Barras.

Passo 1: Primeiramente os quatro corpos são desenhados no AutoCAD[®] e transformados em região (comando *region*). Na Figura 4.1 é apresentado o mecanismo de quatro barras criado no AutoCAD[®].

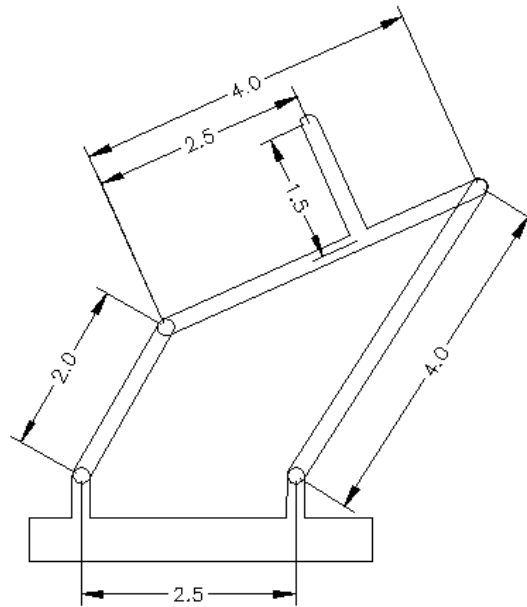


Figura 4.1- Esboço de um mecanismo tipo quatro barras desenhado no AutoCAD

Passo 2 : Abrir o programa FSSM, adicionar os corpos já desenhados no AutoCAD® selecionando as entidades pertinentes, e em seguida localizar as diversas restrições e forças já mencionadas anteriormente. Nas Figuras 4.2 e 4.3, observa-se que para cada tipo de restrição, forças, eixos, etc., um ícone é mostrado no desenho para auxiliar o usuário na configuração do sistema.

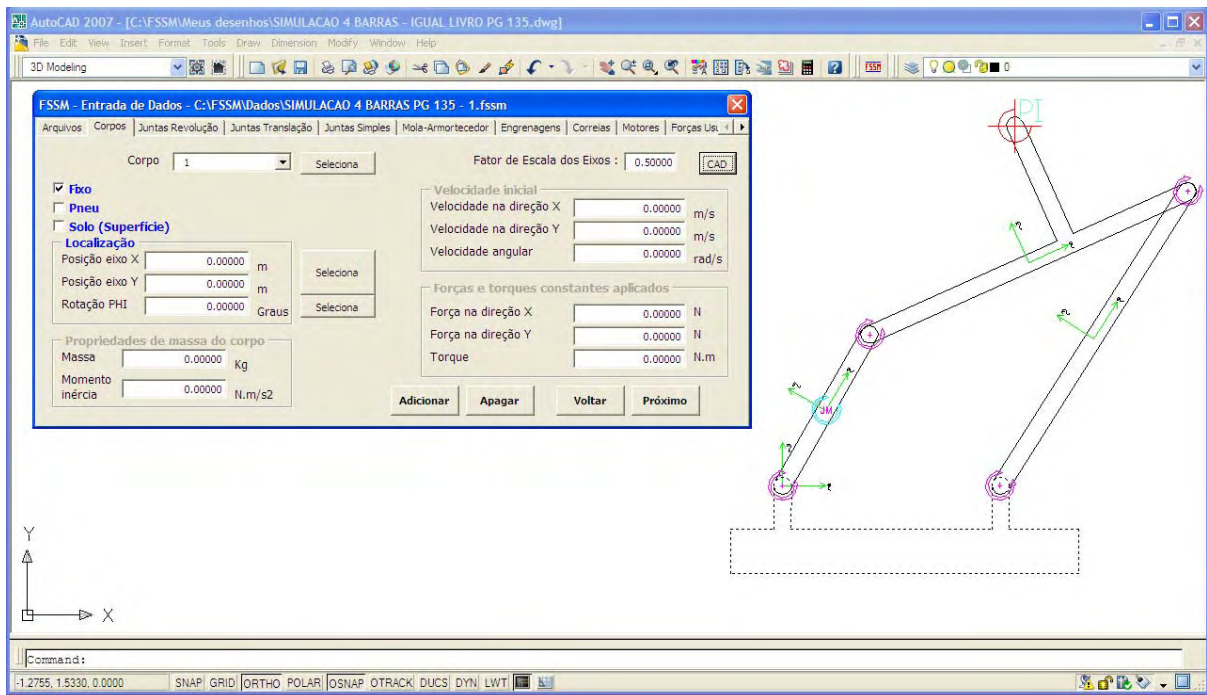


Figura 4.2-Tela gráfica da FSSM na definição dos corpos de mecanismo tipo quatro-barras.

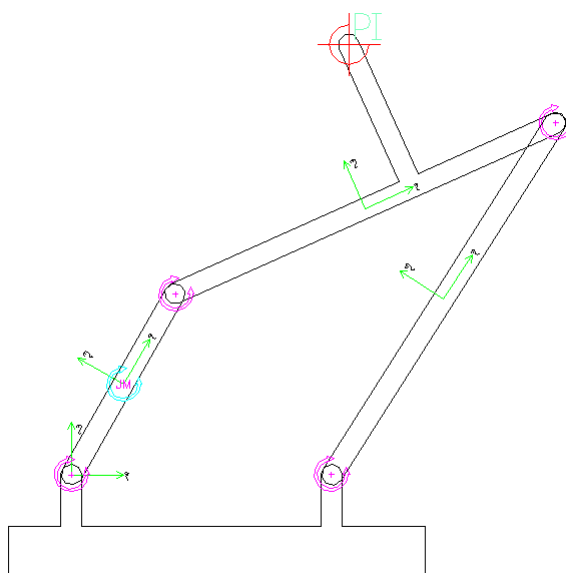


Figura 4.3- Mecanismo tipo quatro-barras com os ícones indicando as juntas, eixos e ponto de interesse.

Conforme mostrado na Figura 4.4, o sistema é dividido em abas. Cada aba possibilita a inserção de diferentes informações necessárias à simulação. No sistema quatro barras, exemplo em questão, o tipo de análise é configurado para *Cinemática* na aba *Arquivos*.

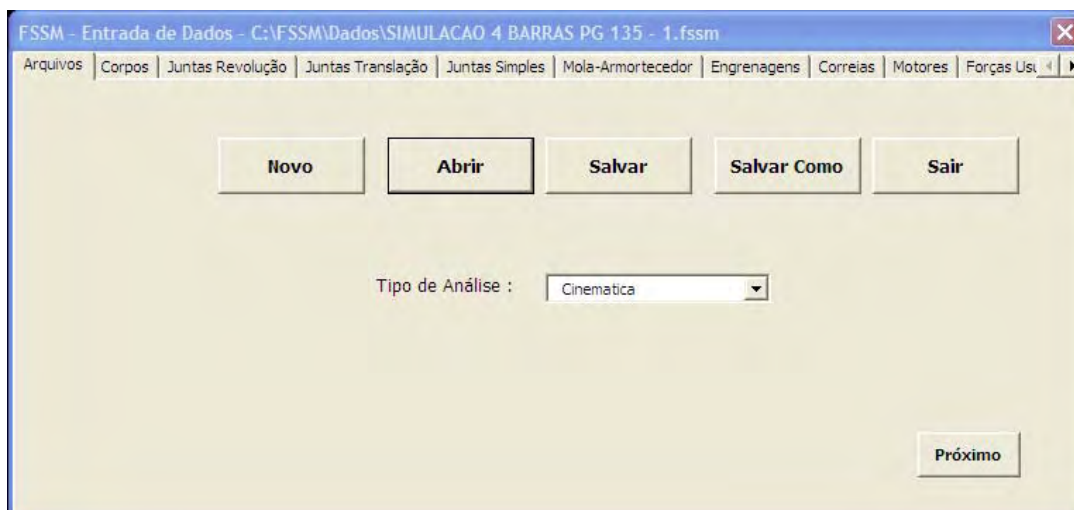


Figura 4.4-Tela de entrada de dados da FSSM

Na aba *Corpos* (Figura 4.5), utilizando o botão *adicionar*, os quatro corpos do mecanismo de quatro-barras foram adicionados. É importante que um dos corpos, neste caso o corpo 1, seja o corpo fixo, também chamado de corpo terra. No Frame *Localização* deve ser indicada a coordenada do centro de gravidade do corpo e o ângulo do eixo que estará preso ao corpo. Os botões *Selecciona* ao lado dos campos possibilitam que o usuário obtenha estas informações diretamente do desenho dos corpos na tela gráfica do AutoCAD.

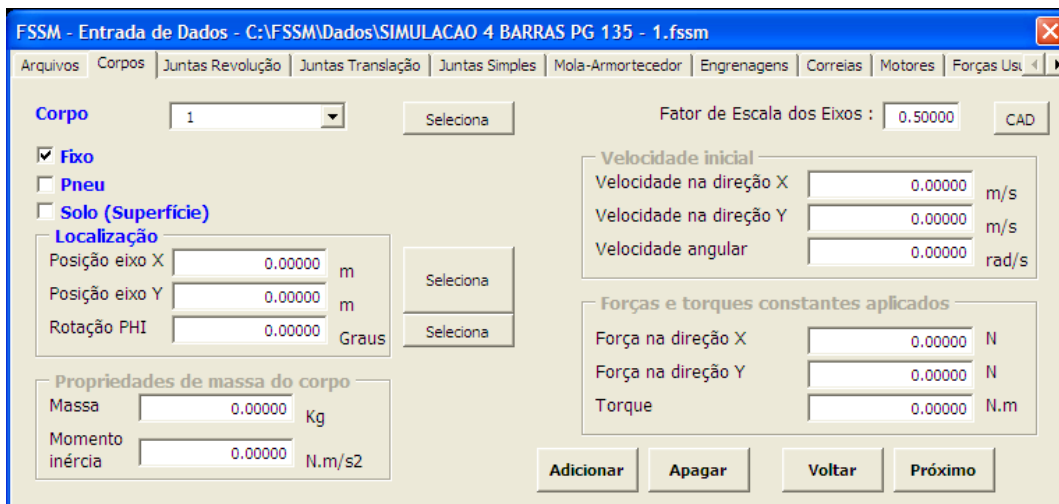


Figura 4.5- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Corpos

Na aba *Juntas Revolução* (Figura 4.6), as quatro juntas devem ser posicionadas. A cada junta de revolução inserida, um par de corpos deve estar relacionado. Automaticamente o sistema calcula as coordenadas *Qui* e *Neta*, que são coordenadas local e relativas aos eixos de cada corpo, conforme mostrado na Figura 2.1.

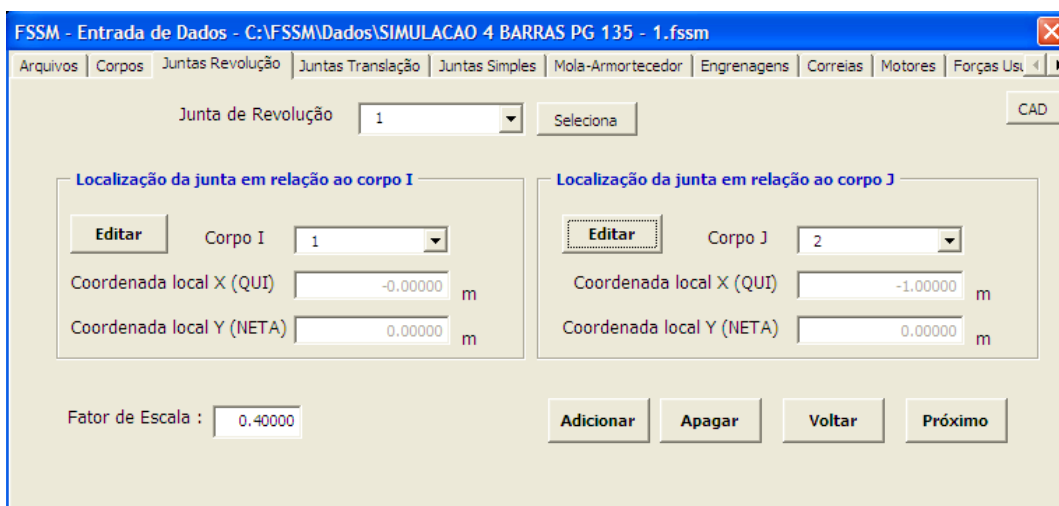


Figura 4.6- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Juntas Revolução

Na aba *Motores* (Figura 4.7) foi inserido um motor no corpo 2, do tipo PHI (rotação), com ângulo inicial de $1,04720 \text{ rad}$, velocidade inicial $6,283 \text{ rad/s}$ e aceleração zero.

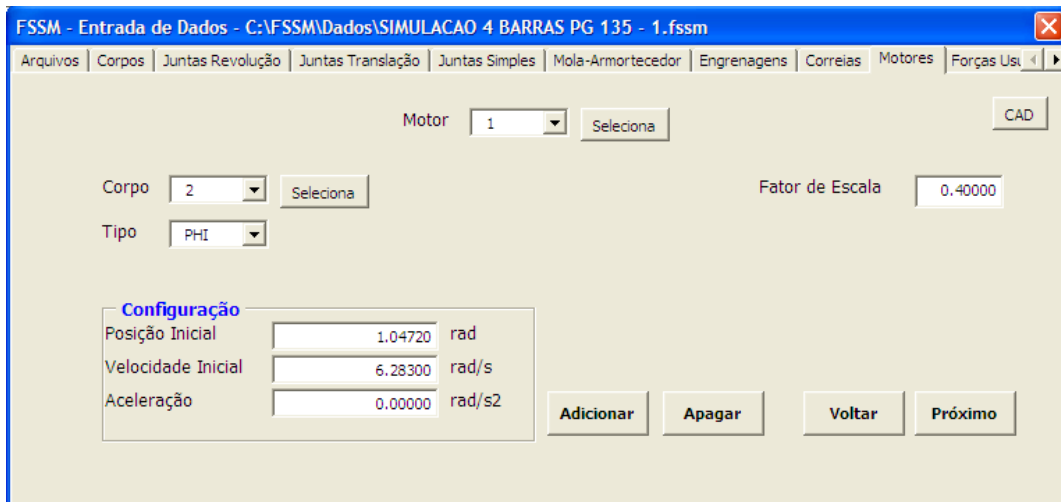


Figura 4.7- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Motores

Na aba *Ponto Interesse* (Figura 4.8) foi adicionado um ponto de interesse (PI) no corpo 3, com coordenadas local $Qui=0,5$ e $Neta=1,5$.

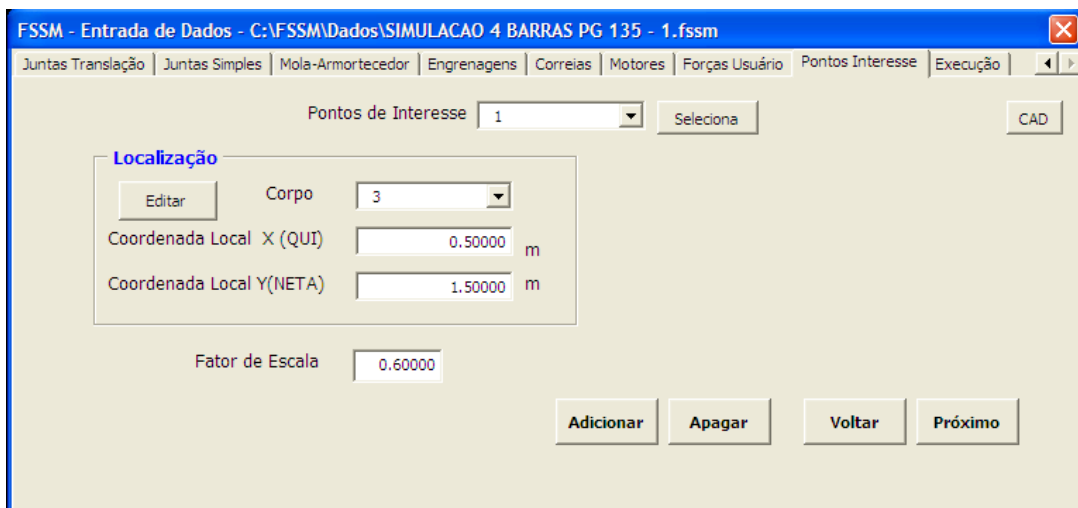


Figura 4.8- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Pontos Interesse

Na aba *Execução* (Figura 4.9) foi definido o *tempo inicial*=0 s, *tempo final*=1 s e *delta T* =0,005 s. *Delta T* corresponde ao passo ou incremento de tempo entre as iterações.

Ao pressionar o botão Executar, um arquivo chamado *dados.aps* é criado, com todas as informações do sistema mecânico em questão. Em seguida um programa executável é carregado, e, utilizando o arquivo *dados.aps* como entrada, executa todos o cálculos e cria um outro arquivo chamado *result.res*.

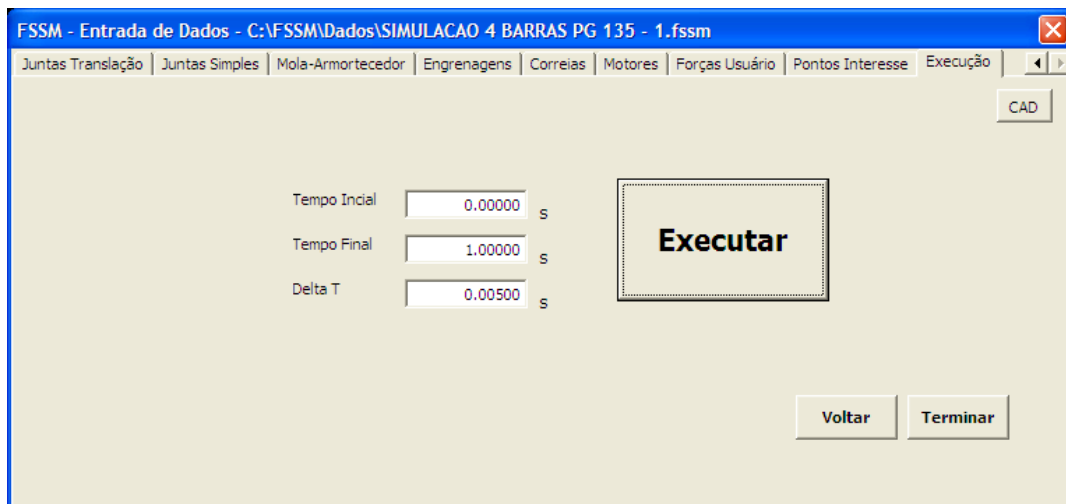


Figura 4.9- Tela de Entrada de Dados da FSSM : Aba Execução

Na Figura 4.10 é mostrado o arquivo *dados.aps*, que é gerado pela interface assim que o botão Executar é pressionado. Este arquivo pode ser aberto em qualquer editor de texto, inclusive no *Windows Notepad*. Observe que os dados são colocados de forma estruturada e de fácil entendimento, inclusive com linhas de cabeçalho. Isto porque o usuário pode dispensar a interface de entrada de dados do AutoCAD e simplesmente entrar com as informações diretamente neste arquivo e executar o programa *FSSM_EXEC.exe*, que por sua vez efetuará os cálculos e criará o arquivo *result.res* o qual também pode ser aberto por qualquer editor de texto e inclusive no Microsoft Excel, pois os dados estão separados por vírgulas. Desta forma, é possível utilizar a ferramenta FSSM sem o AutoCAD instalado, porém, os recursos visuais não estarão disponíveis.

```
Corpos
CH , NUM, FIXO, PNEU, SOLO , X, Y, PHI, DXI, DYI, DPFI, MASSA, MOMENTO, FX, FY, TORQUE
#CP,1,True,False,False,0,0,0,0,0,0,0,0,0 , 0 ,0,0.5
#CP,2,False,False,False,0.5,0.866,1.047,0,0,0,0,0,0 , 0 ,0
#CP,3,False,False,False,2.824,2.553,0.423,0,0,0,0,0,0 , 0 ,0
#CP,4,False,False,False,3.57382024,1.68711542,1,0,0,0,0,0,0 , 0 ,0
-----
Juntas de Revolucao
CH, NUM , CORPOI, CORPOJ, QUII,NETAI, QUIJ, NETAJ
#JR,1,1,2,0,0,-1,0
#JR,2,2,3,1,0,-2,0
#JR,3,3,4,2,0,2, 0
#JR,4,4,1,-2,0, 0
-----
Juntas Motrizes
CH , NUM, CORPO, NUM.COORD.(1=X;2=Y;3=PHI),POS,VEL,ACEL
#JM,1,2,3,1.0472,6.283,0
-----
Pontos de Interesse
CH, NUM, CORPO, X, Y
#PI,1,3,0.5,1.5
-----
CH, TIPO DE ANÁLISE, T.INICIAL, T.FINAL, DELTA T
#DA,Cinematica,0,1,0.005
```

Figura 4.10- Arquivo de dados de configuração gerado pela fase de pré-processamento

O módulo de processamento lê apenas as linhas iniciadas com o caractere “#”. Todas as demais linhas são apenas comentários gerados pelo sistema para melhor entendimento do conteúdo do arquivo. Para execução do processamento, os dados mostrados na Figura 4.11 são suficientes.

```
#CP,1,True,False,False,0,0,0,0,0,0,0,0,0 , 0 ,0,0.5
#CP,2,False,False,False,0.5,0.866,1.047,0,0,0,0,0,0 , 0 ,0
#CP,3,False,False,False,2.824,2.553,0.423,0,0,0,0,0,0 , 0 ,0
#CP,4,False,False,False,3.57382024,1.68711542,1,0,0,0,0,0,0 , 0 ,0
#JR,1,1,2,0,0,-1,0
#JR,2,2,3,1,0,-2,0
#JR,3,3,4,2,0,2, 0
#JR,4,4,1,-2,0, 0
#JM,1,2,3,1.0472,6.283,0
#PI,1,3,0.5,1.5
#DA,Cinematica,0,1,0.005
```

Figura 4.11– Arquivo de dados de configuração resumido.

Na Tabela 4.1 são apresentados todos os códigos que podem ser utilizados no arquivo de dados para configuração da FSSM.

Tabela 4.1 - Códigos utilizados nos dados de configuração da FSSM.

Código	Descrição
#CP	Corpo
#PN	Pneu
#JR	Junta de revolução
#JT	Junta de translação
#JS	Junta simples
#MA	Elemento do tipo mola-amortecedor
#EN	Transmissão por par de engrenagens
#CO	Transmissão por par de polia ligados por correia
#JM	Junta motriz (Motores)
#FU	Força do usuário. Podem ser do tipo: IMP - Impacto SHF - Single Harmonic Funcion (Função Harmônica Simples) CTE – Constante STEP – Degrau
#PI	Pontos de interesse
#DA	Dados da análise
#SOLO	Características do solo
#COORD	Coordenadas cartesianas que definem o perfil do solo

No APÊNDICE G, Quadro G.1, é apresentada a descrição detalhada dos códigos apresentados na Tabela 4.1 com suas respectivas assinaturas⁵ utilizadas nos dados de configuração da FSSM é apresentada.

4.4 Geração e solução das equações (processamento)

No capítulo 2 é apresentado um método para modelagem de MBS. A Figura 4.12 ilustra um fluxograma com as principais subrotinas que compõem o módulo de processamento da FSSM, para realização das análises cinemáticas, dinâmicas e estáticas.

⁵ Assinatura é a forma de como os dados devem ser organizados para o entendimento pela fase de processamento.

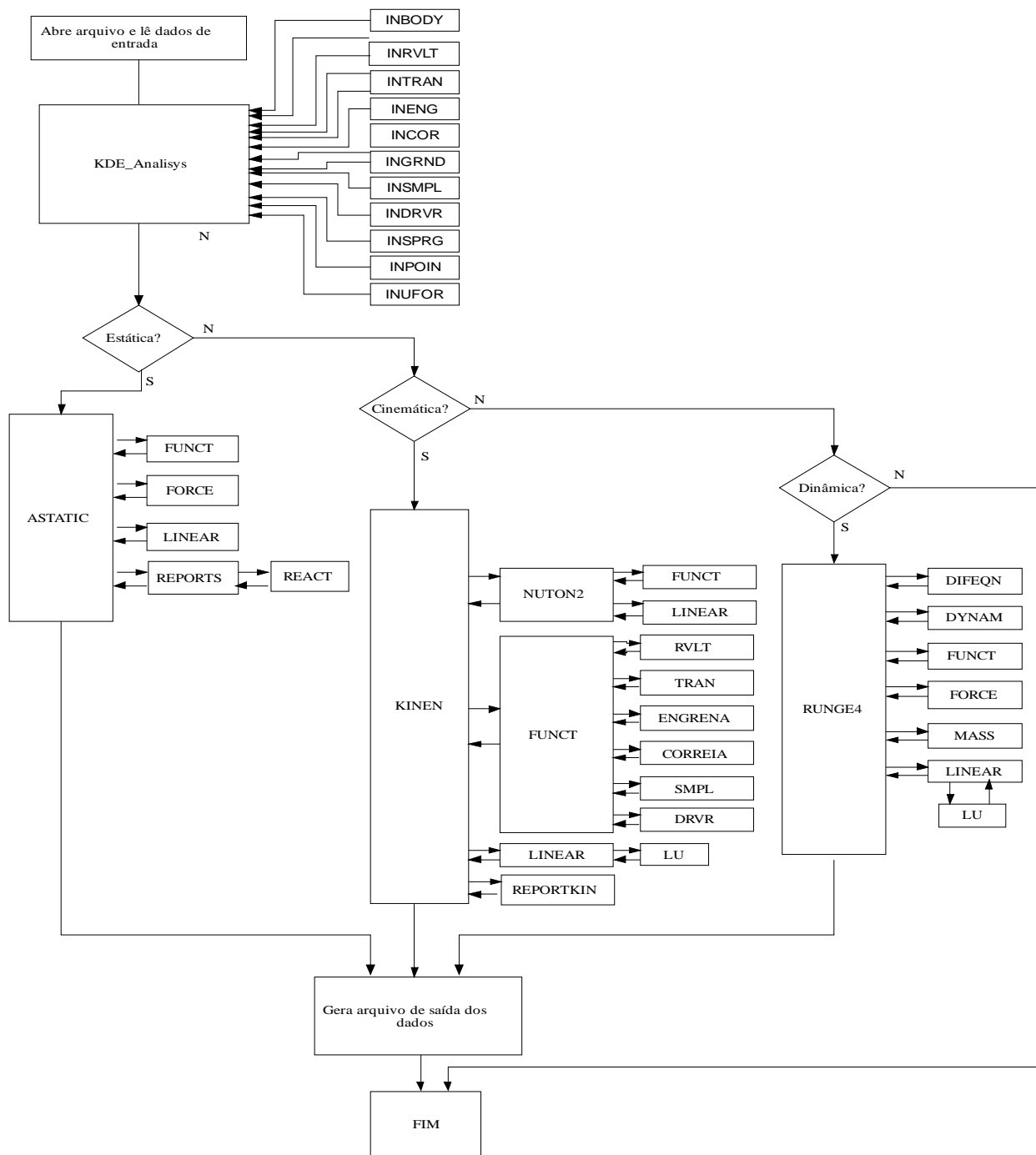


Figura 4.12– Fluxograma geral de processamento da FSSM.

A seguir, a função de cada subrotina é apresentada de forma resumida para melhor entendimento:

Subrotina ler_dados()

Abre o arquivo de dados gerado no pré-processamento e os transfere para matrizes de dados de entrada. Estas matrizes contêm informações dos corpos, juntas de revolução, juntas de translação, pares de engrenagem, pares de polias ligadas por correia, corpos terra, juntas simples, juntas motrizes (motores), atuadores tipo mola-amortecedor, pontos de interesse e forças do usuário.

Subrotina KDE_Analysis()

Função principal do sistema, que chama as funções que transferem as informações da matriz de entrada para as variáveis do sistema, para, em seguida, chamar as funções apropriadas de acordo com o tipo de análise pré-estabelecido: Cinemática, Dinâmica ou Estática

Subrotina INBODY()

Transfere as informações relativas aos corpos da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INRVLT()

Transfere as informações relativas às juntas de rotação da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INTRAN()

Transfere as informações relativas às juntas de translação da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INENG()

Transfere as informações relativas aos pares de engrenagens da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INCOR()

Transfere as informações relativas aos pares de polias ligadas por correias, da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INGRND()

Transfere as informações relativas aos corpos terra da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INSMPL()

Transfere as informações relativas às juntas simples da matriz de entrada para as variáveis do sistema.

Subrotina INDRVR()

Transfere as informações relativas às juntas motrizes da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INSPRG()

Transfere as informações relativas às molas-amortecedores da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INUFOR()

Transfere as informações relativas às forças do usuário da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina INPOIN()

Transfere as informações relativas aos pontos de interesse da matriz de entrada para as variáveis do sistema mecânico.

Subrotina KINEM()

Subrotina que executa a análise cinemática do MBS a cada instante do tempo inicial ao tempo final, com passo δt . A cada passo esta subrotina executa a análise da posição, velocidade e aceleração. Esta subrotina utiliza os seguintes *flags*:

JACOB=0 => Matriz Jacobiana não precisa ser resolvida

JACOB=1 => Matriz Jacobiana precisa ser resolvida

IFNCT=0 => Equações de restrição não precisam ser resolvidas

IFNCT=1 => Equações de restrição precisam ser resolvidas

IFNCT=2 => O lado direito das equações da velocidade deve ser resolvido

IFNCT=3 => O lado direito das equações de aceleração deve ser resolvido

Análise de Posição => JACOB e IFNCT são iguais a 1

Análise de Velocidade => JACOB=1 e IFNCT=2

Análise de Aceleração => IFNCT=3 e JACOB=0, desde que a Matriz Jacobiana e suas matrizes correspondentes L e U sejam ainda válidas no passo de análise da velocidade. Uma chamada à subrotina FUNCT resolve o lado direito das equações de aceleração. Neste passo, a subrotina LINEAR é usada para resolver a aceleração.

Subrotina NUTON2()

Esta subrotina é chamada pela subrotina KINEM para análise da posição quando JACOB=1 e IFNCT=1. Esta subrotina chama a subrotina FUNCT para resolver a Matriz Jacobiana e equações de restrição.

Subrotina RUNG4()

Subrotina que implementa o algoritmo de Runge-Kutta de 4ª ordem. Esta subrotina calcula dy quatro vezes a cada passo de tempo ΔT , chamando DIFEQN para resolver a derivada de Y .

Subrotina DIFEQN()

Esta subrotina transfere o conteúdo de Y para o vetor Q e QD antes de chamar a subrotina DYNAM. Esta transferência é necessária porque a subrotina RUNGE4 modifica o conteúdo de Y 4 vezes a cada passo de tempo. Similarmente, após retornar da subrotina DYNAM, o conteúdo de QD e QDD são transferidos para YD .

Subrotina DYNAM()

Esta subrotina é o centro da Análise Dinâmica. A entrada desta rotina é a posição e velocidade, a saída é a aceleração. Ela resolve as Forças, matriz de massa, Jacobiano e transposta do Jacobiano. Calcula as acelerações e multiplicadores de Lagrange. Esta subrotina chama a subrotina FUNCT para resolver a matriz Jacobiana.

Subrotina MASS()

Inicializa a matriz de massas, adiciona massa e momento de inércia na sua diagonal, o Jacobiano, e a transposta do Jacobiano.

Subrotina FUNCT()

As equações de restrição, o lado direito das equações de velocidade e aceleração, e a matriz Jacobiana são calculadas por esta subrotina. IR é um contador do número total de

funções ou linhas na matriz Jacobiana. Este contador é incrementado pelas subrotinas RVLT, TRAN, SMPL e DRVR. Após todas as equações de restrição terem sido consideradas, IR é igual a M (ou N).

Subrotina RVLT()

Resolve as juntas de revolução. RVLT é chamada pela subrotina FUNCT quando $NR > 0$. Ela resolve as violações das equações de restrição, o lado direito das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondente para a junta de revolução no sistema. O vetor F é usado para guardar as violações das equações de restrição e o lado direito das equações de velocidade e aceleração dependendo do valor do *flag* IFNCT. Entradas não nulas da matrix Jacobiana são armazenadas no vetor FQ, quando JACOB=1.

Subrotina ENGRENA()

Simula pares de engrenagens.

Subrotina CORREIA()

Simula pares de polias ligadas por correia.

Subrotina TRAN()

Resolve as juntas de translação, sendo chamada pela subrotina FUNCT quando $NT > 0$. Ela resolve as violações das equações de restrição, o lado direito das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondente para as juntas de translação no sistema. A organização desta subrotina é similar à subrotina RVLT.

Subrotina SMPL()

Simula as Juntas Simples.

Subrotina DRVR()

Simula Juntas Motrizes (Motores).

Subrotina FORCE()

Esta subrotina chama outras subrotinas para calcular as forças externas.

Subrotina BODYF()

Adiciona forças constantes e pesos ao vetor de forças.

Subrotina SPRNG()

Simula forças do tipo mola-amortecedor e atuadores constantes.

Subrotina UFORCE()

Calcula as Forças do Usuário. Forças do tipo Constante, Senoidal e Impacto são consideradas. No caso específico de forças do tipo Impacto, são resolvidas as forças de contato entre dois ou mais corpos e também o contato entre dois ou mais corpos com um corpo do tipo solo.

Subrotina SFORCE()

Calcula as forças provenientes do contato pneu-solo, considerando as propriedades do pneu e solo. Informações como perfil do solo, índice de cone, tipo de pneu, constante elástica e coeficiente de amortecimento são consideradas. O modelo apresentado no capítulo 3 é implementado nesta subrotina e pode ser melhor entendido a partir do fluxograma mostrado na Figura 4.13.

Subrotina REPORTDYN(T)

Em uma análise dinâmica, esta subrotina armazena, no arquivo de saída de dados, os valores de posição, velocidade e aceleração de todos os corpos e pontos de interesse, além de informações dos atuadores e esforços nas juntas.

Subrotina REPORTKIN(T)

Em uma análise cinemática, armazena os valores de posição, velocidade e aceleração de todos os corpos e pontos de interesse no arquivo de saída de dados.

Subrotina REACT()

Esta subrotina chama a subrotina RFORCE para cada tipo de junta cinemática.

Subrotina RFORCE()

Esta subrotina calcula e reporta as forças de reação atuando em cada corpo.

Subrotina ASTATIC()

Quando o número de equações de restrição é igual ao número de coordenadas, esta subrotina é chamada para executar a análise estática.

Subrotina REPORTS()

Armazena os valores das reações em análise estática.

Subrotina REPORTS()

Armazena os valores das reações em análise estática.

Subrotina LINEAR()

Resolve um conjunto de equações lineares da forma $Ax=c$ pela chamada à subrotina LU.

Subrotina LU()

Esta subrotina executa a fatoração LU com pivotamento parcial na matriz quadrada. Esta subrotina emprega o método de Crout's.

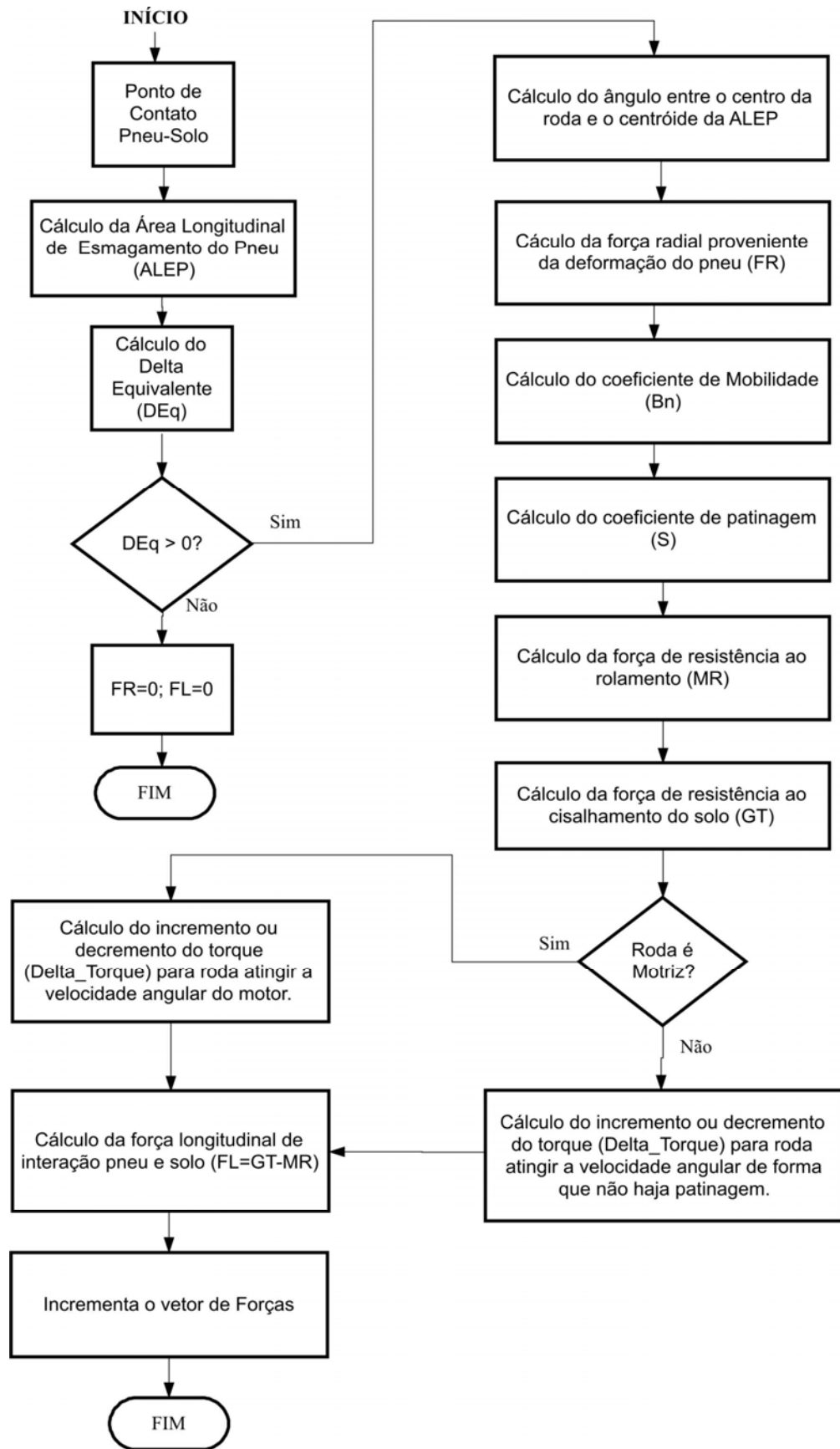


Figura 4.13 - Fluxograma com o algoritmo da subrotina SFORCE().

O código completo do módulo de processamento, implementado em linguagem de programação Visual Basic V6, é apresentado no APÊNDICE K.

4.5 Animação (pós-processamento)

Após a execução da simulação, o programa VBA dentro do AutoCAD carrega o arquivo *result.res*, e a interface de simulação ilustrada na Figura 4.14 é apresentada.

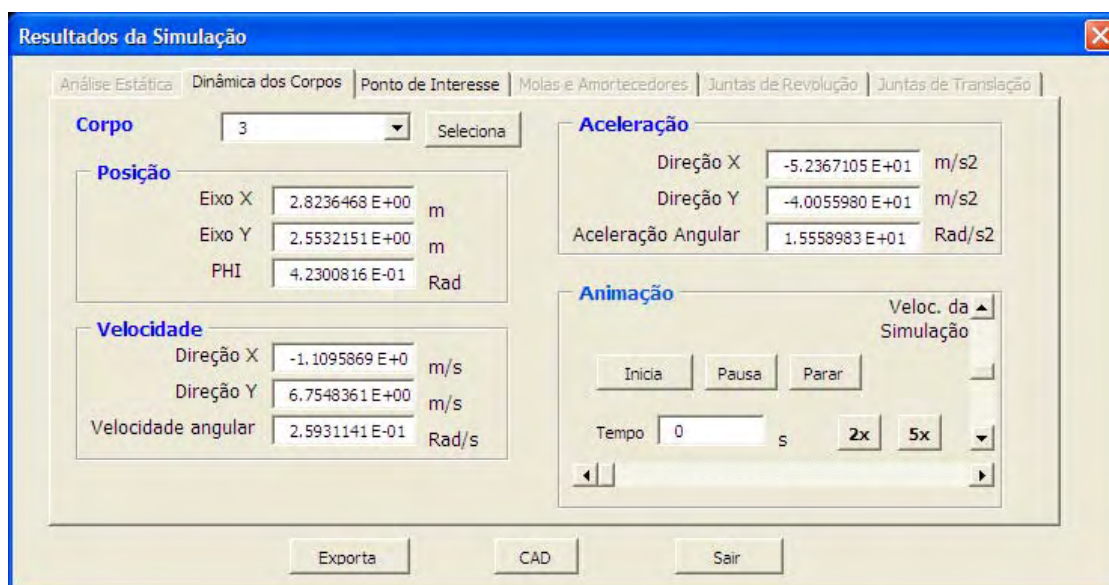


Figura 4.14- Tela de resultados da simulação na FSSM: Aba *Dinâmica dos Corpos*

Observe que na simulação do sistema mecânico de quatro barras, apenas as abas *Dinâmica dos corpos* e *Pontos de Interesse* estão habilitadas. Na aba *Dinâmica dos corpos* é possível observar a posição, velocidade e aceleração de qualquer corpo a cada instante. O mesmo pode ser observado nos pontos de interesse ao clicar na aba *Pontos de Interesse* (Figura 4.15)

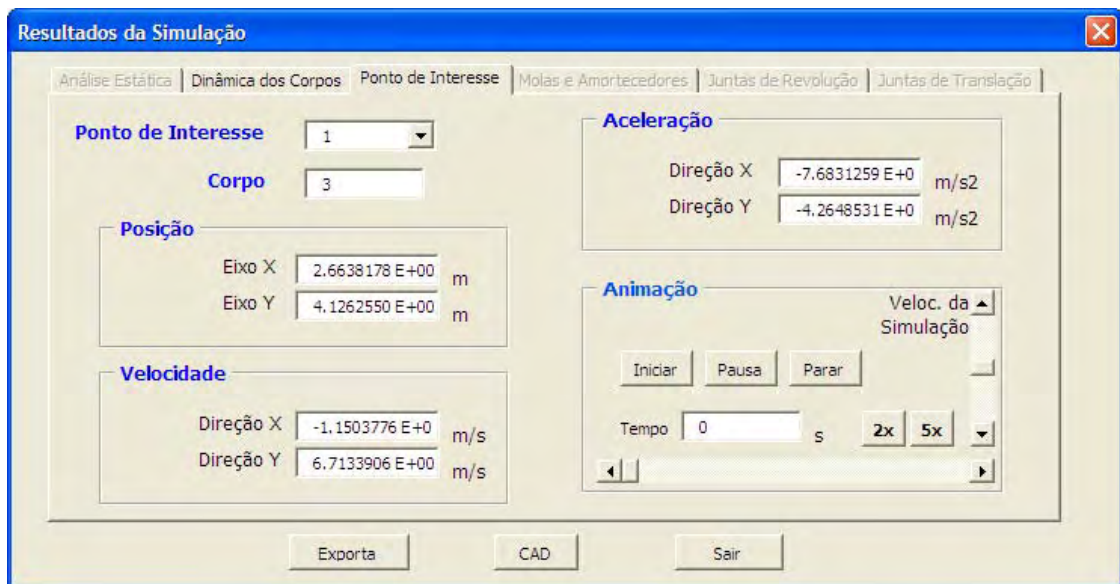


Figura 4.15- Tela de Resultados da Simulação na FSSM: Aba *Pontos de Interesse*

A seguir serão mostrados alguns passos da simulação em referência a cada 0,2 s para melhor entendimento da interface de simulação (Figura 4.16 a Figura 4.21). Observe que os corpos na tela gráfica do AutoCAD® se movem à medida que o tempo corre.

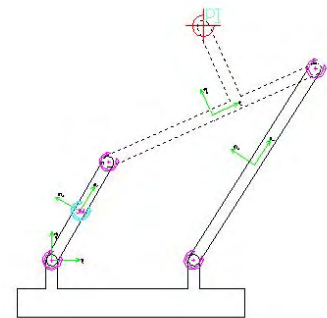
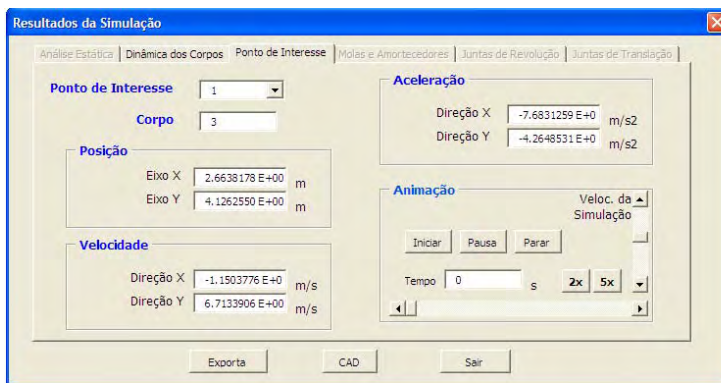


Figura 4.16 - Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0s$

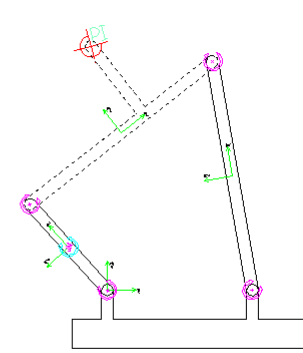
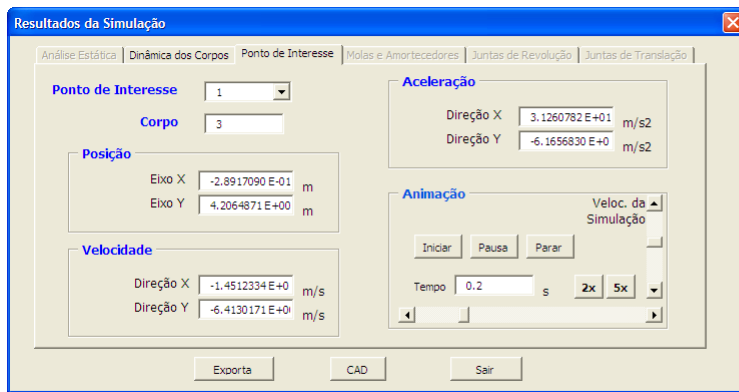


Figura 4.17- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0,2s$

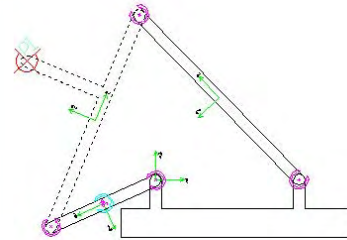
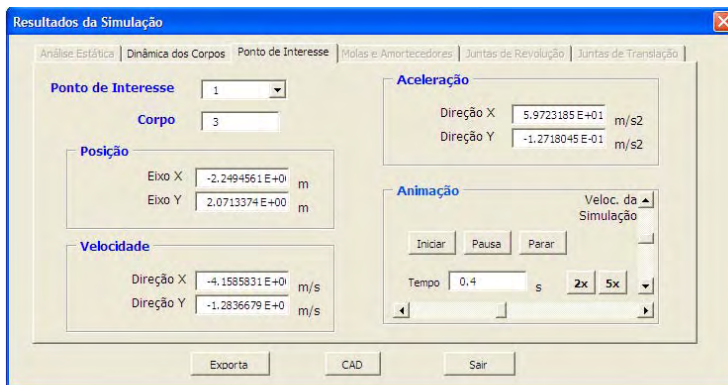


Figura 4.18- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0,4s$

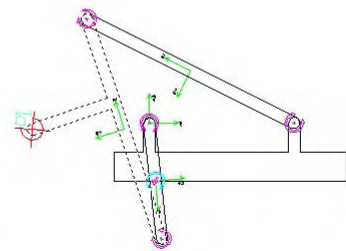
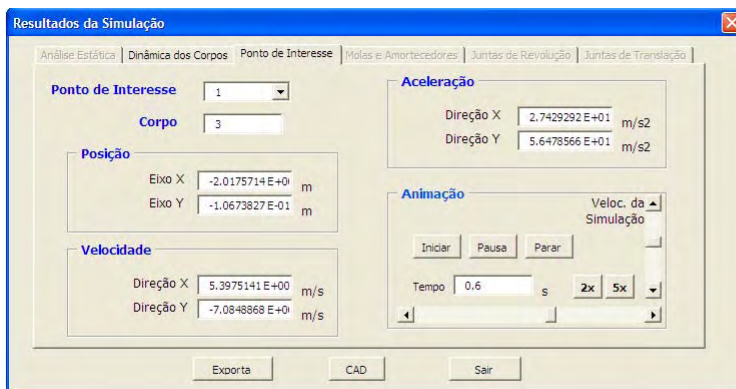


Figura 4.19- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0,6s$

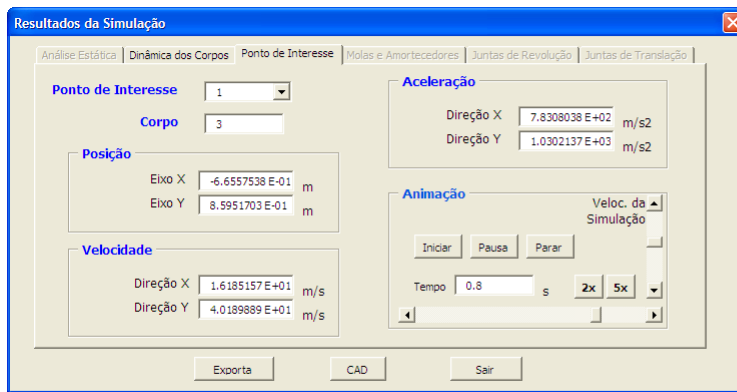


Figura 4.20- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=0,8s$

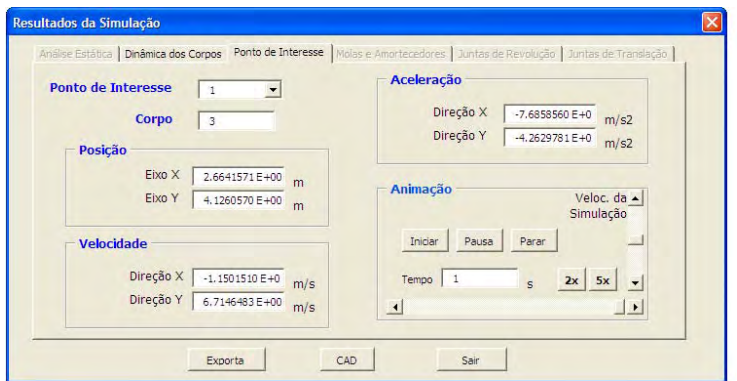


Figura 4.21- Tela de resultado da simulação do mecanismo de quatro barras em $t=1s$

O código computacional completo do pré e pós-processamento, implementado em linguagem de programação VBA para AutoCAD® 2006, é apresentado no APÊNDICE L.

4.6 Considerações finais

Neste capítulo, a implementação da FSSM foi apresentada de forma detalhada em cada um dos três módulos: configuração do sistema multicorpo (pré-processamento); geração e solução das equações (processamento) e animação (pós-processamento). A concepção da construção do sistema em módulos provê uma série de vantagens, como, por exemplo, a facilidade de implementação do pré ou pós-processamento em outra linguagem ou em outro CAD, utilizando o mesmo programa de processamento. Convém lembrar que a “tecnologia” está no módulo de processamento, pois contém todas as rotinas de cálculo da simulação, os demais módulos são apenas interfaces. Os códigos fontes completos são apresentados no APÊNDICE K (processamento) e APÊNDICE L (pré e pós-processamento).

Um exemplo prático de um mecanismo do tipo quatro-barras foi apresentado para melhor entendimento da interface com o usuário nos módulos de pré e pós-processamento.

4.7 LITERATURA CITADA

BARBOSA, R. S. **Aplicação de sistemas multicorpos na dinâmica de veículos guiados.** 1999. Dissertação de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.

DIXIT, D. S.; SHANBHAG, S. H.; MUDUR, S. P.; ISAAC, K.; CHINCHALKAR, S. Object oriented design of an interactive mechanism simulation system. **Computers & Graphics.** n.23. p. 85-94, 1999.

HUSTON, R. L. Multibody Dynamics since 1990. **Applied Mechanics Reviews**, v. 49, n. 10, pt. 2, p. 535-540, 1996.

KONDO, R. T. **Animação de simulações de sistemas mecânicos multicorpos.** 1997. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos. Departamento de Ciência de Computação e Estatística. São Carlos.

NIKRAVESH, P. E. Computer-aided analysis of mechanical systems. **Prentice Hall.** Englewood Cliffs. New Jersey, 1988.

5 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS - FSSM

5.1 Introdução

A ciência e a matemática são ferramentas desenvolvidas pelo homem na tentativa de formular e prever o complexo comportamento do mundo real. Nesta linha de pensamento, o presente trabalho se propôs a desenvolver uma ferramenta computacional para simulação de sistemas mecânicos multicorpos, denominada FSSM. A solução das equações que compõem o modelo matemático pode ser obtida de forma analítica ou numérica. A solução analítica é exata, entretanto, muitos modelos não possuem solução analítica. Neste caso, a utilização de métodos numéricos se faz necessária quando se deseja um sistema genérico adequado para múltiplos problemas, porém abre-se mão da solução exata para uma solução aproximada.

A FSSM visa permitir a simulação de uma ampla quantidade de sistemas mecânicos, e por isso foram utilizados métodos numéricos em seu algoritmo. Desta forma, os resultados são aproximados e espera-se que sejam capazes de representar o comportamento real com boa exatidão.

O objetivo neste capítulo foi apresentar os testes para validar a FSSM e verificar a exatidão dos resultados. Ao todo foram realizados cinco testes que visam basicamente a comparação entre o resultado obtido analiticamente e o obtido a partir da simulação com a FSSM, bem como a velocidade do processamento computacional. Para isso, fez-se necessária a modelagem de sistemas simples, cujas equações geradas possam ser resolvidas analiticamente. O primeiro sistema foi uma treliça, usada para validar o módulo de análise estática. O segundo foi um mecanismo tipo quatro-barras visando validar a geração das equações que simulam as juntas de revolução e validar a análise cinemática da FSSM. O terceiro foi um conjunto de engrenagens planetárias, que permitiu validar simultaneamente o uso de restrições relativas aos pares de engrenagens e juntas de revolução em análise do tipo cinemática. O quarto sistema foi do tipo massa-mola com movimento vertical que foi usado para validar as forças do tipo mola, forças gravitacionais e a análise dinâmica de sistemas. O quinto sistema foi do tipo massa-mola-amortecedor com movimento horizontal que foi usado para validar as forças do tipo mola com amortecimento, junta de translação e a análise dinâmica de sistemas.

5.2 Teste 1: Treliça

Nesta etapa, a utilização da FSSM para análise estática é testada. A treliça isostática esquematizada na Figura 5.1 foi simulada na FSSM e seus resultados foram comparados com os obtidos analiticamente.

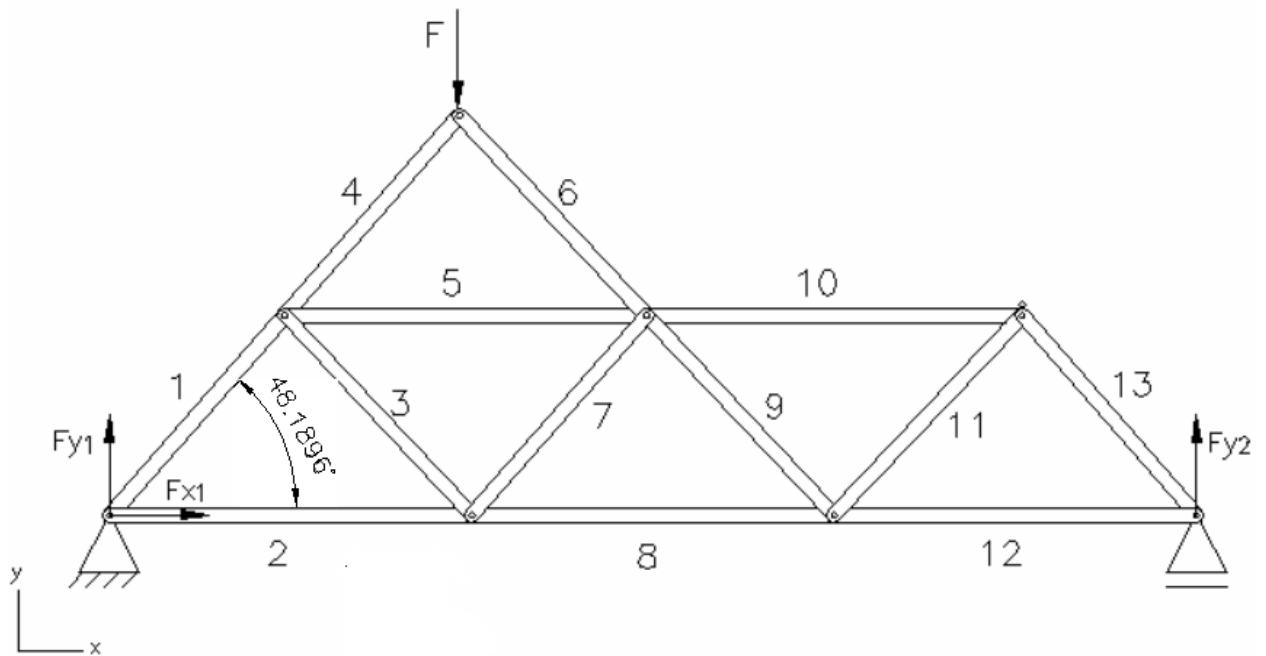


Figura 5.1 Modelo de treliça para validação da simulação estática da FSSM

em que,

Barras 1 a 13 - corpos que compõem a treliça;

F_{x1} e F_{y1} - componentes x e y da força de reacção 1, respectivamente;

F_{y2} - componente y da força de reacção 2;

F - força externa igual a 5000N, aplicado sobre a junta de rotação que interliga os corpos 4 e 5.

5.2.1 Solução analítica

A solução analítica foi obtida a partir da aplicação direta da condição de equilíbrio ($\Sigma F_x=0$ e $\Sigma F_y=0$) em cada nó, conhecido como método dos nós. Por convenção, foi adotado o seguinte critério: forças trativas possuem o sinal positivo e forças compressivas possuem sinal negativo.

Nó 1-2 (Nó que liga o corpo 1 ao 2)

$$F_1 \cos(48,1896^\circ) + F_2 + F_{x1} = 0 \quad (5.1)$$

$$F_1 \text{sen}(48,1896^\circ) + F_{y1} = 0 \quad (5.2)$$

Nó 1-3-4-5

$$F_4 \cos(48,1896^\circ) + F_5 + F_3 \cos(48,1896^\circ) - F_1 \cos(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.3)$$

$$F_4 \text{sen}(48,1896^\circ) - F_3 \text{sen}(48,1896^\circ) - F_1 \text{sen}(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.4)$$

Nó 4-6

$$-F_4 \cos(48,1896^\circ) - F_6 \cos(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.5)$$

$$-F_4 \text{sen}(48,1896^\circ) - F_6 \text{sen}(48,1896^\circ) = 5000 \quad (5.6)$$

Nó 2-3-7-8

$$F_8 - F_2 + F_7 \cos(48,1896^\circ) - F_3 \cos(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.7)$$

$$F_3 \text{sen}(48,1896^\circ) + F_7 \text{sen}(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.8)$$

Nó 5-6-7-9-10

$$F_{10} - F_5 - F_6 \cos(48,1896^\circ) - F_7 \cos(48,1896^\circ) + F_9 \cos(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.9)$$

$$F_6 \text{sen}(48,1896^\circ) - F_7 \text{sen}(48,1896^\circ) - F_9 \text{sen}(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.10)$$

Nó 8-9-11-12

$$F_{12} - F_8 + F_{11} \cos(48,1896^\circ) - F_9 \cos(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.11)$$

$$F_{11} \text{sen}(48,1896^\circ) + F_9 \text{sen}(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.12)$$

Nó 10-11-13

$$F_{10} - F_{11} \cos(48,1896^\circ) + F_{13} \cos(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.13)$$

$$-F_{13} \text{sen}(48,1896^\circ) - F_{11} \text{sen}(48,1896^\circ) = 0 \quad (5.14)$$

Nó 12-13

$$-F_{13} \cos(48,1896^\circ) - F_{12} = 0 \quad (5.15)$$

$$F_{13} \text{sen}(48,1896^\circ) - F_{y2} = 0 \quad (5.16)$$

As equações lineares (5.1) a (5.16) foram resolvidas de forma analítica, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.2 onde são comparados com os resultados obtidos da FSSM.

5.2.2 Simulação com a FSSM

A simulação foi realizada conforme o modelo mostrado na Figura 5.2, utilizando 16 corpos rígidos, 21 juntas de rotação, uma junta de translação no corpo 16, uma junta simples de rotação no corpo 14 (restrição ao giro) e uma força do usuário do tipo constante sobre o corpo 14. Observe que o corpo 15 foi configurado como sendo corpo terra (fixo). Na Figura 5.3 os dados de configuração que definem o modelo para simulação na FSSM estão apresentados.

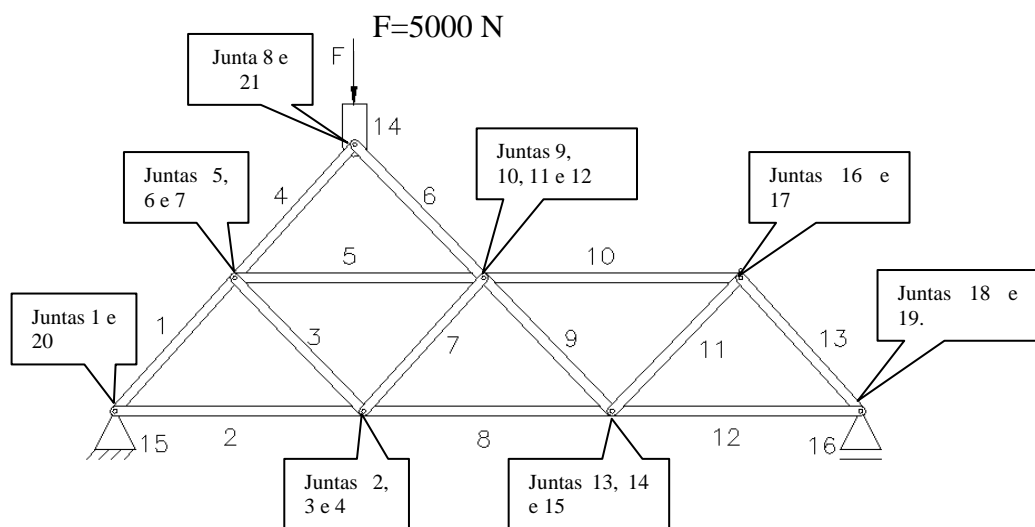


Figura 5.2 - Juntas de revolução do modelo de treliça na FSSM

```

Corpos
CH , ID, NUM, FIXO, PNEU, SOLO , X, Y, PHI, DXI, DYI, DPHII, MASSA, MOMENTO, FX, FY, TORQUE
#CP,1,False,False,False,-20.69903,-1.15465,0.841068,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,2,False,False,False,-20.1990252,-1.71366971,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,3,False,False,False,-19.6990252,-1.15465271,5.44211664,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,4,False,False,False,-19.6990252,-0.0366187244,0.8410688,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,5,False,False,False,-19.1990252,-0.595635719,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,6,False,False,False,-18.6990252,-0.0366187244,5.44211664,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,7,False,False,False,-18.6990252,-1.15465271,0.8410688,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,8,False,False,False,-18.1990252,-1.71366971,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,9,False,False,False,-17.6990252,-1.15465271,5.44211664,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,10,False,False,False,-17.1990252,-0.595635719,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,11,False,False,False,-16.6990252,-1.15465271,0.8410688,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,12,False,False,False,-16.1990252,-1.71366971,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,13,False,False,False,-15.6990252,-1.15465271,5.44211664,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,14,False,False,False,-19.19903,0.60504,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,15,True,False,False,-21.19903,-1.79631,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,16,False,False,False,-15.19903,-1.79631,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
-----
Juntas de Revoluco
CH, NUM , CORPOI, CORPOJ, QUII,NETAI, QUIJ, NETAJ
#JR,1,1,2,-0.75,-0,-1,0
#JR,2,2,3,1,0,0.75,0
#JR,3,3,7,0.75,0,-0.75,0
#JR,4,7,8,-0.75,0,-1,0
#JR,5,1,3,0.75,0,-0.75,0
#JR,6,3,5,-0.75,0,-1,0
#JR,7,5,4,-1,0,-0.75,0
#JR,8,4,6,0.75,0,-0.75,0
#JR,9,5,6,1,0,0.75,0
#JR,10,5,7,1,0,0.75,0
#JR,11,7,9,0.75,0,-0.75,0
#JR,12,9,10,-0.75,0,-1,0
#JR,13,8,9,1,0,0.75,0
#JR,14,9,11,0.75,0,-0.75,0
#JR,15,11,12,-0.75,0,-1,0
#JR,16,10,11,1,0,0.75,0
#JR,17,11,13,0.75,0,-0.75,0
#JR,18,12,13,1,0,0.75,0
#JR,19,12,16,1,0,0,8.264029E-02
#JR,20,1,15,-0.75,0,0,8.264029E-02
#JR,21,4,14,0.75,0,0,-8.2641730E-02
-----
Juntas de Translao
CH , NUM, CORPOI, CORPOJ, QUIIP, NETAIP, QUIIQ, QUIIQ, QUIIP, NETAJP
#JT,1,15,16,-15.25,-1.929,-15.20,-1.929,-15.15,-1.929
-----
Juntas Simples
CH, NUM, CORPO, COORD(1=X;2=Y;3=PHI)
#JS,1,14,3
-----
Forças do Usuário
Tipo CONSTANTE
CH, TIPO, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII, NETAI, QUIJ, NETAJ, F
#FU,CTE,1,15,14,2,2.823178,0,0,5000
-----
CH, TIPO DE ANÁLISE, T.INICIAL, T.FINAL, DELTA T
#DA,Estatica,0,0,0

```

Figura 5.3 - Dados de configurao do modelo de treliça estática

Tabela 5.1 - Resultado dos valores de força nas juntas de revolução (em Newton) obtidos com o uso da FSSM para o modelo de treliça.

JR	CI	FxI	FyI	NI	CJ	FxJ	FyJ	NJ
1	1	2981,42	0,00	1666,67	2	-2981,42	0,00	0,00
2	2	2981,42	0,00	0,00	3	-2981,42	0,00	-1666,67
3	3	3726,78	-833,33	1666,67	7	-3726,78	833,33	-2500,00
4	7	4472,14	0,00	2500,00	8	-4472,14	0,00	0,00
5	1	-2981,42	-3333,33	0,00	3	2981,42	3333,33	-3333,33
6	3	-3726,78	-2500,00	3333,33	5	3726,78	2500,00	-2500,00
7	5	-2236,07	-2500,00	2500,00	4	2236,07	2500,00	0,00
8	4	-2236,07	2500,00	2500,00	6	2236,07	-2500,00	0,00
9	5	2236,07	-2500,00	-2500,00	6	-2236,07	2500,00	0,00
10	5	-3726,78	2500,00	2500,00	7	3726,78	-2500,00	-3333,33
11	7	-4472,14	1666,67	3333,33	9	4472,14	-1666,67	-1666,67
12	9	-2981,42	0,00	1666,67	10	2981,42	0,00	0,00
13	8	4472,14	0,00	0,00	9	-4472,14	0,00	-2500,00
14	9	2981,42	1666,67	2500,00	11	-2981,42	-1666,67	-833,33
15	11	1490,71	0,00	833,33	12	-1490,71	0,00	0,00
16	10	-2981,42	0,00	0,00	11	2981,42	0,00	-1666,67
17	11	-1490,71	1666,67	1666,67	13	1490,71	-1666,67	0,00
18	12	1490,71	-1666,67	-1666,67	13	-1490,71	1666,67	0,00
19	12	0,00	1666,67	1666,67	16	0,00	-1666,67	0,00
20	1	0,00	3333,33	-1666,67	15	0,00	-3333,33	0,00

em que,

JR - número da junta de revolução;

CI e CJ - número do corpo i e j ligado à junta de revolução, respectivamente;

FxI e FyI - componentes x e y da força exercida pela junta sobre o corpo i , respectivamente;

FxJ e FyJ - componentes x e y da força exercida pela junta sobre o corpo j , respectivamente;

NI e NJ - momento torçor exercido pela junta sobre os corpos i e j , respectivamente.

Na Tabela 5.1, as forças nas juntas de revolução são dadas de forma cartesiana e tem-se que encontrar a resultante para obter as forças de tração ou compressão de forma a comparar com os valores obtidos analiticamente.

Corpo 1 - Juntas 1 e 20

$$2981,42i+0,00j+0,00i+3333,33j=2981,42i+3333,33j \Rightarrow F_1 = 4472,14 \text{ (compress\~ao)} \quad (5.17)$$

Corpo 2 - Junta 1

$$-2981,42i-0,00j \Rightarrow F_2 = 2981,42 \text{ (tra\~cao)} \quad (5.18)$$

Corpo 3 - Juntas 2 e 3

$$-2981,42i-0,00j+3726,78i-833,33j=745,36i-833,33j \Rightarrow F_3 = 1118,03 \text{ (tra\~cao)} \quad (5.19)$$

Corpo 4 - Juntas 8

$$-2236,07i+2500,00j+0i-5000,00j = -2236,07i-2500,00j \Rightarrow F_4 = 3354,10 \text{ (compress\~ao)} \quad (5.20)$$

Corpo 5 - Juntas 6 e 7

$$3726,78i+2500,00j - 2236,07i-2500,00j = 1490,71i+0,00j \Rightarrow F_5 = 1490,71 \text{ (compress\~ao)} \quad (5.21)$$

Corpo 6 - Junta 8

$$2236,07i - 2500,00j \Rightarrow F_6 = 3354,10 \text{ (compress\~ao)} \quad (5.22)$$

Corpo 7 - Juntas 3 e 4

$$-3726,78i+833,33j+4472,14i+0,00j = 745,36i+833,33j \Rightarrow F_7 = 1118,03 \text{ (compress\~ao)} \quad (5.23)$$

Corpo 8 - Juntas 4

$$-4472,14i-0,00j \Rightarrow F_8 = 4472,14 \text{ (tra\~cao)} \quad (5.24)$$

Corpo 9 - juntas 11 e 12

$$4472,14i - 1666,67j - 2981,42i - 0,00j \Rightarrow F_9 = 2236,07 \text{ (tra\~cao)} \quad (5.25)$$

Corpo 10 - juntas 12

$$2981,42i + 0,00j \Rightarrow F_{10} = 2981,42 \text{ (compress\~ao)} \quad (5.26)$$

Corpo 11 - junta 16 e 17

$$-2981,42i - 0,00j - 1490,71i + 1666,67j = F_{11} = 2236,07 \text{ (tra\~cao)} \quad (5.27)$$

Corpo 12 - junta 18 e 19

$$1490,71i - 1666,67j + 0,00i + 1666,67j \Rightarrow F_{12} = 1490,71 \text{ (tra\~cao)} \quad (5.28)$$

Corpo 13 - junta 17

$$1490,71i - 1666,67j \Rightarrow F_{13} = 2236,07 \text{ (compress\~ao)} \quad (5.29)$$

Corpo 15 - junta 20

$$0,00i \Rightarrow F_{x1} = 0,00 \quad (5.30)$$

$$-3333,33j \Rightarrow F_{y1} = 3333,33 \quad (5.31)$$

Corpo 17 - junta 19

$$-1666,67j \Rightarrow F_{y2} = 1666,67 \quad (5.32)$$

Os resultados da simulação na FSSM e os valores obtidos de forma analítica estão dispostos na Tabela 5.2 para comparação dos resultados. O tempo de processamento⁶ computacional foi menor que um segundo.

Tabela 5.2 - Tabela comparativa dos resultados analíticos e simulados.

Forças	Analítico (<i>N</i>)	Simulado (<i>N</i>)	Diferença (%)
F_1	-4472,11	-4472,14	0,0007
F_2	2981,42	2981,42	0,0000
F_3	1118,03	1118,03	0,0000
F_4	-3354,08	-3354,10	0,0006
F_5	-1490,71	-1490,71	0,0000
F_6	-3354,08	-3354,10	0,0006
F_7	-1118,03	-1118,03	0,0000
F_8	4472,13	4472,14	0,0002
F_9	-2236,06	-2236,07	0,0004
F_{10}	-2981,42	-2981,42	0,0000
F_{11}	2236,06	2236,07	0,0004
F_{12}	1490,71	1490,71	0,0000
F_{13}	-2236,06	-2236,07	0,0004
F_{x1}	0,00	0,00	---
F_{y1}	3333,33	3333,33	0,0000
F_{y2}	1666,67	1666,67	0,0000

5.2.3 Conclusão

A diferença percentual máxima encontrada, comparando os resultados analíticos com os simulados, foi de 0,0007%, mostrando que o módulo de análise estática da FSSM apresentou resultado praticamente igual ao da solução analítica para a treliça analisada. O tempo de processamento foi menor que um segundo, mostrando que a FSSM consome muito pouco recurso de processamento neste tipo de análise. Um baixo tempo de processamento indica que não é necessário um microcomputador veloz, de última geração, para executar a FSSM.

5.3 Teste 2: Mecanismo tipo quatro barras

⁶ Tempo gasto para executar os cálculos na fase de processamento. Foi utilizado um microcomputador com Windows XP, processador Intel centrino 1.4MHz, 512 Mb RAM, HD de 40 Gb.

Para validar a geração das equações que simulam as juntas de revolução e validar a análise cinemática da FSSM, um mecanismo tipo quatro barras foi modelado conforme esquematizado na Figura 5.4.

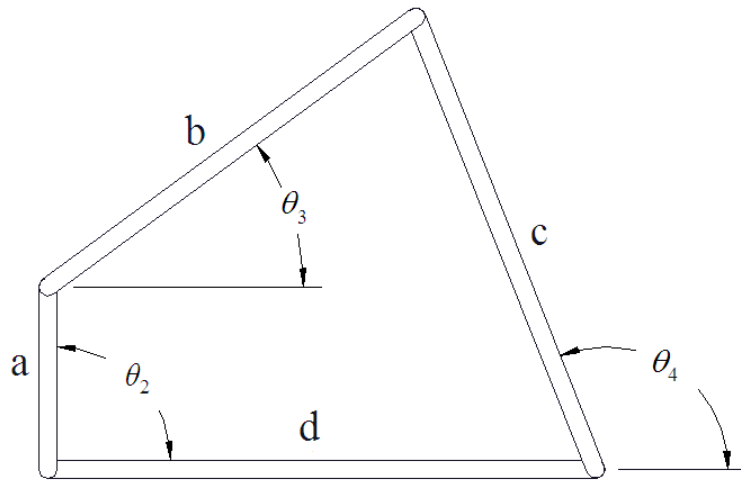


Figura 5.4 - Mecanismo tipo quatro-barras

Foi definido na Figura 5.4 que $a=3m$; $b=7,5m$; $c=8m$; e $d=9m$.

A barra a gira no sentido anti-horário, com aceleração angular $\ddot{\theta}_2 = 0$, com velocidade angular $\dot{\theta}_2 = 2\pi \frac{rad}{s}$, a partir do ângulo inicial $\theta_2^0 = \frac{\pi}{2} rad$ em $t=0$.

5.3.1 Solução analítica

As equações algébricas de restrição são dadas por:

$$a \cos \theta_2 + b \cos \theta_3 - c \cos \theta_4 - d = 0 \tag{5.33}$$

$$a \sin \theta_2 + b \sin \theta_3 - c \sin \theta_4 = 0$$

A relação entre θ_2 e o tempo é dada por:

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} + 2\pi t \tag{5.34}$$

As Equações 5.33 são do tipo não lineares e a solução analítica foi descrita por Norton (1992), conforme segue:

$$\theta_{4,2} = 2 \arctan \left(\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right) \quad (5.35)$$

em que,

$$\begin{aligned} A &= \cos \theta_2 - K_1 - K_2 \cos \theta_2 + K_3 \\ B &= -2 \operatorname{sen} \theta_2 \\ C &= K_1 - (K_2 + 1) \cos \theta_2 + K_3 \end{aligned}$$

As constantes K_1 , K_2 e K_3 são definidas em termos dos comprimentos das barras.

$$K_1 = \frac{d}{a}, \quad K_2 = \frac{d}{c} \quad \text{e} \quad K_3 = \frac{a^2 - b^2 + c^2 + d^2}{2a.c} \quad (5.36)$$

A Equação 5.35 possui duas soluções. Estas duas soluções, como em uma equação quadrática, podem ser de três tipos: real e igual, real e não igual e complexa. Se o valor resultante da equação $B^2 - 4AC$ for zero, a solução é do tipo real e igual indicando que existe somente um valor θ_4 capaz de satisfazer as restrições cinemáticas que mantêm as quatro barras unidas no ângulo θ_2 . Se o valor resultante da equação $B^2 - 4AC$ for positivo e diferente de zero, a solução é do tipo real e não igual e indica que existem dois valores de θ_4 que satisfazem as restrições cinemáticas. Se o valor resultante da equação $B^2 - 4AC$ for negativo, a solução é do tipo complexa e indica que os comprimentos escolhidos para as barras não são capazes de se manterem unidos no ângulo θ_2 .

Analogamente,

$$\theta_{3,2} = 2 \arctan \left(\frac{-E \pm \sqrt{E^2 - 4D.F}}{2D} \right) \quad (5.37)$$

em que,

$$\begin{aligned} D &= \cos \theta_2 - K_1 + K_4 \cos \theta_2 + K_5 \\ E &= -2 \operatorname{sen} \theta_2 \\ F &= K_1 - (K_4 + 1) \cos \theta_2 + K_5 \end{aligned} \quad (5.38)$$

As constantes, K_4 e K_5 são definidas em termos dos comprimentos das barras.

$$K_4 = \frac{d}{b} \quad \text{e} \quad K_5 = \frac{c^2 - d^2 - a^2 - b^2}{2ab} \quad (5.39)$$

Norton (1992) também descreve as equações para solução analítica das velocidades e acelerações angulares conforme segue:

$$\dot{\theta}_3 = \frac{a \dot{\theta}_2 \operatorname{sen}(\theta_4 - \theta_2)}{b \operatorname{sen}(\theta_3 - \theta_4)} \quad (5.40)$$

$$\dot{\theta}_4 = \frac{a \dot{\theta}_2 \operatorname{sen}(\theta_2 - \theta_3)}{c \operatorname{sen}(\theta_4 - \theta_3)} \quad (5.41)$$

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{C.D - A.F}{A.E - B.D} \quad (5.42)$$

$$\ddot{\theta}_4 = \frac{C.E - B.F}{A.E - B.D} \quad (5.43)$$

em que,

$$A = c \operatorname{sen} \theta_4$$

$$B = b \operatorname{sen} \theta_3$$

$$C = a \ddot{\theta}_2 \operatorname{sen} \theta_2 + a \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 + b \dot{\theta}_3^2 \cos \theta_3 - c \dot{\theta}_4^2 \cos \theta_4$$

$$D = c \cos \theta_4$$

$$E = b \cos \theta_3$$

$$F = a \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - a \dot{\theta}_2^2 \operatorname{sen} \theta_2 - b \dot{\theta}_3^2 \operatorname{sen} \theta_3 + c \dot{\theta}_4^2 \operatorname{sen} \theta_4$$

A partir destas equações, calculam-se os ângulos, velocidades e acelerações angulares em cada instante de tempo, nas barras três e quatro.

5.3.2 Simulação com a FSSM

Para modelar o mecanismo tipo quatro barras esquematizado na Figura 5.4, os seguintes recursos foram utilizados:

- quatro corpos (barras), sendo o corpo *a* denominado como sendo terra (fixo);
- quatro juntas de revolução;
- uma junta motriz de rotação no corpo 1, $\dot{\theta}_2 = 2\pi \frac{rad}{s}$.

A Figura 5.5 mostra os dados de entrada para configuração da FSSM.

```

Corpos
CH , NUM, FIXO, PNEU, SOLO , X, Y, PHI, DXI, DYI, DPHI, MASSA, MOMENTO, FX, FY, TORQUE
#CP,1,True,False,False,5.56012,-0.64006,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,2,False,False,False,1.0601144,0.8599399,1.5708,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,3,False,False,False,4.0840702,4.5776383,0.6327767,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,4,False,False,False,8.5840757,3.0776383,5.0903348,0,0,0,0,0,0,0,0,0
-----
Juntas de Revolucao
CH, NUM , CORPOI, CORPOJ, QUII,NETAI, QUIJ, NETAJ
#JR,1,1,2,-4.5,0,-1.5,0
#JR,2,2,3,1.5,0,-3.75,0
#JR,3,3,4,3.75,0,0
#JR,4,4,1,4,0,4.5,0
-----
Juntas Motrizes
CH , NUM, CORPO, NUM.COORD.(1=X;2=Y;3=PHI),POS,VEL,ACEL
#JM,1,2,3,1.5708,6.28319,0
-----
CH, TIPO DE ANÁLISE, T.INICIAL, T.FINAL, DELTA T
#DA,Cinematica,0,1,0.025

```

Figura 5.5 - Dados para configuração do mecanismo de quatro barras na FSSM.

O tempo de processamento para simulação de um giro completo do mecanismo foi de 1,1s. Os resultados da simulação para as barras *b* e *c* são apresentados nas Tabelas 5.4 e 5.5, respectivamente, e representados graficamente nas Figuras 5.6 e 5.7.

Tabela 5.3 - Comparação das soluções analíticas e simuladas da barra *b* do mecanismo tipo quatro-barras.

<i>t</i>	Analítico			Simulado			Diferença		
	$\theta_3(rad)$	$\dot{\theta}_3\left(\frac{rad}{s}\right)$	$\ddot{\theta}_3\left(\frac{rad}{s^2}\right)$	$\theta_3(rad)$	$\dot{\theta}_3\left(\frac{rad}{s}\right)$	$\ddot{\theta}_3\left(\frac{rad}{s^2}\right)$	$\theta_3(\%)$	$\dot{\theta}_3(\%)$	$\ddot{\theta}_3(\%)$
0,000	0,63278	-0,95846	11,15695	0,63278	-0,95838	11,15675	0,0000	-0,0083	-0,0018
0,025	0,61224	-0,68783	10,52975	0,61223	-0,68775	10,52962	-0,0016	-0,0116	-0,0012
0,050	0,59829	-0,43015	10,12023	0,59828	-0,43007	10,12015	-0,0017	-0,0186	-0,0008
0,075	0,59067	-0,18013	9,91273	0,59067	-0,18006	9,91271	0,0000	-0,0389	-0,0002
0,100	0,58925	0,06689	9,87282	0,58925	0,06696	9,87284	0,0000	0,1045	0,0002
0,125	0,59402	0,31449	9,95036	0,59402	0,31457	9,95041	0,0000	0,0254	0,0005
0,150	0,60500	0,56485	10,08051	0,60501	0,56492	10,08057	0,0017	0,0124	0,0006
0,175	0,62229	0,81832	10,18596	0,62229	0,81839	10,18599	0,0000	0,0086	0,0003
0,200	0,64593	1,07324	10,18289	0,64594	1,07332	10,18288	0,0015	0,0075	-0,0001
0,225	0,67593	1,32589	9,99165	0,67594	1,32596	9,99157	0,0015	0,0053	-0,0008
0,250	0,71216	1,57073	9,54978	0,71217	1,57080	9,54962	0,0014	0,0045	-0,0017
0,275	0,75434	1,80099	8,82309	0,75436	1,80106	8,82284	0,0027	0,0039	-0,0028
0,300	0,80203	2,00948	7,80947	0,80204	2,00954	7,80913	0,0012	0,0030	-0,0044
0,325	0,85458	2,18928	6,53334	0,85460	2,18933	6,53292	0,0023	0,0023	-0,0064
0,350	0,91120	2,33428	5,03294	0,91122	2,33432	5,03246	0,0022	0,0017	-0,0095
0,375	0,97096	2,43937	3,34543	0,97098	2,43939	3,34489	0,0021	0,0008	-0,0161
0,400	1,03280	2,50020	1,49474	1,03282	2,50021	1,49415	0,0019	0,0004	-0,0395
0,425	1,09557	2,51278	-0,51559	1,09559	2,51278	-0,51623	0,0018	0,0000	0,1240
0,450	1,15800	2,47294	-2,70456	1,15802	2,47292	-2,70527	0,0017	-0,0008	0,0262
0,475	1,21874	2,37574	-5,11182	1,21876	2,37570	-5,11261	0,0016	-0,0017	0,0155
0,500	1,27626	2,21507	-7,79207	1,27628	2,21501	-7,79297	0,0016	-0,0027	0,0115
0,525	1,32890	1,98336	-10,80427	1,32891	1,98328	-10,80528	0,0008	-0,0040	0,0093
0,550	1,37476	1,67172	-14,19107	1,37478	1,67161	-14,19221	0,0015	-0,0066	0,0080
0,575	1,41174	1,27075	-17,94107	1,41175	1,27061	-17,94231	0,0007	-0,0110	0,0069
0,600	1,43749	0,77267	-21,92389	1,43750	0,77250	-21,92518	0,0007	-0,0220	0,0059
0,625	1,44954	0,17540	-25,79425	1,44955	0,17520	-25,79543	0,0007	-0,1142	0,0046
0,650	1,44552	-0,51068	-28,88817	1,44551	-0,51090	-28,88897	-0,0007	0,0431	0,0028
0,675	1,42352	-1,25420	-30,19944	1,42351	-1,25444	-30,19949	-0,0007	0,0191	0,0002
0,700	1,38281	-1,99628	-28,60123	1,38279	-1,99651	-28,60021	-0,0014	0,0115	-0,0036
0,725	1,32441	-2,65412	-23,42692	1,32439	-2,65430	-23,42477	-0,0015	0,0068	-0,0092
0,750	1,25153	-3,14148	-15,16207	1,25151	-3,14160	-15,15914	-0,0016	0,0038	-0,0193
0,775	1,16925	-3,40099	-5,56614	1,16922	-3,40104	-5,56312	-0,0026	0,0015	-0,0543
0,800	1,08344	-3,42725	3,16095	1,08341	-3,42723	3,16341	-0,0028	-0,0006	0,0778
0,825	0,99948	-3,26305	9,51845	0,99945	-3,26297	9,52006	-0,0030	-0,0025	0,0169
0,850	0,92133	-2,97409	13,17312	0,92130	-2,97399	13,17392	-0,0033	-0,0034	0,0061
0,875	0,85129	-2,62279	14,62850	0,85127	-2,62267	14,62872	-0,0023	-0,0046	0,0015
0,900	0,79032	-2,25449	14,66053	0,79031	-2,25438	14,66041	-0,0013	-0,0049	-0,0008
0,925	0,73848	-1,89588	13,95063	0,73847	-1,89577	13,95036	-0,0014	-0,0058	-0,0019
0,950	0,69535	-1,55918	12,96815	0,69533	-1,55907	12,96784	-0,0029	-0,0071	-0,0024
0,975	0,66031	-1,24740	11,98961	0,66030	-1,24730	11,98933	-0,0015	-0,0080	-0,0023
1,000	0,63278	-0,95846	11,15695	0,63278	-0,95837	11,15672	0,0000	-0,0094	-0,0021

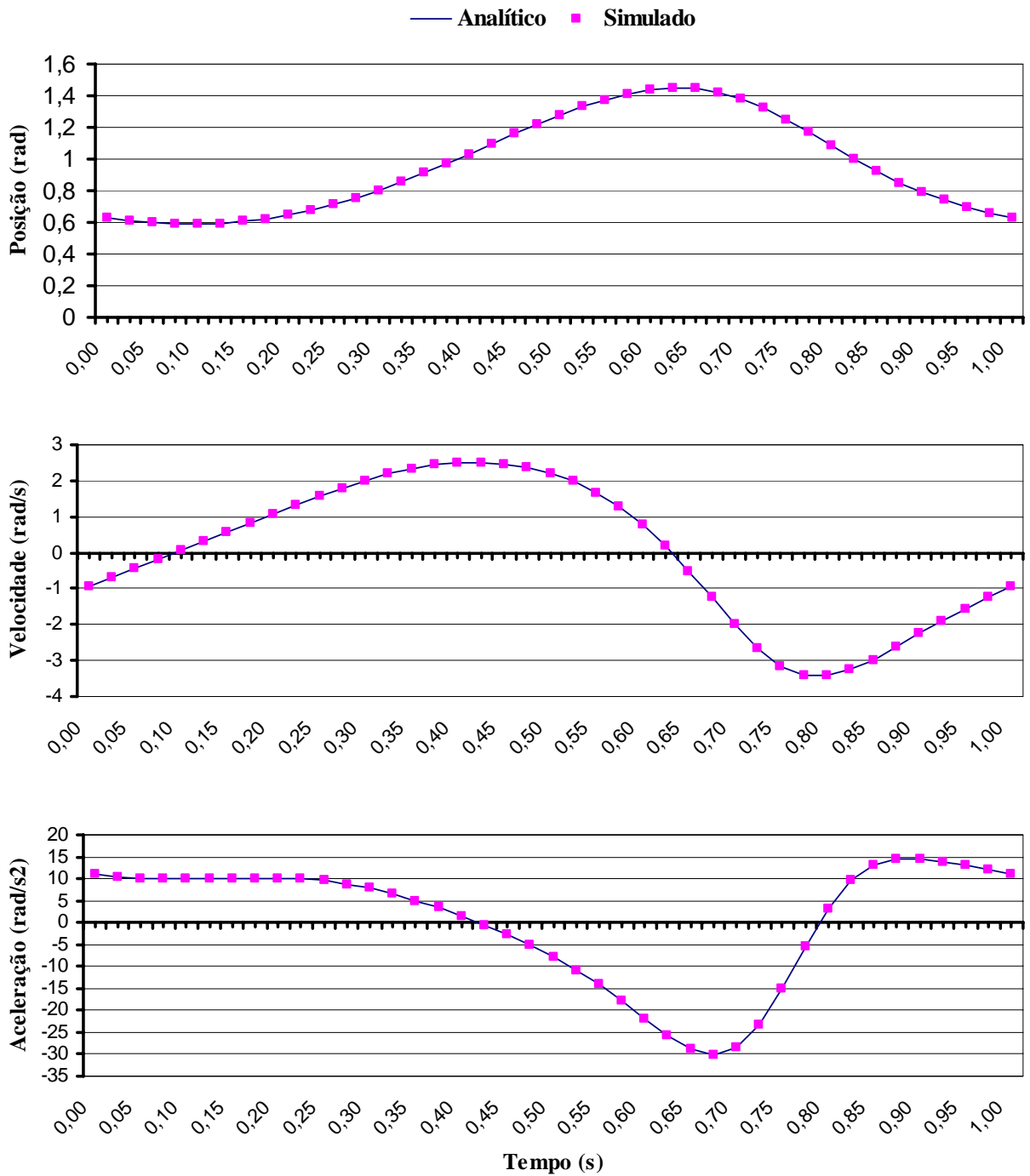


Figura 5.6 – Gráfico comparativo das soluções analíticas e simuladas da posição, velocidade e aceleração angular da barra *b* do mecanismo tipo quatro-barras.

Tabela 5.4 - Comparação das soluções analíticas e simuladas da barra c do mecanismo tipo quatro-barras

t	Analítico			Simulado			Diferença		
	$\theta_4 (rad)$	$\dot{\theta}_4 \left(\frac{rad}{s} \right)$	$\ddot{\theta}_4 \left(\frac{rad}{s^2} \right)$	$\theta_4 (rad)$	$\dot{\theta}_4 \left(\frac{rad}{s} \right)$	$\ddot{\theta}_4 \left(\frac{rad}{s^2} \right)$	$\theta_4 (\%)$	$\dot{\theta}_4 (\%)$	$\ddot{\theta}_4 (\%)$
0,000	1,94873	1,96335	8,93376	1,94874	1,96342	8,93286	0,0005	0,0036	-0,0101
0,025	2,00031	2,15209	6,21411	2,00033	2,15214	6,21330	0,0010	0,0023	-0,0130
0,050	2,05579	2,27629	3,76244	2,05581	2,27632	3,76170	0,0010	0,0013	-0,0197
0,075	2,11364	2,34208	1,53449	2,11366	2,34209	1,53381	0,0009	0,0004	-0,0443
0,100	2,17245	2,35458	-0,50458	2,17247	2,35458	-0,50521	0,0009	0,0000	0,1247
0,125	2,23096	2,31827	-2,37256	2,23098	2,31825	-2,37314	0,0009	-0,0009	0,0244
0,150	2,28800	2,23739	-4,06717	2,28801	2,23736	-4,06769	0,0004	-0,0013	0,0128
0,175	2,34250	2,11653	-5,56730	2,34251	2,11648	-5,56776	0,0004	-0,0024	0,0083
0,200	2,39353	1,96093	-6,83942	2,39355	1,96087	-6,83980	0,0008	-0,0031	0,0056
0,225	2,44031	1,77675	-7,84892	2,44032	1,77668	-7,84921	0,0004	-0,0039	0,0037
0,250	2,48219	1,57086	-8,57402	2,48220	1,57079	-8,57422	0,0004	-0,0045	0,0023
0,275	2,51873	1,35040	-9,01781	2,51874	1,35033	-9,01792	0,0004	-0,0052	0,0012
0,300	2,54964	1,12204	-9,21347	2,54965	1,12197	-9,21351	0,0004	-0,0062	0,0004
0,325	2,57481	0,89130	-9,22077	2,57482	0,89122	-9,22076	0,0004	-0,0090	-0,0001
0,350	2,59422	0,66194	-9,11577	2,59423	0,66187	-9,11574	0,0004	-0,0106	-0,0003
0,375	2,60793	0,43578	-8,97862	2,60794	0,43570	-8,97859	0,0004	-0,0184	-0,0003
0,400	2,61603	0,21266	-8,88382	2,61604	0,21258	-8,88382	0,0004	-0,0376	0,0000
0,425	2,61858	-0,00930	-8,89501	2,61858	-0,00937	-8,89505	0,0000	0,7471	0,0004
0,450	2,61555	-0,23341	-9,06354	2,61555	-0,23348	-9,06364	0,0000	0,0300	0,0011
0,475	2,60685	-0,46412	-9,42867	2,60685	-0,46420	-9,42884	0,0000	0,0172	0,0018
0,500	2,59225	-0,70670	-10,01652	2,59224	-0,70679	-10,01677	-0,0004	0,0127	0,0025
0,525	2,57137	-0,96687	-10,83422	2,57136	-0,96696	-10,83454	-0,0004	0,0093	0,0030
0,550	2,54371	-1,25012	-11,85506	2,54370	-1,25022	-11,85545	-0,0004	0,0080	0,0033
0,575	2,50864	-1,56060	-12,98925	2,50863	-1,56071	-12,98965	-0,0004	0,0070	0,0031
0,600	2,46545	-1,89890	-14,03526	2,46543	-1,89902	-14,03558	-0,0008	0,0063	0,0023
0,625	2,41351	-2,25854	-14,61530	2,41349	-2,25867	-14,61538	-0,0008	0,0058	0,0005
0,650	2,35249	-2,62080	-14,12449	2,35247	-2,62092	-14,12408	-0,0009	0,0046	-0,0029
0,675	2,28275	-2,94928	-11,77658	2,28272	-2,94938	-11,77540	-0,0013	0,0034	-0,0100
0,700	2,20577	-3,18817	-6,87421	2,20575	-3,18823	-6,87209	-0,0009	0,0019	-0,0308
0,725	2,12464	-3,27074	0,65832	2,12462	-3,27074	0,66125	-0,0009	0,0000	0,4431
0,750	2,04401	-3,14166	9,78585	2,04399	-3,14158	9,78904	-0,0010	-0,0025	0,0326
0,775	1,96947	-2,78473	18,52010	1,96945	-2,78457	18,52280	-0,0010	-0,0057	0,0146
0,800	1,90639	-2,23568	24,88970	1,90637	-2,23547	24,89137	-0,0010	-0,0094	0,0067
0,825	1,85868	-1,56824	27,94341	1,85867	-1,56800	27,94394	-0,0005	-0,0153	0,0019
0,850	1,82827	-0,86418	27,93897	1,82827	-0,86394	27,93858	0,0000	-0,0278	-0,0014
0,875	1,81522	-0,18900	25,80949	1,81522	-0,18878	25,80855	0,0000	-0,1165	-0,0036
0,900	1,81824	0,41696	22,55100	1,81825	0,41716	22,54980	0,0005	0,0479	-0,0053
0,925	1,83534	0,93540	18,90408	1,83534	0,93556	18,90284	0,0000	0,0171	-0,0066
0,950	1,86425	1,36263	15,30562	1,86426	1,36277	15,30443	0,0005	0,0103	-0,0078
0,975	1,90274	1,70283	11,96100	1,90276	1,70294	11,95991	0,0011	0,0065	-0,0091
1,000	1,94873	1,96335	8,93376	1,94874	1,96343	8,93277	0,0005	0,0041	-0,0111

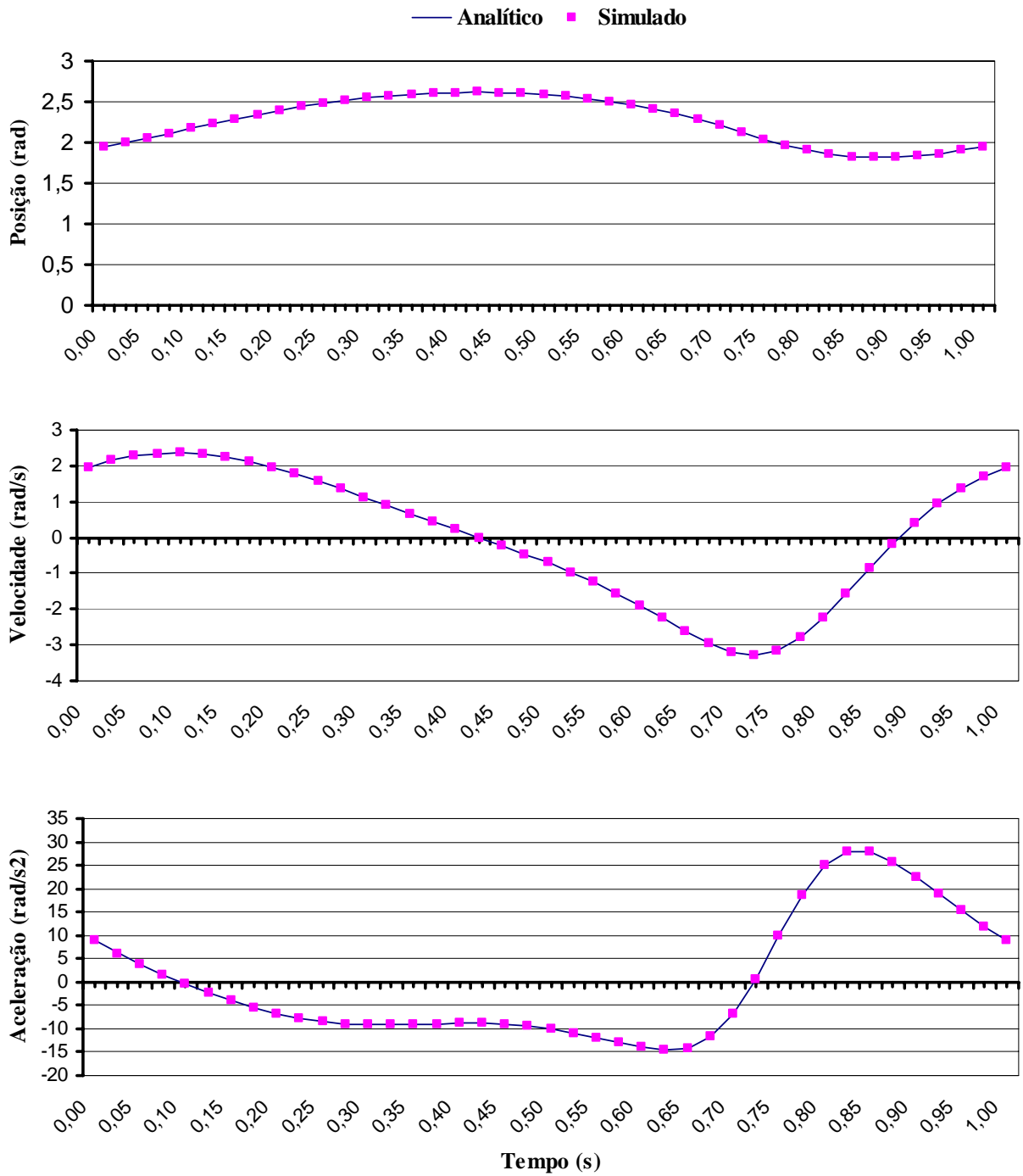


Figura 5.7 – Gráfico comparativo das soluções analíticas e simuladas da posição, velocidade e aceleração angular da barra c do mecanismo tipo quatro-barras.

5.3.3 Conclusão

As diferenças percentuais máximas encontradas, comparando os resultados analíticos com os simulados, foram de: -0,0033% no ângulo θ_3 , -0,1142% na velocidade angular $\dot{\theta}_3$,

0,1240% na aceleração angular $\ddot{\theta}_3$; -0,0013% no ângulo θ_4 ; 0,7471% na velocidade angular $\dot{\theta}_4$; e 0,4431% na aceleração angular $\ddot{\theta}_4$; mostrando que, para fins de projeto de máquinas agrícolas, a FSSM modelou adequadamente o mecanismo tipo quatro-barras, que envolve o uso de restrições relativas às juntas de revolução em análise do tipo cinemática. O tempo de processamento para simular um giro completo do mecanismo foi de 1,1s, o que era esperado devido à simplicidade do sistema.

5.4 Teste 3: Sistema de transmissão por engrenagens planetárias

Este exemplo visa testar a análise cinemática de sistemas de transmissão de movimento por pares de engrenagens. Trata-se de um sistema de engrenagens planetárias composto por 6 corpos, conforme esquematizado na Figura 5.8.

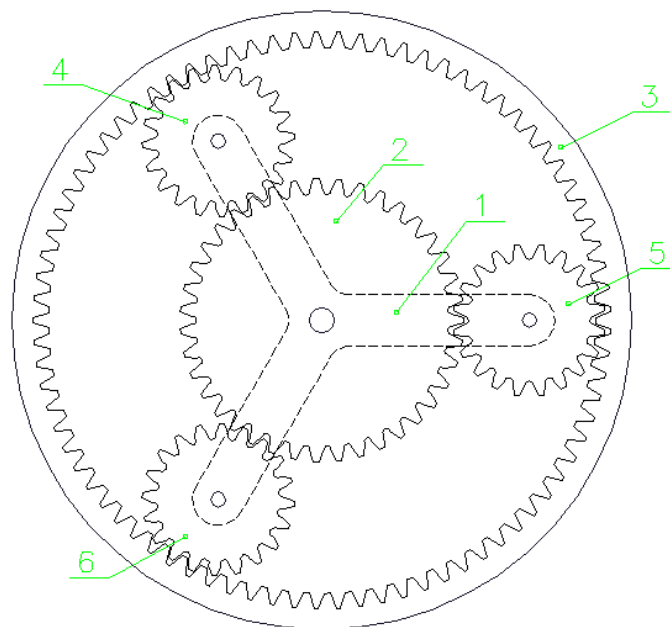


Figura 5.8 - Sistema de transmissão por engrenagens planetárias

Na Figura 5.8 foi usada a seguinte terminologia:

- Corpo 1 - braço;
- Corpo 2 - engrenagem solar com 39 dentes;
- Corpo 3 - engrenagem anel com 81 dentes;
- Corpos 4, 5 e 6 - engrenagens planetárias com 19 dentes.

Neste exemplo, a engrenagem anel é fixa e o braço (corpo 1) e gira com velocidade de $1 \frac{rad}{s}$.

5.4.1 Solução analítica

A solução analítica descrita abaixo foi extraída de Norton (2004).

$$\frac{N_s}{N_b} = \frac{n_s + n_a}{n_s} \quad (5.44)$$

em que,

N_s - velocidade angular da engrenagem solar, $\frac{rad}{s}$;

N_b - velocidade angular do braço, $\frac{rad}{s}$;

n_s - número de dentes da engrenagem solar;

n_r - número de dentes da engrenagem anel.

Substituindo os valores, tem-se:

$$\frac{N_s}{1} = \frac{39 + 81}{39} \quad N_s = 3,0769 \frac{rad}{s} \quad (5.45)$$

5.4.2 Simulação com a FSSM

Para modelar o sistema esquematizado na Figura 5.8, foram definidos os seguintes componentes:

- 6 corpos, sendo a engrenagem anel configurada como corpo terra;
- 5 juntas de revolução;
- 4 pares de engrenagens;
- 1 junta motriz do tipo rotação no Corpo 1(braço), e;
- 1 ponto de interesse preso no corpo 4.

Na Figura 5.9 o arquivo de configuração para simulação do sistema de engrenagens planetárias é apresentado.

```

Corpos
CH, NUM, FIXO, PNEU, SOLO, X, Y, PHI, DXI, DYI, DPHI, MASSA, MOMENTO, FX, FY, TORQUE
#CP,1,False,False,False,369.65858,233.33858,6.37727525805266E-26,0,0,0,0,0, 0 ,0
#CP,2,False,False,False,369.65858,233.33858,4.24195185924633E-26,0,0,0,0,0, 0 ,0
#CP,3,True,False,False,369.65858,233.33858,0,0,0,0,0,0, 0 ,0
#CP,4,False,False,False,309.749239744604,337.104609852544,-6.28140342017927E-25,0,0,0,0,0, 0 ,0
#CP,5,False,False,False,489.47726,233.33859,-6.28140342017927E-25,0,0,0,0,0, 0 ,0
#CP,6,False,False,False,309.749240255396,129.57255985255,-6.28140342017927E-25,0,0,0,0,0, 0 ,0
-----
Juntas de Revolucao
CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII,NETAI, QUIJ, NETAJ
#JR,1,2,1,7.45705108329275E-07,4.8220937003407E-06,7.45705108329275E-07,4.8220937003407E-06
#JR,2,4,1,-2.29032081297361E-07,-2.17240335596516E-06,-59.9093405269936,103.766027655565
#JR,3,5,1,3.20541369516913E-06,-5.1780673376093E-06,119.818683205414,4.82193266293507E-06
#JR,4,6,1,-7.39793052573199E-07,2.11103449002288E-06,-59.9093404418315,-103.766018060991
#JR,5,3,1,7.45705108329275E-07,4.8220937003407E-06,7.45705108329275E-07,4.8220937003407E-06
-----
Pares de Engrenagens
CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, JRI, ZI, JRJ, ZJ, TIPO
#EN,1,4,2,2,20,1,39,1
#EN,2,5,2,3,20,1,39,1
#EN,3,6,2,4,20,1,39,1
#EN,4,3,4,5,81,2,20,-1
-----
Juntas Motrizes
CH, NUM, CORPO, TIPO (1=X; 2=Y; 3=PHI), POS, VEL,ACEL
#JM,1,1,3,0,1,0
-----
Pontos de Interesse
CH, NUM, CORPO, X, Y
#PI,1,4,-13.1839592935316,23.6804075343035
-----
CH, TIPO DE ANÁLISE, T.INICIAL, T.FINAL, DELTA T
#DA,Cinematica,0,5,0.005

```

Figura 5.9 - Arquivo de configuração para simulação do sistema de engrenagens planetárias.

A FSSM apresentou a velocidade angular da engrenagem solar como sendo:

$$N_s = 3,0769 \frac{rad}{s}, \text{ Erro : } 0,0000\% \quad (5.46)$$

O tempo de processamento⁷ para simulação de um giro completo da engrenagem solar foi em torno de 6,56s. Nas Figuras 5.10 e 5.11 são apresentadas algumas imagens extraídas da

⁷ Tempo gasto para executar os cálculos na fase de processamento. Foi utilizado um microcomputador com Windows XP, processador Intel centrino 1.4MHz, 512 Mb RAM, HD de 40 Gb.

simulação. O ponto de interesse (PI) preso na engrenagem planetária quatro facilita a observação da trajetória deste corpo ao longo da simulação.

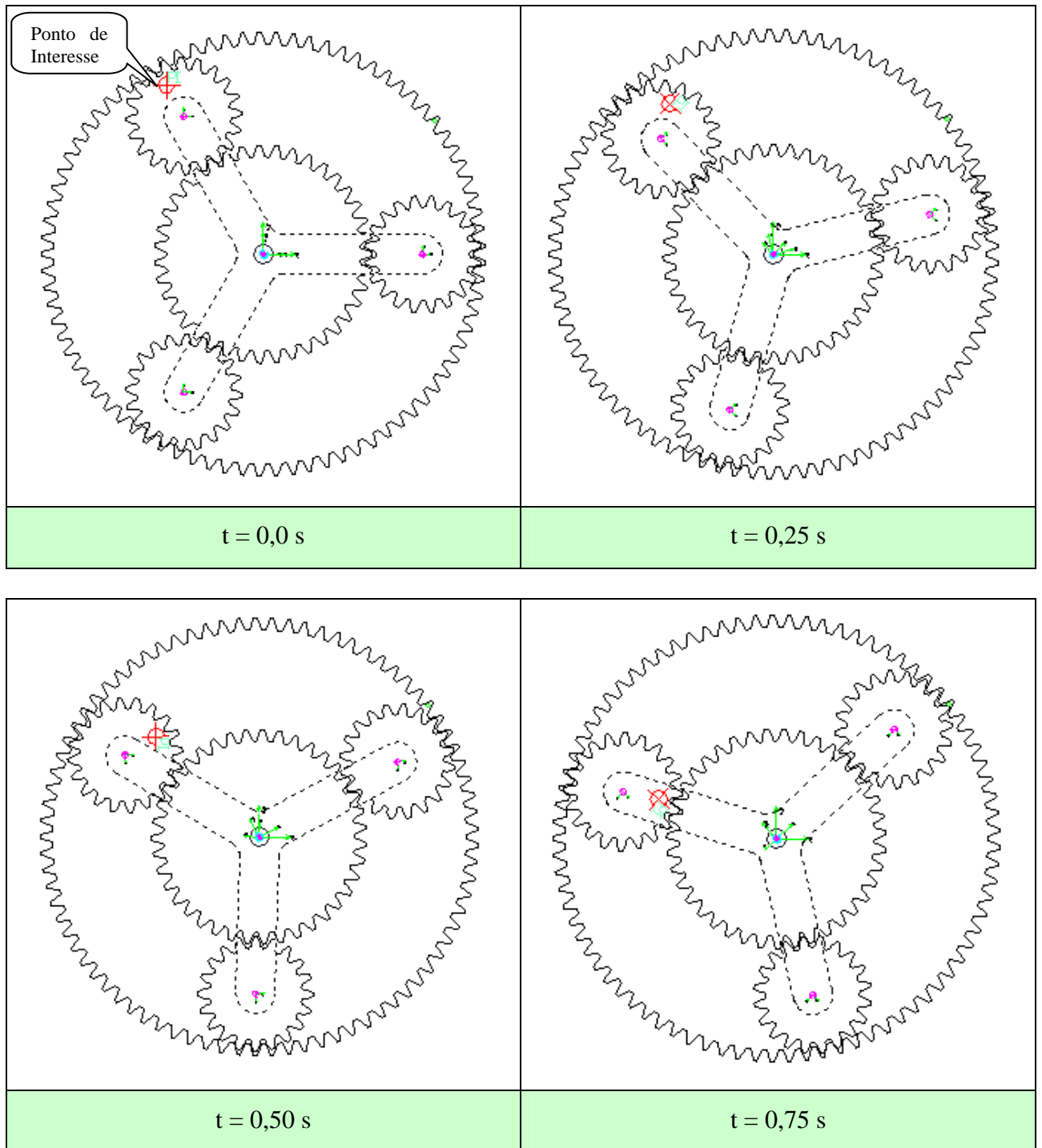


Figura 5.10- Imagens da simulação de engrenagens planetárias na FSSM, intervalo de 0,00 a 0,75s.

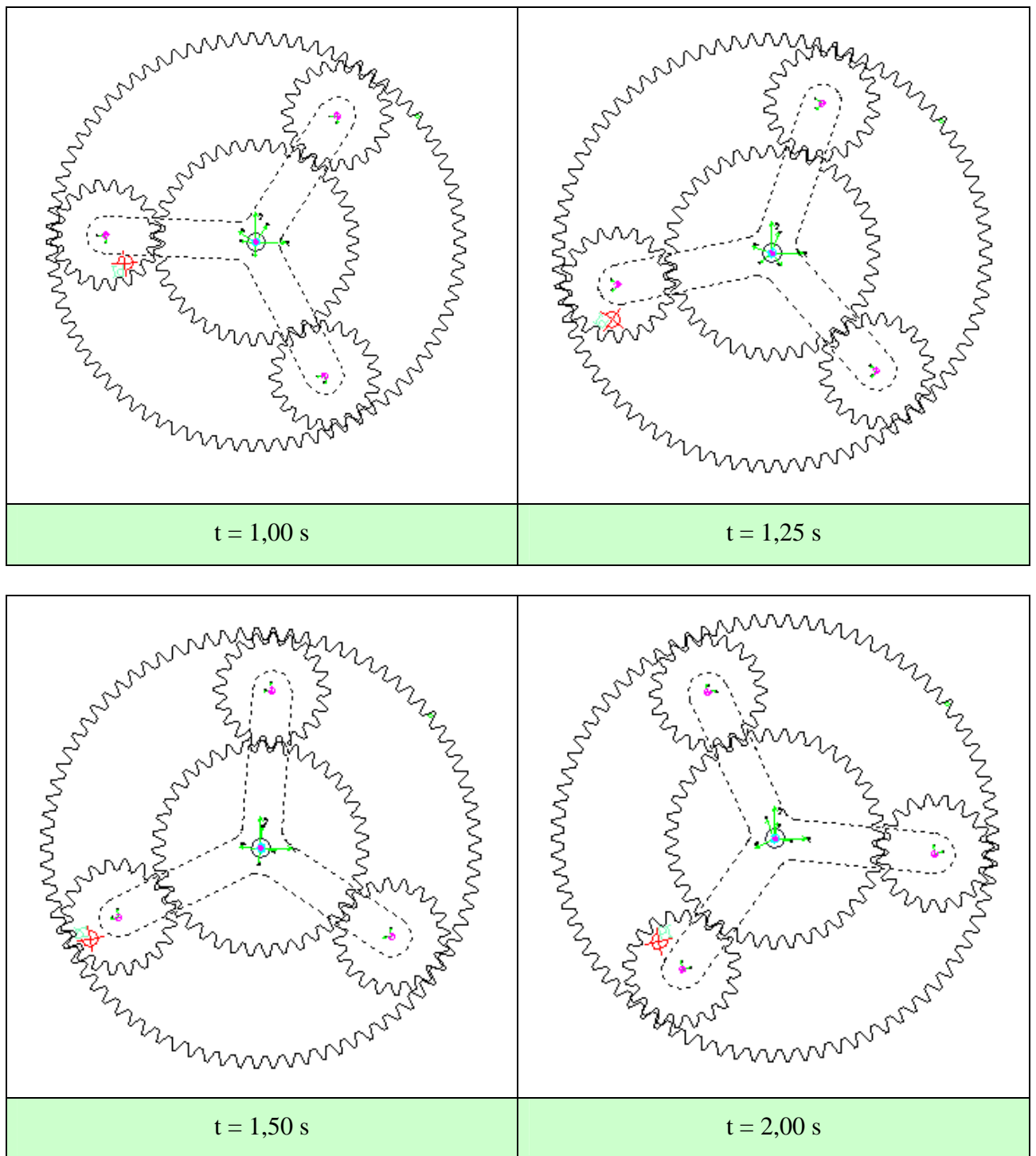


Figura 5.11 - Imagens da simulação de engrenagens planetárias na FSSM, intervalo de 1.00 a 2.00s.

Na Figura 5.12 é mostrada a trajetória do ponto de interesse (PI) preso à engrenagem planetária 4.

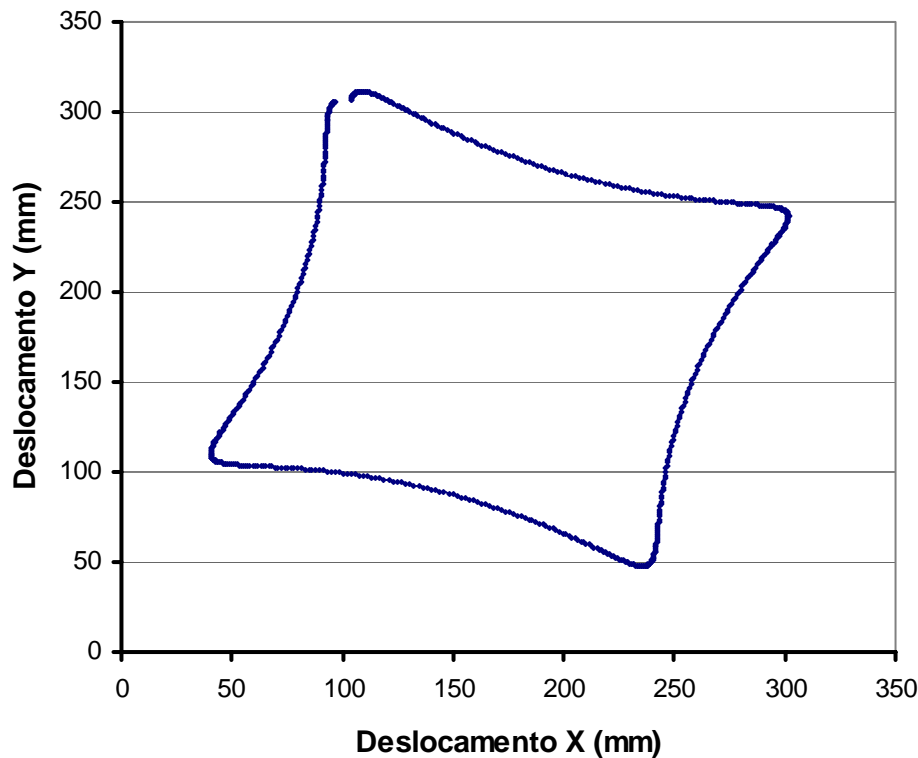


Figura 5.12 - Trajetória de um ponto de interesse (PI) preso à engrenagem planetária 4.

5.4.3 Conclusão

Comparando o resultado analítico com o simulado, não foi encontrada diferença na velocidade angular da engrenagem solar, indicando que a FSSM apresentou exatidão na simulação de um sistema de engrenagens planetárias que envolvem simultaneamente o uso de restrições relativas aos pares de engrenagens e juntas de revolução em análise do tipo cinemática. O tempo de processamento para simulação de um giro completo da engrenagem solar foi de 6,56 s, considerado satisfatório para uma simulação desse porte.

5.5 Teste 4: Sistema massa-mola na vertical

Este teste foi usado para validar as forças do tipo mola, forças gravitacionais e a análise dinâmica de MBS. Suponha o assento de um trator, com massa de 10 kg, dotado de um sistema elástico constituído por uma mola na posição vertical. Quando um tratorista, com massa de 70 kg, senta-se sobre o assento, a mola é comprimida proporcionando um deslocamento (encolhimento) de 30,6 cm. A partir deste instante, o trator passa sobre uma

lombada, que causa uma compressão na mola com um deslocamento de 15,3 cm. Neste instante, passa-se a contar o tempo ($t = 0$) e o início do movimento, com velocidade inicial de 30,6 cm/s, direcionada para baixo. Considerando a resistência do meio como sendo nula, a ausência de forças externas e que todo o peso do tratorista está concentrado sobre o assento do trator, pretende-se comparar a função $y(t)$ obtida pelo método analítico com o valor simulado na FSSM. (veja esquema apresentado na Figura 5.13).

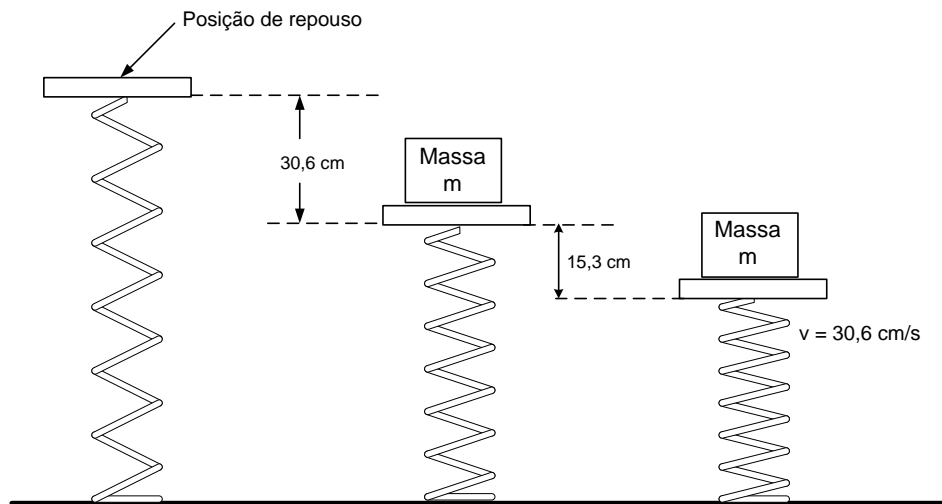


Figura 5.13 - Desenho esquemático do sistema massa-mola na vertical

5.5.1 Solução analítica.

Na Figura 5.14, o diagrama de corpo livre (DCL) da massa m é apresentado.

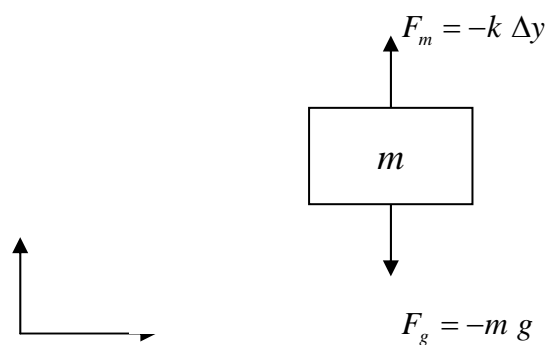


Figura 5.14 - Diagrama de corpo livre (DCL) do sistema massa-mola na vertical

em que,

F_m - força da mola, N ;

F_g - força-peso, N ;

m - massa total (massa do tratorista + massa do assento), kg ;

k - constante elástica da mola, $\frac{N}{m}$;

Δy - deslocamento vertical, m ;

g - aceleração da gravidade, $\frac{m}{s^2}$.

Para determinação da constante elástica da mola (k), considerou-se apenas a massa do tratorista (m'), que proporcionou o deslocamento de 0,306 m, situação de equilíbrio parcial.

$$-m' g = -k \Delta y$$

$$k = \frac{m' g}{\Delta y} = \frac{70 \cdot 9,81}{0,306} = 2244,12 \frac{N}{m} \quad (5.47)$$

O deslocamento inicial provocado pelo peso do assento (10kg) é calculado da seguinte forma:

$$F = -k \Delta y_c$$

$$10 \cdot 9,81 = -2244,12 \Delta y_c \quad (5.48)$$

$$\Delta y_c = -0,043714m$$

O sistema possui uma massa total de 80 kg (70 + 10) e está em equilíbrio. Em seguida, ao passar por uma lombada, o sistema entrará em um movimento oscilatório em torno de um ponto médio \bar{y} em relação à posição de repouso inicial (vide Figura 5.13), dado por:

$$\bar{y} = -0,306m \quad (5.49)$$

A aceleração em $t = 0$ e $y(0) = -0,459\text{m}$, é dada por:

$$\sum F_y = ma$$

$$-k(y + \Delta y_c) - mg = ma$$

$$-k(y + \Delta y_c) = m(a + g) \quad (5.50)$$

$$-2244,12(-0,459 - 0,043714) = 80(a + 9,81)$$

$$a = 4,29188 \frac{m}{s^2}$$

A amplitude da oscilação pode ser encontrada a partir dos parâmetros iniciais no instante $t = 0$, a partir da seguinte equação:

$$v_0^2 = \frac{k}{m}(A^2 - y_0'^2)$$

$$(-0,306)^2 = \frac{2244,12}{80}(A^2 - 0,153^2) \quad (5.51)$$

$$A = 0,163545\text{m}$$

em que,

y_0' - posição no instante zero, em relação à posição média da oscilação (\bar{y}), m ;

v_0 - velocidade no instante $t=0$, $\frac{m}{s}$;

A - amplitude da oscilação, m .

A frequência natural angular do sistema é dada por:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{2244,12}{80}} \quad (5.52)$$

$$\omega = 5,2963 \frac{rad}{s}$$

A equação que descreve o movimento oscilatório é dada por:

$$y(t) = \bar{y} + A \cos(\omega t + \delta), \text{ em que } \delta \text{ é a constante de fase} \quad (5.53)$$

A determinação de δ é feita a partir das condições de contorno no instante zero:

$$y(0) = -0,459 = -0,306 + 0,163545 \cos(\delta) \quad (5.54)$$

$$\delta = 2,78053 rad$$

Substituindo as Equações 5.49, 5.51, 5.52 e 5.54 em 5.53, tem-se:

$$y(t) = -0,306 + 0,163545 \cos(5,29637t + 2,78053) \quad (5.55)$$

Conhecendo o deslocamento em função do tempo $y(t)$, Equação 5.55, obtém-se a equação da velocidade $\dot{y}(t)$ a partir da derivada de $y(t)$, e a aceleração $\ddot{y}(t)$ a partir da derivada segunda de $y(t)$, conforme segue:

$$\dot{y}(t) = -0,86618 \text{sen}(5,29637t + 2,78053) \quad (5.56)$$

$$\ddot{y}(t) = -4,58756 \cos(5,29637t + 2,78053) \quad (5.57)$$

5.5.2 Simulação com a FSSM

O sistema foi modelado da seguinte forma:

- 1 corpo terra

- 1 corpo com: massa = 80 kg; $y(0) = -0,459$ m; $v(0) = -0,306$ m/s
- Junta de translação que restringe o movimento do corpo 2 na vertical
- Análise dinâmica, tempo inicial = 0 s; tempo final = 2,5 s; delta t = 0,005 s

A Figura 5.15 apresenta os dados de configuração utilizados na FSSM. A Tabela 5.5 apresenta os resultados da simulação, bem como os resultados analíticos e os erros encontrados. Na Figura 5.16 são apresentados, de forma gráfica, os resultados analíticos e simulados do deslocamento, velocidade e aceleração. O tempo de processamento foi de 2,9 s.

```

Corpos
CH ,NUM, FIXO, PNEU, SOLO , X, Y, PHI, DXI, DYI, DPHII, MASSA, MOMENTO, FX, FY, TORQUE
#CP,1,True,False,False,0,-1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,2,False,False,False,0,-0.459,0,0,-0.306,0,80,0,0,0,0,0
-----
Juntas de Translacao
CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUIIP, NETAIP, QUIIQ, QUIIQ, QUIJP, NETAJP
#JT,1,1,2,0,-1,0,-0.7295,0,-0.459
-----
Molas - Amortecedores
CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII, NETAI, QUIJ, NETAJ, K, CA., FORÇA, COMP
#MA,1,1,2,0,0,0,0,2244,0,0,1.044
-----
CH, TIPO DE ANÁLISE, T.INICIAL, T.FINAL, DELTA T
#DA,Dinamica,0,2.5,0.005

```

Figura 5.15 - Dados de configuração do problema tipo massa-mola na vertical.

Tabela 5.5 - Comparação das soluções Analítica x Simulado do sistema massa-mola na vertical.

t	Analítico			Simulado			Diferença (%)		
	$y(m)$	$\dot{y}\left(\frac{m}{s}\right)$	$\ddot{y}\left(\frac{m}{s^2}\right)$	$y(m)$	$\dot{y}\left(\frac{m}{s}\right)$	$\ddot{y}\left(\frac{m}{s^2}\right)$	y(%)	$\dot{y}(\%)$	$\ddot{y}(\%)$
0,0	-0,45900	-0,30599	4,29176	-0,45900	-0,30600	4,29915	0,0000	0,0033	0,1719
0,1	-0,46723	0,14533	4,52253	-0,46719	0,14602	4,52892	-0,0086	0,4725	0,1411
0,2	-0,43127	0,55682	3,51404	-0,43114	0,55803	3,51775	-0,0302	0,2168	0,1055
0,3	-0,36099	0,81574	1,54264	-0,36073	0,81714	1,54269	-0,0721	0,1713	0,0032
0,4	-0,27564	0,85113	-0,85148	-0,27525	0,85234	-0,85506	-0,1417	0,1420	0,4187
0,5	-0,19861	0,65329	-3,01227	-0,19812	0,65401	-3,01853	-0,2473	0,1101	0,2074
0,6	-0,15101	0,27644	-4,34765	-0,15048	0,27647	-4,35490	-0,3522	0,0109	0,1665
0,7	-0,14587	-0,17616	-4,49168	-0,14538	-0,17682	-4,49802	-0,3370	0,3733	0,1410
0,8	-0,18462	-0,58049	-3,40491	-0,18421	-0,58166	-3,40865	-0,2226	0,2011	0,1097
0,9	-0,25662	-0,82575	-1,38513	-0,25635	-0,82713	-1,38531	-0,1053	0,1668	0,0130
1,0	-0,34216	-0,84475	1,01420	-0,34201	-0,84595	1,01762	-0,0439	0,1419	0,3361
1,1	-0,41778	-0,63226	3,13563	-0,41774	-0,63298	3,14172	-0,0096	0,1137	0,1938
1,2	-0,46278	-0,24653	4,39783	-0,46277	-0,24658	4,40497	-0,0022	0,0203	0,1621
1,3	-0,46482	0,20676	4,45494	-0,46478	0,20740	4,46124	-0,0086	0,3086	0,1412
1,4	-0,42333	0,60339	3,29132	-0,42321	0,60454	3,29511	-0,0284	0,1902	0,1150
1,5	-0,34970	0,83469	1,22581	-0,34944	0,83604	1,22611	-0,0744	0,1615	0,0245
1,6	-0,26409	0,83726	-1,17559	-0,26371	0,83846	-1,17885	-0,1441	0,1431	0,2765
1,7	-0,18997	0,61040	-3,25486	-0,18948	0,61114	-3,26080	-0,2586	0,1211	0,1822
1,8	-0,14764	0,21629	-4,44224	-0,14711	0,21636	-4,44928	-0,3603	0,0324	0,1582
1,9	-0,14870	-0,23709	-4,41235	-0,14821	-0,23770	-4,41864	-0,3306	0,2566	0,1424
2,0	-0,19287	-0,62551	-3,17340	-0,19246	-0,62663	-3,17726	-0,2130	0,1787	0,1215
2,1	-0,26804	-0,84252	-1,06488	-0,26775	-0,84386	-1,06531	-0,1083	0,1588	0,0404
2,2	-0,35361	-0,82867	1,33544	-0,35345	-0,82987	1,33854	-0,0453	0,1446	0,2316
2,3	-0,42613	-0,58774	3,36983	-0,42608	-0,58849	3,37563	-0,0117	0,1274	0,1718
2,4	-0,46574	-0,18577	4,48081	-0,46572	-0,18586	4,48778	-0,0043	0,0484	0,1553
2,5	-0,46157	0,26711	4,36397	-0,46154	0,26769	4,37026	-0,0065	0,2167	0,1439

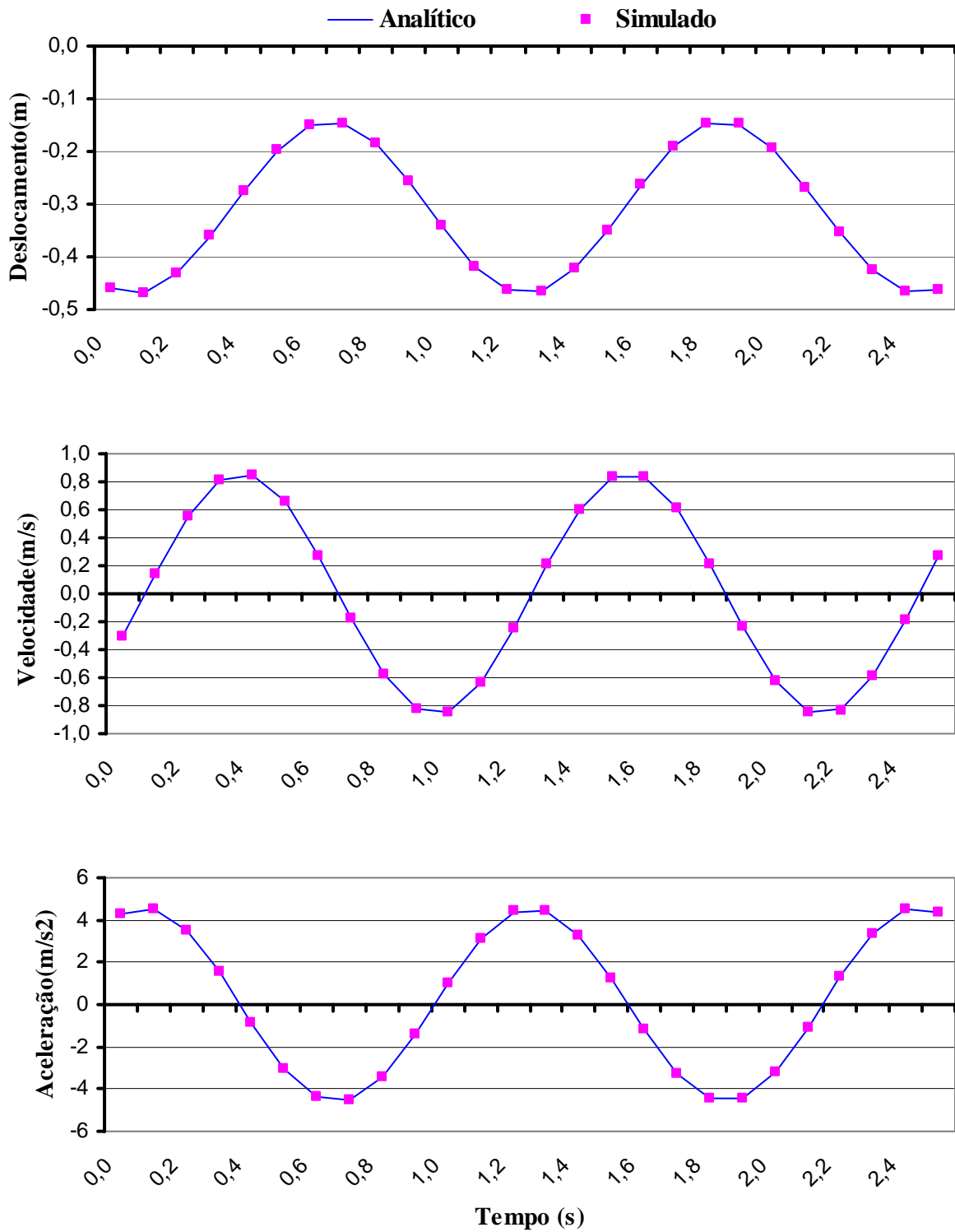


Figura 5.16 - Gráfico comparativo das soluções analíticas e simuladas da posição, velocidade e aceleração da massa m do sistema massa-mola na vertical.

5.5.3 Conclusão

As diferenças percentuais máximas encontradas, comparando os resultados analíticos com os simulados, foram de -0,3603% para posição, 0,4725% para velocidade e 0,4187% para aceleração. Isso significa que, para fins de projeto de máquinas agrícolas, a FSSM modelou adequadamente o sistema massa-mola que envolveu a implementação das forças do tipo mola, forças peso, a definição de junta de translação e o módulo de análise dinâmica, em um pequeno tempo de processamento, em torno de 2,9s.

5.6 Teste 5: Sistema Massa-Mola-Amortecedor

O sistema do tipo massa-mola-amortecedor com movimento horizontal esquematizado na Figura 5.17, foi usado para validar as forças do tipo mola com amortecimento, junta de translação e a análise dinâmica de sistemas.

Definição do problema: Um corpo de massa $m = 10$ kg é posicionado a 0,50m de distância da parede. Em seguida o corpo é solto. A mola possui 0,30m de comprimento quando indeformada, e constante elástica igual a $k = 1500$ N/m. A constante de amortecimento é $c = 30$ N.m/s.

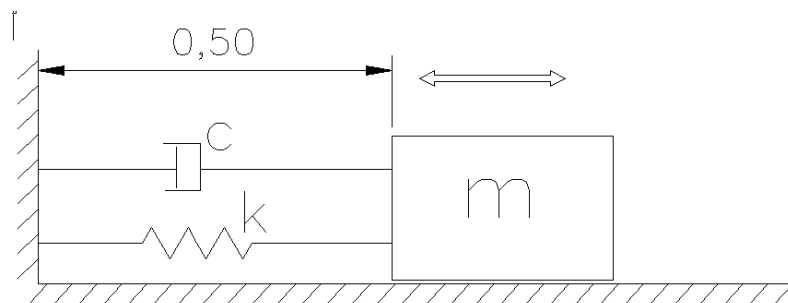


Figura 5.17- Sistema massa-mola-amortecedor

5.6.1 Solução analítica

A solução analítica do sistema massa-mola-amortecedor foi obtida a partir das equações descritas por Dimarogonas e Haddad (1992), conforme segue:

$$\omega_d = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad (5.58)$$

$$x(t) = e^{-\frac{c}{2m}t} (A \cos(\omega_d t) + B \sin(\omega_d t)) \quad (5.59)$$

$$\dot{x}(t) = e^{-\frac{c}{2m}t} \left[-\frac{c}{2m} (A \cos(\omega_d t) + B \sin(\omega_d t)) + \omega_d (B \cos(\omega_d t) - A \sin(\omega_d t)) \right] \quad (5.60)$$

$$\ddot{x}(t) = e^{-\frac{c}{2m}t} \left\{ \left(-\frac{c}{2m} \right)^2 [A \cos(\omega_d t) + B \sin(\omega_d t)] - \left(\frac{c}{2m} \right) \omega_d [2B \cos(\omega_d t) - 2A \sin(\omega_d t)] - \omega_d^2 [B \sin(\omega_d t) + A \cos(\omega_d t)] \right\} \quad (5.61)$$

em que,

c - coeficiente de amortecimento, $\frac{N}{m} s$;

t - tempo, s ;

m - massa do corpo, kg ;

A - amplitude inicial da oscilação, m ;

B - constante a ser obtida a partir das condições iniciais, m ;

k - constante elástica da mola, $\frac{N}{m}$.

ω_d - frequência do sistema, $\frac{rad}{s}$

A partir dos dados apresentados na definição do problema, encontra-se:

$$A = 0,2 \text{ m}, \quad B = 0,0246808 \quad \text{e} \quad \omega_d = 12,1552 \frac{rad}{s} \quad (5.62)$$

Substituindo-se os valores apresentados na Equação 5.62 e os apresentados na definição do problema nas Equações 5.58 a 5.61, obtêm-se as equações analíticas que descrevem o movimento do sistema:

$$x(t) = e^{-1,5t} (0,2 \cos(12,1552t) + 0,0246808 \text{sen}(12,1552t)) \quad (5.63)$$

$$\dot{x}(t) = e^{-1,5t} \left[-1,5(0,2 \cos(12,1552t) + 0,0246808 \text{sen}(t)) + 12,1552(0,0246808 \cos(12,1552t) - 0,2 \text{sen}(12,1552t)) \right] \quad (5.64)$$

$$\ddot{x}(t) = e^{-1,5t} \left\{ \begin{array}{l} 2,25[0,2 \cos(12,1552t) + 0,0246808 \text{sen}(12,1552t)] \\ -36,4656[0,0246808 \cos(12,1552t) - 0,2 \text{sen}(12,1552t)] \\ -147,7488[0,0246808 \text{sen}(12,1552t) + 0,2 \cos(12,1552t)] \end{array} \right\} \quad (5.65)$$

Os resultados estão apresentados na Tabela 5.6.

5.6.2 Simulação com a FSSM

O sistema foi modelado da seguinte forma:

- um corpo terra;
- um corpo com: massa = 10 kg; $x(0) = -0,2$; $v(0) = 0,0$;
- Junta de translação que restringe o movimento do corpo 2 na horizontal;
- Um componente do tipo mola-amortecedor com: comprimento = 0,5 m; $k = 1500$ N/m; $C = 30$ N.m/s;
- Análise dinâmica, tempo inicial = 0 s; tempo final = 3,0 s; delta t = 0,005 s.

Para simular o sistema na FSSM foram utilizadas: uma junta de translação, um elemento de força tipo mola-amortecedor e um deslocamento inicial com corpo em relação ao repouso. A Figura 5.18 apresenta os dados de configuração utilizados na FSSM. A Tabela 5.6 apresenta os resultados da simulação, bem como os resultados analíticos e os erros encontrados. Na Figura 5.19 são apresentados, de forma gráfica, os resultados analíticos e simulados do deslocamento, velocidade e aceleração. O tempo de processamento foi de 3,0 s.

Corpos
CH , NUM, FIXO, PNEU, SOLO , X, Y, PHI, DXI, DYI, DPHI, MASSA, MOMENTO, FX, FY, TORQUE
#CP,1,True,False,False,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
#CP,2,False,False,False,0,5,0,0,0,0,0,10,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0

Juntas de Translacao
CH , NUM, CORPOI, CORPOJ, QUIIP, NETAIP, QUIIQ, QUIIJ, QUIJP, NETAJP
#JT,1,1,2,0,5,0,0,6,0,0,7,0

Molas - Amortecedores
CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII, NETAI, QUIJ, NETAJ, K, CA, FORÇA, COMP
#MA,1,1,2,0,0,0,0,1500,30,0,0,3

CH, TIPO DE ANÁLISE, T.INICIAL, T.FINAL, DELTA T
#DA,Dinamica,0,3,0,005

Figura 5.18 - Dados de configuração do sistema massa-mola-amortecedor.

Tabela 5.6- Comparação entre soluções Analítica x FSSM de um modelo massa-mola-amortecedor.

t	Analítico			Simulado			Diferença		
	$x(m)$	$\dot{x}\left(\frac{m}{s}\right)$	$\ddot{x}\left(\frac{m}{s^2}\right)$	$x(m)$	$\dot{x}\left(\frac{m}{s}\right)$	$\ddot{x}\left(\frac{m}{s^2}\right)$	$x(\%)$	$\dot{x}(\%)$	$\ddot{x}(\%)$
0,0000	0,20000	0,00000	-29,99978	0,20000	0,00000	-30,00013	0,0000	0,0000	0,0012
0,05000	0,16540	-1,30750	-20,88693	0,16540	-1,30752	-20,88714	0,0000	0,0015	0,0010
0,10000	0,07980	-1,99162	-5,99441	0,07979	-1,99164	-5,99438	-0,0125	0,0010	-0,0005
0,15000	-0,02081	-1,90830	8,84672	-0,02081	-1,90831	8,84697	0,0000	0,0005	0,0028
0,20000	-0,10038	-1,19257	18,63497	-0,10038	-1,19257	18,63529	0,0000	0,0000	0,0017
0,25000	-0,13499	-0,17406	20,77078	-0,13499	-0,17404	20,77102	0,0000	-0,0115	0,0012
0,30000	-0,11922	0,76133	15,59927	-0,11922	0,76135	15,59930	0,0000	0,0026	0,0002
0,35000	-0,06541	1,30948	5,88360	-0,06541	1,30950	5,88341	0,0000	0,0015	-0,0032
0,40000	0,00298	1,33935	-4,46438	0,00298	1,33936	-4,46471	0,0000	0,0007	0,0074
0,45000	0,06083	0,91305	-11,86431	0,06084	0,91304	-11,86464	0,0164	-0,0011	0,0028
0,50000	0,09010	0,23799	-14,22947	0,09010	0,23797	-14,22966	0,0000	-0,0084	0,0013
0,55000	0,08489	-0,42336	-11,46295	0,08489	-0,42338	-11,46293	0,0000	0,0047	-0,0002
0,60000	0,05175	-0,84971	-5,21322	0,05175	-0,84973	-5,21299	0,0000	0,0024	-0,0044
0,65000	0,00576	-0,92991	1,92536	0,00576	-0,92992	1,92570	0,0000	0,0011	0,0177
0,70000	-0,03576	-0,68511	7,41981	-0,03577	-0,68510	7,42013	0,0280	-0,0015	0,0043
0,75000	-0,05944	-0,24319	9,64485	-0,05944	-0,24317	9,64503	0,0000	-0,0082	0,0019
0,80000	-0,05975	0,21924	8,30498	-0,05975	0,21927	8,30495	0,0000	0,0137	-0,0004
0,85000	-0,03986	0,54327	4,34894	-0,03986	0,54329	4,34872	0,0000	0,0037	-0,0051
0,90000	-0,00928	0,63882	-0,52376	-0,00928	0,63883	-0,52408	0,0000	0,0016	0,0611
0,95000	0,02016	0,50547	-4,54097	0,02017	0,50546	-4,54126	0,0496	-0,0020	0,0064
1,00000	0,03871	0,22010	-6,46610	0,03871	0,22008	-6,46627	0,0000	-0,0091	0,0026
1,05000	0,04160	-0,09979	-5,94087	0,04160	-0,09982	-5,94086	0,0000	0,0301	-0,0002
1,10000	0,03005	-0,34145	-3,48385	0,03005	-0,34147	-3,48367	0,0000	0,0059	-0,0052
1,15000	0,00997	-0,43422	-0,19333	0,00997	-0,43422	-0,19305	0,0000	0,0000	-0,1450
1,20000	-0,01068	-0,36752	2,70410	-0,01068	-0,36751	2,70436	0,0000	-0,0027	0,0096
1,25000	-0,02485	-0,18608	4,28535	-0,02485	-0,18606	4,28550	0,0000	-0,0107	0,0035
1,30000	-0,02866	0,03289	4,20010	-0,02866	0,03291	4,20010	0,0000	0,0608	0,0000
1,35000	-0,02227	0,21025	2,70926	-0,02227	0,21027	2,70912	0,0000	0,0095	-0,0052
1,40000	-0,00925	0,29196	0,51174	-0,00925	0,29196	0,51152	0,0000	0,0000	-0,0430
1,45000	0,00507	0,26375	-1,55238	0,00507	0,26374	-1,55259	0,0000	-0,0038	0,0135
1,50000	0,01569	0,15046	-2,80508	0,01569	0,15045	-2,80522	0,0000	-0,0066	0,0050

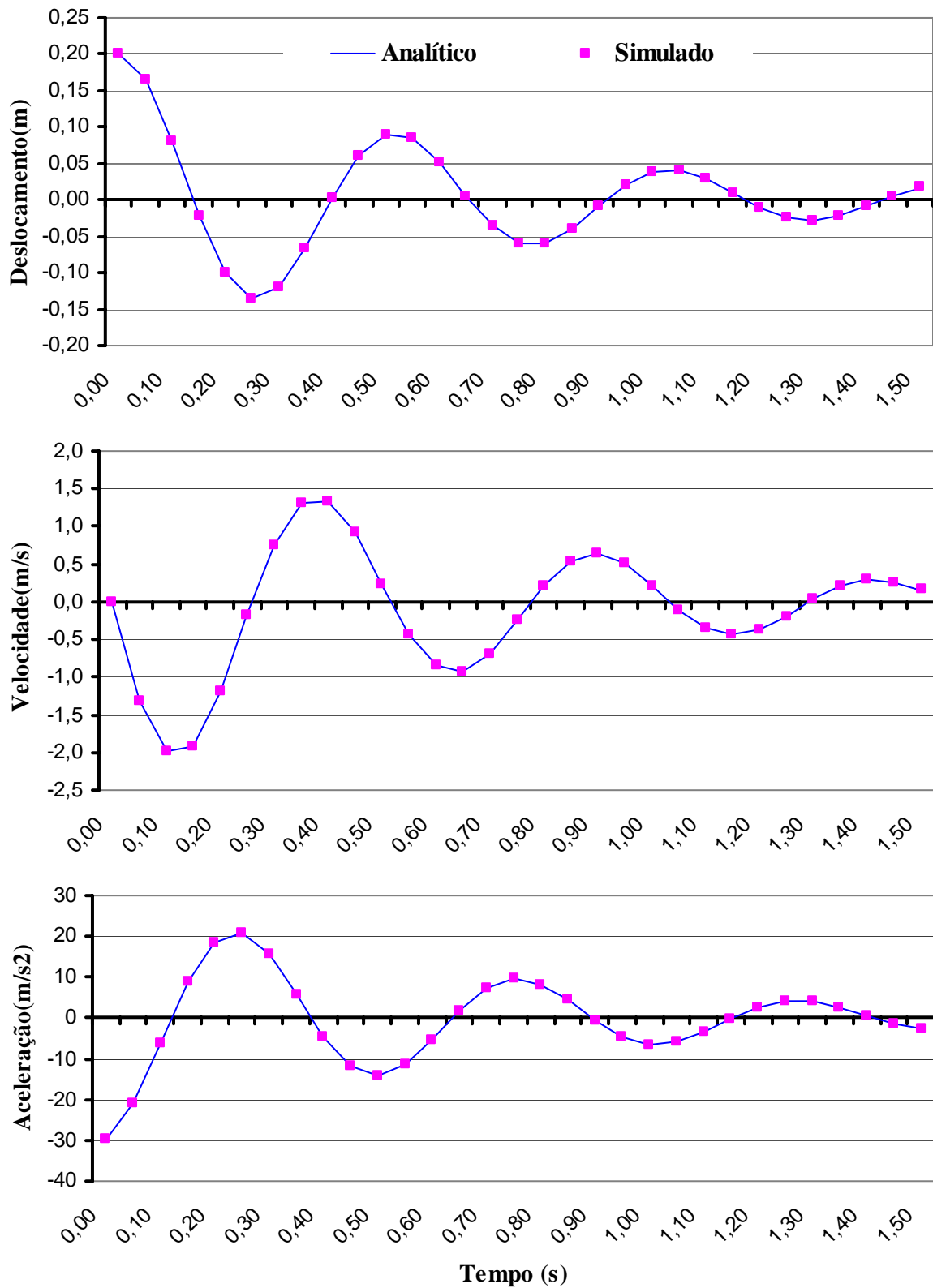


Figura 5.19 - Gráfico comparativo das soluções analíticas e simuladas da posição, velocidade e aceleração da massa m do sistema massa-mola-amortecedor.

5.6.3 Conclusão

As diferenças percentuais máximas encontradas, comparando os resultados analíticos com os simulados, foram de 0,0496% na posição, 0,0608% na velocidade e -0,1450% na aceleração do corpo, o que mostra que, para fins de projeto de máquinas agrícolas, a FSSM modelou adequadamente o sistema massa-mola-amortecedor que envolveu a implementação das forças do tipo mola com amortecimento, junta de translação e a análise dinâmica, em um baixo tempo de processamento, em torno de 3,0s. Os erros foram atribuídos às aproximações numéricas dos algoritmos.

6 USO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM TRATOR AGRÍCOLA

6.1 Introdução

Santos Filho (2002) avaliou os níveis de ruído e vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus com a caracterização da faixa de frequência que apresenta os maiores picos de vibração vertical no assento do operador do trator, comparando os níveis de vibração obtidos, com as principais normas vigentes para averiguar o conforto durante o tráfego. Foram utilizados um trator de pneus de 55,2 kW (75 cv) e uma grade destorroadora-niveladora “off-set” de 28 discos. As velocidades usadas no experimento foram: 1,39 m/s, 1,67 m/s e 1,95 m/s. O sistema de aquisição de dados foi constituído por sensores de vibração (acelerômetros); condicionadores, amplificadores e um conversor analógico-digital instalados em um microcomputador e embarcados no trator ensaiado. Posteriormente os dados foram tratados pelo programa ORIGIN 5.0. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a faixa de frequência que apresentou os maiores picos de vibração vertical foi entre 2 e 4 Hz e os valores de aceleração ponderada global encontraram-se bem acima dos limites definidos pela norma ISO 2631 para um período de 8 horas de trabalho.

Garcia et al. (2003) desenvolveram um programa de computador para aquisição automática de dados para avaliação de máquinas agrícolas. O sistema foi implementado utilizando-se o programa de computador LabVIEW versão 6i. Foram desenvolvidos instrumentos virtuais para os seguintes tipos de sensores: célula de carga, torquímetro, sensor de rotação tipo sensor indutivo e sensor de velocidade tipo radar. O aplicativo recebeu o nome AvaliaMA, destinado para avaliação de máquinas agrícolas. Comparando-se os resultados obtidos do aplicativo AvaliaMA com as técnicas tradicionais, em todos os testes obteve-se um R^2 superior a 0,98.

Berasategui (2000) apresentou um modelo de simulação de assentos com suspensão mecânica traseira para veículos de estradas não pavimentadas. O modelo do assento foi implementado no programa de simulação de sistemas mecânicos ADAMS, e validado a partir de protótipos ensaiados em bancos de prova, onde vibrações verticais foram aplicadas de forma a simular o tráfego do trator sobre o solo irregular. Os resultados obtidos nos modelos reproduziram o comportamento dos protótipos, na faixa de frequência de 1,5 a 4 Hz, onde se concentraram as maiores energias vibratórias.

Matias (1989) executou uma análise de vibrações em um conjunto trator-carreta. O estudo era composto das seguintes fases: modelagem matemática do veículo; análise de sensibilidade dos parâmetros; ensaio de campo para obtenção do perfil da via; análise do comportamento dinâmico do veículo e análise de conforto conforme norma ISO2631. Os programas de computador SDS-PC e SIMAS-OS foram utilizados para simulação e análise dinâmica de vibrações do sistema mecânico modelado. A frequência natural do trator foi de 2,8 Hz. Um ensaio de campo foi realizado com o objetivo de se medirem as vibrações do sistema trator-carreta em condições reais de operação e ainda obter o perfil da via. Os sensores utilizados foram acelerômetros piezo-elétricos de fundo de escala 5 "g" (para a caixa da carreta) e 50 "g" (para o eixo da carreta). O ensaio foi realizado em vias de terra e asfalto com o veículo trafegando em linha reta a uma velocidade de 10 km/h. Foram encontradas acelerações de 2 a 3g na caixa da carreta e ângulo de tombamento lateral da ordem de 6 graus. Picos de aceleração da ordem de 30g no eixo da carreta foram encontrados, e com relação à avaliação do conforto do tratorista, verificou-se que no critério "preservação da eficiência operacional", o tempo da atividade ficou limitado a 7 horas e na avaliação do conforto na carreta, o tempo necessário, para que as atividades do tratorista não sejam prejudicadas, é limitado em 16 horas para o asfalto e 6 horas para via de terra.

Kading (2006) realizou um estudo comparativo entre os dados do experimento de um trator agrícola devidamente instrumentado, passando por uma depressão na pista (lombada invertida), e o mesmo trator modelado em um software de simulação. O programa utilizado foi o DADS, desenvolvido na Universidade de Iowa. Melhores resultados foram obtidos para pressões dos pneus mais elevadas. Pneus com pressões muito baixas se comportam de forma mais complexa devido às não-linearidades da carcaça de borracha.

Lehtonen (2005) descreveu o modelo MBS de um trator agrícola e sua validação, utilizando medidas experimentais em um teste de campo. O modelo foi construído utilizando o programa comercial MSC ADAMS. O foco principal foi o modelo dos pneus por terem maior influência sobre o comportamento dinâmico do trator. A grandeza física utilizada para validação foi a aceleração. Os dados foram filtrados utilizando um filtro passa baixa de 4ª ordem *Butterworth* com frequência de corte de 10hz. As velocidades utilizadas foram de 7 e 9 km/h. Os obstáculos utilizados foram duas lombadas espaçadas de 15m e com dimensões diferentes. Os resultados confirmam que um modelo simples de pneu, como o comercial modelo FIALA, possibilita resultados satisfatórios.

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas na tentativa de simular ou prever o comportamento dinâmico de tratores e/ou implementos agrícolas em situações diversas. Isto pode ser observado em Matias (1989), Berasategui (2000), Kading (2006), Lehtonen (2005), entre outros. Nesta mesma linha, neste capítulo, o ensaio de campo de um trator agrícola passando por três diferentes tipos de obstáculos é apresentado com o objetivo de validar a FSSM na simulação do comportamento dinâmico do veículo e da interação pneu -solo.

6.2 Material e métodos

Os testes de campo consistiram da medição da vibração vertical em dois pontos do trator: um localizado na parte dianteira e outro na parte traseira. O trator, devidamente instrumentado, sofre uma excitação externa ao passar com velocidades pré-estabelecidas sobre lombadas com três diferentes perfis. As medições foram feitas a partir de um sistema automático de aquisição de dados a bordo do trator e os valores da aceleração vertical, ao longo do tempo, foram comparados com os valores simulados.

Para modelagem do trator na FSSM foram definidos quatro corpos: o corpo terra, que neste caso corresponde ao solo, o chassi, o rodado traseiro e o rodado dianteiro.

Para medição da aceleração foram utilizados dois acelerômetros piezo-elétricos uniaxiais da marca PCB Piezoelectronics, modelo 353B33, ambos conectados a uma fonte da marca Omega, modelo ACC PS1, utilizada para melhorar a qualidade do sinal, que, por sua vez, foi conectada ao sistema de aquisição automática de dados HBM modelo Spider8.

Para determinação do centro de gravidade foi utilizada uma célula de carga com capacidade de 20000 N.

Para medição da velocidade real do trator, foi utilizado um cronômetro e uma trena de 50m.

Os testes foram realizados utilizando-se um trator agrícola de pneus com as seguintes características:

- Marca/modelo: Valmet Sincro-O-Mático;
- Tipo: diesel, injeção direta, quatro-tempos;
- Cilindros: três, verticais em linha;
- Cilindrada: 2829 cm³;
- Relação de compressão: 18:1;

- Potência bruta máxima a 2.300 RPM: 58 CV;
- Tração: traseira;
- Pneus dianteiros: tipo diagonal, dimensões 7.5x16” de 4 lonas, em boas condições;
- Pneus traseiros: tipo diagonal, dimensões 14.9x28” de 6 lonas, em boas condições;
- Massa do trator sem lastro: 1723,86 kg;
- Sem cabine e sem estrutura de proteção contra capotamento.

Determinação do centro de gravidade

Para o estudo dinâmico do trator é necessário conhecer as coordenadas do centro de gravidade (CG) de cada corpo. O trator foi modelado como sendo formado de três corpos: o rodado traseiro; o rodado dianteiro e o chassi. O centro de gravidade dos rodados é conhecido, neste caso o centro do rodado, por isso resta descobrir somente o centro de gravidade do chassi.

O corpo principal (chassi do trator) é formado por diversas partes, tais como: motor, caixa de transmissão, engrenagens, estrutura, eixos, carenagens, entre outros.

O método utilizado neste trabalho para encontrar o CG do chassi foi a “dupla pesagem” (Chudakoc, 1977, citado por Lima et al., 2004), cujo detalhamento está descrito no APÊNDICE E. Na Equação 6.1 são apresentadas as coordenadas do CG do chassi:

$$\begin{aligned} X &= 0,8526 \text{ m} \\ Y &= 0,5604 \text{ m} \end{aligned} \tag{6.1}$$

em que,

X - coordenada longitudinal do CG do chassi do trator (mm) em relação ao centro do rodado traseiro;

Y - coordenada vertical do CG do chassi do trator (mm) em relação ao solo;

Determinação do momento de inércia

O momento de inércia foi determinado para cada parte do trator: corpo principal, rodado traseiro e rodado dianteiro.

Para o cálculo do momento de inércia dos rodados considerou-se que os mesmos podem ser representados por discos planos de espessura constante, com raio e massa iguais aos do pneu.

O cálculo analítico do momento de inércia do chassi se torna complexo dependendo do nível de exatidão exigido. Neste trabalho, optou-se por um modelo simplificado do chassi do trator, objetivando apenas uma estimativa do momento de inércia. Foi utilizado um programa CAD⁸ para modelagem dos sólidos em três dimensões para o cálculo do momento de inércia.

As metodologias e cálculos dos momentos de inércia estão detalhados no APÊNDICE F, cujos resultados são apresentados nas Equações 6.2 a 6.4.

$$I_z^c = 955 \text{ kg.m}^2, \text{ para o chassi;} \quad (6.2)$$

$$I_z^d = 4,24 \text{ kg.m}^2, \text{ para o rodado dianteiro;} \quad (6.3)$$

$$I_z^t = 4,24 \text{ kg.m}^2, \text{ para o rodado traseiro.} \quad (6.4)$$

Estimativa do Coeficiente de Rigidez

Lines e Murphy (1991), citados por Garcia et al.(2003), descrevem o coeficiente de rigidez como uma função das dimensões, pressão e idade do pneu, conforme a seguir:

$$K = 172 - 1,77b + 5,6A + 0,34DbP \quad (6.5)$$

em que,

b - largura do pneu, *pol*;

A - idade do pneu, *anos*;

⁸ Foi utilizado o software Mechanical Desktop v6, desenvolvido pela Autodesk.

- D - diâmetro externo do pneu, *pol*;
- P - pressão de trabalho do pneu, *bar*.

Na Tabela 6.1 são apresentados os valores dos coeficientes de rigidez para os pneus traseiros e dianteiros adotados neste trabalho, e calculados conforme Equação 6.5.

Tabela 6.1 - Coeficientes de rigidez dos pneus

Pneu	b (in)	A (anos)	D (in)	P(kPa)	k [N/mm]
Traseiro 14,9x28	14,9	5	42	124,11 (18 psi)	437,4614
Traseiro 14,9x28	14,9	5	42	96,53 (14psi)	378,9945
Dianteiro 7,5x16	7,5	5	26	248,21 (36 psi)	351,2882
Dianteiro 7,5x16	7,5	5	26	165,47 (24 psi)	296,4316

O coeficiente de rigidez (*k*) apresentado na Tabela 6.1 se refere a um pneu. No modelo bidimensional, este valor foi multiplicado por dois, pois existem dois pneus em cada eixo.

Estimativa do coeficiente de amortecimento

Uma revisão da literatura buscando informações relativas à determinação do coeficiente de amortecimento de pneus agrícolas foi realizada. Alguns valores foram encontrados, porém a forma de sua determinação não foi revelada, exceto Ahmed e Goupillon (1997). Esses autores obtiveram valores de coeficiente de amortecimento a partir de ensaios em laboratório. A Tabela 6.2 apresenta valores de coeficiente de amortecimento utilizados por alguns autores. Observa-se que não existe uma relação direta entre o tamanho do pneu e o coeficiente de amortecimento. Neste trabalho foi utilizada a média dos valores citados na literatura, mostrados na Tabela 6.2, tanto para os pneus dianteiros quanto para os traseiros, visto que não se dispõe de informações suficientes para encontrar este valor com maior exatidão.

Tabela 6.2- Coeficiente de amortecimento de pneus agrícolas encontrados na literatura.

<i>Tamanho do pneu</i>	<i>Coeficiente de amortecimento [kN.s/m]</i>	<i>Ref. Bibliográfica</i>
14,9 x 28	3,5	Crolla et al. (1990), citados por Garcia et al. (2003)
7,5 x 16	4,3	
16,9R28	1,8	Ahmed e Goupillon (1997)
20,8R38	2,3	
480/70 R34	2,7	Bernhard, Schlotter e Kutzbach (2001)
21,3R36	4,0	Lehtonen(2005)
17,7R30	3,0	
Média	3,1	

Embora Ahmed e Goupillon (1997) tenham demonstrado que tanto a rigidez quanto o coeficiente de amortecimento de pneus agrícolas têm seus valores reduzidos quando a velocidade aumenta, esta característica não será considerada neste trabalho. Considera-se neste trabalho que tanto a rigidez quanto o coeficiente de amortecimento são constantes em relação à velocidade.

Caracterização da Área de Testes

Foram utilizados no experimento dois tipos de solos e três tipos de obstáculos, conforme ilustrado nas Figuras 6.1, 6.2 e 6.3.

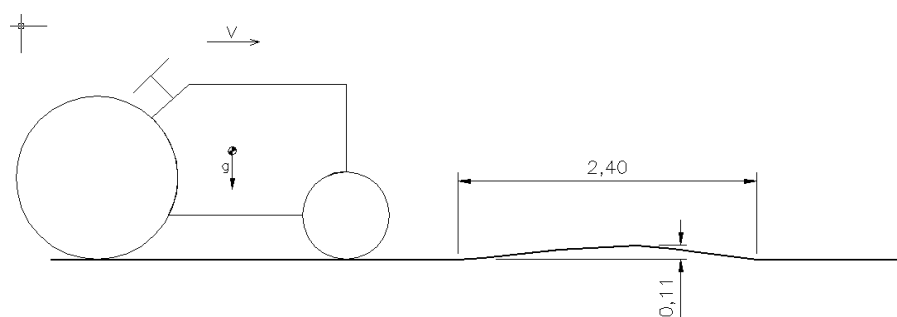


Figura 6.1 – Esquema do trator agrícola passando por uma lombada simples em piso rígido (asfalto). As dimensões apresentadas estão em metros.

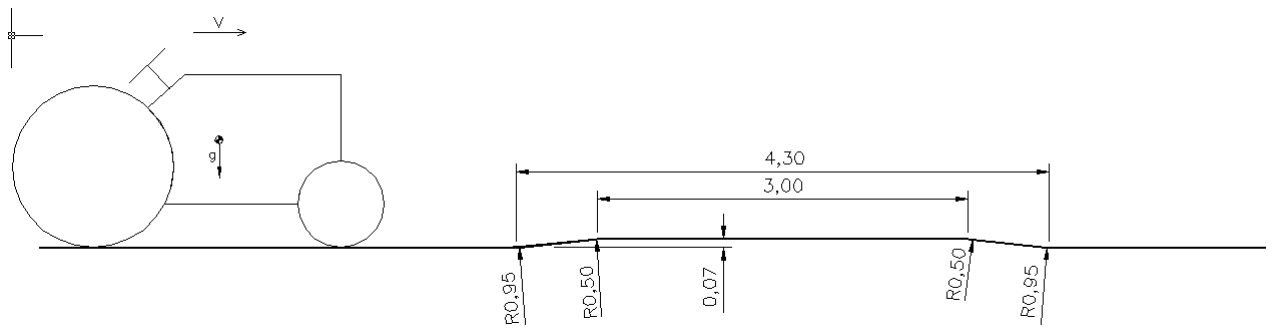


Figura 6.2– Esquema do trator agrícola passando por uma lombada trapezoidal em piso rígido (asfalto). As dimensões apresentadas estão em metros.

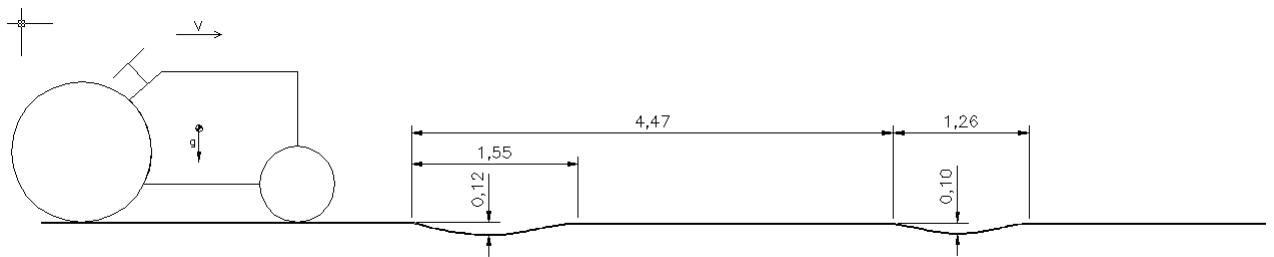


Figura 6.3 – Esquema do trator agrícola passando por duas depressões em solo firme (de terra batida). As dimensões apresentadas são expressas em metros.

Os três perfis de solo foram escolhidos de forma a permitir a análise em situações diversas para modelagem na FSSM.

Velocidade de deslocamento

Os experimentos foram realizados em velocidades pré-estabelecidas de acordo com as marchas e rotação do motor: 6,72 *km/h* com a marcha 3^a reduzida com rotação do motor de 1300 *rpm*; 9,30 *km/h* com a 2^a simples e rotação do motor a 1500 *rpm*; e 12,62 *km/h* com a 3^a simples e rotação do motor a 1000 *rpm*.

Para medir a velocidade real durante o experimento foi necessário medir, com um cronômetro, o tempo gasto para o trator percorrer uma distância de 25 metros. O trator foi posicionado cerca de 10m antes da marca de início de cada teste, distância suficiente para a velocidade do trator se estabilizar. Na Tabela 6.3 são apresentadas as velocidades médias em todos os cenários e os respectivos testes.

Tabela 6.3 – Velocidades médias em todos os cenários e testes do ensaio de campo.

Tipo de obstáculo	Cenário	Teste	Velocidade média (km/h)	Média das velocidades (km/h)
A - Lombada simples	1	1	9,02	9,22
		2	9,26	
		3	9,38	
	2	1	12,28	12,50
		2	12,18	
		3	13,04	
	3	1	9,26	9,35
		2	9,51	
		3	9,27	
	4	1	12,95	12,97
		2	12,78	
		3	13,18	
B - Lombada trapezoidal	5	1	9,39	9,44
		2	9,47	
		3	9,45	
	6	1	11,90	12,23
		2	12,48	
		3	12,31	
	7	1	8,88	9,16
		2	9,24	
		3	9,36	
	8	1	13,33	12,79
		2	12,41	
		3	12,62	
C - Depressão dupla	9	1	6,48	6,66
		2	6,90	
		3	6,60	
	10	1	9,10	9,31
		2	9,38	
		3	9,44	
	11	1	6,78	6,78
		2	6,75	
		3	6,80	
	12	1	9,32	9,30
		2	9,19	
		3	9,39	

Grandezas de interesse no experimento

A grandeza primária medida foi a aceleração vertical. Não foi objetivo deste trabalho a determinação da intensidade ou níveis de vibração para averiguação de ergonomia e conforto do operador, conforme definido nas normas NBR 12319 (1992) e ISO 2631 (1997), que tratam de medição das vibrações e o tempo máximo de exposição do operador a estas vibrações, respectivamente.

O objetivo deste experimento foi comparar a aceleração vertical medida no campo, com a aceleração vertical encontrada a partir de simulação utilizando a FSSM.

As medições das acelerações verticais foram realizadas a partir da instalação de dois acelerômetros uniaxiais em dois diferentes pontos do trator. O primeiro ponto localizado sobre o eixo traseiro e o segundo sobre o eixo dianteiro, ambos próximos ao plano longitudinal que passa pelo centro de gravidade do trator. Esta escolha foi devido aos seguintes critérios:

- 1) Como o estudo é realizado em um plano bidimensional, as medições das acelerações são mais representativas e precisas se realizadas no plano longitudinal que passa pelo CG.
- 2) A escolha da localização próxima aos eixos se deve ao fato de neles estarem as excitações externas. Embora o chassi do trator seja considerado um corpo rígido no modelo, a medição em pontos muito distantes da excitação podem ser influenciadas pela característica elástica da estrutura do trator.

A Figura 6.4 ilustra as localizações dos instrumentos necessários para fazer a medição da aceleração vertical. Os acelerômetros uniaxiais (1) e (2) estão instalados sobre o eixo traseiro e dianteiro, respectivamente, e o sistema de aquisição de dados HBM (3) foi instalado acima do pára-lamas do rodado traseiro. Os dados foram filtrados utilizando um filtro passa baixa de 4ª ordem *Butterworth* com frequência de corte de 10Hz. A frequência de aquisição dos dados foi de 300hz.

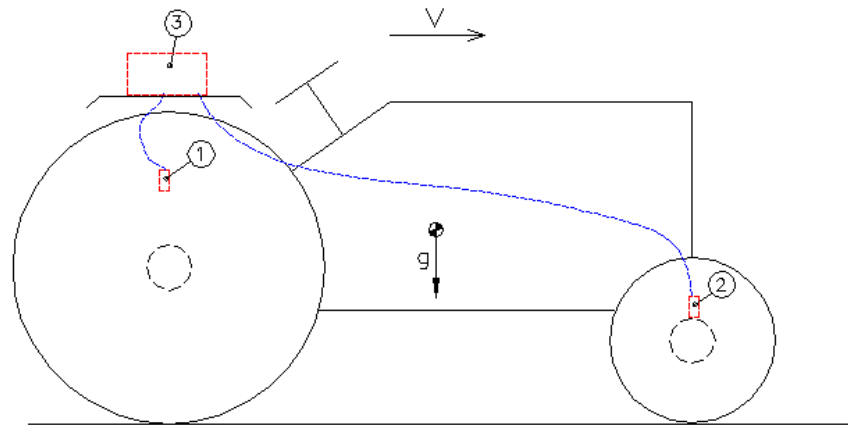


Figura 6.4 – Esquema da localização dos sensores e sistema de aquisição de dados.



Figura 6.5 - Trator instrumentado

Cenários utilizados nos testes realizados

Para coleta dos dados experimentais foram utilizados 12 cenários conforme mostrado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Cenários para medição da aceleração vertical nos pontos P1 e P2 do trator.

Cenário	Tipo de Lombada	Pressão no Pneu Traseiro (kPa)	Pressão no Pneu Dianteiro (kPa)	Velocidade (km/h)
	A- Lombada simples B- Lombada trapezoidal C- Depressão dupla			
1	A	96,53 (14 psi)	165,47 (24 psi)	9,3
2	A	96,53 (14 psi)	165,47 (24 psi)	12,7
3	A	124,11 (18 psi)	248,21 (36 psi)	9,3
4	A	124,11 (18 psi)	248,21 (36 psi)	12,7
5	B	96,53 (14 psi)	165,47 (24 psi)	9,3
6	B	96,53 (14 psi)	165,47 (24 psi)	12,7
7	B	124,11 (18 psi)	248,21 (36 psi)	9,3
8	B	124,11 (18 psi)	248,21 (36 psi)	12,7
9	C	96,53 (14 psi)	165,47 (24 psi)	6,7
10	C	96,53 (14 psi)	165,47 (24 psi)	9,3
11	C	124,11 (18 psi)	248,21 (36 psi)	6,7
12	C	124,11 (18 psi)	248,21 (36 psi)	9,3

Foram realizados três testes em cada cenário, somando um total de 36 testes realizados. A seqüência de coleta das amostras foi a seguinte:

- Primeiro teste: cenários 1,2,3..12. (seqüência crescente).
- Segundo teste: cenários 12,11,10..1 (seqüência decrescente)
- Terceiro teste: cenários 3,2,4,1,7,6,8,5,11,10,12,9 (seqüência alternada)

Modelo implementado usando a FSSM

Foi gerado um modelo para cada teste, isto é, foram gerados ao todo 36 modelos. Isto foi necessário, pois observaram-se variações significativas da velocidade nos testes num mesmo cenário, conforme mostrado na Tabela 6.3. O tempo de processamento para simulação foi de 290 s. Na Figura 6.6 são apresentados os dados para simulação usando a FSSM, para o teste 1 do cenário 1. A velocidade angular no rodado traseiro (corpo 2) foi configurada para -4,91 *rad/s*, que promove uma velocidade linear de 9,02 *km/h* do trator, já considerando a patinagem. Foram apresentadas somente algumas coordenadas que definem o perfil do solo, as demais foram omitidas, pois são necessárias centenas de coordenadas para definir o perfil do solo.

```

Corpos
CH , ID, NUM, FIXO, PNEU, SOLO , X, Y, PHI, DXI, DYI, DPHEI, MASSA, MOMENTO, FX, FY, TORQUE, ESCALA
#CP,19248,1,False,False,True,-0.38161,-0.0002,0,0,0,0,0, 0 ,0,0.94808
#CP,F4DE,2,False,True,False,0.00001,0.5232,0,0,0,0,422.76,60.051,0, 0 ,0,0.09192
#CP,F4DD,3,False,False,False,0.85261,0.5604,0,0,0,0,1823,955,0, 0 ,0,0.09381
#CP,F4DF,4,False,True,False,1.93001,0.32,0,0,0,0,54.03,2.942,0, 0 ,0,0.0495
-----
Pneus
CH , CORPO, TIPO, K, CA, H, L, IDADE, PRESSAO, DE
#PNEU,2,Diagonal,701634.74,6200,0.178,0.378,0,0.9652,1.067
#PNEU,4,Diagonal,536863.22,6200,0.127,0.1905,0,1.6547,0.6604
-----
Juntas de Revolucao
CH, NUM , CORPOI, CORPOJ, QUII,NETAI, QUIJ, NETAJ, ESCALA
#JR,1,2,3,0,0,-0.852599734036679,-3.72024329276323E-02,0.14791
#JR,2,3,4,1.07739975123966,-0.240402334172396,0,0,0.14791
-----
Juntas Motrizes
CH , NUM, CORPO, NUM.COORD.(1=X;2=Y;3=PHI),POS,VEL,ACEL,ESCALA
#JM,1,2,3,0,-4.91,0,0.207
-----
Pontos de Interesse
CH, NUM, CORPO, X, Y, ESCALA
#PI,1,3,-0.901700000302732,0.122999998520466,0.14791
#PI,2,3,1.07638999994256,0.07,0.14791
-----
CH, TIPO DE ANÁLISE, T.INICIAL, T.FINAL, DELTA T
#DA,Dinamica,0,9.5,0.002
-----
SOLO
CH, CORPO, TIPO, IC, DeltaX
#SOLO, 1 ,Firme,1800000,0.01
#COORD,-0.381608341556689,-1.99616479423674E-04
#COORD,-0.371608341556689,-1.99616479423677E-04
#COORD,-0.361608341556689,-1.99616479423679E-04
#COORD,-0.351608341556689,-1.99616479423681E-04
#COORD,-0.341608341556689,-1.99616479423683E-04
#COORD,-0.331608341556689,-1.99616479423685E-04
#COORD,-0.321608341556689,-1.99616479423687E-04
#COORD,-0.311608341556689,-1.99616479423689E-04
:
:
:

```

Figura 6.6 - Dados para configuração da simulação do trator no cenário A

Comparação entre os resultados simulados e experimentais

A comparação entre os resultados experimentais e simulados foi feita determinando-se os seguintes parâmetros:

- **Frequência de vibração:** obtida a partir de análise espectral utilizando transformada rápida de Fourier (FFT - *Fast Fourier Transform*). Foi utilizado programa gratuito Xnumbers, versão 5.6 desenvolvido pela Foxes Team em 2007.
- **Amplitude:** obtida a partir do maior valor, em módulo, da aceleração encontrada ao longo do tempo.
- **Aceleração RMS:** é o valor quadrático médio da aceleração (do inglês *root mean square*) ou valor eficaz. Foi calculado somente nos intervalos de interesse,

iniciando no momento em que o trator encontra a lombada, até o instante em que a energia gerada pela excitação foi dissipada.

Análise de sensibilidade

Para identificar os fatores que mais influenciam nos resultados, foram realizadas simulações do trator com variações controladas dos seguintes parâmetros: velocidade, coeficiente de amortecimento, pressão nos pneus e momentos de inércia. Os seguintes critérios foram adotados:

- Foi escolhido o obstáculo C, depressão dupla em pista de terra, por retratar melhor as condições reais de trabalho do trator agrícola.
- Foram adotados valores médios utilizados nos testes de campo, isto é, velocidade do veículo $V=7,50$ km/h; coeficiente de amortecimento $C=6200$ kN.s/m; e pressões nos pneus de 206,85 e 110,32 kPa, para os pneus dianteiros e traseiros respectivamente.
- Variou-se um parâmetro de cada vez, mantendo os demais constantes. A variação de cada parâmetro foi de $\pm 10\%$ do valor médio.

6.3 Comparação entre os resultados experimentais e simulados

Os resultados detalhados da aceleração vertical em função do tempo, observados e simulados na FSSM, nos pontos P1 e P2 localizados respectivamente sobre o eixo traseiro e dianteiro do trator, em todos os cenários e testes listados na Tabela 6.4 estão apresentados de forma gráfica no APÊNDICE H.

A comparação entre os resultados simulados e experimentais foi feita com base nos seguintes parâmetros: frequência de vibração, amplitude de aceleração e aceleração RMS.

Frequências de vibração

Na Tabela 6.5 e Tabela 6.6 são apresentadas as frequências de vibração observadas e simuladas nos pontos P1 e P2, respectivamente, em cada teste nos diversos cenários. Estes valores foram extraídos a partir de análise espectral, utilizando a técnica FFT, conforme mostrada no APÊNDICE I. Em alguns casos não foi possível identificar uma frequência de

vibração predominante indicando ser a frequência natural de vibração, por isso as tabelas apresentam alguns campos sem preenchimento.

A maior diferença encontrada no ponto P1 foi 5,93%, em módulo, em alguns testes nos cenários 1, 3, 4, 8, 11 e 12. A maior diferença média encontrada foi 3,58% nos cenário 4 e 11.

A maior diferença encontrada no ponto P2 foi 18,14% no teste 3, cenário 11. A maior diferença média encontrada foi 15,96% no cenário 5.

Kading (2006), ao comparar os resultados do ensaio de campo com o simulado, encontrou diferenças de frequência de vibração da ordem de 7,5% para o rodado dianteiro. Lehtonen (2005) encontrou diferenças de 25% para o rodado traseiro e 13% para o rodado dianteiro. Estes valores foram obtidos de forma gráfica.

Tabela 6.5 – Frequências de oscilação das acelerações observadas e simuladas, no ponto P1 localizado na dianteira do trator agrícola.

Tipo de obstáculo	Cenário	Teste	Frequência Observada (Hz)	Frequência Simulada (Hz)	Diferença (%)	Diferença média em valores absolutos (%)
A - Lombada simples	1	1	4,40	4,15	-5,93	2,35
		2	4,69	4,52	-3,81	
		3	4,40	4,52	2,68	
	2	1	3,66	3,80	3,68	2,14
		2	4,11	3,91	-5,05	
		3	4,11	3,91	-5,05	
	3	1	4,40	4,15	-5,93	3,97
		2	4,40	4,40	-0,05	
		3	4,40	4,15	-5,93	
	4	1	4,40	4,15	-5,93	3,58
		2	4,40	4,15	-5,93	
		3	4,11	4,15	1,13	
B - Lombada trapezoidal	5	1	4,11	---	---	---
		2	4,11	---	---	
		3	4,11	---	---	
	6	1	4,11	3,91	-5,05	0,95
		2	3,52	3,66	3,95	
		3	3,52	3,66	3,95	
	7	1	3,81	---	---	---
		2	3,81	---	---	
		3	---	---	---	
	8	1	3,81	3,91	2,45	0,78
		2	4,11	4,15	1,13	
		3	4,40	4,15	-5,93	
C - Depressão dupla	9	1	---	3,91	---	---
		2	---	4,15	---	
		3	---	3,91	---	
	10	1	---	---	---	---
		2	---	---	---	
		3	---	---	---	
	11	1	4,40	4,15	-5,93	3,58
		2	4,40	4,15	-5,93	
		3	4,11	4,15	1,13	
	12	1	4,11	4,15	1,13	1,23
		2	4,11	4,15	1,13	
		3	4,40	4,15	-5,93	

Tabela 6.6 – Frequências de oscilação das acelerações observadas e simuladas, no ponto P2 localizado na traseira do trator agrícola.

Tipo de obstáculo	Cenário	Teste	Frequência Observada (Hz)	Frequência Simulada (Hz)	Diferença (%)	Diferença média em valores absolutos (%)
A - Lombada simples	1	1	---	4,64	---	12,96
		2	4,11	4,89	15,96	
		3	4,40	4,89	9,96	
	2	1	3,81	3,66	-4,05	5,57
		2	3,81	3,66	-4,05	
		3	4,11	3,78	-8,61	
	3	1	4,11	4,15	1,13	1,72
		2	4,40	4,89	9,96	
		3	4,40	4,15	-5,93	
	4	1	4,11	---	---	---
		2	4,11	---	---	
		3	4,11	---	---	
B - Lombada trapezoidal	5	1	4,11	4,89	15,96	15,96
		2	4,11	4,89	15,96	
		3	4,11	4,89	15,96	
	6	1	3,52	3,42	-2,91	1,67
		2	3,52	3,66	3,95	
		3	3,52	3,66	3,95	
	7	1	5,28	5,86	9,96	8,00
		2	5,28	5,62	6,04	
		3	---	---	---	
	8	1	3,81	3,91	2,45	1,21
		2	3,52	3,54	0,59	
		3	3,52	3,54	0,59	
C - Depressão dupla	9	1	4,69	5,13	8,57	9,91
		2	4,40	4,64	5,19	
		3	4,11	4,89	15,96	
	10	1	---	4,89	---	---
		2	---	4,89	---	
		3	---	4,89	---	
	11	1	4,69	5,37	12,68	14,50
		2	4,69	5,37	12,68	
		3	4,40	5,37	18,14	
	12	1	4,11	4,15	1,07	1,28
		2	4,11	4,15	1,07	
		3	4,40	4,15	-6,00	

Amplitude de acelerações

Nas Tabelas 6.7 e 6.8 são apresentadas as amplitudes observadas e simuladas nos pontos P1 e P2, respectivamente, em cada teste nos diversos cenários.

A máxima diferença entre a amplitude observada e a simulada, no ponto P1, foi 37,83% no teste 3 do cenário 7. O cenário 5 apresentou a maior média absoluta das diferenças, 26,97%, que representa a média absoluta dos testes 1, 2 e 3 deste cenário.

A máxima diferença entre a amplitude observada e a simulada, no ponto P2, foi de -62,85% no teste 1 do cenário 3. O cenário 3 apresentou a maior média absoluta das diferenças 49,92%.

As maiores diferenças foram encontradas em cenários com velocidades mais baixas, pois neste caso, as amplitudes são menores e mais influenciadas percentualmente por fatores indesejáveis, tais como: a vibração do motor, ondulações, pedras na pista, entre outros.

As diferenças encontradas no rodado dianteiro (P2) foram maiores que as encontradas no rodado traseiro (P1). Os seguintes fatores podem ter influenciado neste resultado: o motor, fonte de vibração, está mais próximo ao rodado dianteiro causando maiores vibrações na dianteira; a massa sobre o rodado dianteiro é menor e por isso é mais influenciada pela vibração do motor e ondulações e pedras na pista.

Houve grande variação das amplitudes observadas dentro do mesmo cenário, como pode ser visto no ponto P1, cenário 9, entre os testes 1 e 2, chegando a 40,31%. Os seguintes fatores podem ter causado esta diferença: o tratorista não conseguiu repetir precisamente a trajetória em todos os testes dentro do mesmo cenário; a velocidade pode não ter se mantido constante ao longo do percurso; houve variação na velocidade média do trator.

Ao realizar experimentos similares, isto é, comparando o observado em testes de campo com o simulado em ferramentas computacionais, Kading (2006) encontrou diferença de até 130% na amplitude da aceleração do rodado dianteiro, e Lehtonen (2005) encontrou diferenças de 17,4% no rodado dianteiro e 15,4% no rodado traseiro.

Tabela 6.7 – Máximas acelerações (amplitude) observadas e simuladas, no ponto P1 localizado na traseira do trator agrícola.

Tipo de obstáculo	Cenário	Teste	Máxima Aceleração Observada (m/s ²)	Máxima Aceleração Simulada (m/s ²)	Diferença (%)	Diferença média em valores absolutos (%)
A - Lombada simples	1	1	4,7760	5,8190	17,92	11,70
		2	4,7760	5,8505	18,36	
		3	6,0369	5,9659	-1,19	
	2	1	10,8130	11,4276	5,38	13,74
		2	9,8960	10,8909	9,14	
		3	11,5389	15,7413	26,70	
	3	1	7,6417	7,3037	-4,63	3,73
		2	6,4572	6,9795	7,48	
		3	8,3294	7,3037	-14,04	
	4	1	14,2135	13,5181	-5,14	7,66
		2	13,9078	13,0224	-6,80	
		3	17,4230	15,6895	-11,05	
B - Lombada trapezoidal	5	1	5,7695	4,5365	-27,18	26,97
		2	5,9605	4,8089	-23,95	
		3	6,0751	4,6807	-29,79	
	6	1	9,1700	9,5517	4,00	4,22
		2	11,3479	11,8261	4,04	
		3	10,5073	11,0171	4,63	
	7	1	4,7760	4,2202	-13,17	21,90
		2	5,1199	4,4643	-14,69	
		3	5,9223	4,2967	-37,83	
	8	1	13,0673	13,6884	4,54	10,34
		2	12,5706	10,0794	-24,71	
		3	11,1186	10,0300	-10,85	
C - Depressão dupla	9	1	7,2978	8,8570	17,60	0,91
		2	10,2398	8,0421	-27,33	
		3	8,6733	9,3260	7,00	
	10	1	14,9777	14,8127	-1,11	0,46
		2	18,6839	16,7431	-11,59	
		3	15,5508	17,5383	11,33	
	11	1	10,8512	8,9323	-21,48	24,29
		2	11,9974	8,7746	-36,73	
		3	10,5073	9,1639	-14,66	
	12	1	19,4481	22,9668	15,32	7,15
		2	21,5877	22,1832	2,68	
		3	21,7788	22,5523	3,43	

Tabela 6.8 – Máximas acelerações (amplitude) observadas e simuladas, no ponto P2 localizado na dianteira do trator agrícola.

Tipo de obstáculo	Cenário	Teste	Máxima Aceleração Observada (m/s ²)	Máxima Aceleração Simulada (m/s ²)	Diferença (%)	Diferença média em valores absolutos (%)
A - Lombada simples	1	1	5,5348	5,1155	-8,20	9,38
		2	5,0386	5,9266	14,98	
		3	8,4740	6,2802	-34,93	
	2	1	10,7261	8,1301	-31,93	15,90
		2	9,5428	7,5988	-25,58	
		3	9,5046	10,5405	9,83	
	3	1	8,0160	4,9222	-62,85	49,92
		2	6,6418	5,2229	-27,17	
		3	7,8633	4,9222	-59,75	
	4	1	13,1309	10,4838	-25,25	22,33
		2	12,2148	10,8899	-12,17	
		3	12,7110	9,8108	-29,56	
B - Lombada trapezoidal	5	1	5,2295	5,7212	8,59	6,66
		2	5,7639	5,9121	2,51	
		3	5,3440	5,8651	8,88	
	6	1	9,8482	8,0864	-21,79	1,51
		2	11,1078	12,1437	8,53	
		3	9,6955	10,6217	8,72	
	7	1	5,0768	8,0935	37,27	31,83
		2	5,9165	8,0689	26,68	
		3	5,5730	8,1424	31,56	
	8	1	13,0546	15,3967	15,21	2,70
		2	10,7643	10,3819	-3,68	
		3	11,5659	11,1809	-3,44	
C - Depressão dupla	9	1	9,0466	7,2294	-25,14	28,73
		2	8,8557	8,7486	-1,22	
		3	11,9858	7,4988	-59,84	
	10	1	10,6116	16,6480	36,26	28,99
		2	11,5277	17,3222	33,45	
		3	14,4287	17,4360	17,25	
	11	1	10,6498	9,5585	-11,42	21,67
		2	12,1003	9,5850	-26,24	
		3	12,4056	9,7415	-27,35	
	12	1	22,7119	20,2888	-11,94	2,97
		2	16,7190	20,2231	17,33	
		3	19,8109	20,5323	3,51	

Aceleração RMS

Nas Tabela 6.9 e Tabela 6.10 são apresentados os valores de aceleração RMS observados no teste de campo e obtidos por simulação, nos pontos P1 e P2, respectivamente. O intervalo de tempo adotado foi o instante em que o rodado dianteiro sofre a primeira excitação ao tocar a lombada, até o instante em que as acelerações se estabilizam novamente, isto é, no instante em que o sistema absorveu a energia provocada pela excitação inicial.

A máxima diferença entre a aceleração RMS observada e a simulada, no ponto P1, foi -37,36% no teste 3 do cenário 12. O cenário 5 apresentou a maior diferença média, 29,24%, que representa a média absoluta nos testes 1, 2 e 3 deste cenário.

A máxima diferença entre a amplitude observada e a simulada, no ponto P2, foi -42,31% no teste 3 do cenário 3. O cenário 3 também apresentou a maior média absoluta das diferenças (34,19%).

Não foram encontradas diferenças expressivas nas acelerações RMS, comparando o rodado dianteiro (P2) com o rodado traseiro (P1).

Houve grande variação das acelerações RMS observadas no teste de campo em um mesmo cenário, como pode ser visto no ponto P1, cenário 8, entre os testes 1 e 2, chegando a 40,11%. Os seguintes fatores podem ter causado esta diferença: o tratorista não conseguiu repetir precisamente a trajetória em todas os testes dentro do mesmo cenário; a velocidade não foi mantida constante ao longo do percurso; houve variação na velocidade média do trator.

Ao realizar experimentos similares, isto é, comparando o observado em testes de campo com o simulado em ferramentas computacionais, Lehtonen (2005) encontrou diferenças de cerca de 18% na aceleração RMS do rodado dianteiro e 5% no rodado traseiro.

Tabela 6.9 - Resultados das acelerações RMS Observadas e Simuladas, no ponto P1 localizado na traseira do trator agrícola.

Tipo de obstáculo	Cenário	Teste	RMS Observado (m/s ²)	RMS Simulado (m/s ²)	Diferença (%)	Média das diferenças (%) em valores absolutos
A - Lombada simples	1	1	1,3894	1,6180	14,13	11,91
		2	1,5902	1,7027	6,61	
		3	1,4847	1,7462	14,98	
	2	1	2,6322	3,5424	25,70	25,37
		2	2,7236	3,3424	18,51	
		3	3,3665	4,9440	31,91	
	3	1	2,0938	2,8210	25,78	25,41
		2	1,8978	2,5329	25,08	
		3	2,1653	2,9013	25,37	
	4	1	3,3305	3,6667	9,17	7,00
		2	3,2515	3,5680	8,87	
		3	3,9911	4,1129	2,96	
B - Lombada trapezoidal	5	1	1,8212	1,4358	-26,84	29,24
		2	1,8673	1,4707	-26,96	
		3	1,9585	1,4624	-33,92	
	6	1	2,9816	3,3211	10,22	19,55
		2	3,3605	4,3895	23,44	
		3	2,8416	3,7875	24,97	
	7	1	1,6204	1,4294	-13,36	21,98
		2	1,7080	1,4428	-18,38	
		3	1,9289	1,4374	-34,19	
	8	1	4,1270	4,6444	11,14	19,39
		2	2,9455	3,8828	24,14	
		3	3,0668	3,9775	22,90	
C - Depressão dupla	9	1	1,5311	2,1026	27,18	20,86
		2	1,8775	2,1427	12,38	
		3	1,7171	2,2308	23,03	
	10	1	3,4945	4,1879	16,56	21,11
		2	3,8190	4,4996	15,13	
		3	3,1551	4,6151	31,64	
	11	1	2,1143	2,7472	23,04	20,57
		2	2,2637	2,6974	16,08	
		3	2,1645	2,7961	22,59	
	12	1	5,2700	6,0635	13,09	28,13
		2	4,2736	6,4701	33,95	
		3	3,8265	6,1091	37,36	

Tabela 6.10 - Resultados das acelerações RMS observada e simulada, no ponto P2 localizado na dianteira do trator agrícola.

Tipo de obstáculo	Cenário	Teste	RMS Observado (m/s ²)	RMS Simulado (m/s ²)	Diferença (%)	Média das diferenças (%) em valores absolutos
A - Lombada simples	1	1	1,5246	1,8103	15,78	9,61
		2	1,7480	2,1440	18,47	
		3	2,4485	2,3228	-5,41	
	2	1	3,1367	2,7705	-13,21	7,80
		2	2,9919	2,7161	-10,15	
		3	3,6541	3,6526	-0,04	
	3	1	2,6433	1,8749	-40,99	34,19
		2	2,3038	1,9317	-19,26	
		3	2,6938	1,8928	-42,31	
	4	1	3,5944	3,1720	-13,32	10,06
		2	3,3271	3,2781	-1,49	
		3	3,6561	3,1692	-15,36	
B - Lombada trapezoidal	5	1	2,1665	2,0444	-5,97	2,82
		2	2,1331	2,0800	-2,55	
		3	2,0691	2,0702	0,06	
	6	1	3,1106	2,5461	-22,17	12,63
		2	3,6770	3,4922	-5,29	
		3	3,3618	3,0446	-10,42	
	7	1	1,8339	2,5598	28,36	25,54
		2	1,8758	2,5872	27,50	
		3	2,1099	2,6623	20,75	
	8	1	3,6545	3,6476	-0,19	16,30
		2	3,1790	2,5881	-22,83	
		3	3,3845	2,6887	-25,88	
C - Depressão dupla	9	1	2,1031	2,0764	-1,29	1,92
		2	2,2667	2,2680	0,06	
		3	2,2665	2,1685	-4,52	
	10	1	3,7719	4,7367	20,37	27,89
		2	4,0214	5,4656	26,42	
		3	3,5099	5,5611	36,88	
	11	1	2,6984	2,8434	5,10	0,35
		2	2,9365	2,7671	-6,12	
		3	2,8911	2,9523	2,07	
	12	1	4,9558	4,9514	-0,09	14,09
		2	4,2591	5,4654	22,07	
		3	4,0101	5,0306	20,29	

6.4 Análise de sensibilidade

Os seguintes parâmetros foram analisados: velocidade, coeficiente de amortecimento e pressão nos pneus, os quais são detalhadamente apresentados a seguir:

Análise de sensibilidade à velocidade de deslocamento do trator

Nas Tabelas 6.11 e 6.12 são apresentadas as amplitudes (máximas acelerações), acelerações RMS e frequências para cada velocidade do trator agrícola, nos pontos P1 e P2 localizados respectivamente sobre o eixo traseiro e dianteiro do trator. Estes resultados foram obtidos a partir de simulação na FSSM. Os resultados detalhados estão apresentados de forma gráfica no Apêndice J.

No ponto P1, observou-se que, ao aumentar a velocidade em 10% (de 7,50 para 8,25m/s), a máxima aceleração (amplitude) aumentou 56,0% e a aceleração RMS aumentou 51,3%. A frequência não foi muito afetada neste rodado, pois caiu somente 2,5% quando a velocidade foi aumentada em 22%.

No ponto P2, observou-se que ao aumentar a velocidade em 22% (de 6,75 para 8,25m/s) a amplitude aumentou 71,6% e a aceleração RMS aumentou 44,6%. A frequência variou de forma não proporcional à velocidade, apresentando uma queda de 5,6% e subindo 6,9% em seguida.

Tabela 6.11 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a frequência em relação à velocidade, no ponto P1

Velocidade (m/s)	Máxima aceleração (m/s ²)	Aceleração RMS (m/s ²)	Frequência (Hz)
6,75	9,62	2,02	4,00
7,50	9,25	1,93	---
8,25	14,43	2,92	3,90

Tabela 6.12 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a frequência em relação à velocidade, no ponto P2

Velocidade (m/s)	Máxima aceleração (m/s ²)	Aceleração RMS (m/s ²)	Frequência (Hz)
6,75	8,63	2,04	5,40
7,50	11,84	2,31	5,10
8,25	14,81	2,95	5,45

Análise de sensibilidade em relação ao coeficiente de amortecimento

De forma análoga, nas Tabelas 6.13 e 6.14 são apresentados os resultados para três diferentes coeficientes de amortecimento dos pneus do trator agrícola, nos pontos P1 e P2 respectivamente.

No ponto P1, observou-se que, ao aumentar o coeficiente de amortecimento em 22% (de 5580 para 6820 kN.s/m) a amplitude caiu 0,6% e a aceleração RMS caiu 2,6%. A frequência não foi identificada por análise utilizando FFT.

No ponto P2, observou-se que ao aumentar o coeficiente de amortecimento em 22% (de 5580 para 6820 kN.s/m) a amplitude caiu 3,2% e a aceleração RMS caiu 7,5%. Não foram detectadas variações da frequência.

Tabela 6.13 – Máxima aceleração (amplitude), aceleração RMS e a frequência em relação ao coeficiente de amortecimento , no ponto P1

Coeficiente de amortecimento (kN.s/m)	Máxima aceleração (m/s ²)	Aceleração RMS (m/s ²)	Frequência (Hz)
5580	9,30	1,96	---
6200	9,25	1,93	---
6820	9,24	1,91	---

Tabela 6.14 – Máxima aceleração (amplitude), aceleração RMS e a frequência em relação ao coeficiente de amortecimento , no ponto P2

Coeficiente de amortecimento (kN.s/m)	Máxima aceleração (m/s ²)	Aceleração RMS (m/s ²)	Frequência (Hz)
5580	12,04	2,41	5,15
6200	11,84	2,31	5,15
6820	11,66	2,23	5,15

Análise de sensibilidade em relação às pressões nos pneus

De forma análoga, nas Tabelas 6.15 e 6.16 são apresentados os resultados para três diferentes pares de pressões dos pneus do trator agrícola, nos pontos P1 e P2, respectivamente.

No ponto P1, observou-se que ao aumentar as pressões em 22% (de 186,17 e 99,29 kPa para 227,54 e 121,35 kPa, nos pneus dianteiros e traseiros respectivamente) a amplitude caiu 10,2% e a aceleração RMS caiu 4,4%. Esperava-se o aumento das acelerações e não decréscimo conforme ocorreu. A explicação se deve ao fato de não ter ocorrido ressonância da excitação provocada pelos obstáculos com a frequência natural do sistema. As frequências permaneceram constantes, embora esperava-se que ocorresse o acréscimo das mesmas, devido ao aumento da rigidez dos pneus.

No ponto P2, observou-se que, ao aumentar as pressões em 22% (de 186,17 e 99,29 kPa para 227,54 e 121,35 kPa, respectivamente) a amplitude aumentou 12,9%, a aceleração RMS aumentou 0,9%, e a frequência aumentou 4%.

Tabela 6.15 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a frequência em relação às pressões nos pneus, no ponto P1

Pressão no pneu dianteiro (m/s)	Pressão no pneu traseiro (m/s)	Máxima aceleração (m/s ²)	Aceleração RMS (m/s ²)	Frequência (Hz)
186,17	99,29	9,85	2,06	4,40
206,85	110,32	9,25	1,93	4,40
227,54	121,35	8,85	1,97	4,40

Tabela 6.16 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a frequência em relação às pressões nos pneus, no ponto P2

Pressão no pneu dianteiro (m/s)	Pressão no pneu dianteiro (m/s)	Máxima aceleração (m/s ²)	Aceleração RMS (m/s ²)	Frequência (Hz)
186,17	99,29	10,68	2,26	4,95
206,85	110,32	11,84	2,31	5,10
227,54	121,35	12,06	2,28	5,15

Análise de sensibilidade em relação aos momentos de inércia de massa

Nas Tabelas 6.17 e 6.18 são apresentados os resultados para três diferentes momentos de inércia de massa do chassi e rodados do trator agrícola, nos pontos P1 e P2 respectivamente.

No ponto P1, observou-se que ao aumentar os momentos de inércia em 22% (de 859,50, 65,30 e 3,82 kg.m² para 1050,50, 79,82 e 4,66 kg.m², respectivamente para os momentos do chassi, rodado traseiro e rodado dianteiro) a amplitude caiu 7,6% e a aceleração RMS subiu 2,7%. A frequência não foi identificada por análise utilizando FFT.

No ponto P2, observou-se que ao aumentar os momentos de inércia em 22% (de 859,50, 65,30 e 3,82 kg.m² para 1050,50, 79,82 e 4,66 kg.m², respectivamente para os momentos do chassi, rodado traseiro e rodado dianteiro) a amplitude aumentou 7,2%, a aceleração RMS aumentou 13,1%, e a frequência caiu 2,9%.

Tabela 6.17 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a frequência em relação aos momentos de inércia de massa, no ponto P1

I_z^c (kg.m ²)	I_z^t (kg.m ²)	I_z^d (kg.m ²)	Máxima aceleração (m/s ²)	Aceleração RMS (m/s ²)	Frequência (Hz)
859,50	65,30	3,82	9,22	1,88	---
955,00	72,56	4,24	9,25	1,93	---
1050,50	79,82	4,66	8,52	1,93	---

Tabela 6.18 – Máxima aceleração, aceleração RMS e a frequência em relação aos momentos de inércia de massa, no ponto P2

I_z^c (kg.m ²)	I_z^t (kg.m ²)	I_z^d (kg.m ²)	Máxima aceleração (m/s ²)	Aceleração RMS (m/s ²)	Frequência (Hz)
859,50	65,30	3,82	11,22	2,14	5,15
955,00	72,56	4,24	11,84	2,31	5,10
1050,50	79,82	4,66	12,03	2,42	5,00

6.5 Discussão de alguns fatores que podem ter influenciado os resultados obtidos

A seguir, algumas variáveis e/ou características que podem ter influenciado nos resultados são discutidas:

- O coeficiente de amortecimento e coeficiente de rigidez de pneus agrícolas têm seus valores reduzidos quando a velocidade aumenta (Ahmed e Goupillon, 1997). Esta característica não foi considerada neste trabalho. Considerou-se neste trabalho que tanto a rigidez quanto o coeficiente de amortecimento são constantes em relação à velocidade.
- A pista de teste possui geometria em três dimensões e foi aproximada para duas dimensões na simulação, podendo ter gerado efeitos não modelados devido a sua assimetria;
- Na simulação, foi utilizada a velocidade média calculada a partir da divisão da distância percorrida pelo tempo medido com um cronômetro. Durante os testes, foram observados instantes de aceleração do motor para tentar manter a velocidade constante. Isto ocorreu principalmente quando o trator passava pelo(s) obstáculo(s), intervalo em que foi feita a medição da aceleração. A adoção da velocidade média pode ter causado as maiores diferenças entre os valores simulados e os obtidos nos testes de campo, visto que os resultados são muito sensíveis a variações deste parâmetro, conforme mostrado na análise de sensibilidade (subitem 6.4).
- O trator com motor ligado, mesmo parado, possui vibração proveniente do motor, com frequência que variou de 16,6 Hz (1000 RPM) a 25,0 Hz (1500 RPM). Somando esta vibração do motor com as vibrações provenientes do movimento do trator sobre solo com imperfeições, a amplitude da aceleração supera 2 m/s² antes de chegar ao obstáculo, provocando ruído ao sinal da ordem de 30% da amplitude do sinal medido.

Esta aceleração prévia foi negligenciada na simulação, e certamente contribuiu nas diferenças encontradas entre o simulado e o observado no teste de campo.

- O traçado dos obstáculos foi obtido de forma aproximada e com baixa exatidão. Foram utilizadas régua e trena para medição do traçado dos obstáculos A e B, e o perfilômetro para o obstáculo C. Foi observado em alguns testes de simulação, que pequenas alterações no traçado dos obstáculos provocam variações consideráveis na aceleração vertical.
- A pressão dos pneus foi obtida com um manômetro portátil com fundo de escala de um *psi* (6,89 kPa), que representa mais de 7% do valor medido, 14 *psi* (96,53 kPa). Isto implica em elevada imprecisão neste tipo de medição, podendo ter impactado nos resultados, visto que as amplitudes, acelerações RMS e frequências são sensíveis a variações deste parâmetro, conforme mostrado no subitem 6.4.
- A temperatura não foi medida durante os testes, e sua variação pode ter afetado a pressão dos pneus.
- A modelagem dos pneus utilizada neste trabalho é bastante simples e não retrata de forma precisa o comportamento dos mesmos. Em exemplo, os recalques não foram considerados no modelo e sabe-se que existe grande influência na interface pneu-solo.
- Na pista de prova com obstáculo C, o solo foi modelado como sendo firme, com índice de cone igual a 1800 kPa, porém observaram-se muitos pequenos torrões e pedras ao longo da pista, além de uma quantidade expressiva de terra solta próxima e inclusive dentro da depressão, contribuindo para ocorrência de erros.

6.6 CONCLUSÕES

Comparando-se os resultados experimentais com os resultados simulados com a FSSM para um trator agrícola trafegando sobre pistas com obstáculos pode-se concluir que:

- Na análise das frequências de vibração, a maior diferença média encontrada foi 3,58% no rodado traseiro, e 15,96% no rodado dianteiro. Conclui-se que os resultados são satisfatórios, comparando com resultados encontrados na literatura.
- Na análise das amplitudes, a maior diferença média encontrada foi 26,97% no rodado traseiro e 49,92% no rodado dianteiro. Estes resultados não são satisfatórios, embora fossem esperados, considerando as variações da velocidade nos testes de campo e a

inexatidão na sua medição, a elevada sensibilidade da amplitude em relação às variações da velocidade e também em relação aos resultados obtidos por outros autores.

- Na análise das acelerações RMS, a maior diferença média encontrada foi 29,24% no rodado traseiro e 34,19% no dianteiro. Tais valores, de forma análoga às diferenças encontradas nas amplitudes, não são satisfatórios, porém eram esperados.

Na análise de sensibilidade utilizando a FSSM, conclui-se que:

Ao aumentar a velocidade do trator em 10%, no rodado traseiro a amplitude da aceleração aumentou 56,0% e a aceleração RMS aumentou 51,3%. Ao aumentar a velocidade do trator em 22%, no rodado traseiro a frequência caiu 2,5% e no rodado dianteiro a amplitude da aceleração aumentou 71,6%, a aceleração RMS aumentou 44,6% e a frequência variou de forma não proporcional à velocidade, apresentando uma queda de 5,6% e subindo 6,9% em seguida. Estes resultados indicam que a amplitude da aceleração e a aceleração RMS são muito sensíveis, enquanto a frequência é pouco sensível às variações de velocidade..

Ao aumentar o coeficiente de amortecimento em 22%, a amplitude caiu 0,6% no rodado traseiro e 3,2% no dianteiro, a aceleração RMS caiu 2,6% no rodado traseiro e 7,5% no dianteiro, mostrando que a amplitude e a aceleração RMS são pouco sensíveis às variações do coeficiente de amortecimento. Não houve variação da frequência no rodado dianteiro. No rodado traseiro a frequência não foi identificada utilizando análise FFT.

Ao aumentar as pressões nos pneus em 22%, a amplitude caiu 10,2% no rodado traseiro e aumentou 12,9% no dianteiro, mostrando que a amplitude é sensível às variações das pressões dos pneus. A aceleração RMS caiu 4,4% no rodado traseiro e aumentou 0,9% no dianteiro. As frequências permaneceram constantes no rodado traseiro, aumentando em 4% no rodado dianteiro, mostrando que as acelerações RMS e frequências são pouco sensíveis às variações das pressões nos pneus.

Ao aumentar os momentos de inércia em 22%, a amplitude caiu 7,6% no rodado traseiro e aumentou 7,2% no dianteiro. A aceleração RMS subiu 2,7% no rodado traseiro e 13,1% no dianteiro, mostrando que tais resultados são sensíveis às variações dos momentos de inércia de massa. A frequência caiu 2,9% no rodado dianteiro e não pôde ser identificada por análise FFT no rodado traseiro, indicando que a frequência é pouco sensível às variações do momento de inércia de massa.

A partir dos resultados discutidos acima, a FSSM se apresenta como uma boa opção para simulação do comportamento dinâmico do trator agrícola trafegando sobre pistas com obstáculos, visto que bons resultados foram obtidos em todos os testes e com baixo tempo de processamento.

6.7 LITERATURA CITADA

AHMED, B.;GOUPILLON, J. F. Predicting the ride vibration of agricultural tractor. **Journal of Terramechanics**. Vol. 34, No.1, p.1-11, 1997.

BERASATEGUI, M.B.R. **Modelización y simulación del comportamiento de un sistema mecânico con suspensión aplicado a los asientos de los tractores agrícolas**. 2000. Dissertação de Doutorado. Universidade politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrônomos. 264p.

BERNHARD, B.;SCHLOTTER, V.; KUTZBACH, H. D. Spring and damping characteristics of water-filled tyres. **ASAE annual International Meeting**,.California-USA, July, 2001. 7p

DIMAROGONAS, A. D.; HADDAD, S. **Vibration for engineers**. Prentice-Hall. 1992.

SANTOS FILHO, P.F. Avaliação dos níveis de ruído e vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados. 2002. **Departamento de Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Viçosa-UFV**. Viçosa-MG. 53p.

GARCIA, R. F.; QUEIROZ, D. M.; MIYAGAKI, O. H.; PINTO, F. A. C. Programa computacional para aquisição de dados para avaliação de máquinas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol.7, No. 2, p.375-381. Campina

KADING, D. Multibody Dynamic Simulation of Off-Road Vehicles for Load Prediction, Stability, Safety, and Performance. **ASABE Annual Internacional Meeting**, Oregon Convention Center, Pórtland, Oregon, Julho 2006.

LEHTONEN, T.J. Validation of an agricultural tractor MBS model. **Int. J. of Heavy Vehicle System**, Vol. 12, No. , 2005

LIMA, J. S. S.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; ÁREAS, M. L. Estimativa das estabilidades longitudinal e transversal de tratores florestais utilizados na colheita de madeira. **Revista Árvore**. . v.28, n.6. Viçosa, Nov./Dec. 2004.

MATHIAS, M.H. **Análise de vibrações em tratores**. 1989. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica - UNESP. Guaratinguetá. 110p.

NIKRAVESH, P. E. Computer-aided analysis of mechanical systems. **Prentice Hall**. Englewood Cliffs. New Jersey, 1988.

NORTON, R.L. Design of machinery. **McGraw Hill**. New York. 2004.

NORTON, R. L. Design of machinery – An introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines. **McGraw-Hill**, New York. 1992. 714 p.

7 RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema computacional para simulação de sistemas mecânicos multicorpos, com funcionalidades adequadas às necessidades dos fabricantes de máquinas agrícolas, utilizando os recursos de programação gráfica do AutoCAD. Um algoritmo computacional, capaz de gerar automaticamente as equações que descrevem o movimento (posição, velocidade e aceleração) dos corpos rígidos do sistema multicorpo foi apresentado. O sistema de equações gerado foi resolvido usando métodos numéricos. Para resolver os sistemas de equações não-lineares foi utilizado o método de Newton-Raphson e, para o sistema de equações diferenciais ordinárias, o método de Runge-Kutta de quarta ordem. Para atender as demandas mais usuais, um conjunto de elementos de força foi modelado e implementado, possibilitando simulações em um universo maior de problemas. A FSSM possibilitou análises estática, cinemática e dinâmica de sistemas multicorpos. Forças do tipo: mola-amortecedor, constante, de impacto e harmônicas foram implementadas, bem como a cinemática de pares de engrenagens e pares de polias ligadas por correias. As forças de interação entre pneu e solo também foram modeladas e implementadas, possibilitando a simulação do movimento de veículos terrestres sobre o solo.

A implementação da FSSM foi composta por três módulos distintos: pré-processamento (em linguagem VBA), processamento (programa executável em linguagem VB) e pós-processamento (também em linguagem VBA), a qual promoveu flexibilidade para que este sistema seja implementado em outras estações CAD. Outro benefício é que o módulo de processamento pode ser executado sem a necessidade de ter-se um CAD instalado. Podem-se utilizar editores de texto para gerar o arquivo de dados e rodar o módulo de processamento (executável) para efetuar os cálculos e gerar os dados de saída, que podem ser facilmente interpretados ou ainda serem abertos em uma planilha eletrônica para geração de gráficos.

Testes foram realizados na tentativa de validar a FSSM. Ao todo foram seis testes. Os cinco primeiros foram basicamente a comparação entre o resultado obtido analiticamente e o obtido a partir da simulação com a FSSM. Para isso, fez-se necessária a modelagem de sistemas simples, cujas equações geradas pudessem ser resolvidas analiticamente. O primeiro sistema foi uma treliça, usada para validar o módulo de análise estática. O segundo foi um mecanismo tipo quatro-barras, visando validar a geração das equações que simulam as juntas de revolução e validar a análise cinemática da FSSM. O terceiro foi um conjunto de engrenagens planetárias, que permitiu validar simultaneamente o uso de restrições relativas aos pares de engrenagens e juntas de revolução em análise do tipo cinemática. O quarto

sistema foi do tipo massa-mola com movimento vertical que foi usado para validar as forças do tipo mola, forças peso e a análise dinâmica de sistemas. O quinto sistema foi do tipo massa-mola-amortecedor com movimento horizontal que foi usado para validar as forças do tipo mola com amortecimento, junta de translação e a análise dinâmica de sistemas. O sexto, foi o ensaio de campo de um trator agrícola, consistindo da medição da vibração vertical em dois pontos: um localizado na parte dianteira e outro na parte traseira. As medições foram feitas a partir de um sistema automático de aquisição de dados a bordo do trator e os valores da aceleração vertical ao longo do tempo foram comparados com os valores simulados na FSSM.

Concluiu-se que:

- 1) Na análise estática da treliça, comparando os resultados simulados com os analíticos, foi encontrada diferença máxima de 0,0007%, mostrando que o módulo de análise estática da FSSM apresentou resultado praticamente igual ao da solução analítica para a treliça analisada. O tempo de processamento⁹ foi menor que um segundo, mostrando que a FSSM consome muito pouco recurso de processamento neste tipo de análise.
- 2) Na análise do mecanismo do tipo quatro-barras, as diferenças percentuais máximas encontradas, comparando os resultados analíticos com os simulados, foram de: -0,0033% no ângulo θ_3 , -0,1142% na velocidade angular $\dot{\theta}_3$, 0,1240% na aceleração angular $\ddot{\theta}_3$; -0,0013% no ângulo θ_4 ; 0,7471% na velocidade angular $\dot{\theta}_4$; e 0,4431% na aceleração angular $\ddot{\theta}_4$ (vide Figura 5.4); mostrando que, para fins de projeto de máquinas agrícolas, a FSSM modelou adequadamente o mecanismo tipo quatro-barras, que envolve o uso de restrições relativas às juntas de revolução em análise do tipo cinemática. O tempo de processamento para simular um giro completo do mecanismo foi de 1,1s, o que era esperado devido à simplicidade do sistema.
- 3) Na simulação do sistema de engrenagens planetárias, comparando o resultado analítico com o simulado, não foi encontrada diferença na velocidade angular da engrenagem solar, indicando que a FSSM apresentou exatidão na simulação de um sistema de engrenagens planetárias que envolvem simultaneamente o uso de restrições relativas aos pares de engrenagens e juntas de revolução em análise do tipo

⁹ Tempo gasto para executar os cálculos na fase de processamento. Foi utilizado um microcomputador com Windows XP, processador Intel centrino 1.4MHz, 512 Mb RAM, HD de 40 Gb.

cinemática. O tempo de processamento para simulação de um giro completo da engrenagem solar foi de 6,56 s, considerado satisfatório para uma simulação desse porte.

- 4) Na simulação do sistema do tipo massa-mola na vertical, As diferenças percentuais máximas encontradas, comparando os resultados analíticos com os simulados, foram de -0,3603% para posição, 0,4725% para velocidade e 0,4187% para aceleração. Isso significa que, para fins de projeto de máquinas agrícolas, a FSSM modelou adequadamente o sistema massa-mola que envolveu a implementação das forças do tipo mola, forças peso, a definição de junta de translação e o módulo de análise dinâmica, em um pequeno tempo de processamento, em torno de 2,9s
- 5) No sistema do tipo massa-mola-amortecedor na horizontal, as diferenças percentuais máximas encontradas, comparando os resultados analíticos com os simulados, foram de 0,0496% na posição, 0,0608% na velocidade e -0,1450% na aceleração do corpo, o que mostra que, para fins de projeto de máquinas agrícolas, a FSSM modelou adequadamente o sistema massa-mola-amortecedor que envolveu a implementação das forças do tipo mola com amortecimento, junta de translação e a análise dinâmica, em um baixo tempo de processamento, em torno de 3,0s. Os erros foram atribuídos às aproximações numéricas dos algoritmos.
- 6) Na simulação do trator agrícola trafegando em pistas com obstáculo(s), foram obtidos, em sua maioria, resultados satisfatórios quando comparados com os valores observados nos testes de campo. O tempo de processamento para simulação foi de 290s, o que é bastante razoável para uma simulação desse porte. Os resultados são discutidos a seguir:
 - a) Na análise das frequências de vibração, comparando o simulado com o observado no teste de campo, a maior diferença média encontrada foi 3,58% no rodado traseiro, e 15,96% no dianteiro. Conclui-se que estes resultados são satisfatórios, comparando com outros trabalhos encontrados na literatura.
 - b) Na análise das amplitudes, comparando o simulado com o observado no teste de campo, a maior diferença média encontrada foi 26,97% no rodado traseiro e 49,92% no rodado dianteiro. Houve grande variação das amplitudes observadas dentro do mesmo cenário, chegando a 40,31%. Estes resultados não são satisfatórios, embora fossem esperados, considerando as variações da velocidade nos testes de campo e a inexatidão na sua medição, a elevada sensibilidade da

amplitude em relação às variações da velocidade e também em relação aos resultados obtidos por outros autores.

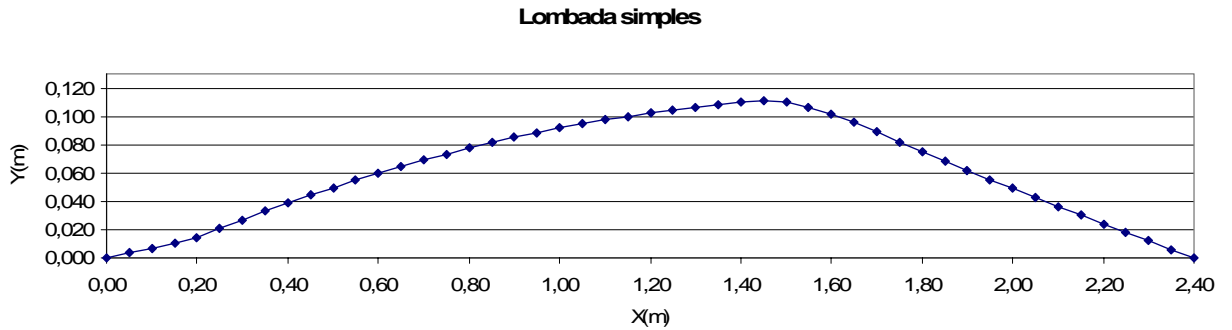
- c) Na análise das acelerações RMS, comparando o simulado com o observado no teste de campo, a maior diferença média encontrada foi 29,24% no rodado traseiro e 34,19% no dianteiro. Houve grande variação das amplitudes observadas dentro do mesmo cenário, chegando a 40,11%. Tais valores, de forma análoga às diferenças encontradas nas amplitudes, não são satisfatórios, porém eram esperados.

A partir dos resultados discutidos nesta seção, a FSSM se apresenta como uma boa opção para simulação de sistemas mecânicos em geral e também em simulação de equipamentos e tratores agrícolas de pneus, visto que bons resultados foram obtidos em todos os testes, com baixo tempo de processamento, o que viabiliza a ferramenta a ser utilizada em computadores de pequeno porte.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Este Apêndice apresenta informações, levantadas no campo, que definem o perfil da lombada simples utilizada na simulação.



Seq.	X(m)	Y(m)	Seq.	X(m)	Y(m)	Seq.	X(m)	Y(m)
1	0,00	0,000	18	0,85	0,081	35	1,70	0,089
2	0,05	0,004	19	0,90	0,085	36	1,75	0,082
3	0,10	0,007	20	0,95	0,089	37	1,80	0,075
4	0,15	0,011	21	1,00	0,092	38	1,85	0,069
5	0,20	0,014	22	1,05	0,095	39	1,90	0,062
6	0,25	0,021	23	1,10	0,098	40	1,95	0,055
7	0,30	0,027	24	1,15	0,100	41	2,00	0,049
8	0,35	0,033	25	1,20	0,103	42	2,05	0,043
9	0,40	0,039	26	1,25	0,105	43	2,10	0,036
10	0,45	0,044	27	1,30	0,107	44	2,15	0,030
11	0,50	0,050	28	1,35	0,108	45	2,20	0,024
12	0,55	0,055	29	1,40	0,110	46	2,25	0,018
13	0,60	0,060	30	1,45	0,111	47	2,30	0,012
14	0,65	0,065	31	1,50	0,110	48	2,35	0,006
15	0,70	0,069	32	1,55	0,106	49	2,40	0,000
16	0,75	0,073	33	1,60	0,102			
17	0,80	0,078	34	1,65	0,096			

Figura A.1- Gráfico e coordenadas x e y que definem o perfil da lombada simples utilizada na simulação.

APÊNDICE B

Na Figura B.1, é mostrada a pista de teste de campo utilizando dupla depressão como obstáculo. O traçado dos perfis 1A, 1B, 2A e 2B da depressão dupla foram obtidos através de um perfilômetro de 1,5m de comprimento, com as hastes espaçadas de 5cm. Como a simulação é bidimensional, foi necessário obter somente dois perfis (1 e 2) para o modelo. Os perfis 1A e 1B, bem como os perfis 2A e 2B, foram consolidados respectivamente nos perfis 1 e 2, a partir regressão polinomial de 6ª ordem conforme mostrado nas Figuras B.2 e B.3.

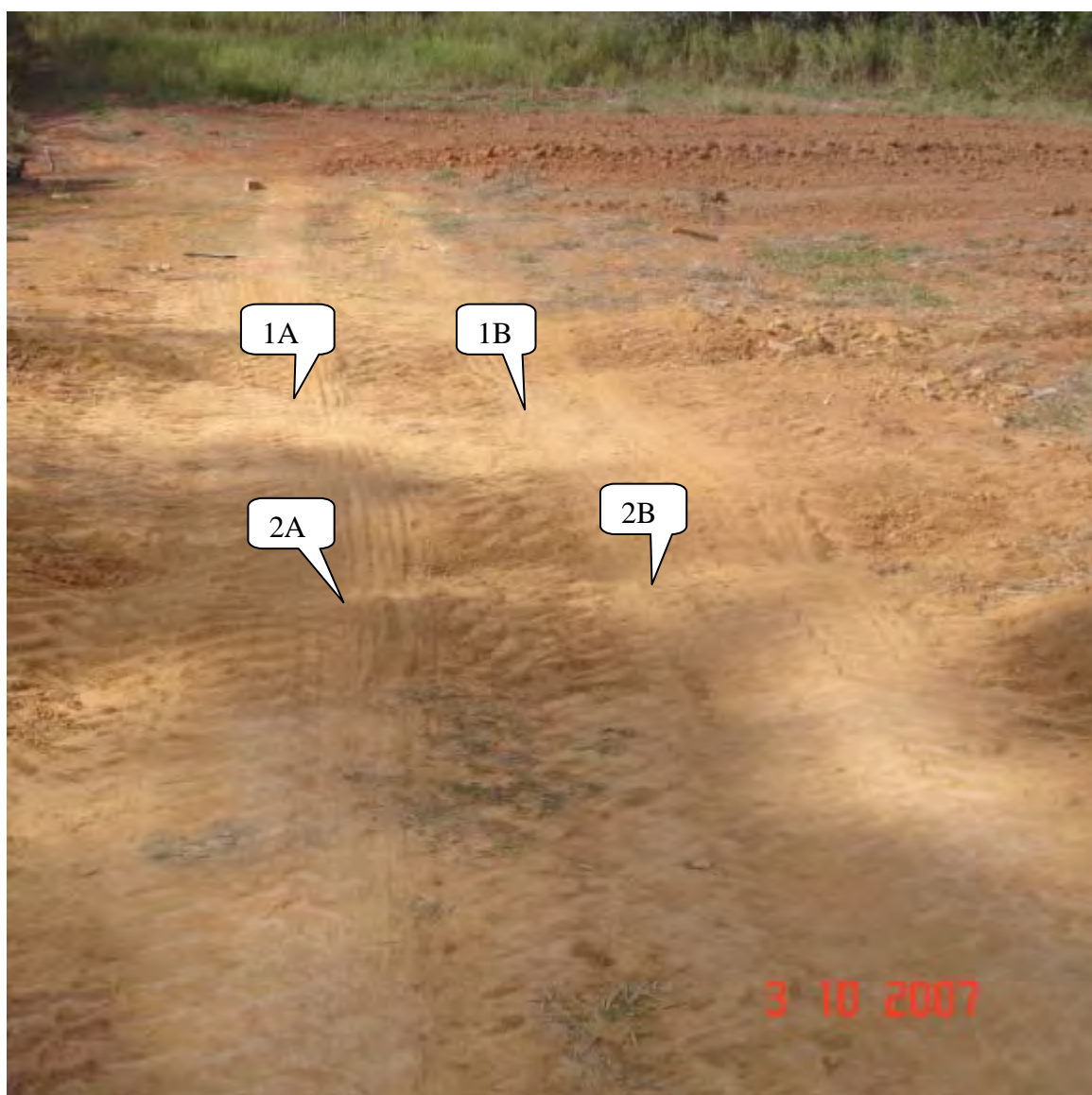


Figura B.1- Fotografia da dupla depressão utilizada no teste de campo.

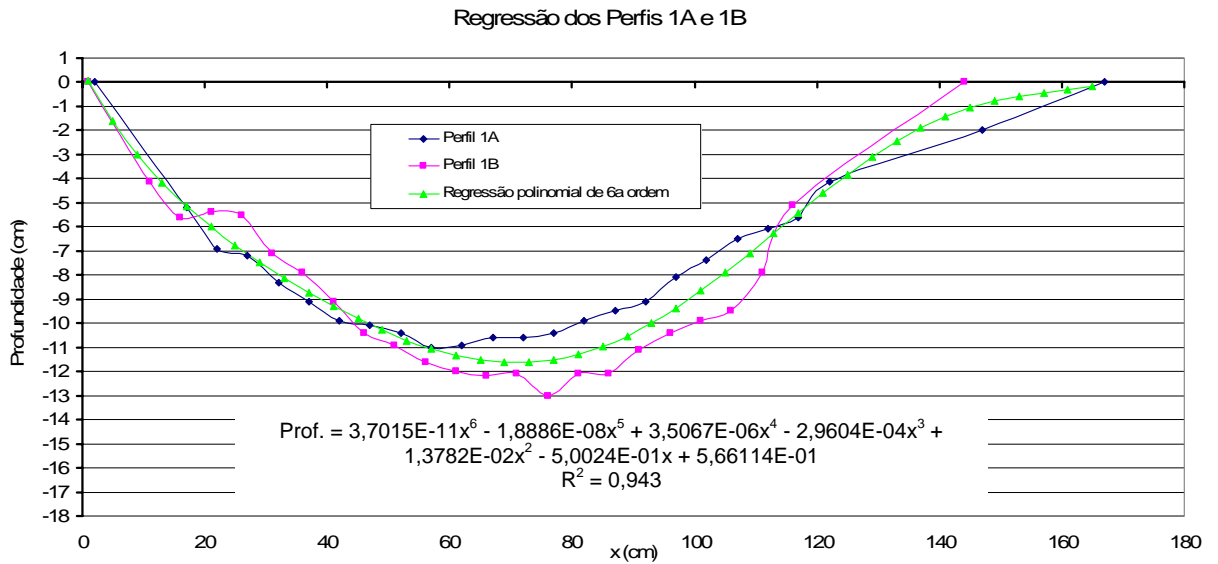


Figura B.2 - Regressão polinomial de 6ª ordem para obtenção do perfil 1 da depressão dupla.

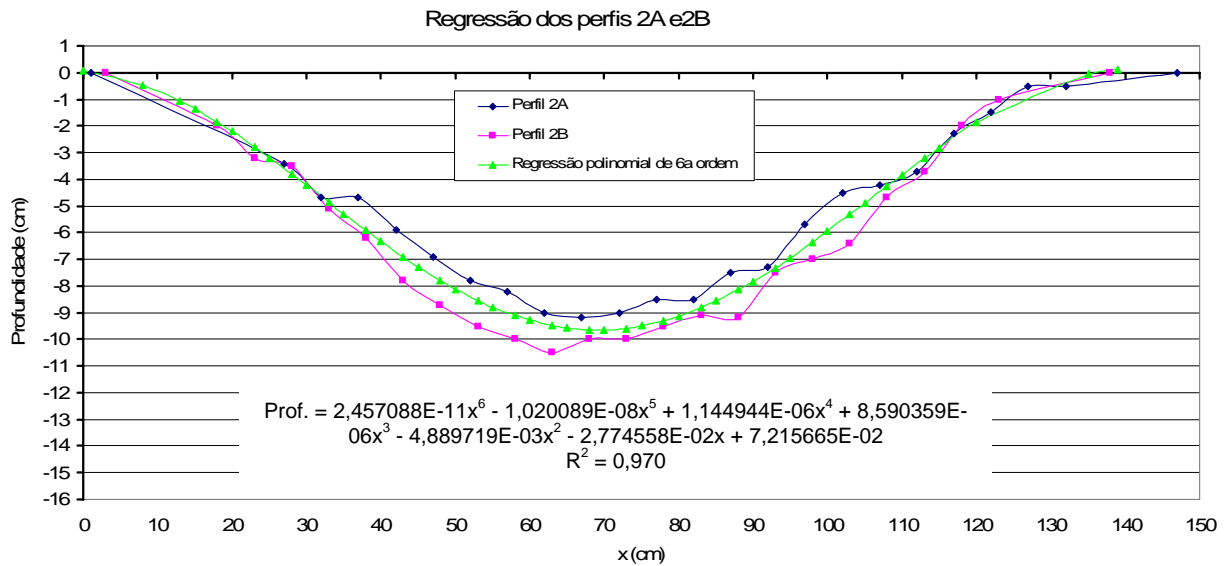


Figura B.3 - Regressão polinomial de 6ª ordem para obtenção do perfil 2 da depressão dupla.

APÊNDICE C

Fotografia das pistas onde foram realizados os testes de campo.



Figura C.1 - Fotografia da pista de prova com depressão dupla utilizada no teste de campo (obstáculo C).



Figura C.2 - Fotografia da pista de prova com lombada trapezoidal (obstáculo B).



Figura C.3 - Fotografia da pista de prova com lombada simples (obstáculo A).

APÊNDICE D

Fotografias do trator mostrando o local onde foram instalados os equipamentos de aquisição automática de dados.



Figura D.1- Fotografias do trator equipado com o sistema de aquisição de dados

APÊNDICE E

Determinação do centro de gravidade do trator

O método utilizado neste trabalho é o da “dupla pesagem” (Chudakoc, 1977, citado por Lima et al., 2004). Como o presente trabalho trata da simulação em um plano bidimensional, serão consideradas somente as coordenadas X e Y do centro de gravidade, isto é, o modelo considera que o trator possui apenas dois pontos de apoio sobre o solo, conforme ilustrado na Figura E.1.

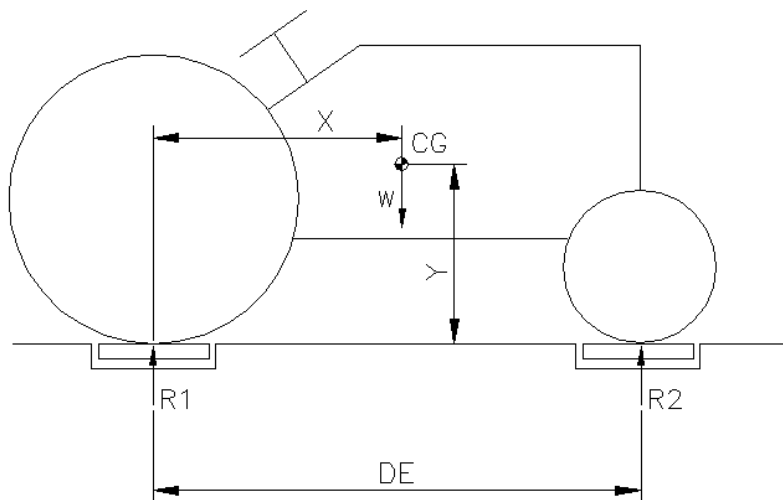


Figura E.1– Dimensões básicas para determinação do C.G.

Na Figura E.1 foram utilizadas as seguintes variáveis para expressar a posição do centro de gravidade do trator:

- Y - coordenada vertical do CG do chassi do trator (mm);
- X - coordenada longitudinal do CG do chassi do trator (mm);
- W - peso total do chassi do trator (N);
- R_1 - reação do solo contra o rodado traseiro, indicada por uma balança (N);
- R_2 - reação do solo contra o rodado dianteiro, indicada por uma balança (N),
- DE - distância entre o centro dos rodados dianteiro e traseiro (mm).

Para encontrar o valor de R_1 é necessário subtrair o peso do rodado traseiro, pois interessa encontrar o CG somente do chassi do trator. O mesmo cuidado deve ser tomado para obter o valor de R_2 , pois é necessário subtrair o peso do rodado dianteiro.

A coordenada longitudinal horizontal do trator (X), contida no plano longitudinal do trator, foi calculada a partir da seguinte equação:

$$X = \frac{R_2 DE}{W} = \frac{805,68 \cdot 1,930}{1823,86} = 0,8526m \quad (E.1)$$

Para a determinação da coordenada vertical, eleva-se o eixo dianteiro a uma determinada altura e novas medições são realizadas, inclusive as novas pesagens para determinação de R_1 e R_2 , conforme é ilustrado na Figura E.

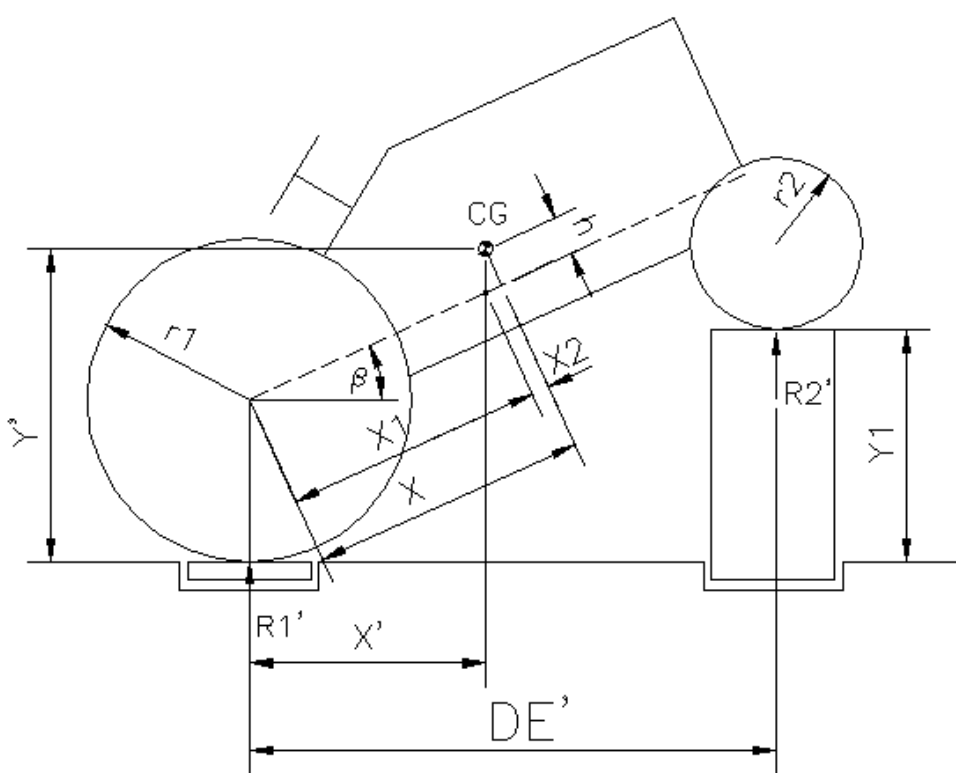


Figura E.2- Inclinação do trator para determinação do CG

Na Figura E.2 foram utilizadas as seguintes variáveis para representar a posição do centro de gravidade do trator:

- r_1 - raio estático do rodado traseiro, m ;
- r_2 - raio estático do rodado dianteiro, m ;
- X' - projeção da coordenada horizontal longitudinal (X) no plano de apoio, quando o eixo dianteiro estiver elevado, m ;

- X_1 , X_2 e h - são projeções auxiliares, m ;
- Y' - coordenada vertical do CG, quando o eixo dianteiro estiver elevado, m ;
- β_1 - ângulo de inclinação do eixo dianteiro, *graus*.
- Y_1 - altura da elevação do eixo dianteiro, m ;
- DE' - projeção horizontal da distância entre eixos, quando elevado, m .

Com certa aproximação, pode-se considerar que:

$$\beta_1 = \arctg\left(\frac{Y_1}{DE'}\right) = \arctg\left(\frac{1,160}{1,730}\right) = 0,546 \text{ rad} = 33,84^\circ \quad (\text{E.2})$$

$$X' = \frac{Y_1 \times DE'}{W} = \frac{1,160 \times 1,730}{1823,86} = 0,6928 \text{ m} \quad (\text{E.3})$$

$$X_1 = \frac{X'}{\cos(\beta_1)} = \frac{0,6928}{\cos(33,84^\circ)} = 0,8342 \text{ m} \quad (\text{E.4})$$

$$X_2 = X_1 - X' = 0,8342 - 0,6928 = 0,0184 \text{ m} \quad (\text{E.5})$$

$$Y' = \frac{X_2}{\text{tg}(\beta_1)} = \frac{0,0184}{\text{tg}(33,84^\circ)} = 0,0274 \text{ m} \quad (\text{E.6})$$

$$Y = Y' + r1 = 0,0274 + 0,533 = 0,5604 \text{ m} \quad (\text{E.7})$$

APÊNDICE F

Determinação do momento de inércia de massa do trator

O momento de inércia foi determinado para cada parte do trator: corpo principal, rodado traseiro e rodado dianteiro.

O corpo principal (chassi do trator) foi considerado como sendo composto por diversas partes, tais como: motor, caixa de transmissão, engrenagens, estrutura, eixos, carenagens, entre outros.

O cálculo analítico do momento de inércia se torna complexo dependendo do nível de exatidão exigido. Neste trabalho, optou-se por uma simplificação do trator, objetivando apenas uma estimativa do momento de inércia. Para isso, o corpo principal foi modelado em quatro partes (blocos), com massas m_1 , m_2 , m_3 e m_4 , conforme o esquema das Figuras F.1 e F.2.

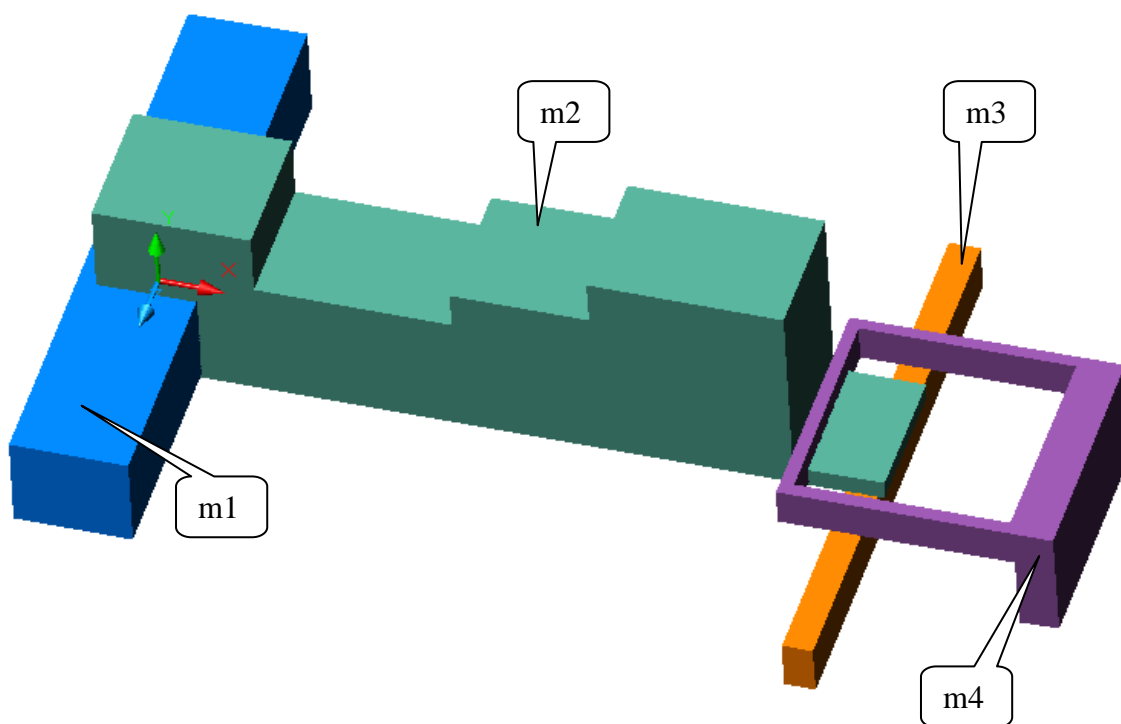


Figura F.1 - Esquema do chassi do trator em 3D utilizado no cálculo do momento de inércia.

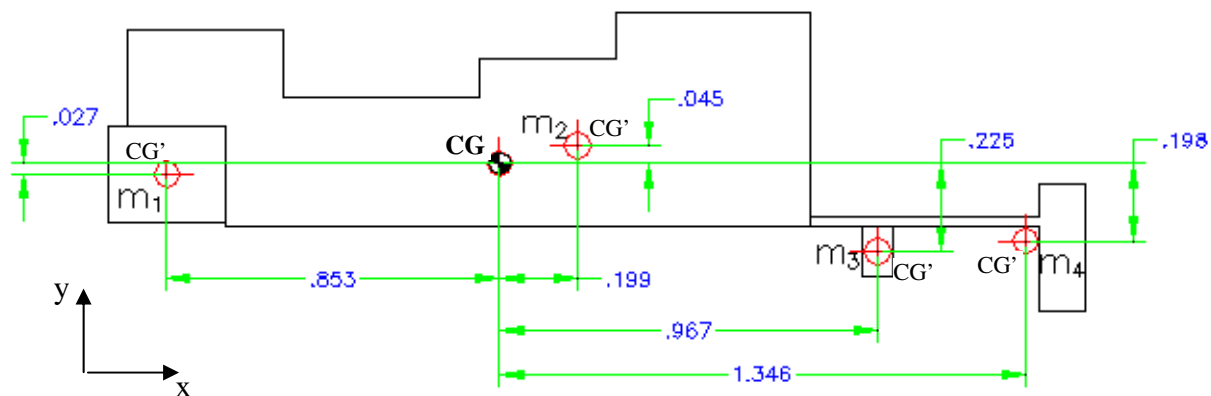


Figura F.2- Esquema com detalhamento dos centros de gravidade de cada parte do chassi do trator.

Na Figura F.2 foram utilizadas as seguintes variáveis para calcular o momento de inércia do trator:

- m1 - massa da parte 1, próximo ao eixo traseiro;
- m2 - massa da parte 2, compondo o restante do chassi;
- m3 - massa da parte 3, formado pelo eixo dianteiro;
- m4 - massa da parte 4, formado pelo lastro.

As massas associadas ao volante, carenagem, assento, etc. foram desprezadas. As dimensões foram extraídas do trator, e as seguintes premissas foram utilizadas:

- Cada parte possui densidade homogênea.
- O centro de massa de cada parte (CG') está localizado no centróide da região.
- O centro de massa do conjunto, isto é, o centro de massa das quatro partes deve coincidir com o centro de gravidade CG calculado empiricamente.

As massas m1, m2 e m3 são calculadas a partir da solução das equações lineares F.4, obtidas igualando-se o somatório dos momentos em relação ao centro de gravidade CG a zero e igualando o somatório das massas .

$$\sum_i^{CG} m_i g x_i = 0 \quad (F.1)$$

$$\sum_i^{CG} m_i g y_i = 0 \quad (F.2)$$

$$\sum_i m_i \cdot g = W \quad (F.3)$$

em que,

- m_i - massa da parte i que compõe o chassi;
- g - aceleração da gravidade;
- x_i - coordenada cartesiana horizontal da parte i em relação ao CG
- y_i - coordenada cartesiana vertical da parte i em relação ao CG
- W - força peso do trator excluindo os rodados dianteiros e traseiros.

isto é,

$$\begin{aligned} -0,853m_1 + 0,199m_2 + 0,967m_3 + 1,346m_4 &= 0 \\ -0,027m_1 + 0,045m_2 - 0,225m_3 - 0,198m_4 &= 0 \\ m_1 + m_2 + m_3 + m_4 &= 1823,86 \end{aligned} \quad (F.4)$$

A massa m_4 representa o lastro do trator, e foi obtida pela pesagem dos lastros dianteiros existentes no trator. No trator utilizado nesse trabalho, essa massa era de:

$$m_4 = 100 \text{ kg} \quad (F.5)$$

Resolvendo o sistema de Equações F.4 e F.5, obtêm-se os seguintes valores para as demais massas:

$$\begin{aligned} m_1 &= 510,8 \text{ kg} \\ m_2 &= 1135,2 \text{ kg} \\ m_3 &= 77,8 \text{ kg} \end{aligned} \quad (F.6)$$

Foi utilizado um software CAD¹⁰ para calcular o momento de inércia do conjunto, conforme mostrado na Figura F.1, em que cada parte do chassi foi configurada com massa igual à calculada nas Equações F.5 e F.6. O seguinte resultado foi obtido para o momento de inércia do chassi do trator:

$$I_z^c = 955 \text{ kg.m}^2 \quad (\text{F.7})$$

Para o cálculo do momento de inércia dos rodados, considerou-se que os rodados dianteiro e traseiro podem ser representados por discos planos com massa homogênea m e raio r . Com esta simplificação, a seguinte equação foi utilizada:

$$I_z^d = \frac{m_d r_d^2}{2} = \frac{77,80 \cdot 0,33^2}{2} = 4,24 \text{ kg.m}^2 \quad , \text{ para o rodado dianteiro} \quad (\text{F.8})$$

$$I_z^t = \frac{m_t r_t^2}{2} = \frac{510,80 \cdot 0,533^2}{2} = 72,56 \text{ kg.m}^2 \quad , \text{ para o rodado traseiro} \quad (\text{F.9})$$

em que,

I_z^d - momento de inércia do rodado dianteiro em relação ao eixo z.

I_z^t - momento de inércia do rodado traseiro em relação ao eixo z.

m_d - massa do rodado dianteiro

r_d - raio do rodado dianteiro

m_t - massa do rodado traseiro

r_t - raio do rodado traseiro

¹⁰ Foi utilizado o software Mechanical Desktop v6, desenvolvido pela Autodesk.

APÊNDICE G

Quadro G.1- Descrição detalhada dos códigos e assinaturas utilizadas nos dados de configuração da FSSM.

Código	Assinatura e Descrição
#CP	<p>Assinatura : CH, NUM, FIXO, PNEU, SOLO, X, Y, PHI, DX, DY, DPHI, MASSA, MOMENTO, FX, FY, TORQUE</p> <p>Comentários:</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #CP.</p> <p>NUM - Número seqüencial do corpo.</p> <p>FIXO - Variável booleana que indica se o corpo é fixo (corpo terra).</p> <p>PNEU - Variável booleana que indica se o corpo é do tipo Pneu.</p> <p>SOLO - Variável booleana que indica se o corpo é do tipo Solo.</p> <p>X, Y - Componentes X e Y da posição inicial do CG do corpo</p> <p>PHI - Ângulo inicial do eixo preso ao corpo em relação ao eixo global.</p> <p>DX, DY - Componentes X e Y da velocidade inicial do CG do corpo</p> <p>DPHI - Velocidade angular inicial do corpo</p> <p>MASSA - Massa do corpo</p> <p>MOMENTO - Momento de inércia polar, em relação ao CG do corpo.</p> <p>FX, FY - Força cartesiana constante atuando sobre o CG do corpo.</p> <p>TORQUE - Torque constante aplicado ao corpo.</p>
#PN	<p>Assinatura: CH, CORPO, TIPO, K, CA, H, L, IDADE, DE</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #PN.</p> <p>CORPO - Número seqüencial do corpo do tipo pneu.</p> <p>TIPO - Radial; Diagonal</p> <p>K - Constante elástica da mola</p> <p>CA - Constante de Amortecimento</p> <p>H - Altura do pneu ($[(\text{diâmetro externo} - \text{diâmetro do aro})/2]$)</p> <p>L - Largura do pneu.</p> <p>IDADE - Idade dos pneus .</p> <p>OBS. Não é necessário preencher os valores de H, L e IDADE quando for informado o valor de K. H, L e IDADE são necessários somente para o cálculo automático de K conforme Equação 6.5. O valor K inserido pelo usuário é</p>

	prioritário em relação ao cálculo automático.
#JR	<p>Assinatura: CH, NUM , CORPOI, CORPOJ, QUII,NETAI, QUIJ, NETAJ</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #JR.</p> <p>NUM - Número seqüencial da Junta de Revolução.</p> <p>CORPOI - Número do primeiro corpo ao qual a Junta de Revolução está ligada.</p> <p>CORPOJ - Número do segundo corpo ao qual a Junta de Revolução está ligada.</p> <p>QUII, NETAI - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao corpo I.</p> <p>QUIJ, NETAJ - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao corpo J.</p>
#JT	<p>Assinatura: CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUIIP, NETAIP, QUIIQ, QUIIQ, QUIJP, NETAJP</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #JT.</p> <p>NUM - Número seqüencial da Junta de Translação.</p> <p>CORPOI - Número do primeiro corpo ao qual a Junta de Translação está ligada.</p> <p>CORPOJ - Número do segundo corpo ao qual a Junta de Translação está ligada.</p> <p>QUIIP, NETAIP - Coordenadas cartesianas local do ponto P em relação ao eixo preso ao corpo I.</p> <p>QUIIQ, NETAIQ - Coordenadas cartesianas local do ponto Q em relação ao eixo preso ao corpo J.</p> <p>QUIJP, NETAJP - Coordenadas cartesianas local do ponto P em relação ao eixo preso ao corpo J.</p> <p>Obs. Vide Figura 2.3.</p>
#JS	<p>Assinatura: CH, NUM, CORPO, TIPO (1=X; 2=Y; 3=PHI)</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #JS.</p> <p>NUM - Número seqüencial da Junta Simples.</p> <p>CORPO - Número do corpo ao qual a Junta Simples está ligada.</p> <p>TIPO - Indica o tipo de Junta : TIPO=1, restringe o movimento na direção X; TIPO=2, restringe o movimento na direção Y; TIPO=3, restringe o movimento de rotação.</p>
#MA	<p>CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII, NETAI, QUIJ, NETAJ, K, CA, FORÇA, COMP</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #MA.</p> <p>NUM - Número seqüencial do elemento Mola-Amortecedor (MA).</p> <p>CORPOI - Número do primeiro corpo ao qual a MA está ligada.</p>

	<p>CORPOJ - Número do segundo corpo ao qual a MA está ligada.</p> <p>QUII, NETAI - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao corpo I.</p> <p>QUIJ, NETAJ - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao corpo J</p> <p>K - Constante elástica da mola.</p> <p>CA - Constante de Amortecimento</p> <p>FORÇA - Força constante aplicada pelo elemento. Valor positivo indica sentido de distensão e negativo indica sentido de compressão.</p> <p>COMP - Comprimento inicial(natural) da mola.</p>
#EN	<p>Assinatura: CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, JRI, ZI, JRJ, ZJ, TIPO</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #EN.</p> <p>NUM - Número seqüencial do par de engrenagens.</p> <p>CORPOI - Número seqüencial do corpo que representa a engrenagem I.</p> <p>CORPOJ - Número seqüencial do corpo que representa a engrenagem J.</p> <p>JRI - Número seqüencial da junta de revolução da engrenagem <i>i</i> (CORPOI).</p> <p>ZI - Número de dentes da engrenagem <i>i</i>.</p> <p>JRJ - Número seqüencial da junta de revolução da engrenagem <i>j</i> (CORPOI).</p> <p>ZJ - Número de dentes da engrenagem <i>j</i>.</p> <p>TIPO - Tipo de engrenagem: Interna ou Externa.</p> <p>Obs. O corpo <i>j</i> das juntas de revolução em um par engrenado deve ser o mesmo.</p>
#CO	<p>Assinatura: CH, NUM, CORPOI, CORPOJ, JRI, DNI, JRJ, DNJ,</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #CO.</p> <p>NUM - Número seqüencial do par de polias ligadas por correia.</p> <p>CORPOI - Número seqüencial do corpo que representa a polia <i>i</i>.</p> <p>CORPOJ - Número seqüencial do corpo que representa a polia <i>j</i>.</p> <p>JRI - Número seqüencial da junta de revolução da polia <i>i</i> (CORPOI).</p> <p>DNI - Diâmetro nominal da polia <i>i</i>.</p> <p>JRJ - Número seqüencial da junta de revolução da engrenagem <i>j</i> (CORPOI).</p> <p>DNJ - Diâmetro nominal da polia <i>j</i>.</p> <p>Obs. O corpo <i>j</i> das juntas de revolução em um par conectado por correia deve ser o mesmo.</p>
#JM	<p>Assinatura: CH, NUM, CORPO, TIPO(1=X; 2=Y; 3=PHI),POS,VEL,ACEL</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #JM.</p>

	<p>NUM - Número seqüencial da Junta Motriz.</p> <p>CORPO - Número do corpo ao qual a Junta Motriz está aplicada.</p> <p>TIPO - Indica o tipo de Junta Motriz: TIPO=1, movimento na direção X; TIPO=2, movimento na direção Y; TIPO=3, movimento de rotação.</p>
#FU	<p>Função do tipo IMPACTO:</p> <p>Assinatura: CH, TIPO, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII, NETAI, QUIJ, NETAJ, RI, RJ, K, EXP, Cmax, d</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #FU.</p> <p>TIPO - Tipo de força do usuário, neste caso IMP (impacto).</p> <p>NUM - Número seqüencial do elemento Força do Usuário (FU).</p> <p>CORPOI - Número do primeiro corpo ao qual a FU está ligada.</p> <p>CORPOJ - Número do segundo corpo ao qual a FU está ligada.</p> <p>QUII, NETAI - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao CORPOI.</p> <p>QUIJ, NETAJ - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao CORPOJ</p> <p>RI - Raio do CORPOI</p> <p>Rj - Raio do CORPOJ</p> <p>K, EXP, Cmax e d - Vide equação 3.15.</p> <p>Função do tipo STEP:</p> <p>Assinatura: CH, TIPO, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII, NETAI, QUIJ, NETAJ, X, X0, X1, H0, H1</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #FU.</p> <p>TIPO - Tipo de força do usuário, neste caso STEP (Degrau).</p> <p>NUM - Número seqüencial do elemento Força do Usuário (FU).</p> <p>CORPOI - Número do primeiro corpo ao qual a FU está ligada.</p> <p>CORPOJ - Número do segundo corpo ao qual a FU está ligada.</p> <p>QUII, NETAI - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao CORPOI.</p> <p>QUIJ, NETAJ - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao CORPOJ</p> <p>X, X0, X1, H0, H1 - Vide Equação 3.17.</p>

	<p>Função do tipo SHF:</p> <p>Assinatura: CH, TIPO, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII, NETAI, QUIJ, NETAJ, A, W, X, X0, PHI, B</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #FU.</p> <p>TIPO - Tipo de força do usuário, neste caso SHF (impacto).</p> <p>NUM - Número seqüencial do elemento Força do Usuário (FU).</p> <p>CORPOI - Número do primeiro corpo ao qual a FU está ligada.</p> <p>CORPOJ - Número do segundo corpo ao qual a FU está ligada.</p> <p>QUII, NETAI - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao CORPOI.</p> <p>QUIJ, NETAJ - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao CORPOJ</p> <p>A, W, X, X0, PHI, B - Vide Equação 3.16.</p> <p>Função do tipo CTE:</p> <p>Assinatura: CH, TIPO, NUM, CORPOI, CORPOJ, QUII, NETAI, QUIJ, NETAJ, F (CTE)</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #FU.</p> <p>TIPO - Tipo de força do usuário, neste caso CTE (Constante).</p> <p>NUM - Número seqüencial do elemento Força do Usuário (FU).</p> <p>CORPOI - Número do primeiro corpo ao qual a FU está ligada.</p> <p>CORPOJ - Número do segundo corpo ao qual a FU está ligada.</p> <p>QUII, NETAI - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao CORPOI.</p> <p>QUIJ, NETAJ - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao CORPOJ</p> <p>F - Força</p>
#PI	<p>Assinatura: CH, NUM, CORPO, QUII, NETAI</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #PI.</p> <p>NUM - Número seqüencial do Ponto de Interesse.</p> <p>CORPO - Número do corpo ao qual o Ponto de Interesse está ligado.</p> <p>QUII, NETAI - Coordenadas cartesianas local em relação ao eixo preso ao corpo .</p>
#DA	<p>Assinatura: CH, TIPO DE ANÁLISE, T.INICIAL, T.FINAL, DELTA T)</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #DA.</p>

	<p>TIPO DE ANÁLISE - Podem ser do tipo: Estática, Cinemática ou Dinâmica.</p> <p>T.INICIAL - Tempo inicial da simulação.</p> <p>T.FINAL - Tempo final da simulação.</p> <p>DELTA T - Valor do incremento do tempo utilizado na simulação.</p>
#SOLO	<p>Assinatura: CH, CORPO, TIPO, IC</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #SOLO.</p> <p>CORPO - Número seqüencial do corpo que representa o Solo.</p> <p>TIPO - Tipo de Solo : Firme, Médio, Leve ou Outros. Necessário somente se o IC não for informado.</p> <p>IC - Índice de Cone, necessário somente se o TIPO não for informado.</p>
#COORD	<p>Assinatura: CH, X, Y</p> <p>CH - Código que indica o tipo de elemento (Tabela 4.1), neste caso, #COORD.</p> <p>X, Y - Coordenadas cartesianas global que definem o perfil do solo.</p>

APÊNDICE H

Gráficos contendo a aceleração vertical em função do tempo, observadas e simuladas na FSSM, nos pontos P1 e P2 localizados respectivamente sobre o eixo traseiro e dianteiro do trator, em todos os cenários e testes listados na Tabela 6.4.

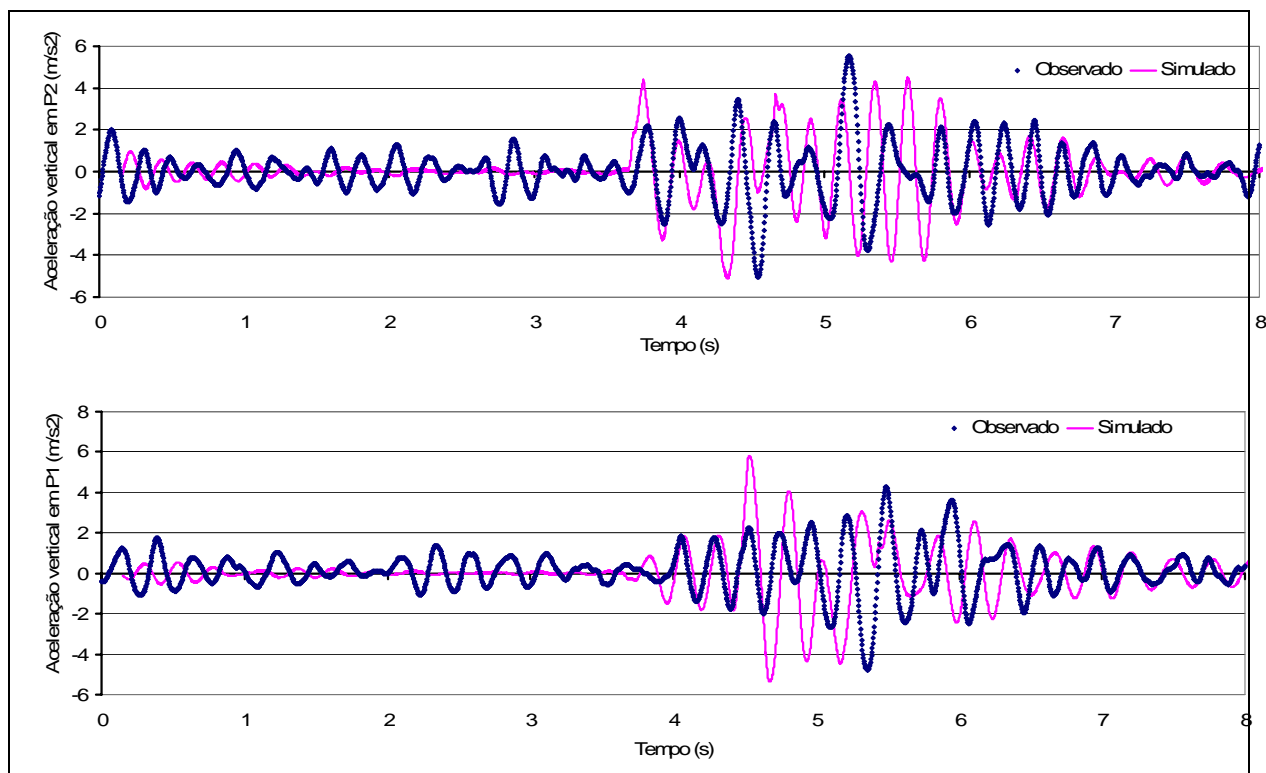


Figura H.1 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 1 - teste 1.

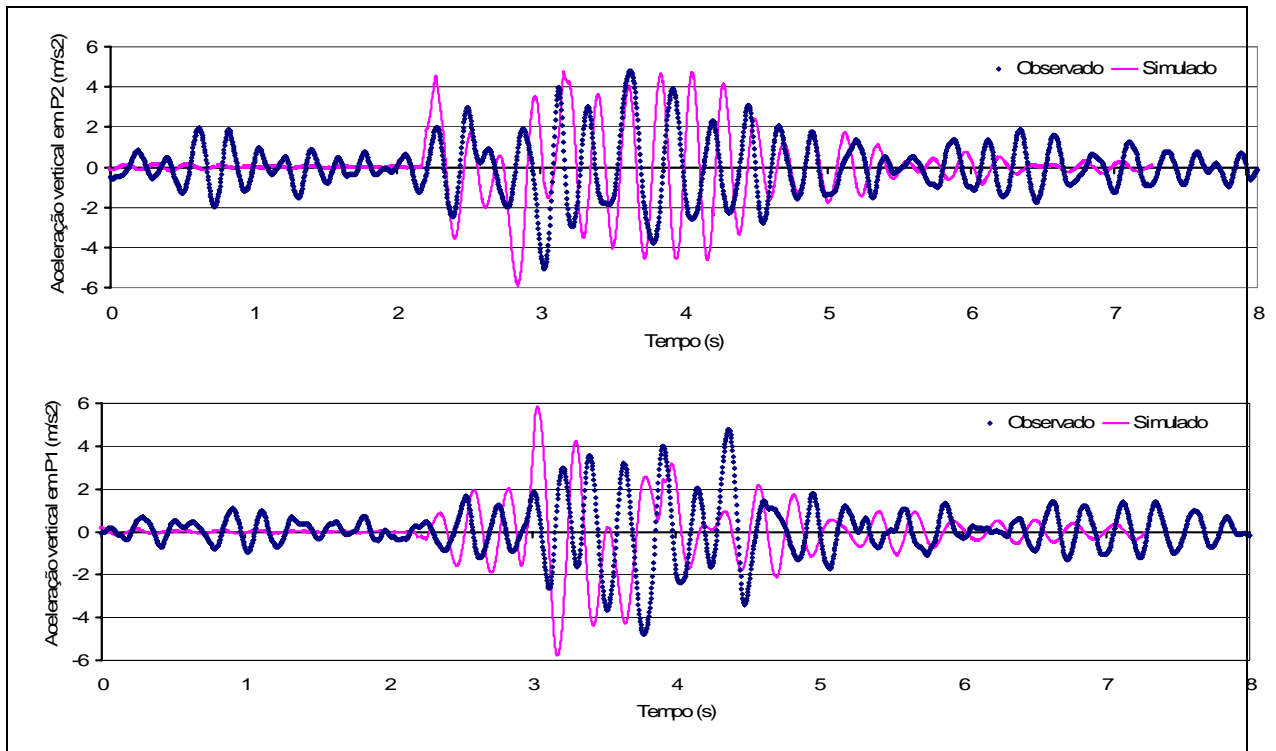


Figura H.2 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 1 - teste 2.

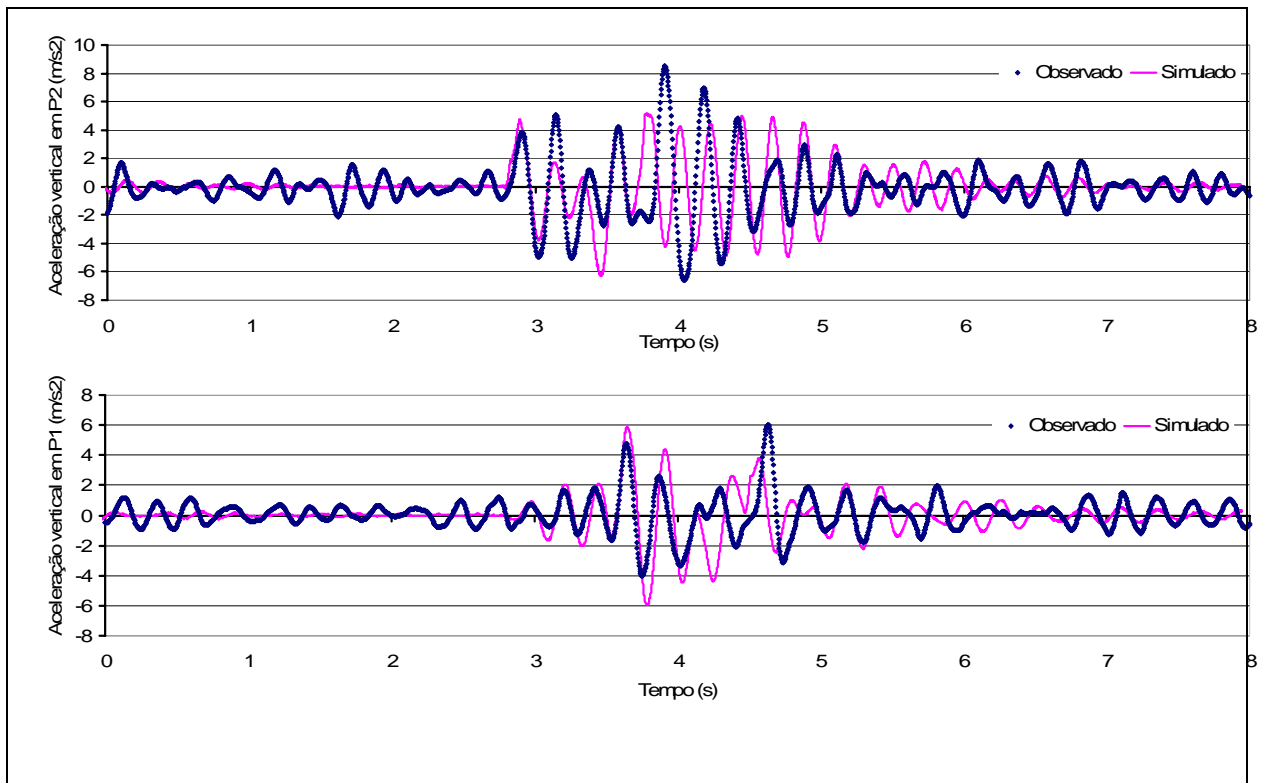


Figura H.3 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 1 - teste 3.

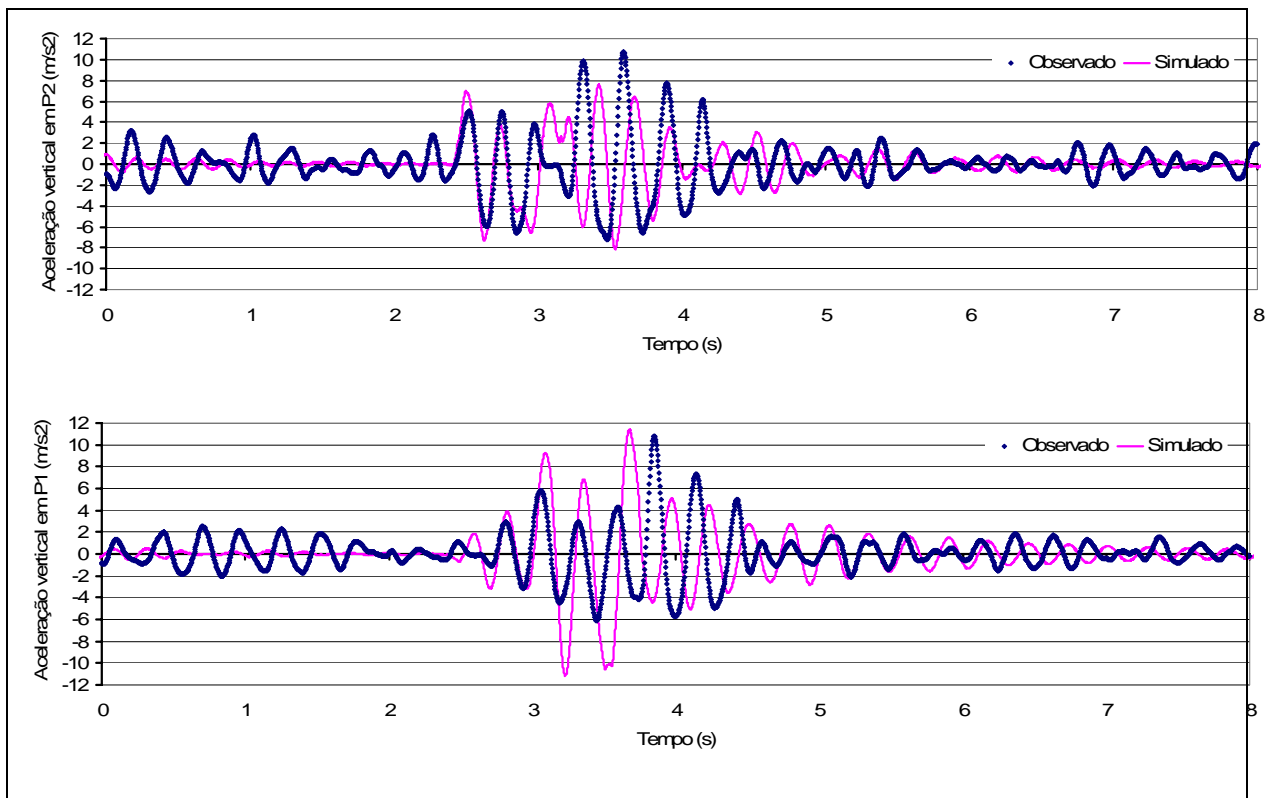


Figura H.4 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 2 - teste 1.

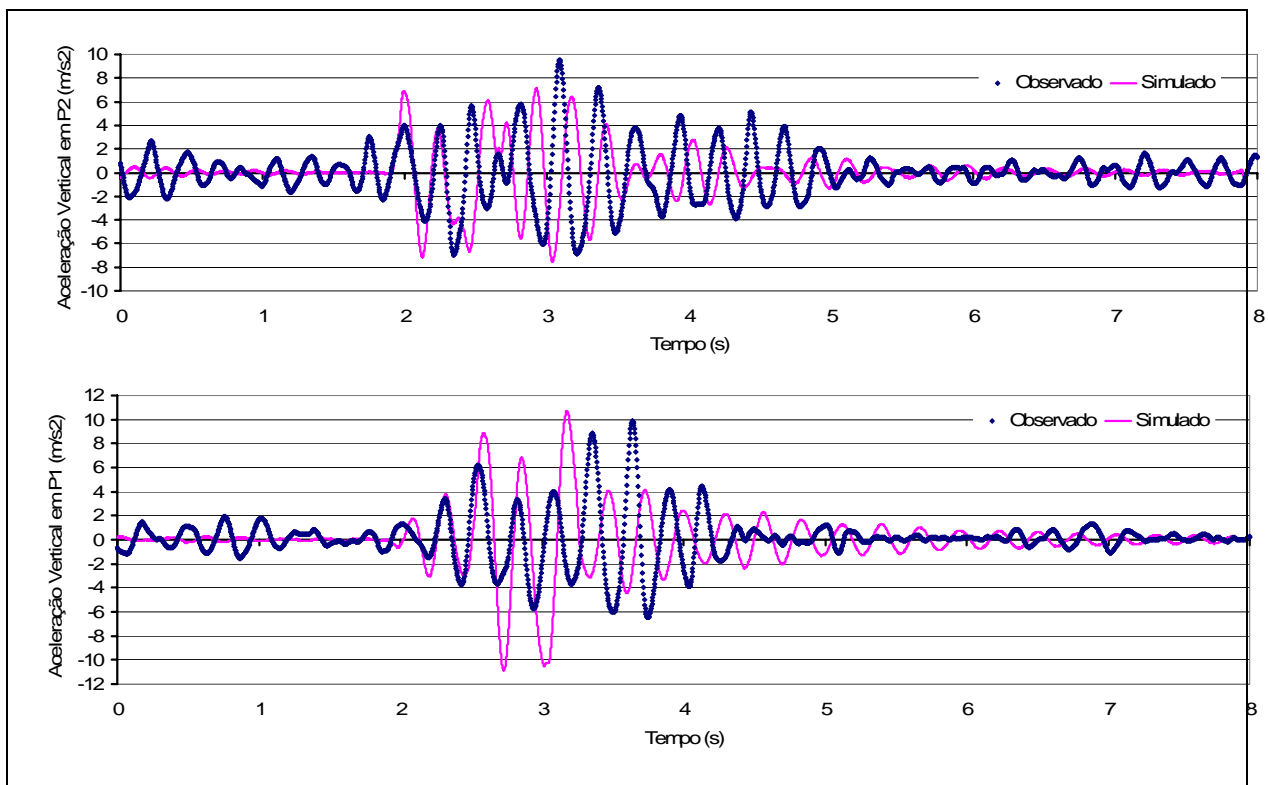


Figura H.5 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 2 - teste 2.

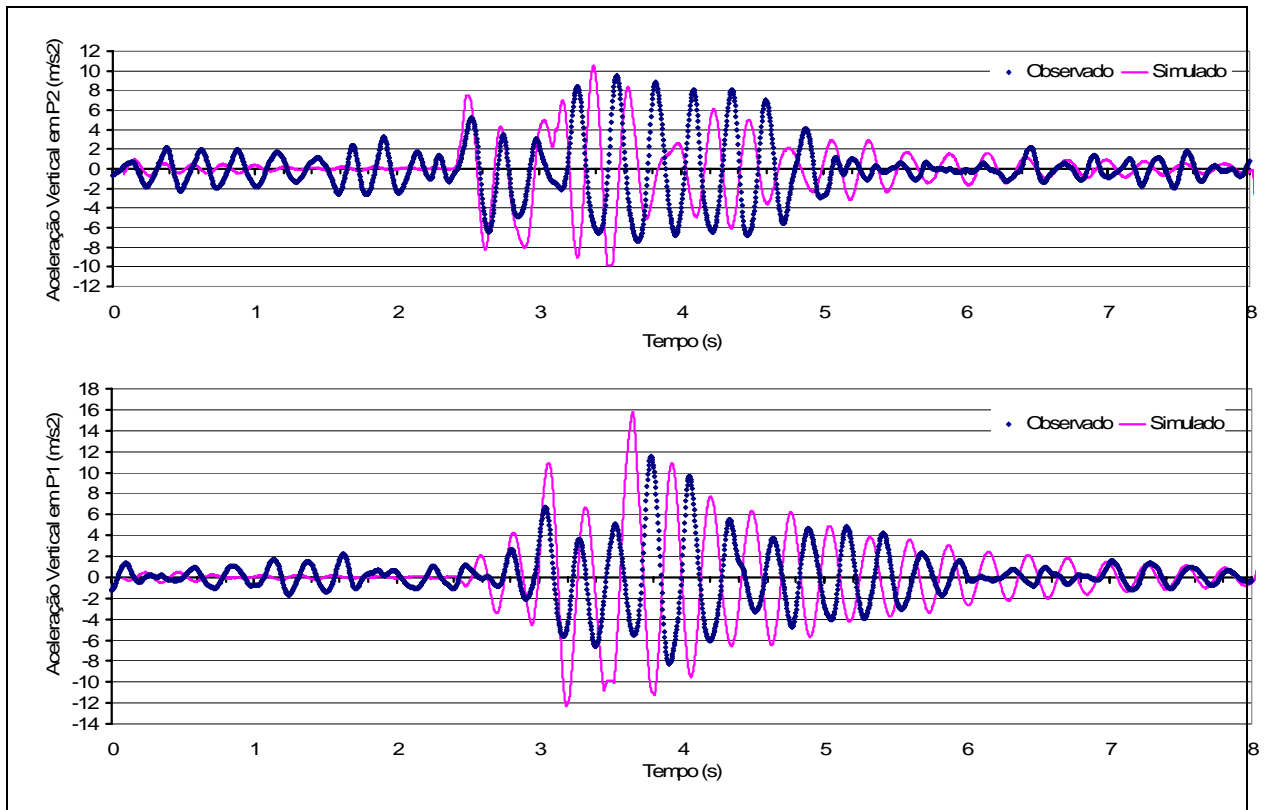


Figura H.6 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 2 - teste 3.

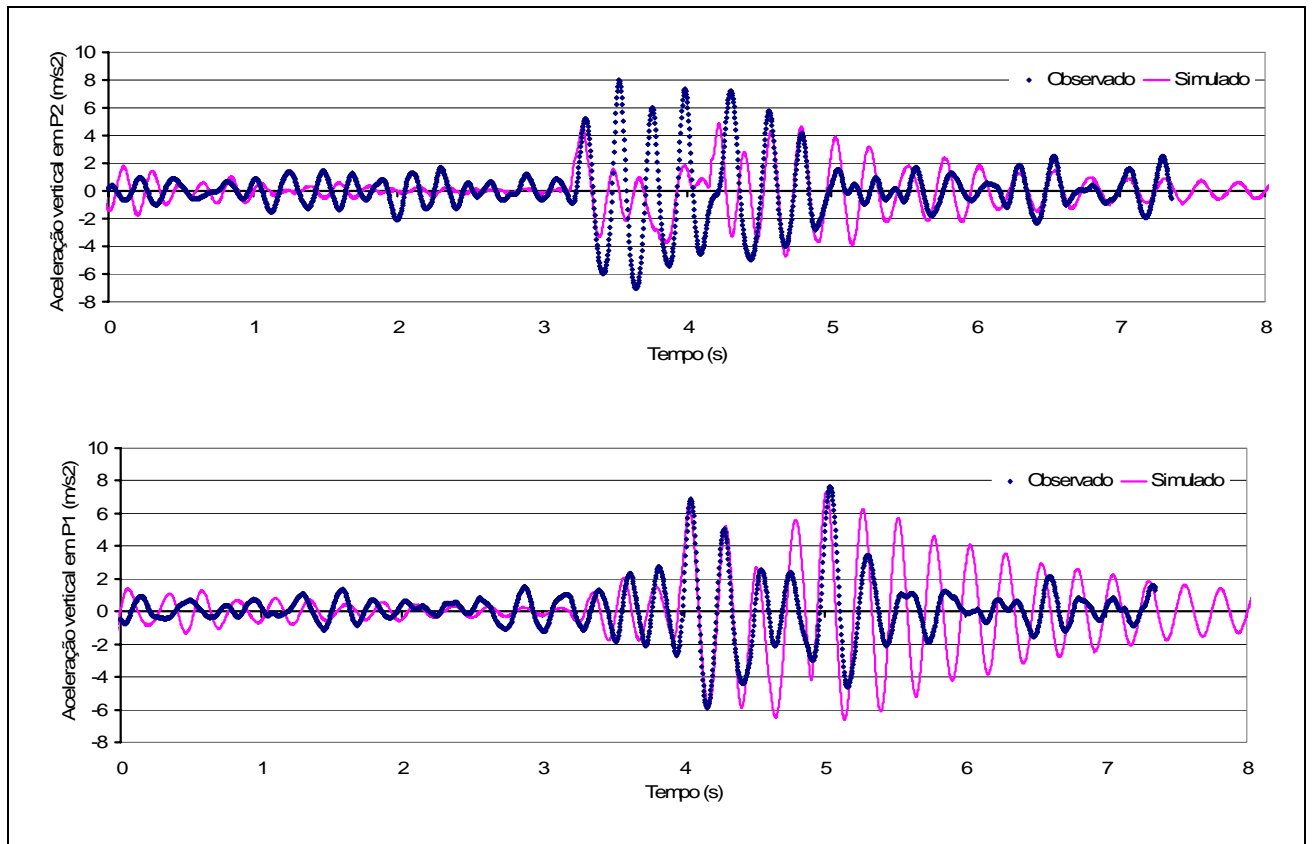


Figura H.7 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 3 - teste 1.

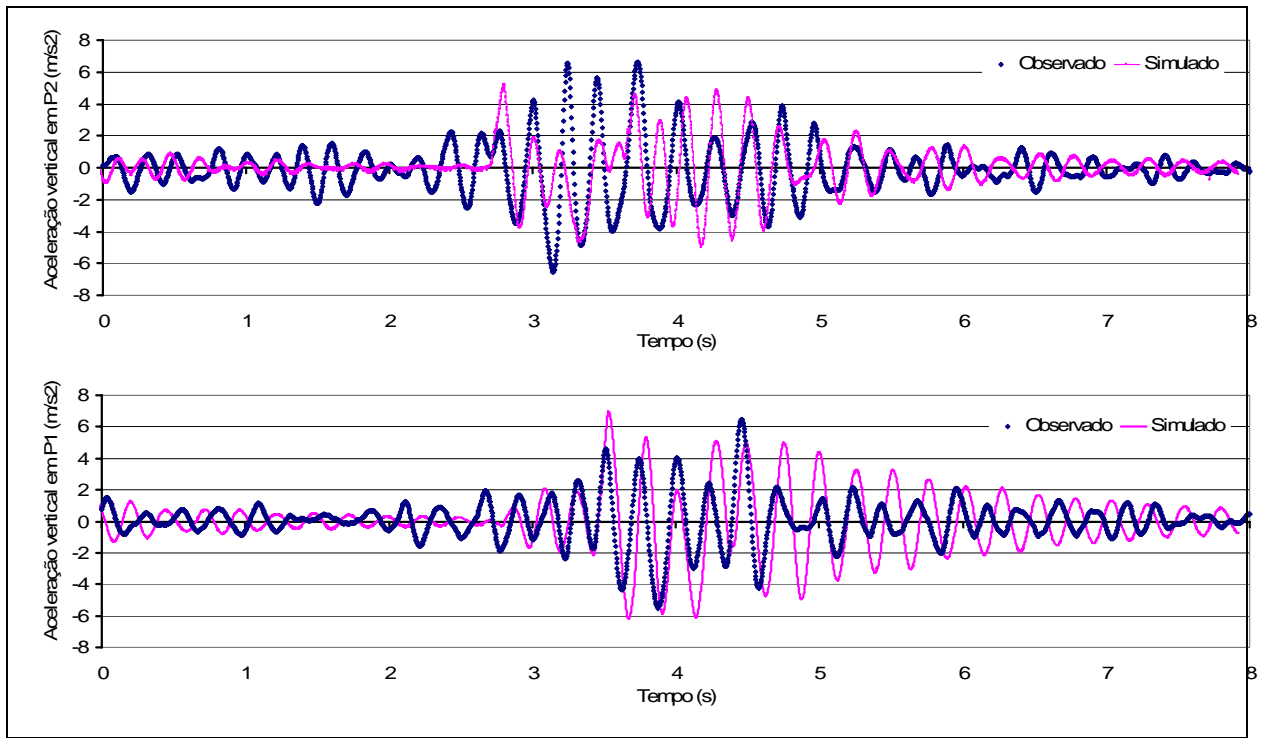


Figura H.8 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 3 - teste 2.

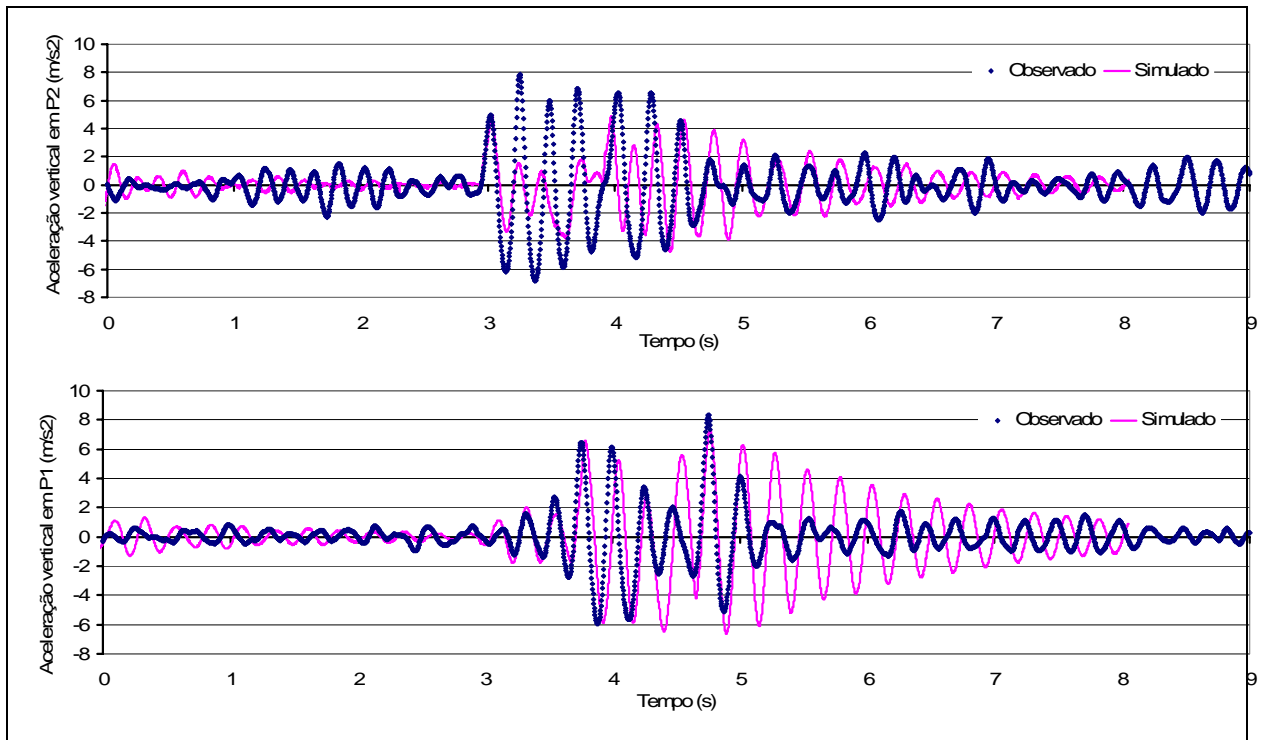


Figura H.9 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 3 - teste 3.

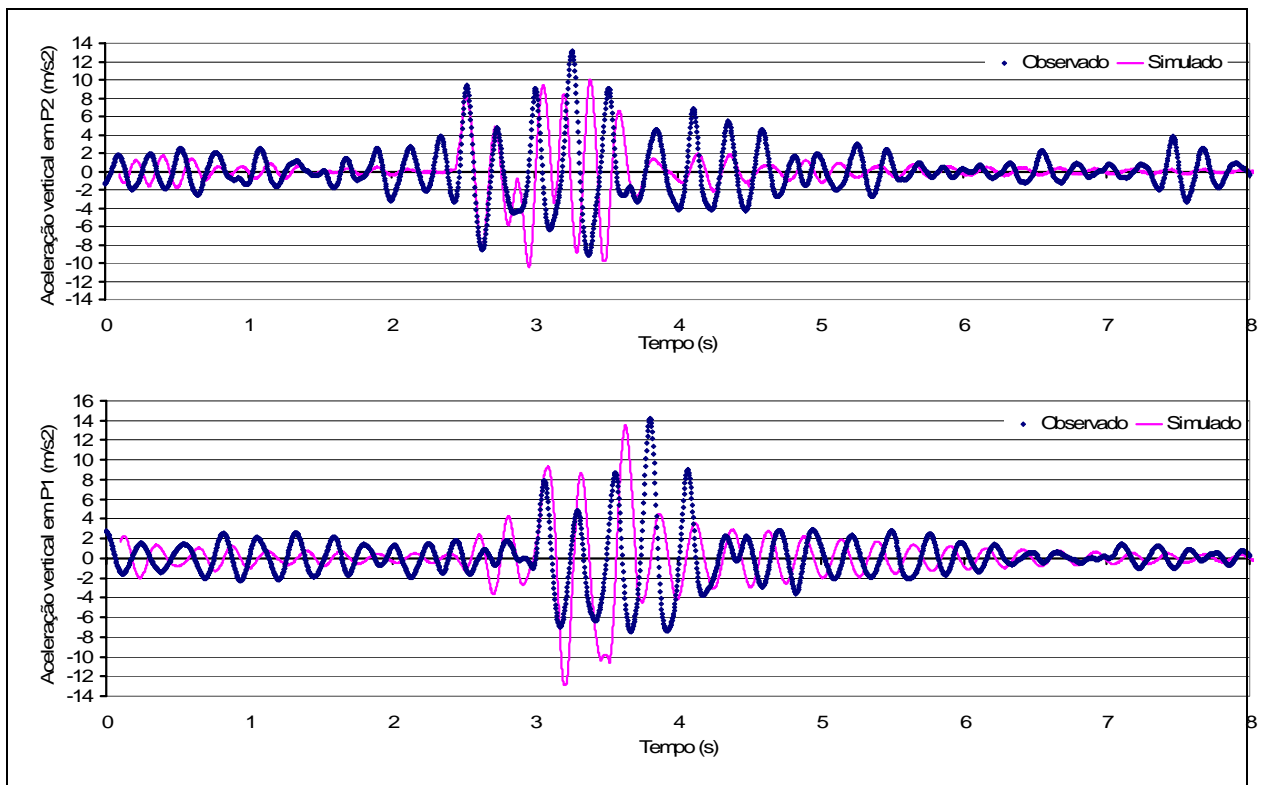


Figura H.10 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 4 - teste 1.

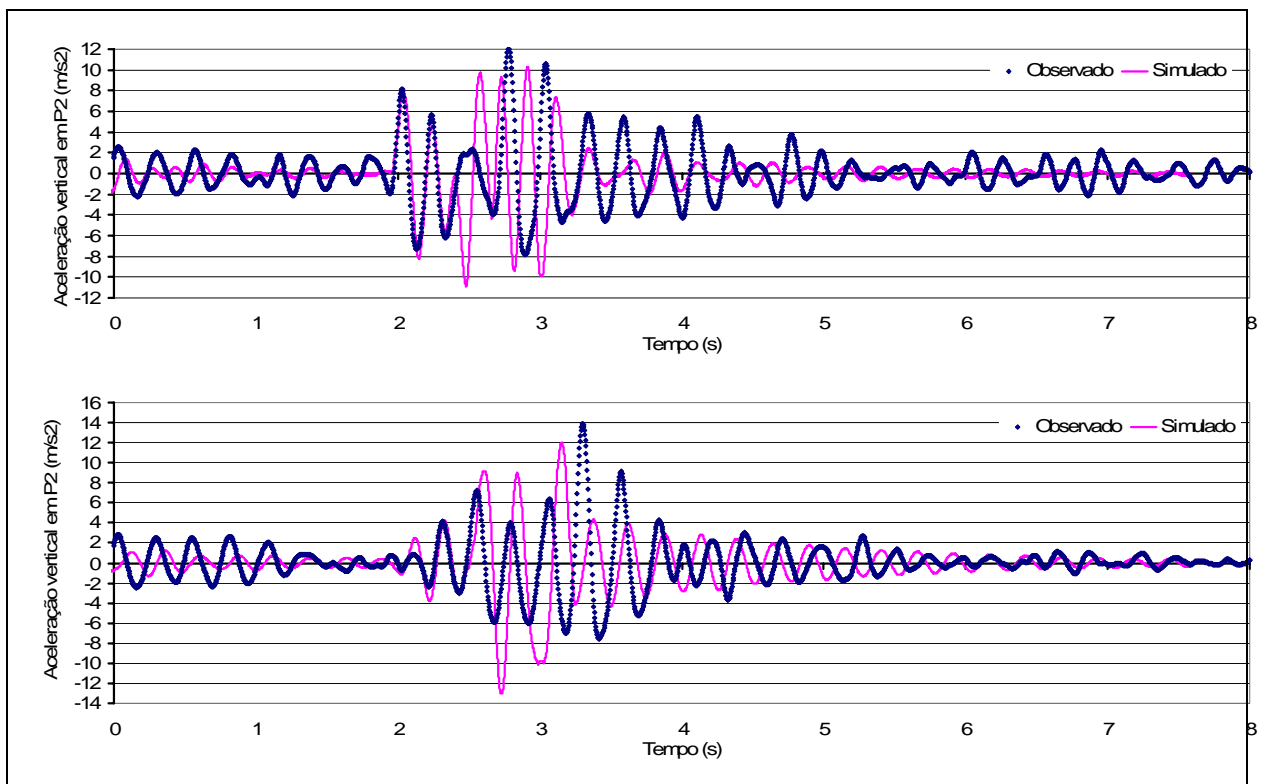


Figura H.11 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 4 - teste 2.

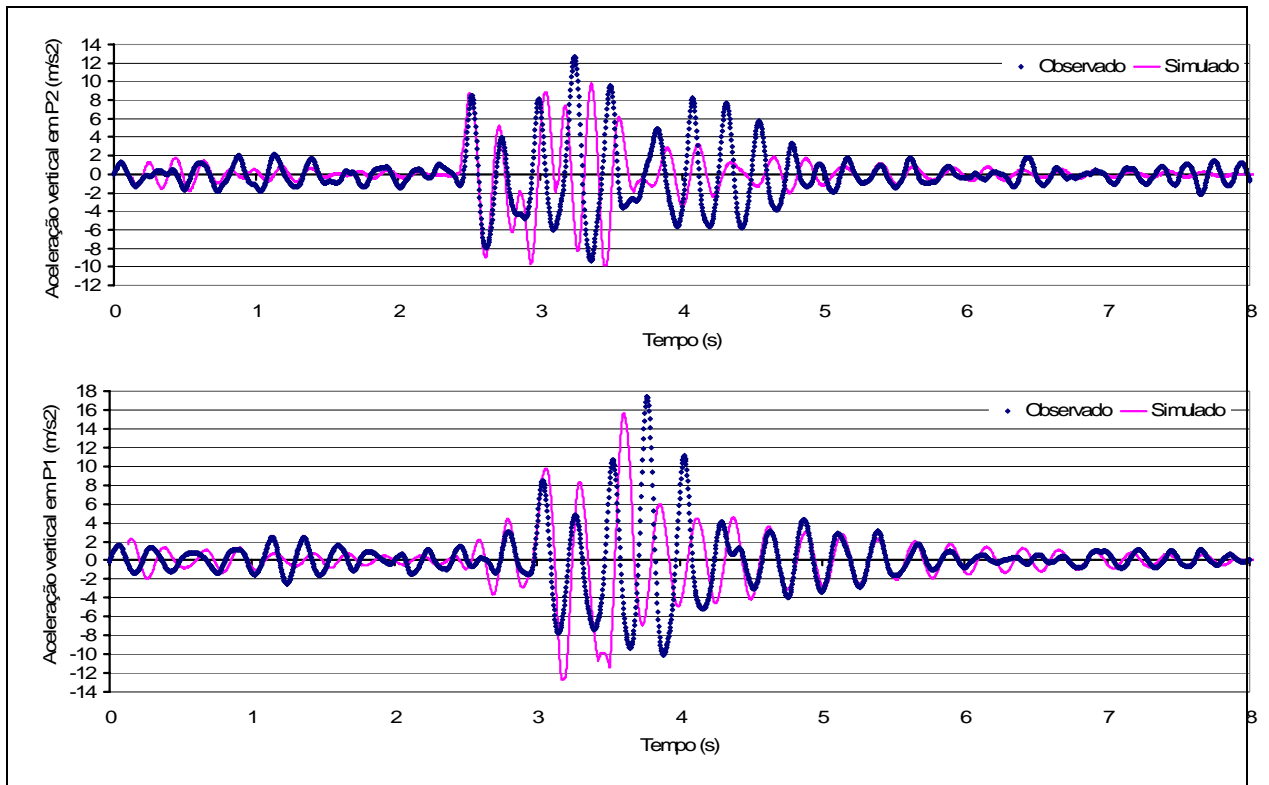


Figura H.12 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 4 - teste 3.

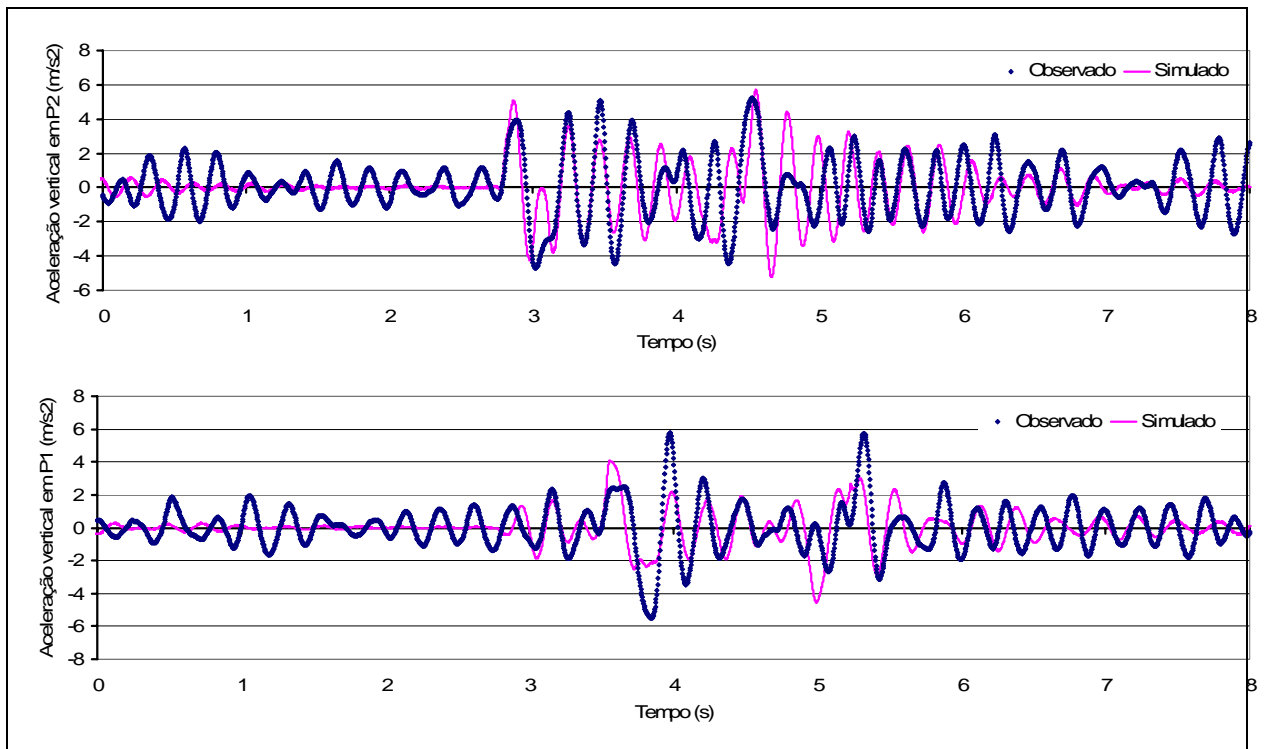


Figura H.13 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 5 - teste 1.

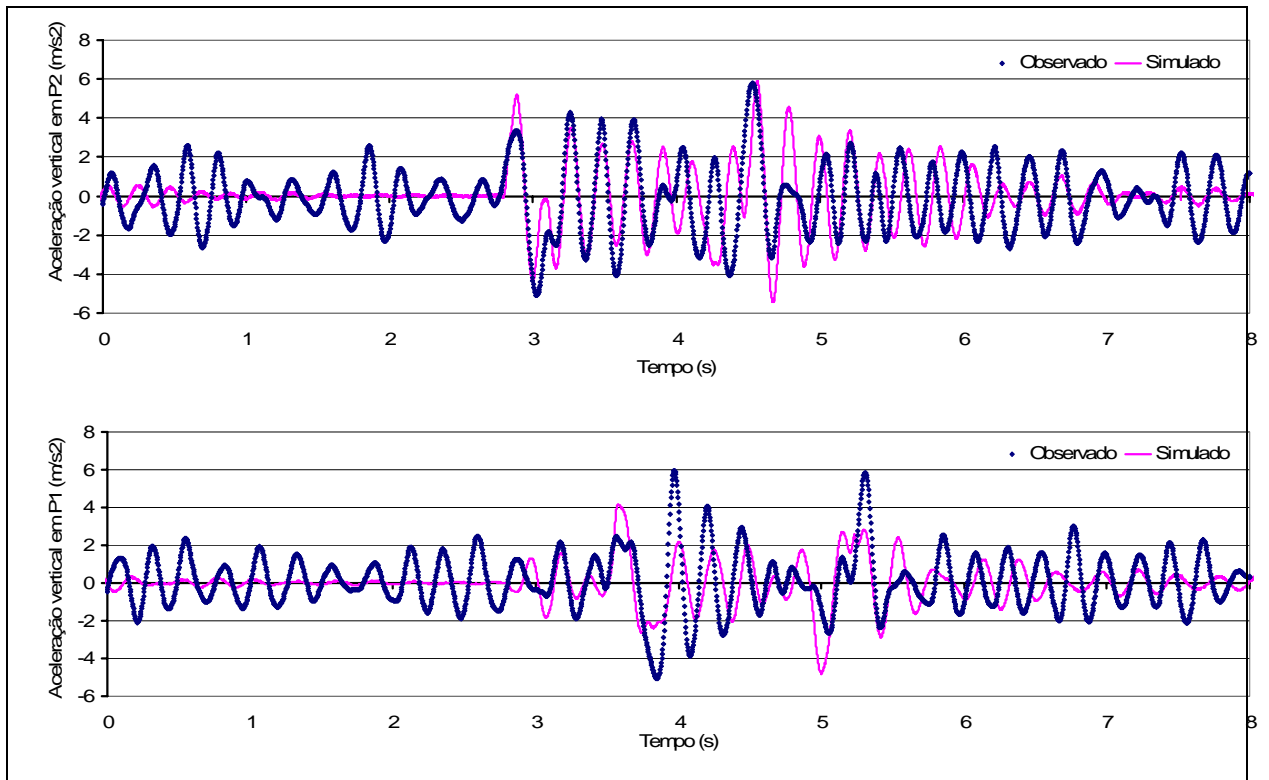


Figura H.14 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 5 - teste 2.

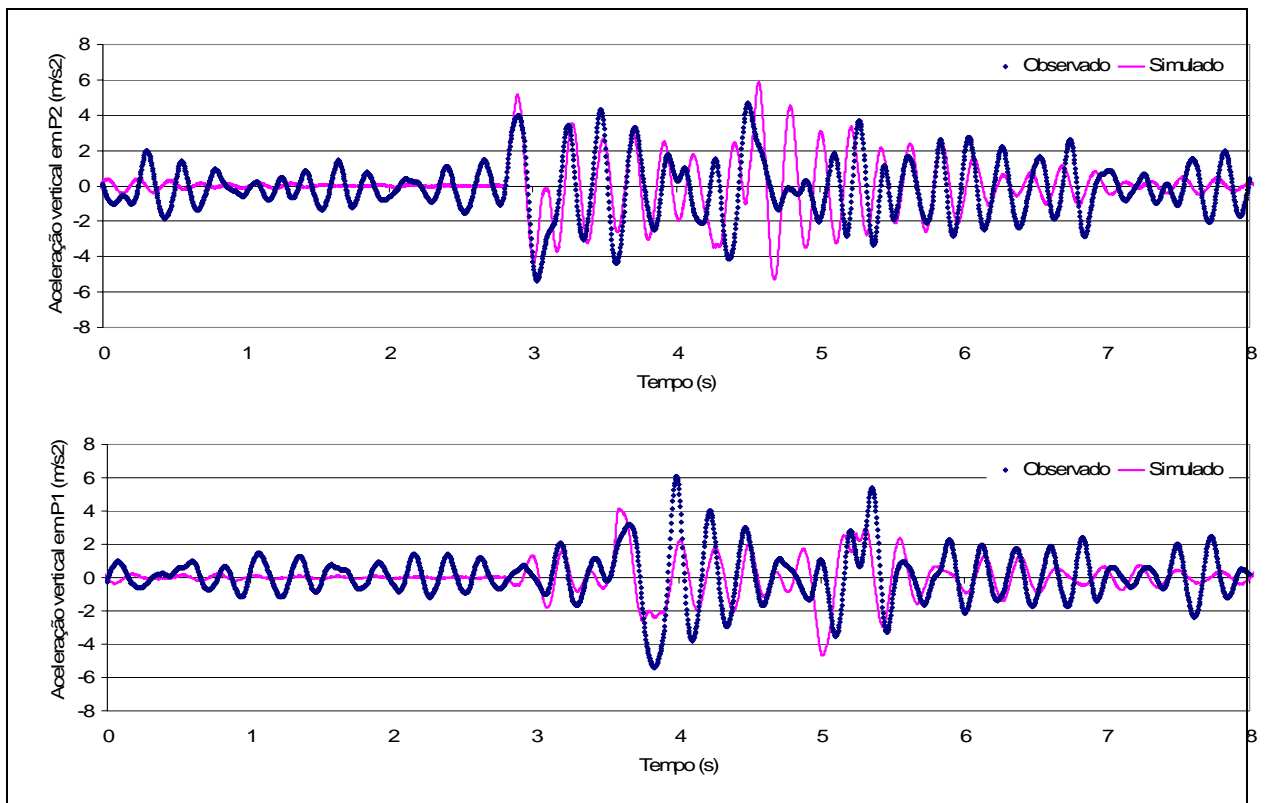


Figura H.15 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 5 - teste 3.

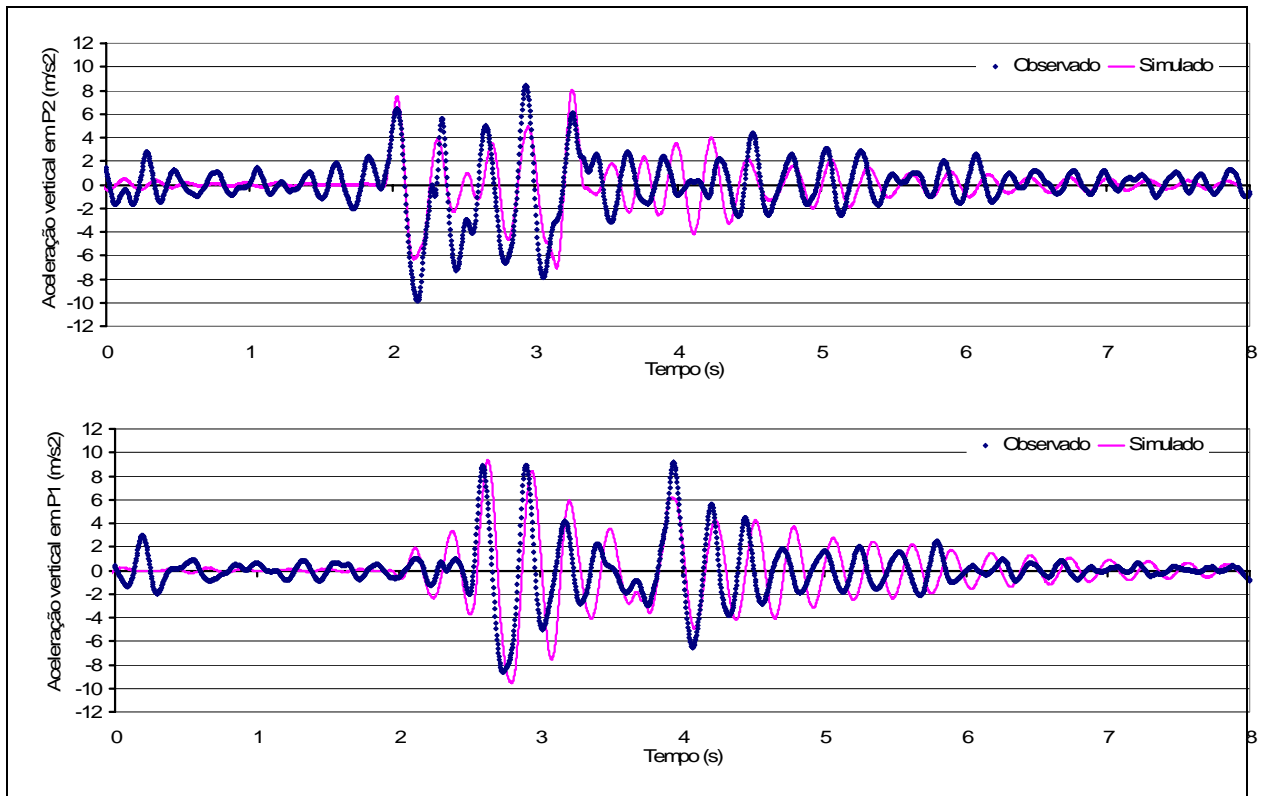


Figura H.16 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 6 - teste 1.

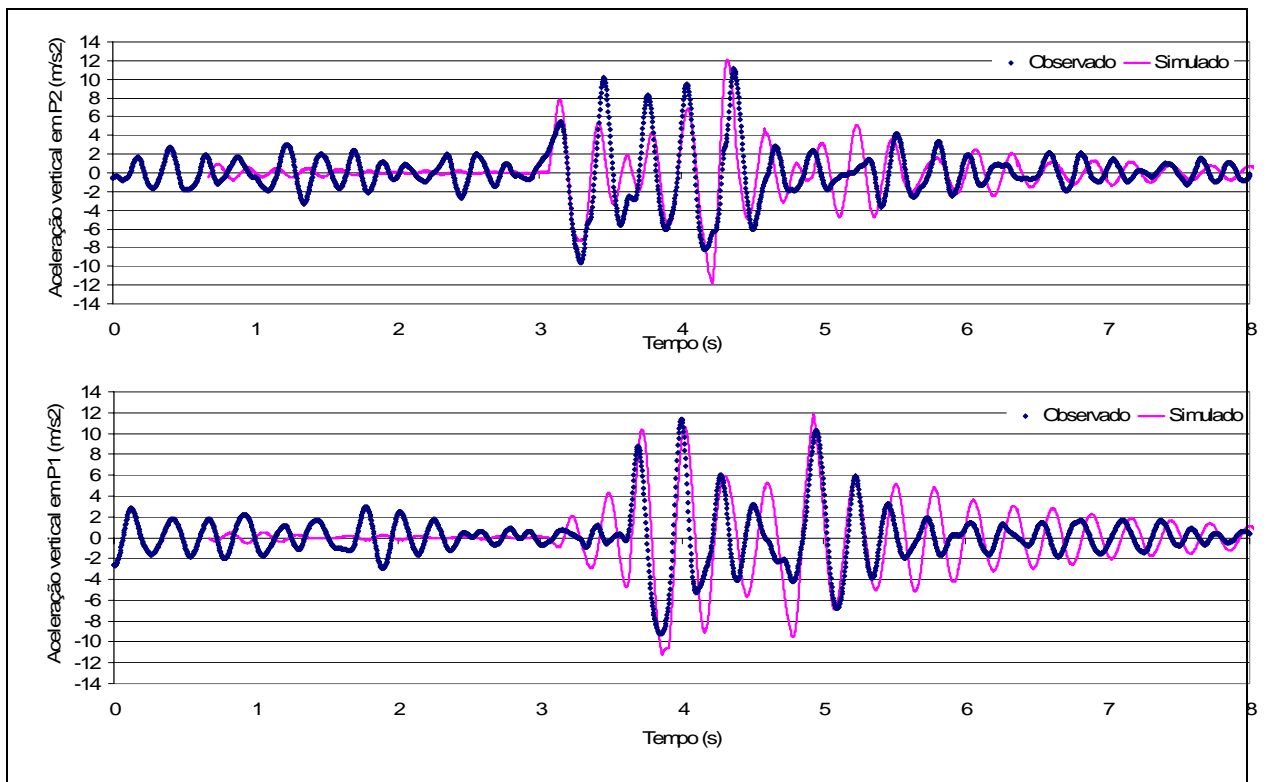


Figura H.17 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 6 - teste 2.

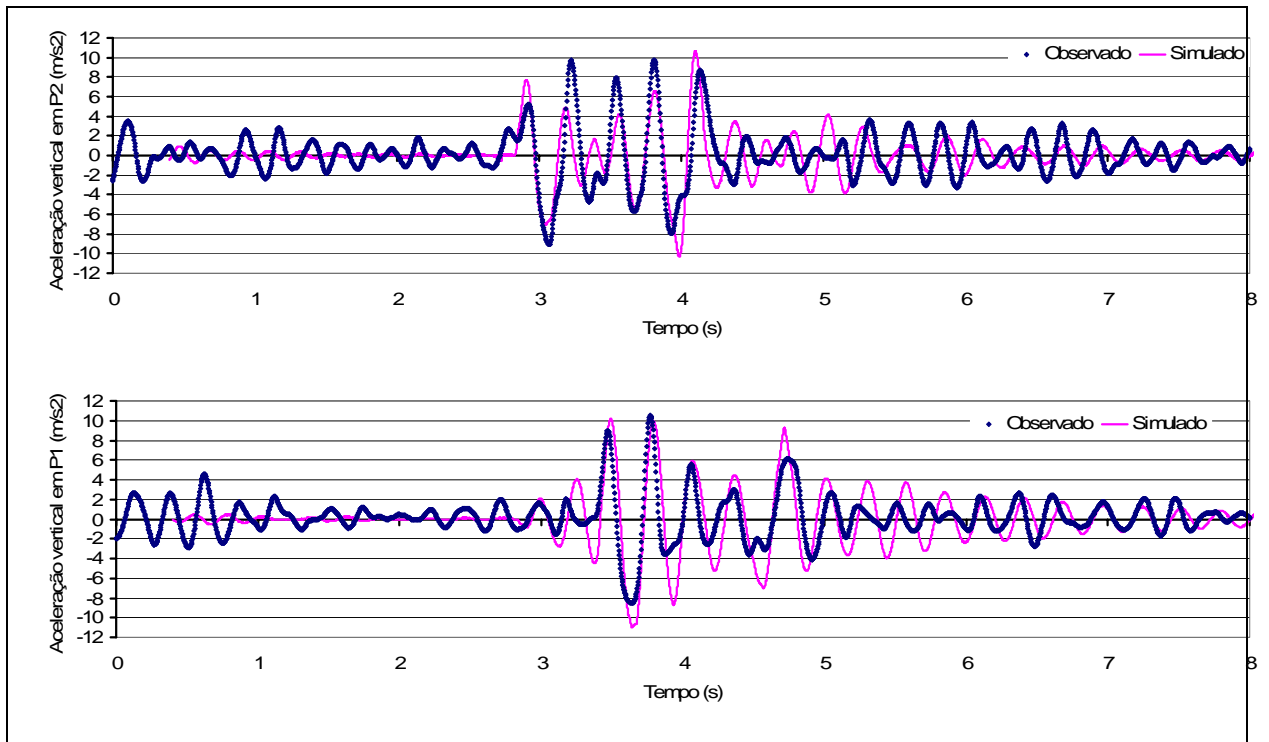


Figura H.18 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 6 - teste 3.

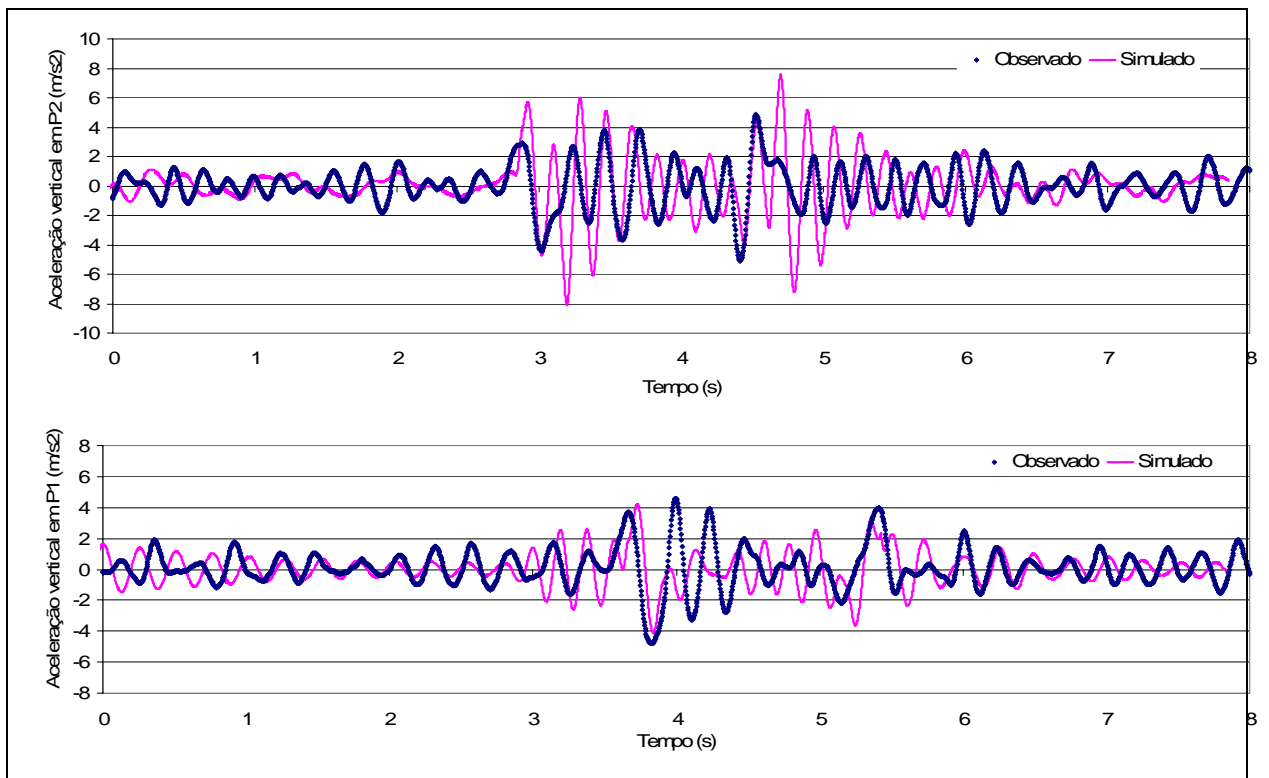


Figura H.19 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 7 - teste 1.

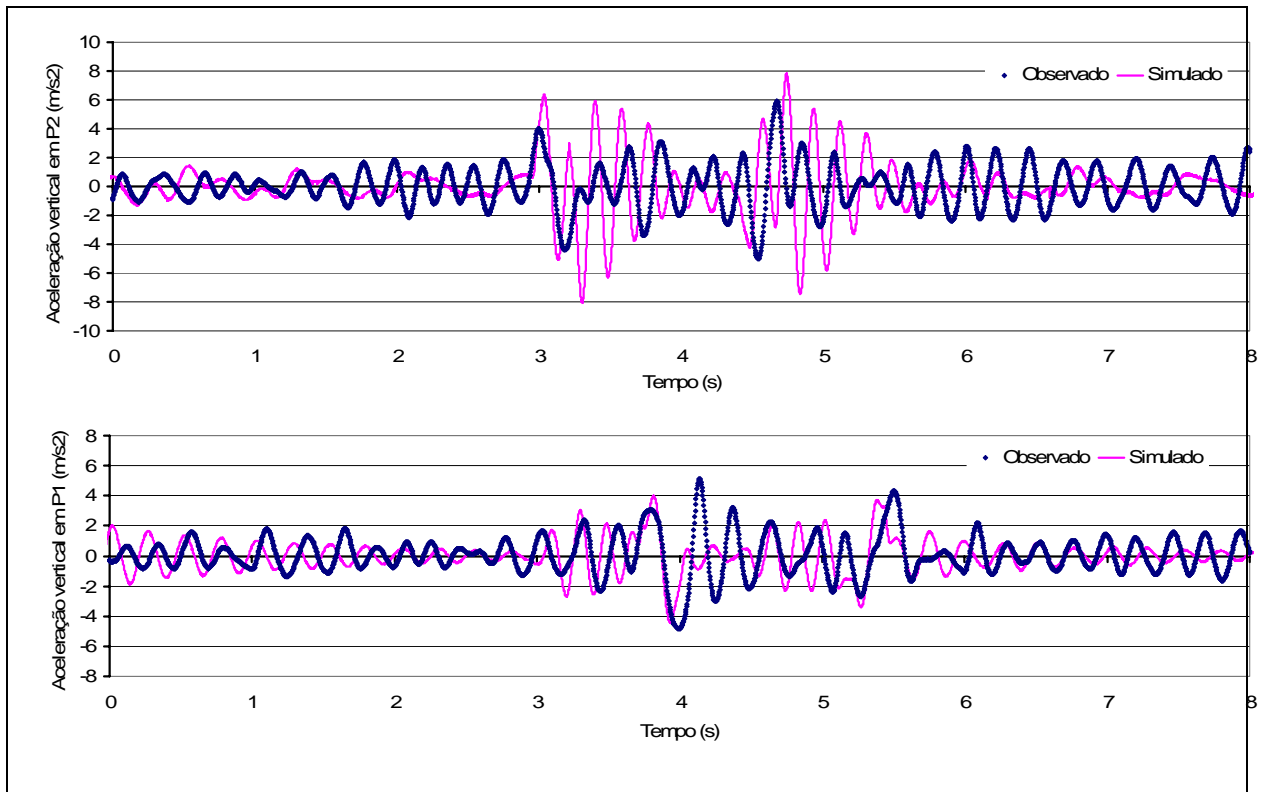


Figura H.20 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 7 - teste 2.

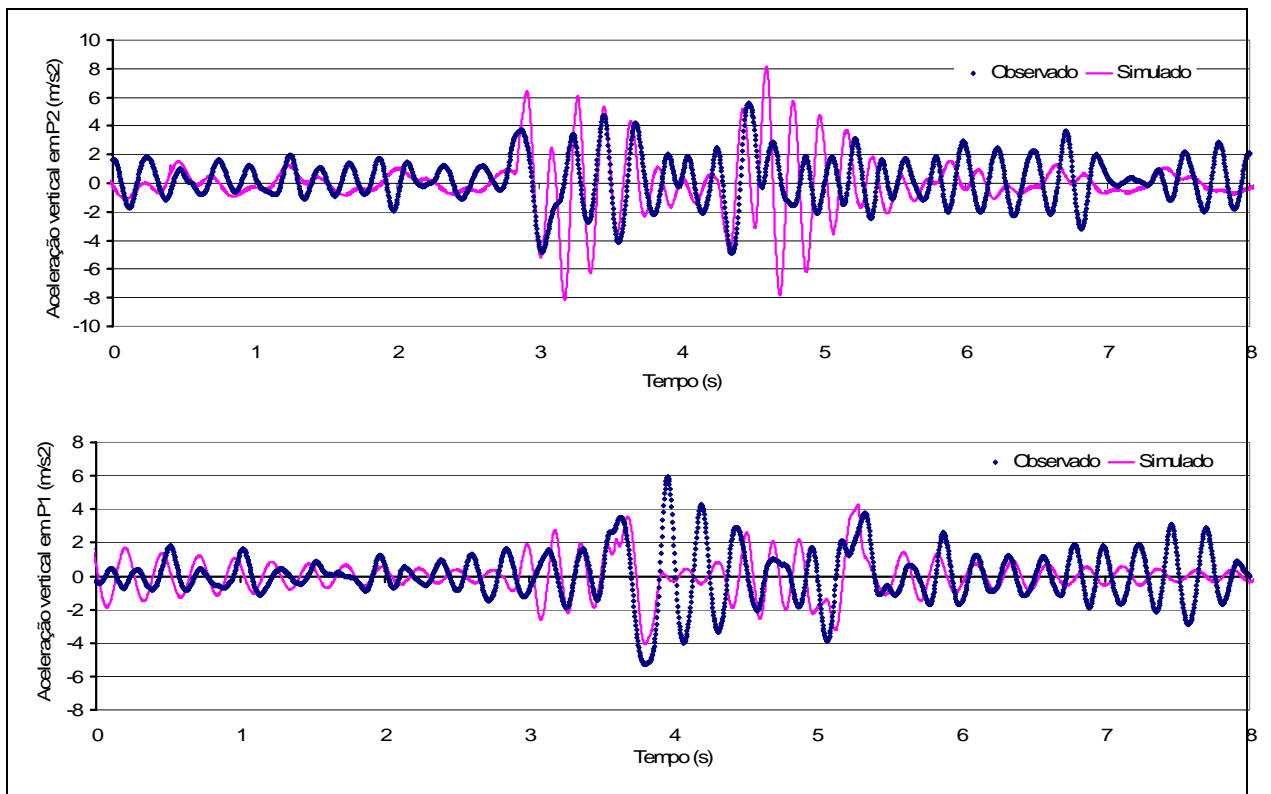


Figura H.21 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 7 - teste 3.

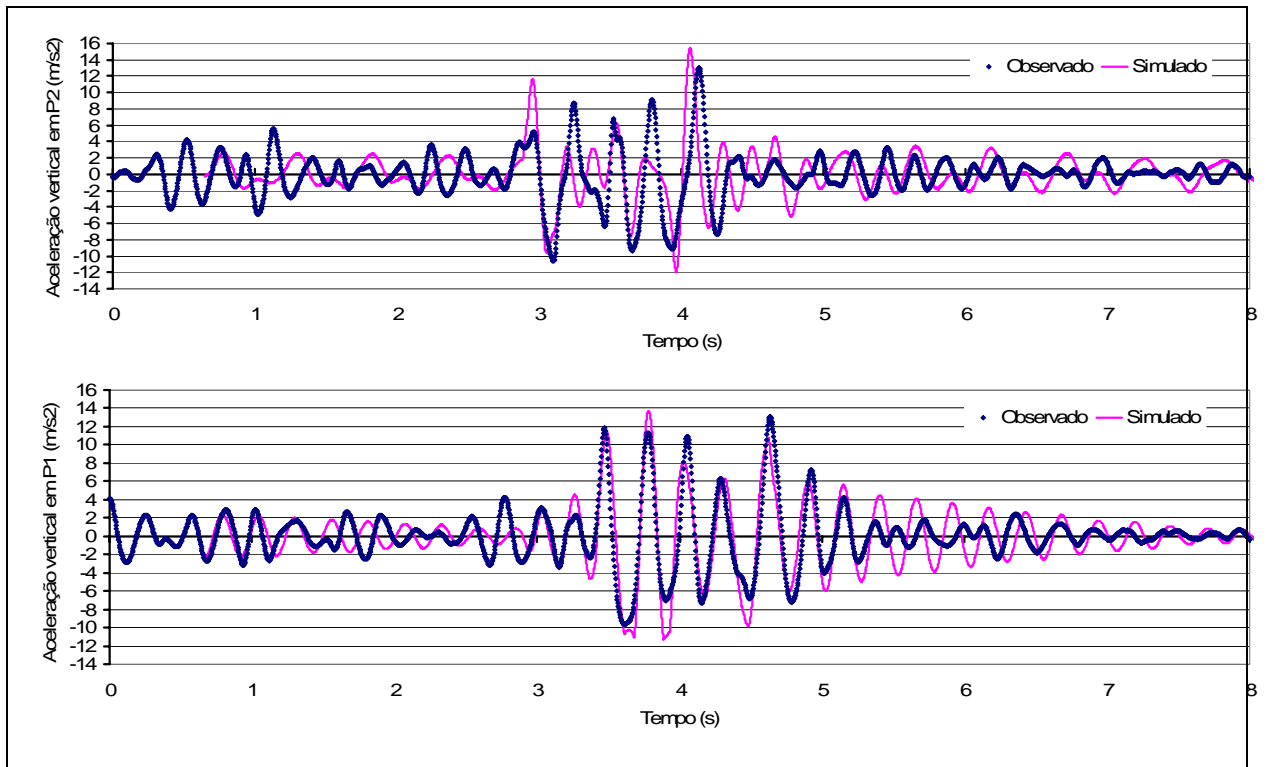


Figura H.22 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 8 - teste 1.

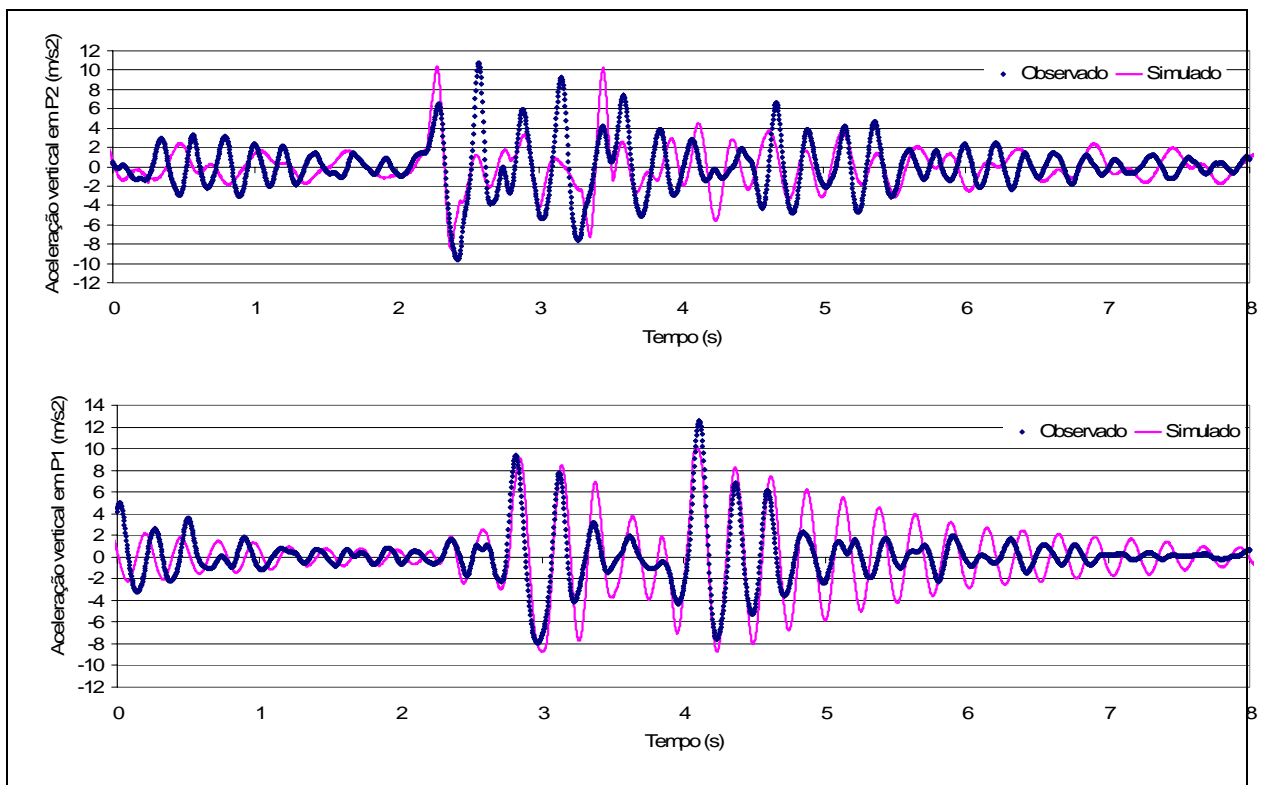


Figura H.23 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 8 - teste 2.

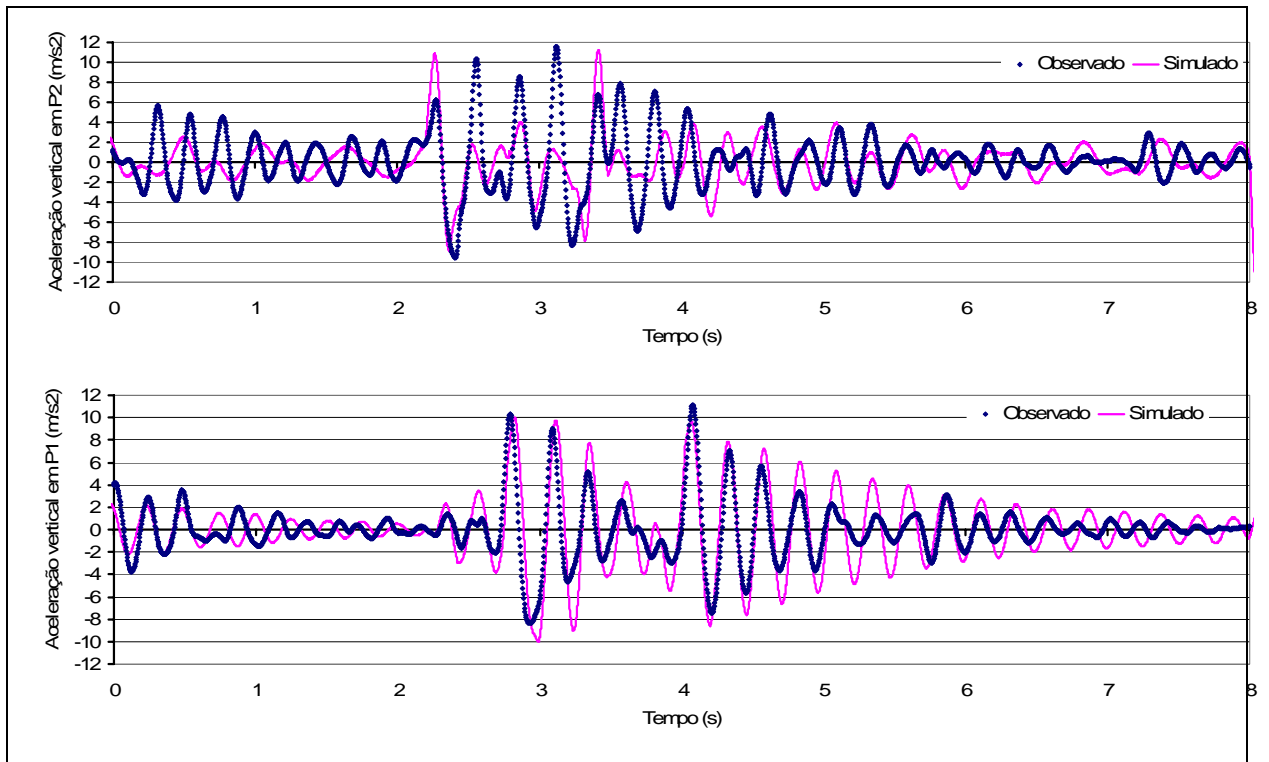


Figura H.24 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 8 - teste 3.

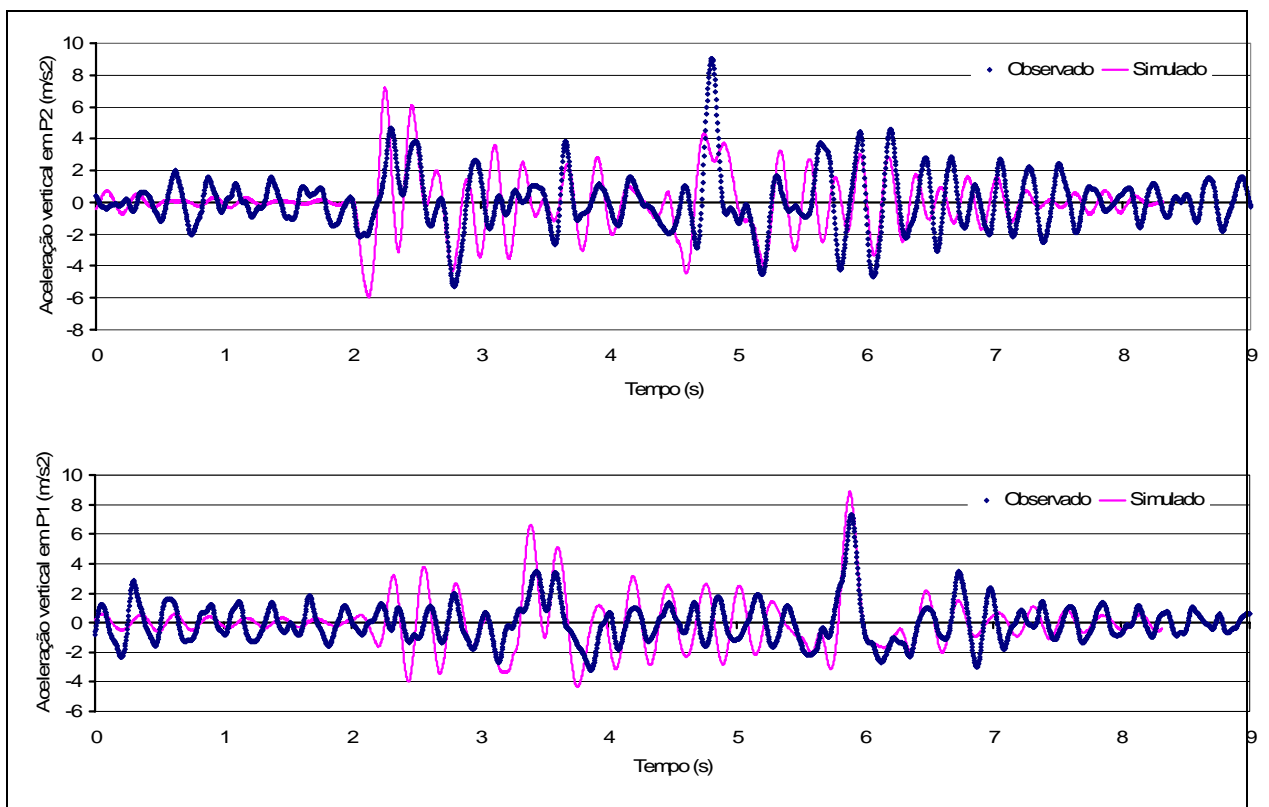


Figura H.25 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 9 - teste 1.

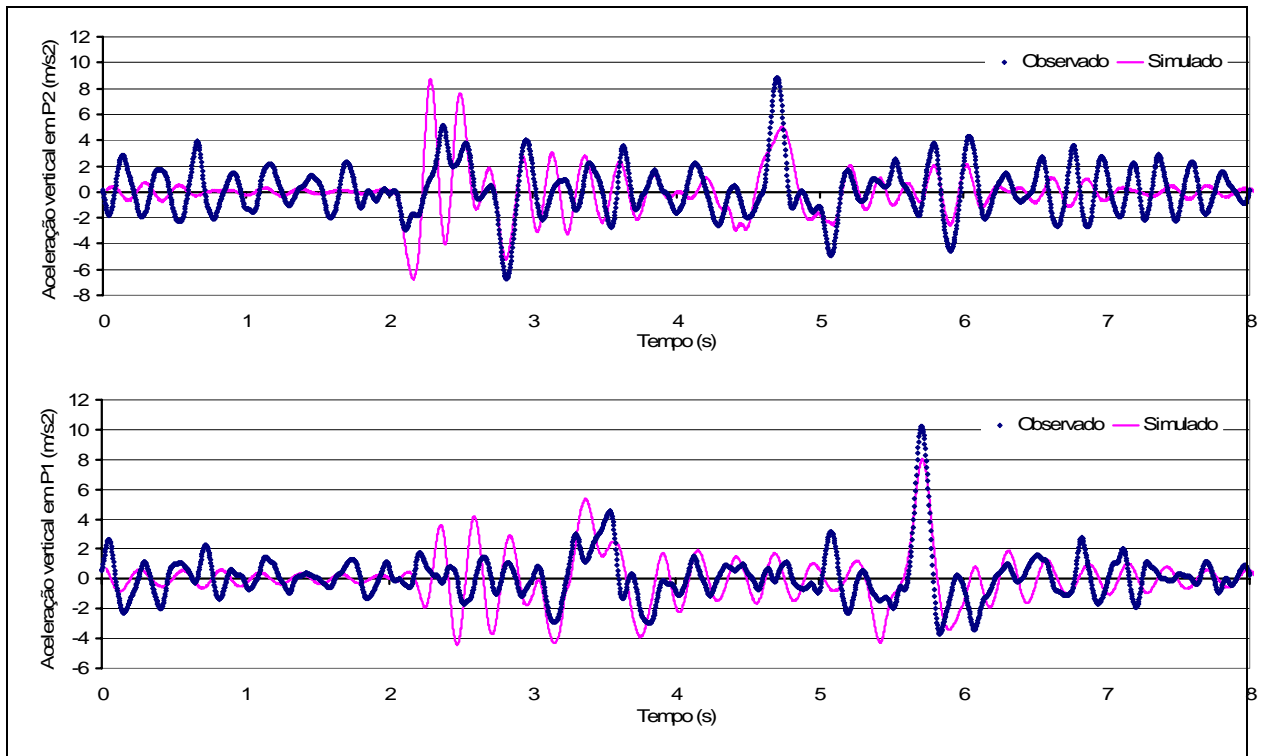


Figura H.26 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 9 - teste 2.

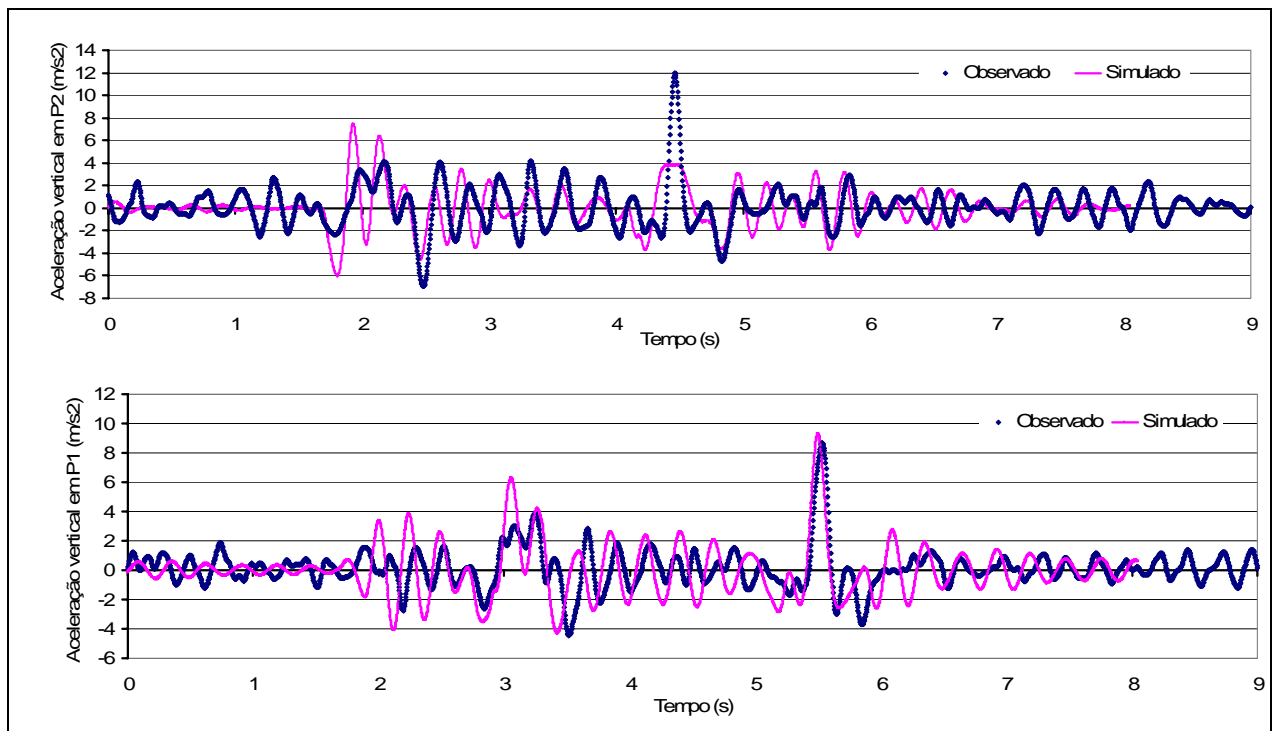


Figura H.27 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 9 - teste 3.

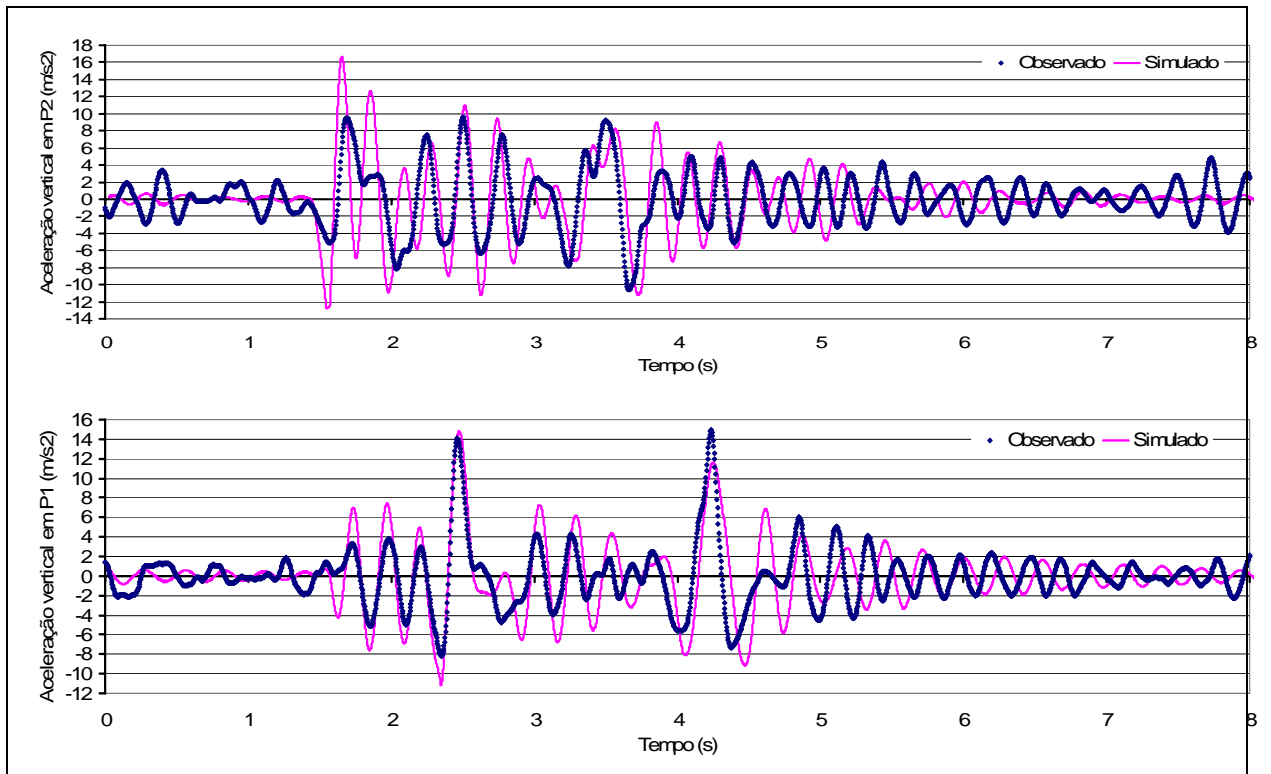


Figura H.28 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 10 - teste 1.

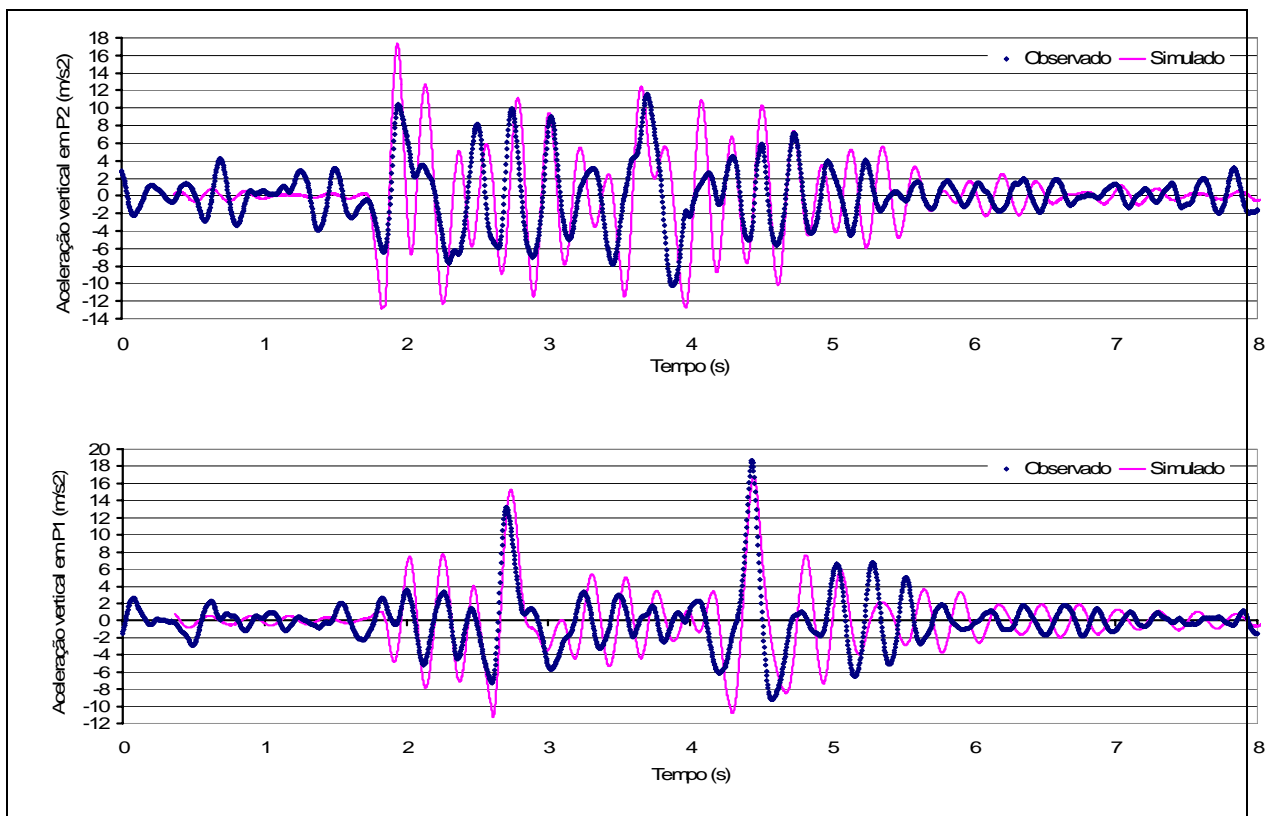


Figura H.29 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 10 - teste 2.

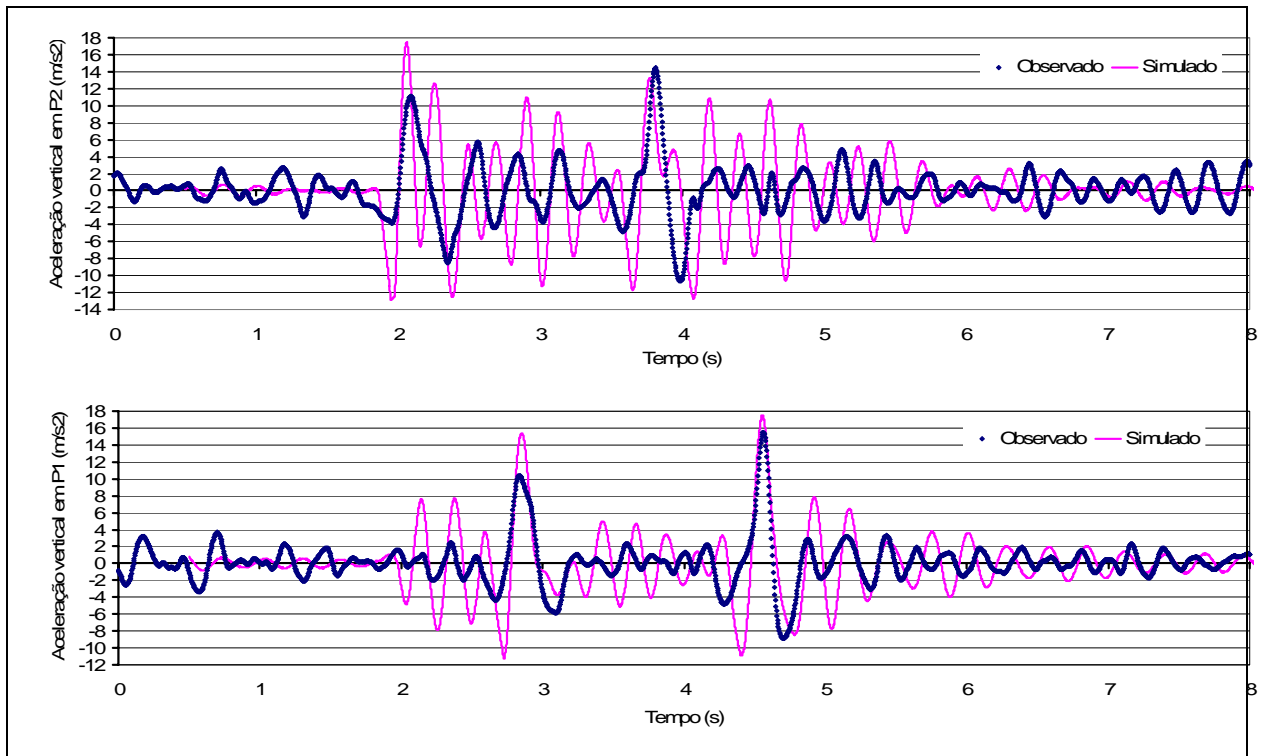


Figura H.30 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 10 - teste 3.

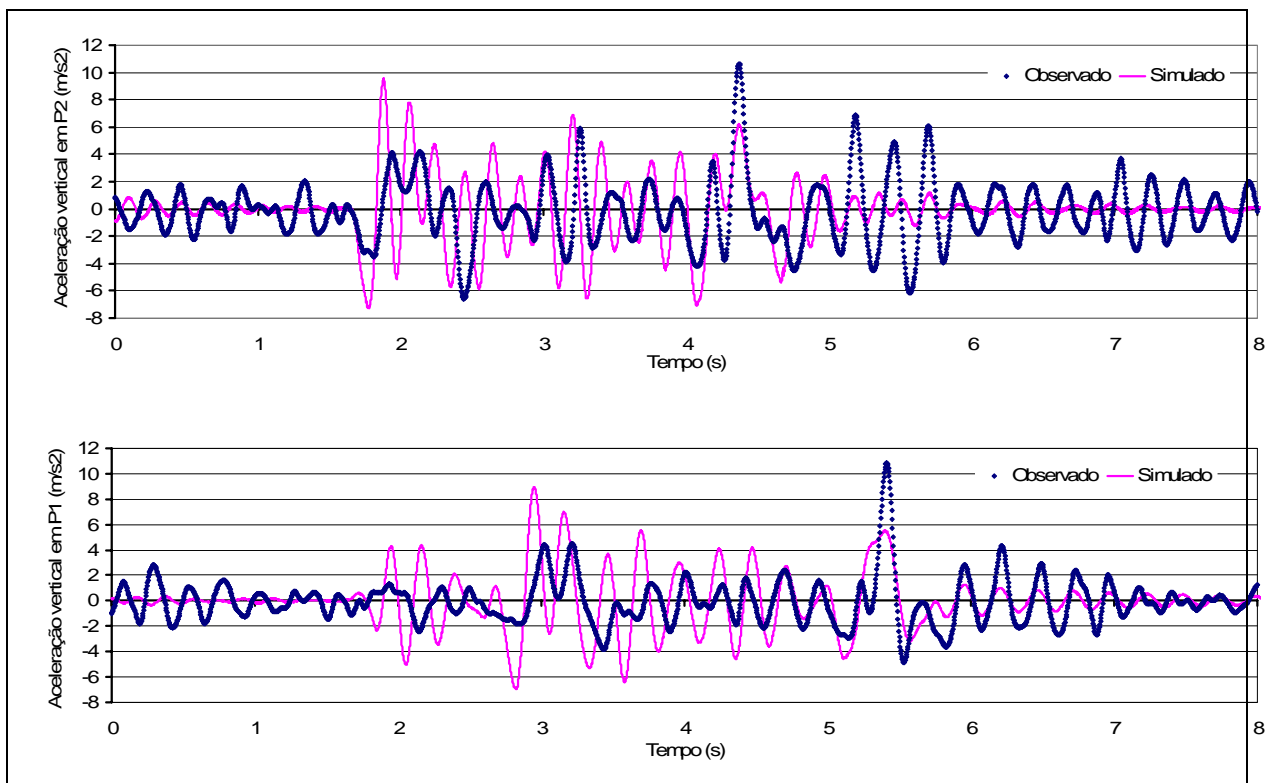


Figura H.31 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 11 - teste 1.

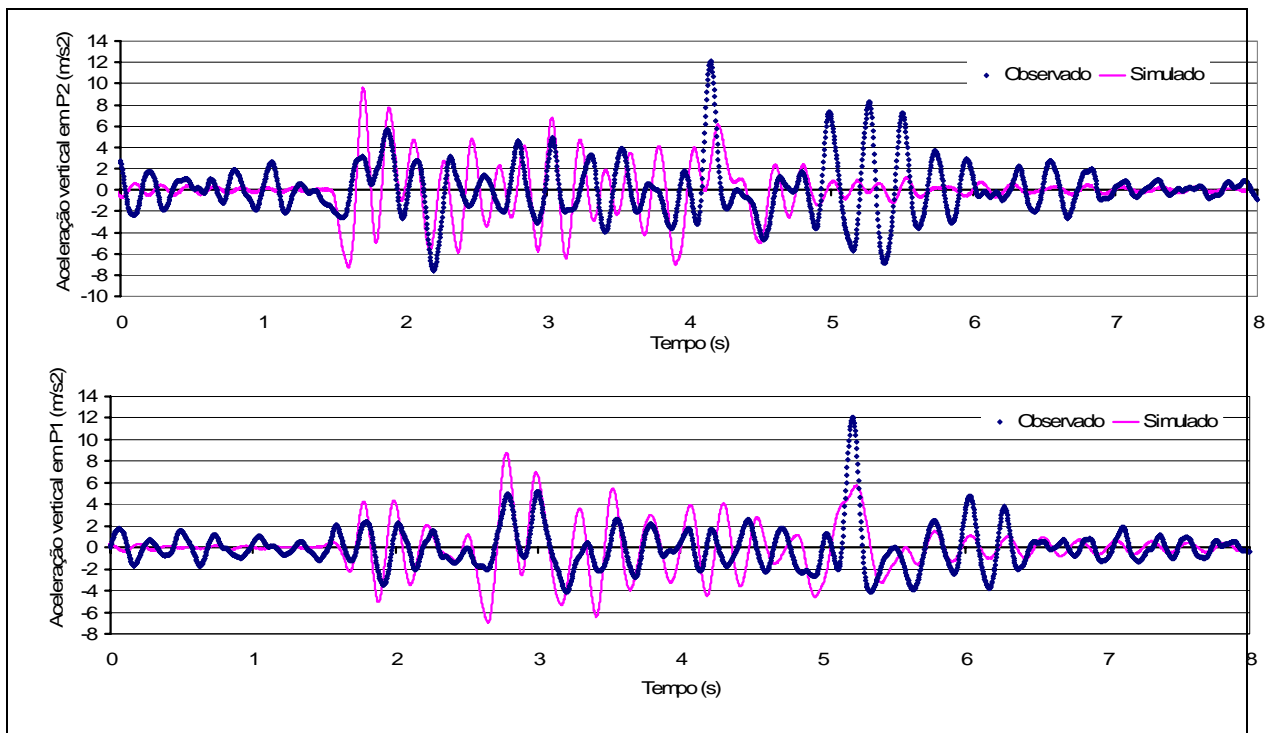


Figura H.32 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 11 - teste 2.

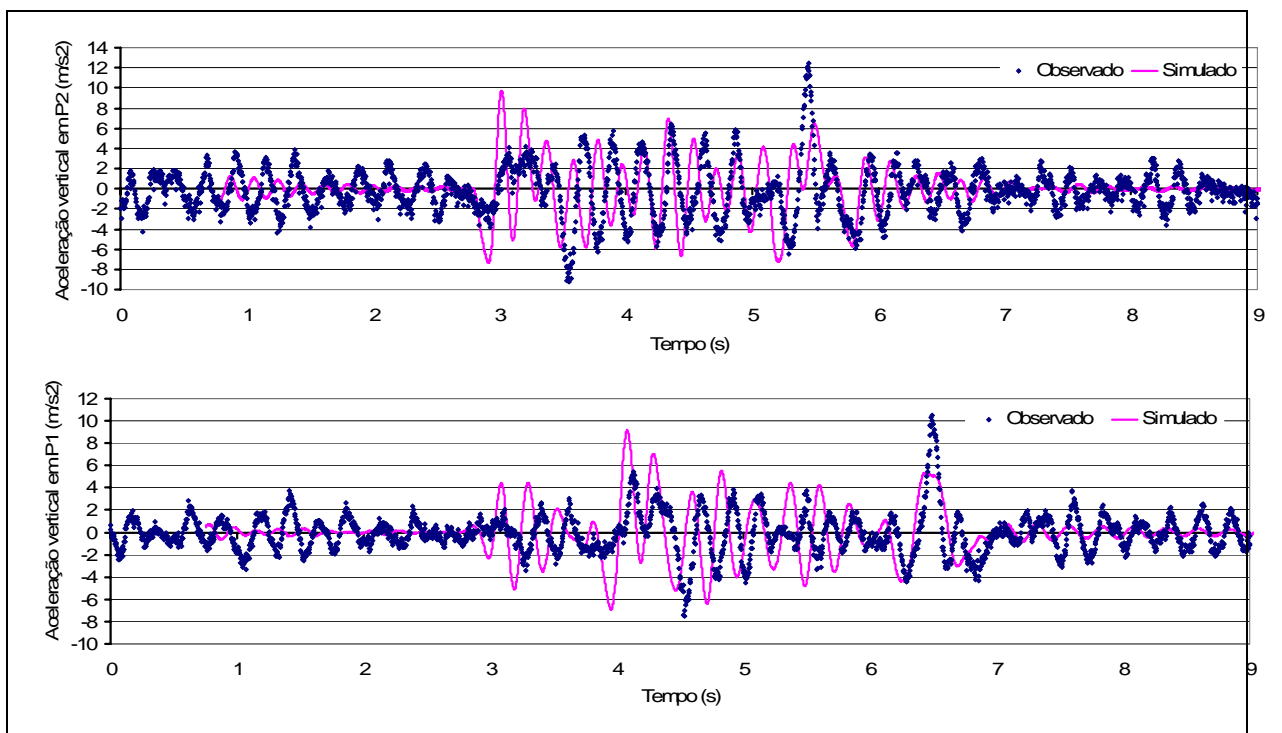


Figura H.33 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 11 - teste 3.

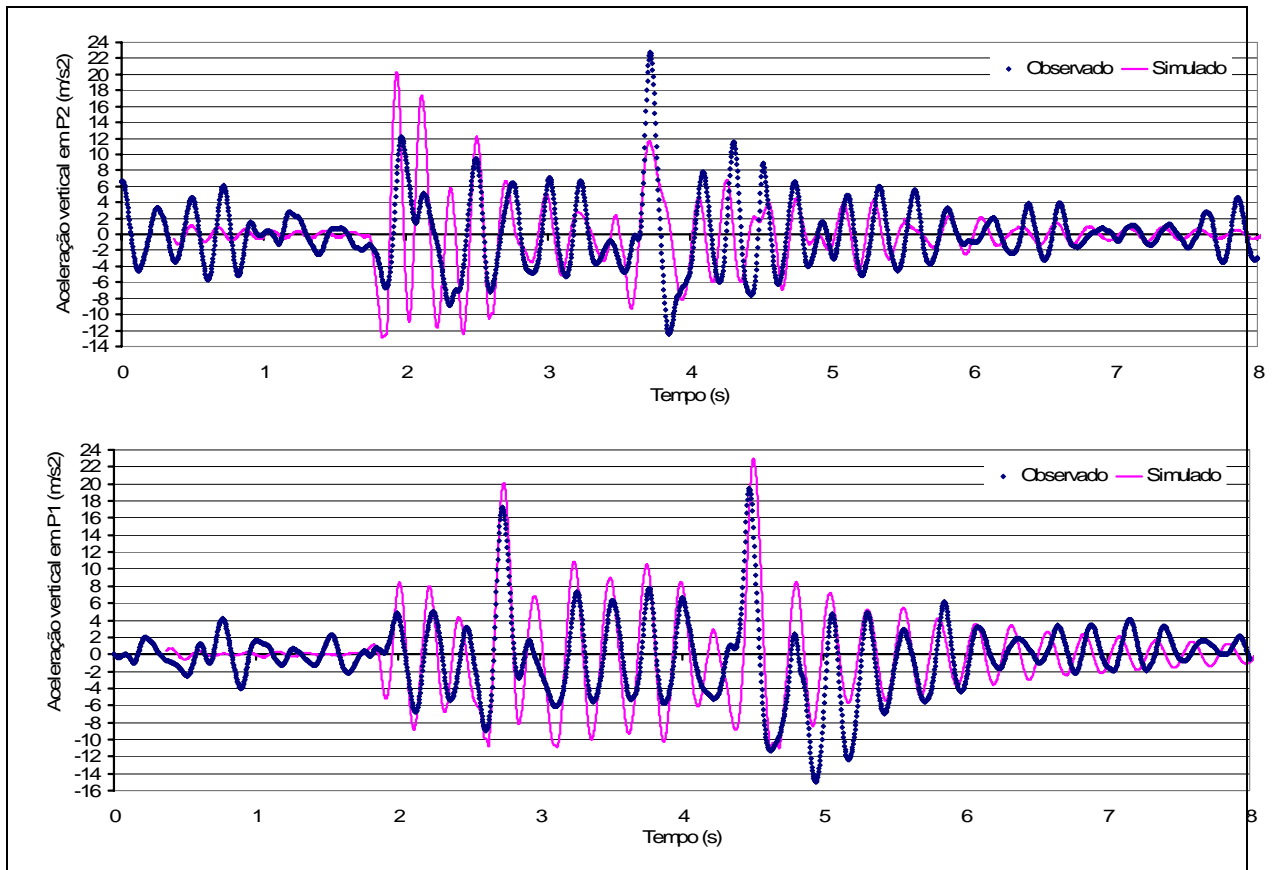


Figura H.34 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 12 - teste 1.

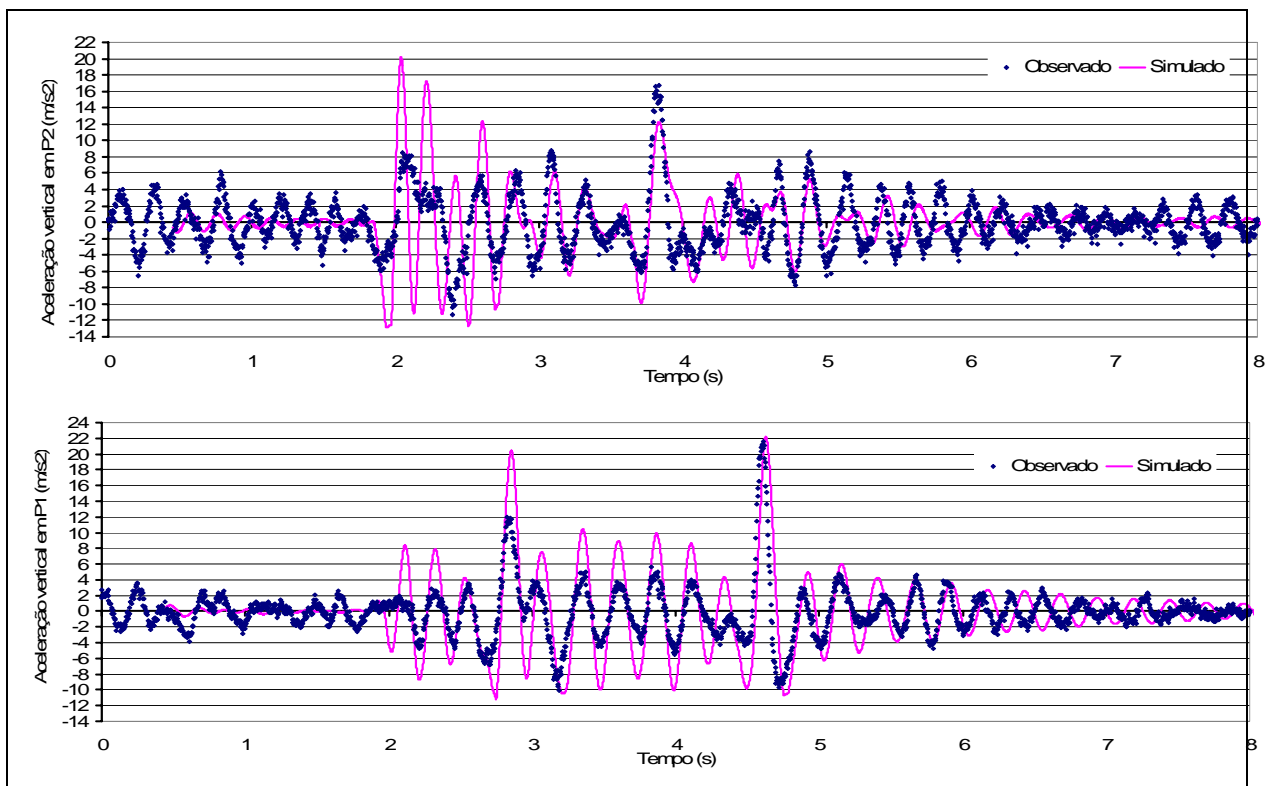


Figura H.35 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 12 - teste 2.

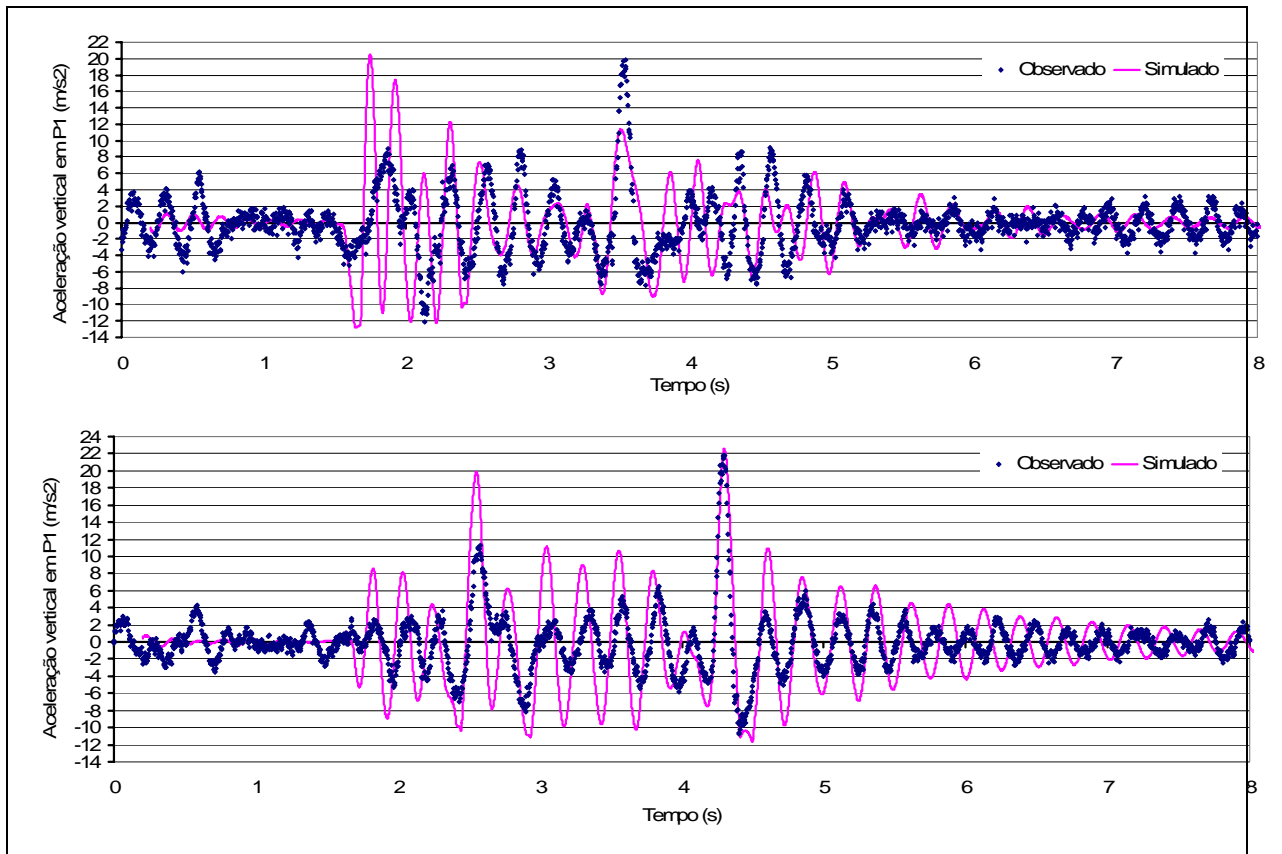


Figura H.36 - Aceleração vertical em função do tempo : cenário 12 - teste 3.

APÊNDICE I

Espectro de frequências observadas e simuladas no teste do trator agrícola.

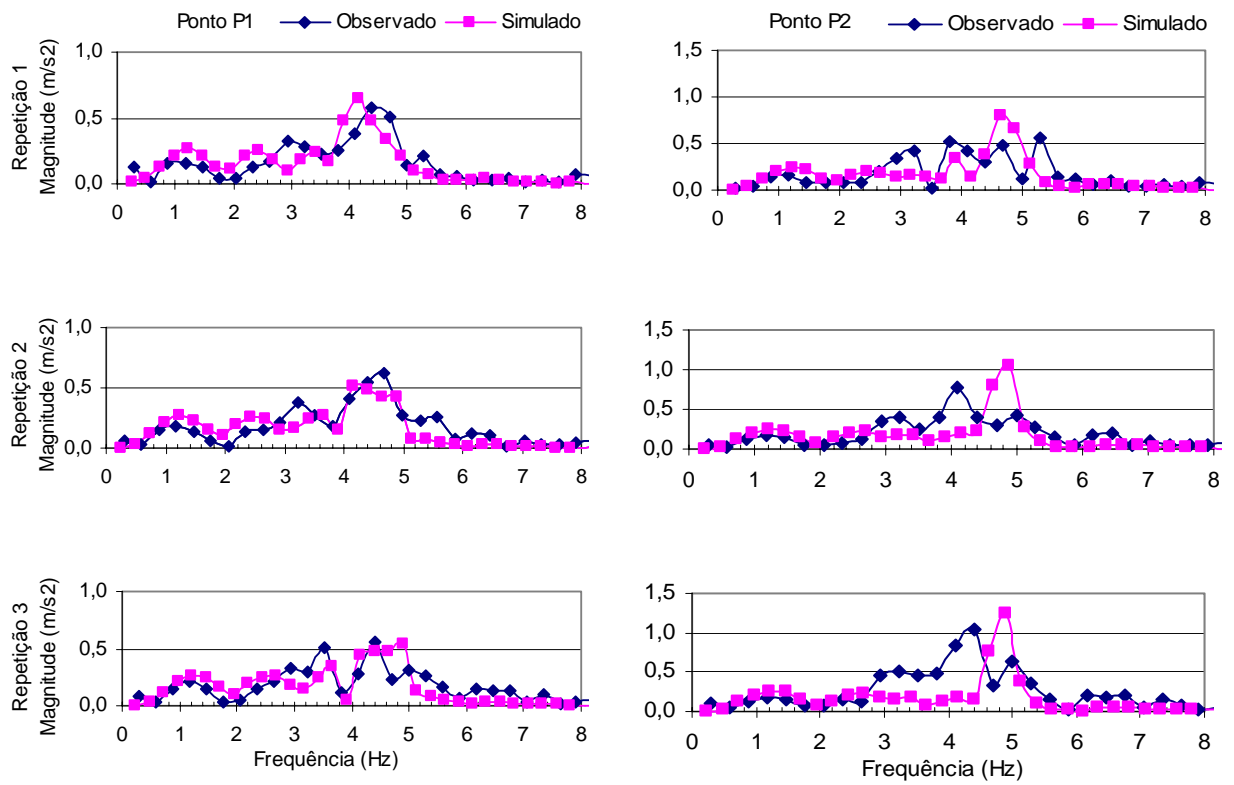


Figura I.1 – Espectro de frequências nos testes do cenário 1.

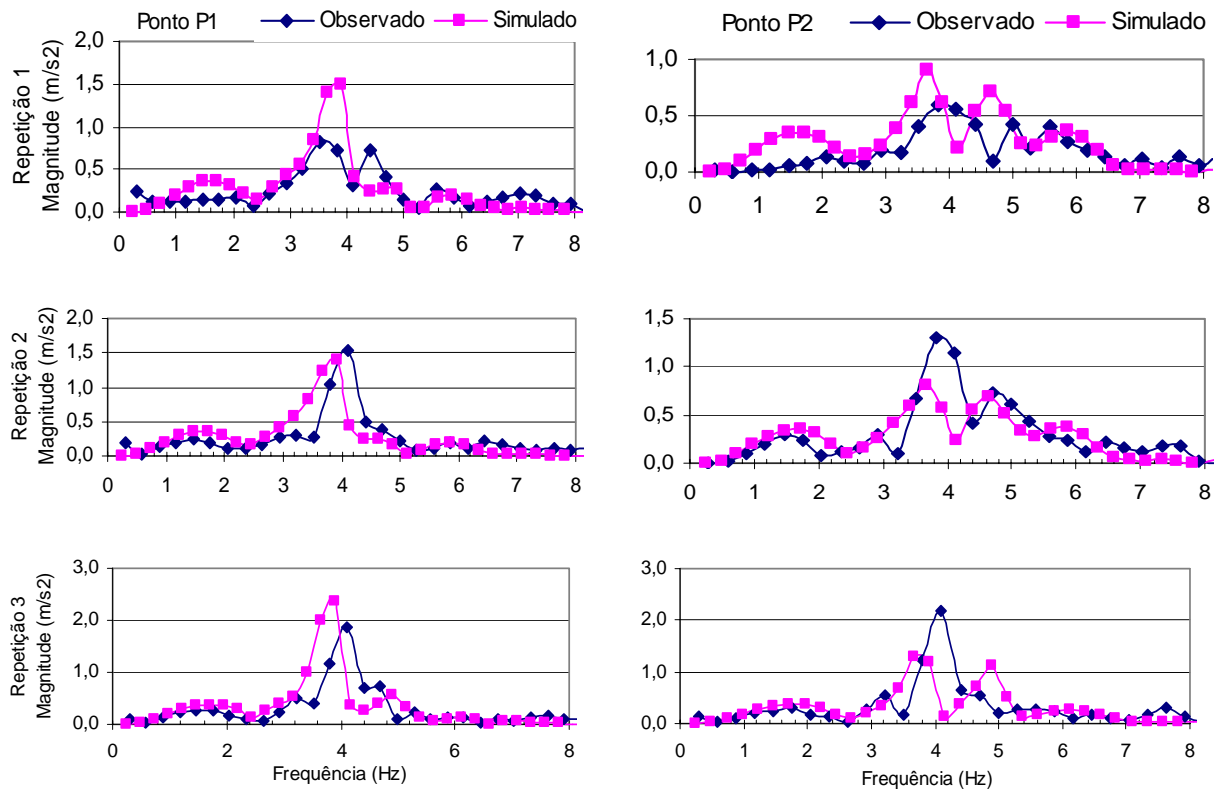


Figura I.2 – Espectro de frequências nos testes do cenário 2.

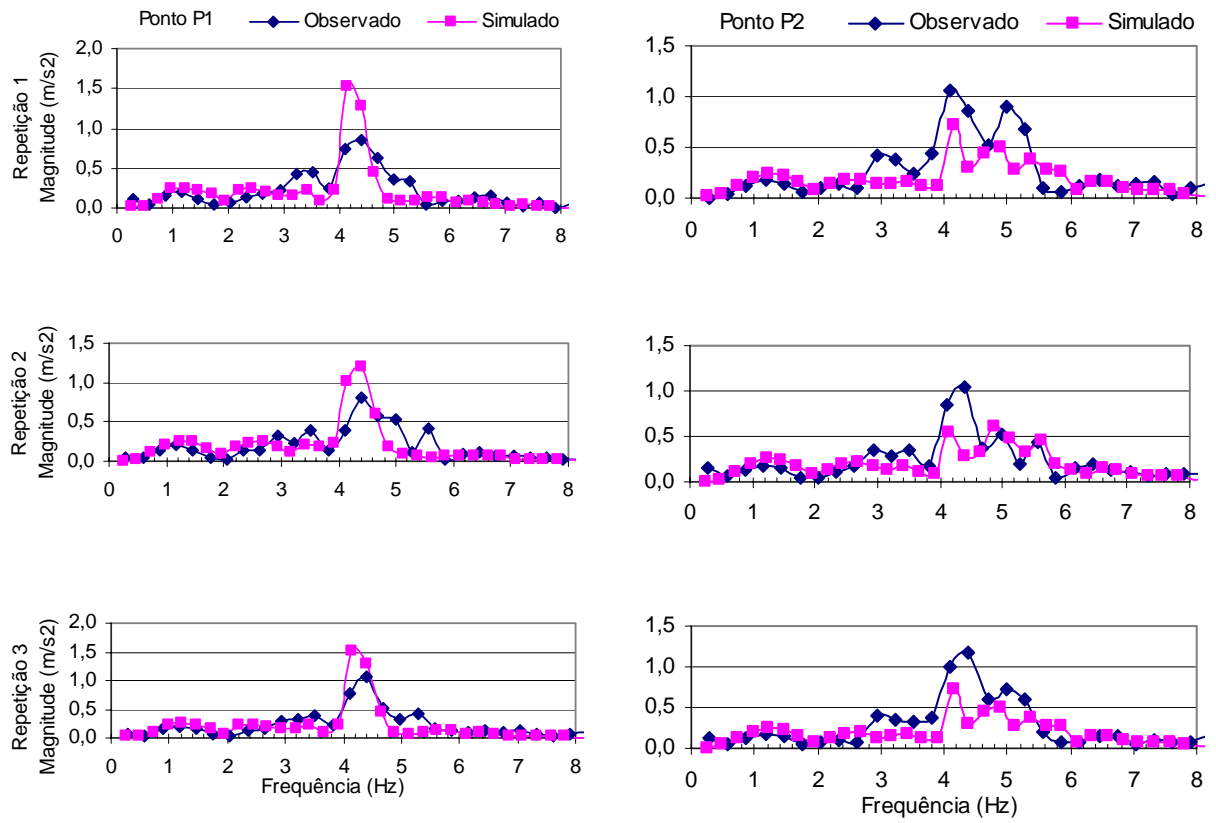


Figura I.3 – Espectro de frequências nos testes do cenário 3.

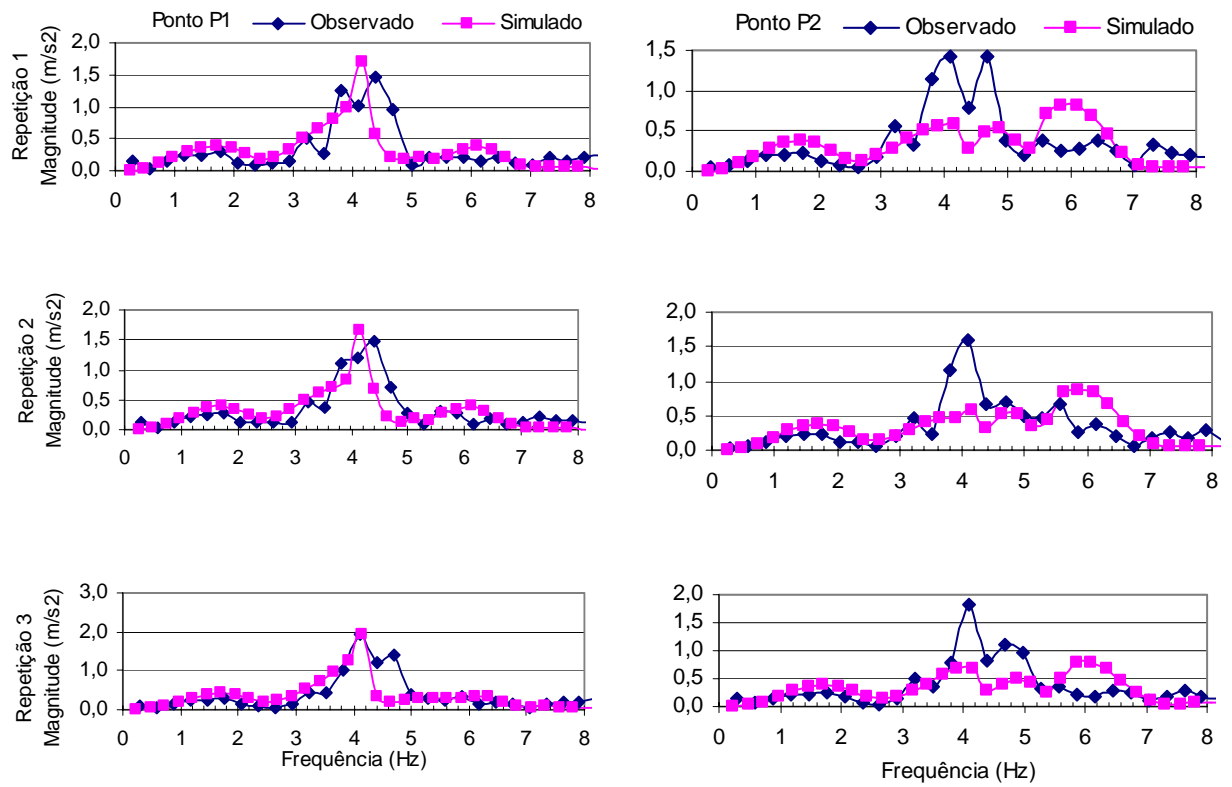


Figura I.4 – Espectro de frequências nos testes do cenário 4.

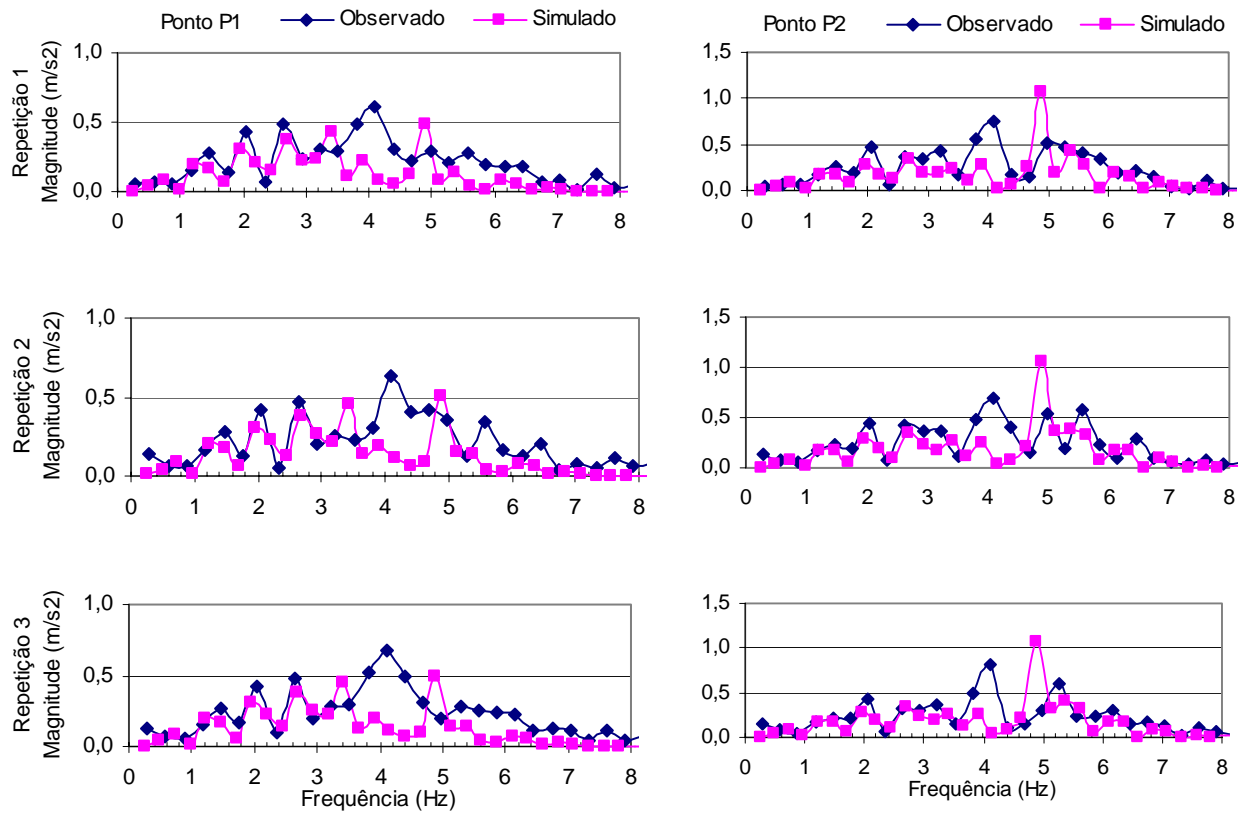


Figura I.5 – Espectro de frequências nos testes do cenário 5.

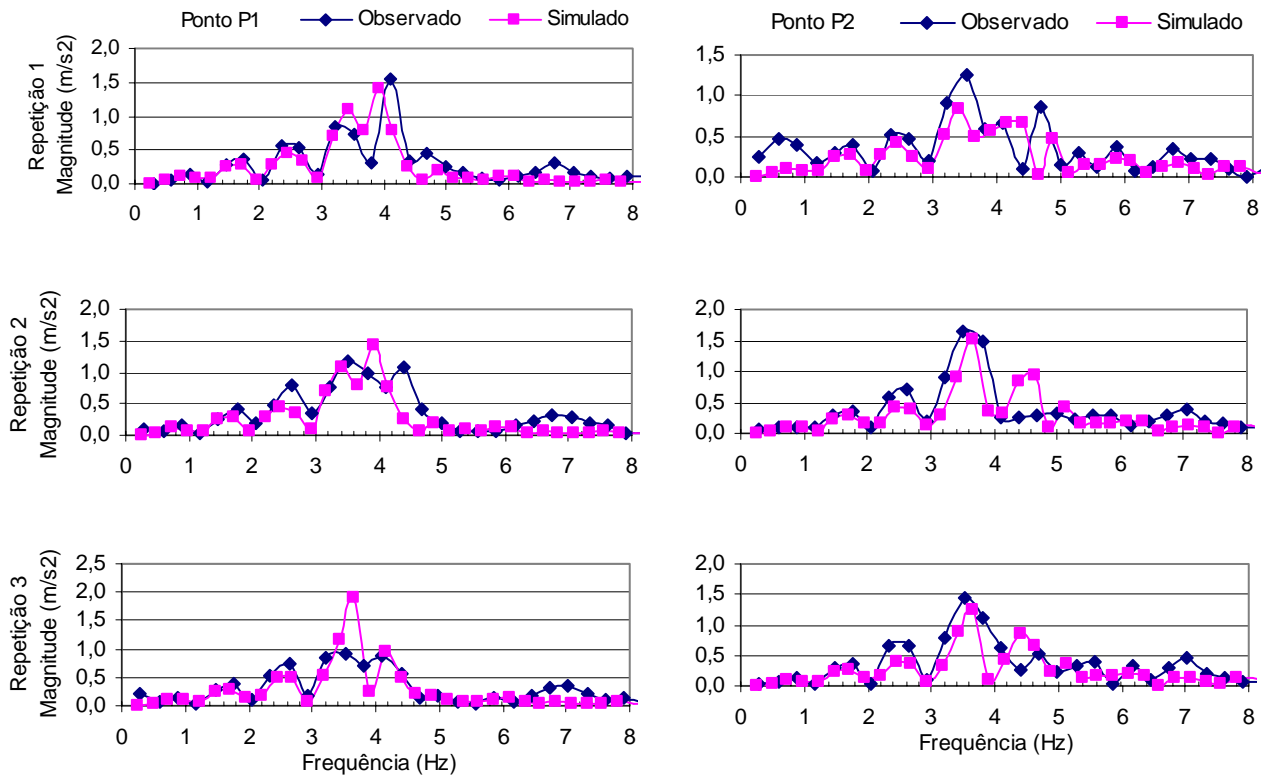


Figura I.6 – Espectro de frequências nos testes do cenário 6.

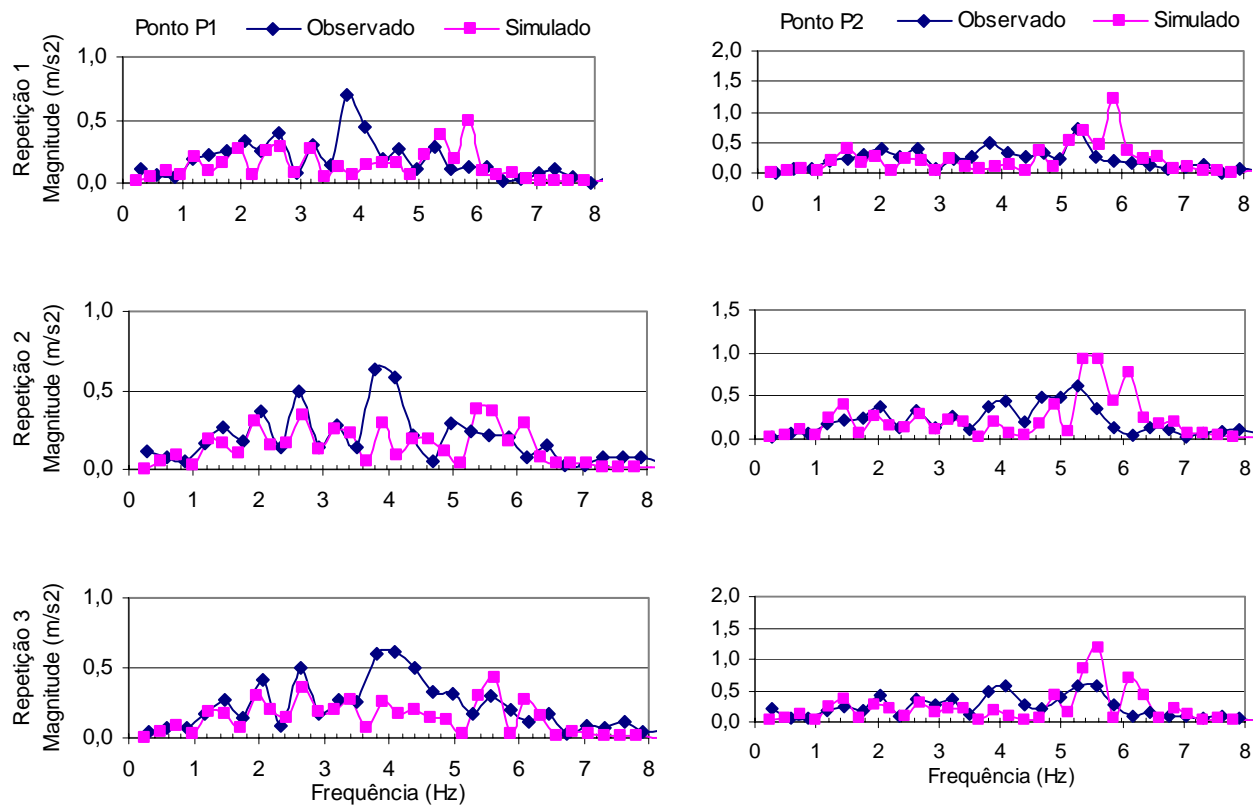


Figura I.7 – Espectro de frequências nos testes do cenário 7.

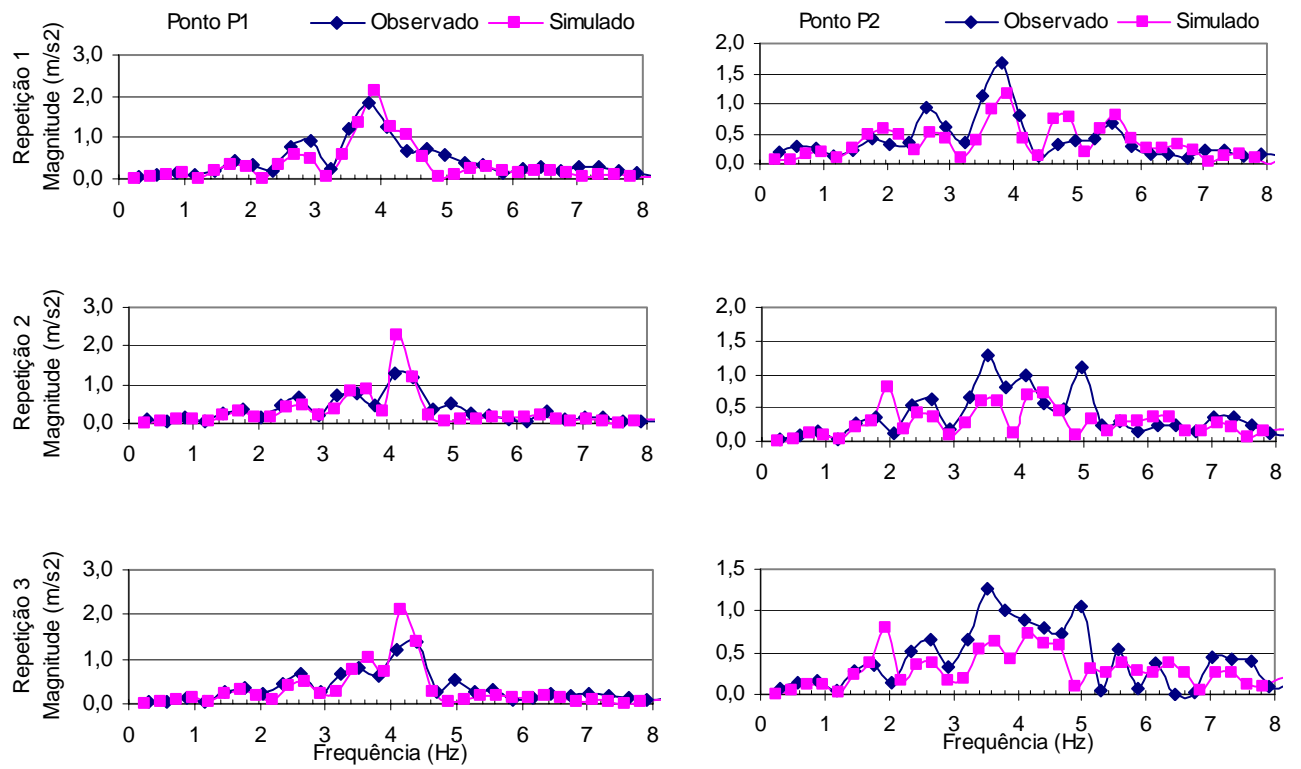


Figura I.8 – Espectro de frequências nos testes do cenário 8.

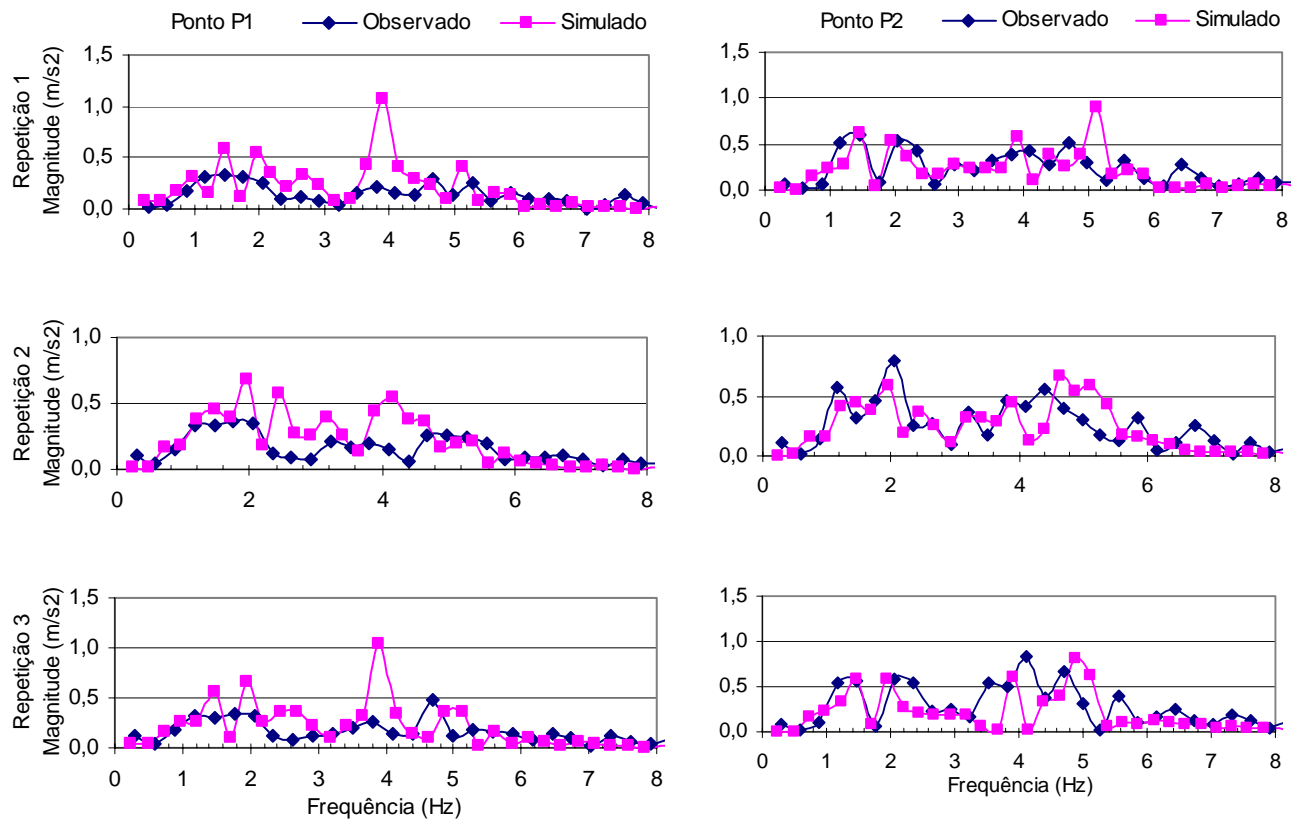


Figura I.9 – Espectro de frequências nos testes do cenário 9.

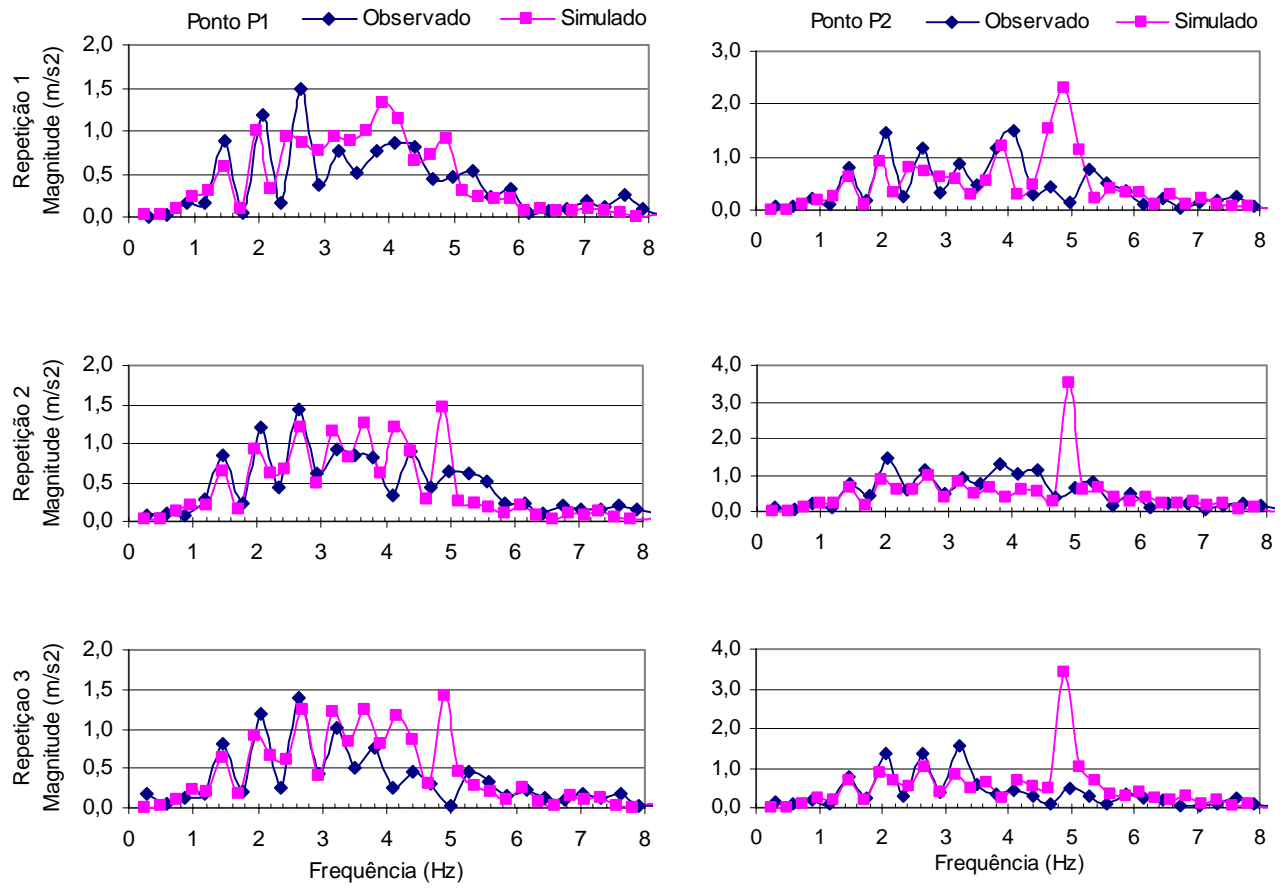


Figura I.10 – Espectro de frequências nos testes do cenário 10.

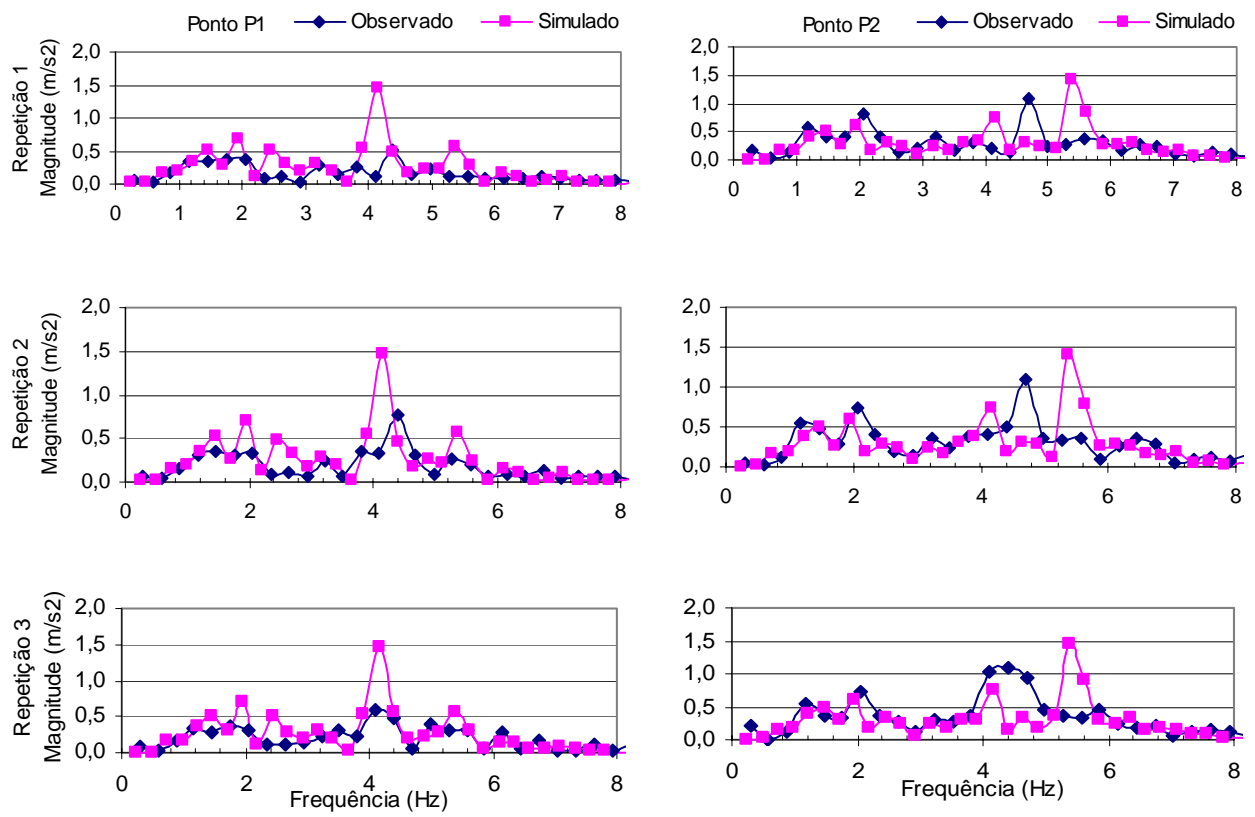


Figura I.11 – Espectro de frequências nos testes do cenário 11.

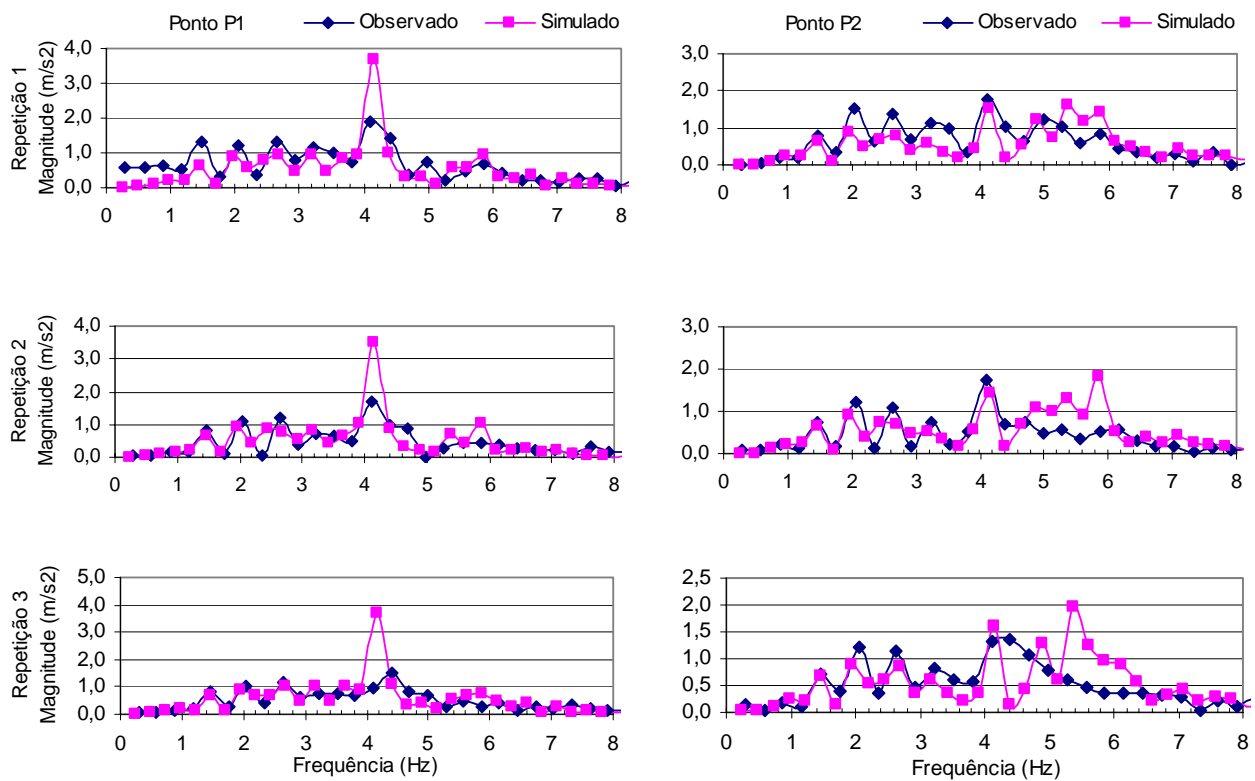


Figura I.12 – Espectro de frequências nos testes do cenário 12.

APÊNDICE J

Gráficos contendo acelerações verticais simuladas na FSSM e espectros de frequências, nos pontos P1 e P2 localizados respectivamente sobre o eixo traseiro e dianteiro do trator, em três diferentes cenários para análise da sensibilidade em relação às seguintes variáveis: velocidade do veículo, coeficiente de amortecimento, pressão nos pneus e momento de inércia de massa.

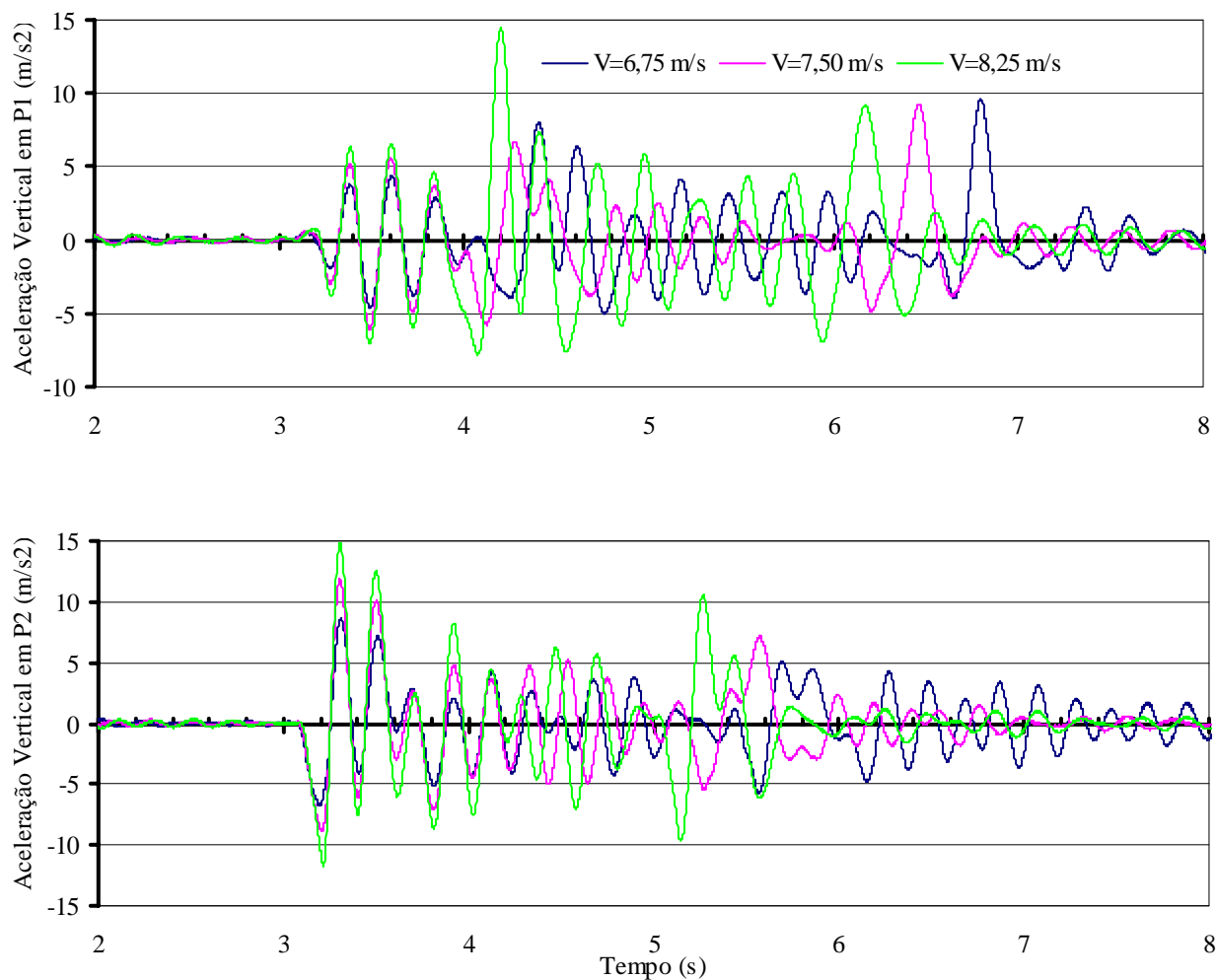


Figura J.1 - Acelerações verticais simuladas na FSSM em três diferentes velocidades (V), mantendo os demais parâmetros constantes.

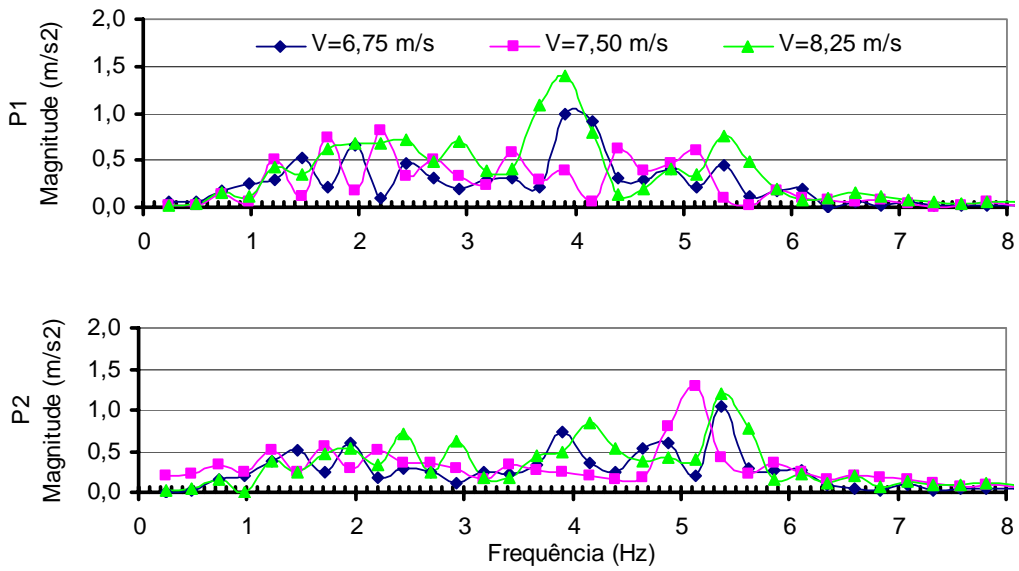


Figura J.2 – Espectros de frequência das acelerações nas três diferentes velocidades (V), mantendo os demais parâmetros constantes.

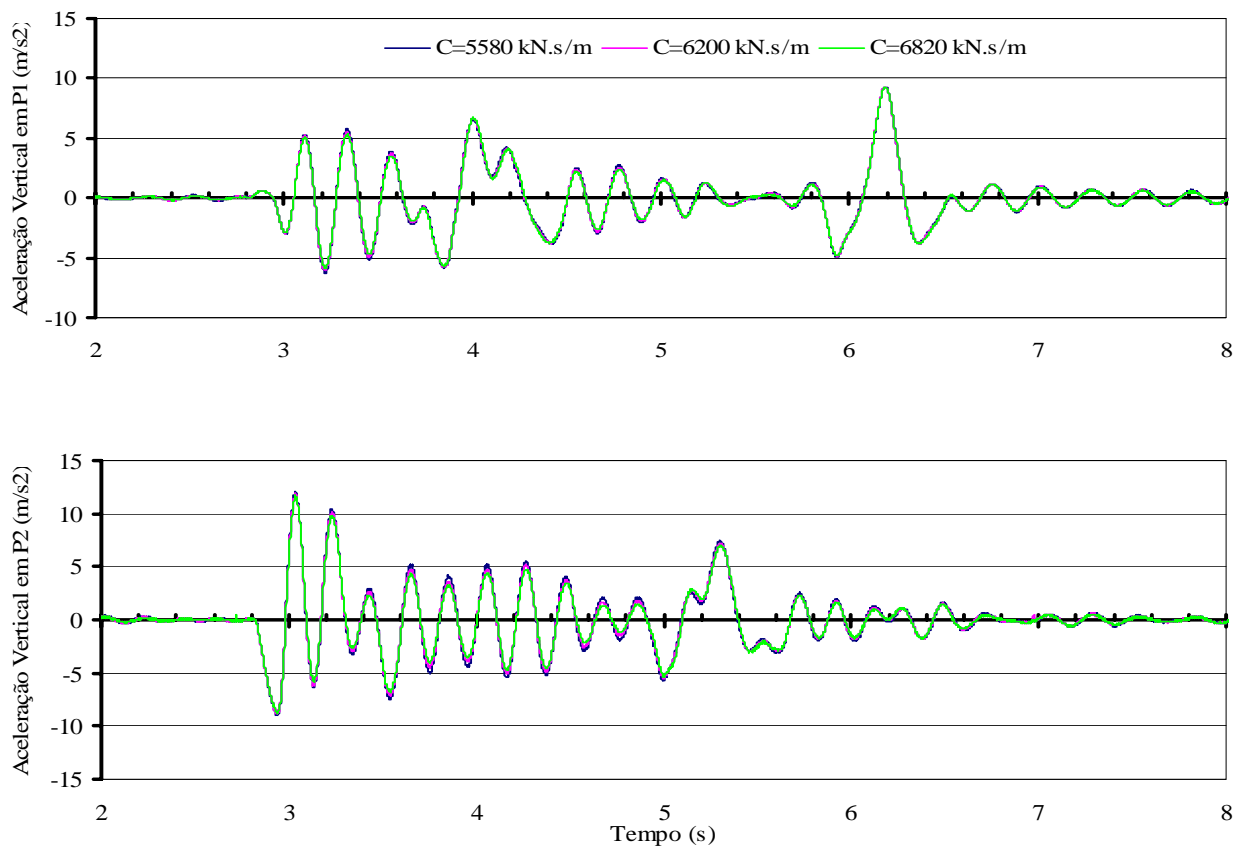


Figura J.3 - Acelerações verticais simuladas na FSSM em três diferentes coeficientes de amortecimento (C), mantendo os demais parâmetros constantes.

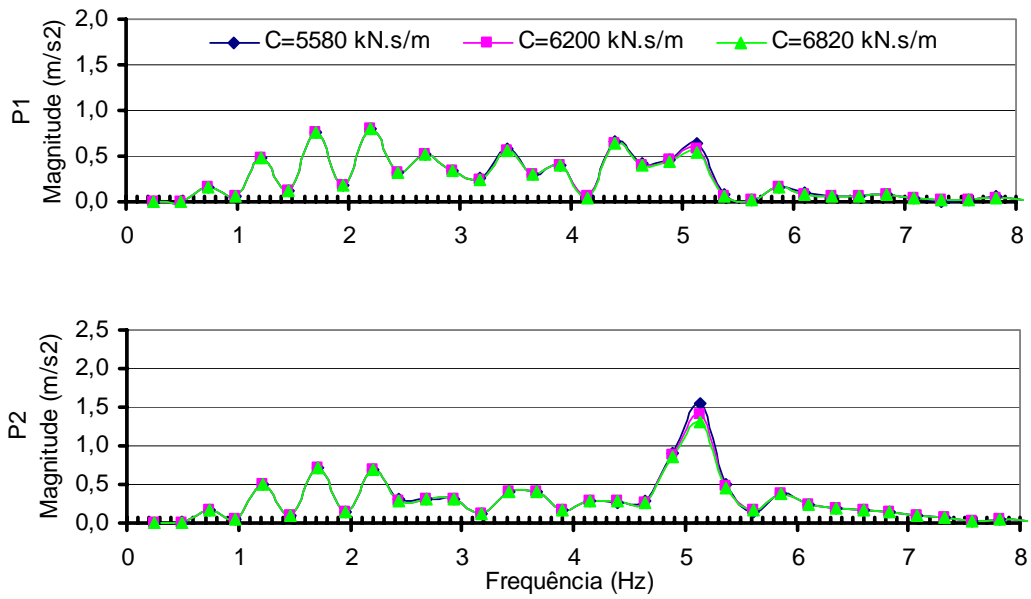


Figura J.4 – Espectros de frequência das acelerações nos três diferentes coeficientes de amortecimento (C), mantendo os demais parâmetros constantes.

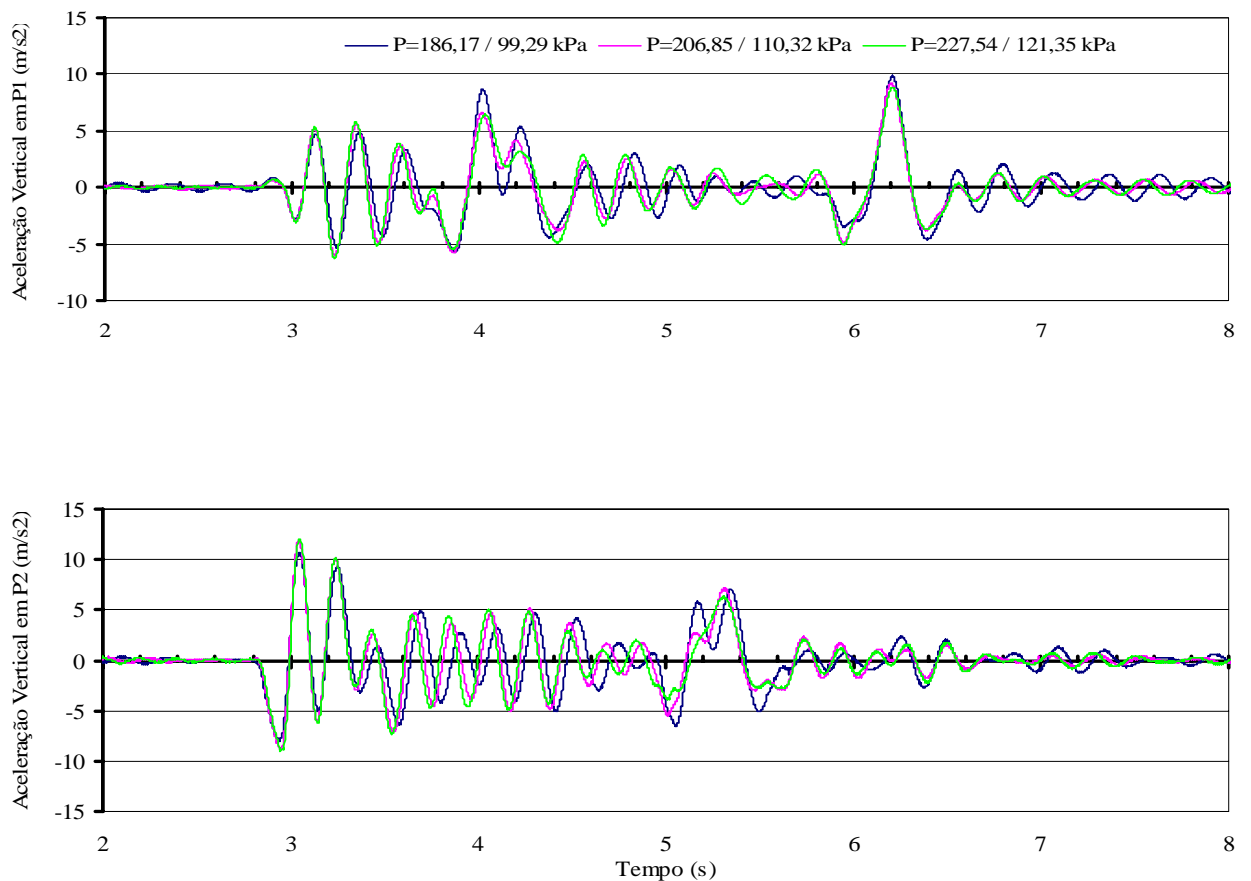


Figura J.5 - Acelerações verticais simuladas na FSSM em três diferentes pressões (P) nos pneus, mantendo os demais parâmetros constantes.

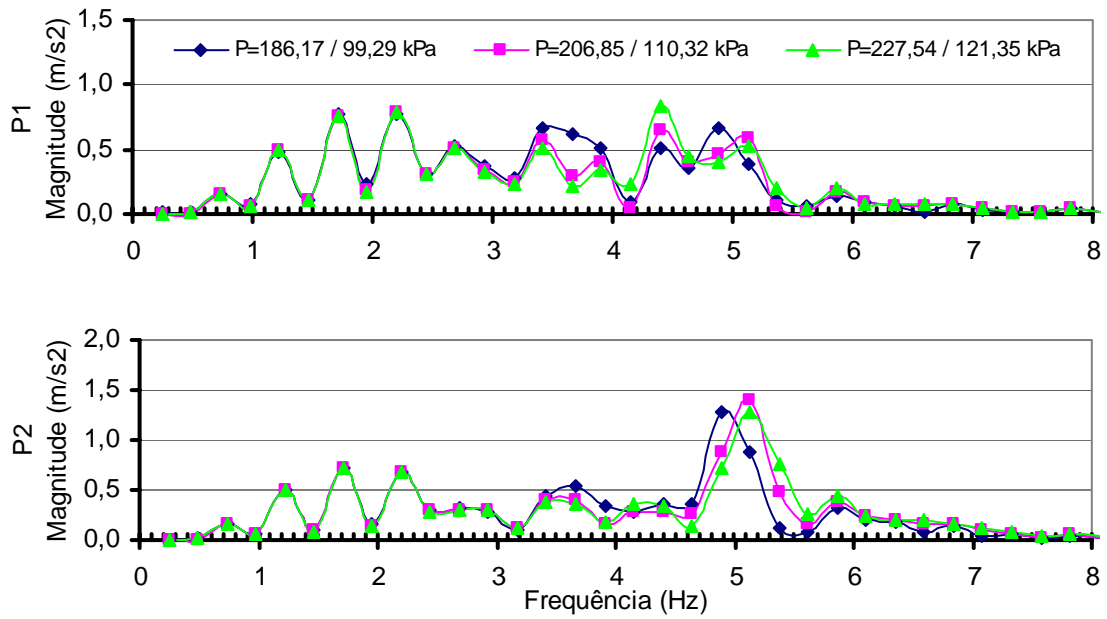


Figura J.6 – Espectros de frequências das acelerações nas três diferentes pressões (P) dos pneus, mantendo os demais parâmetros constantes.

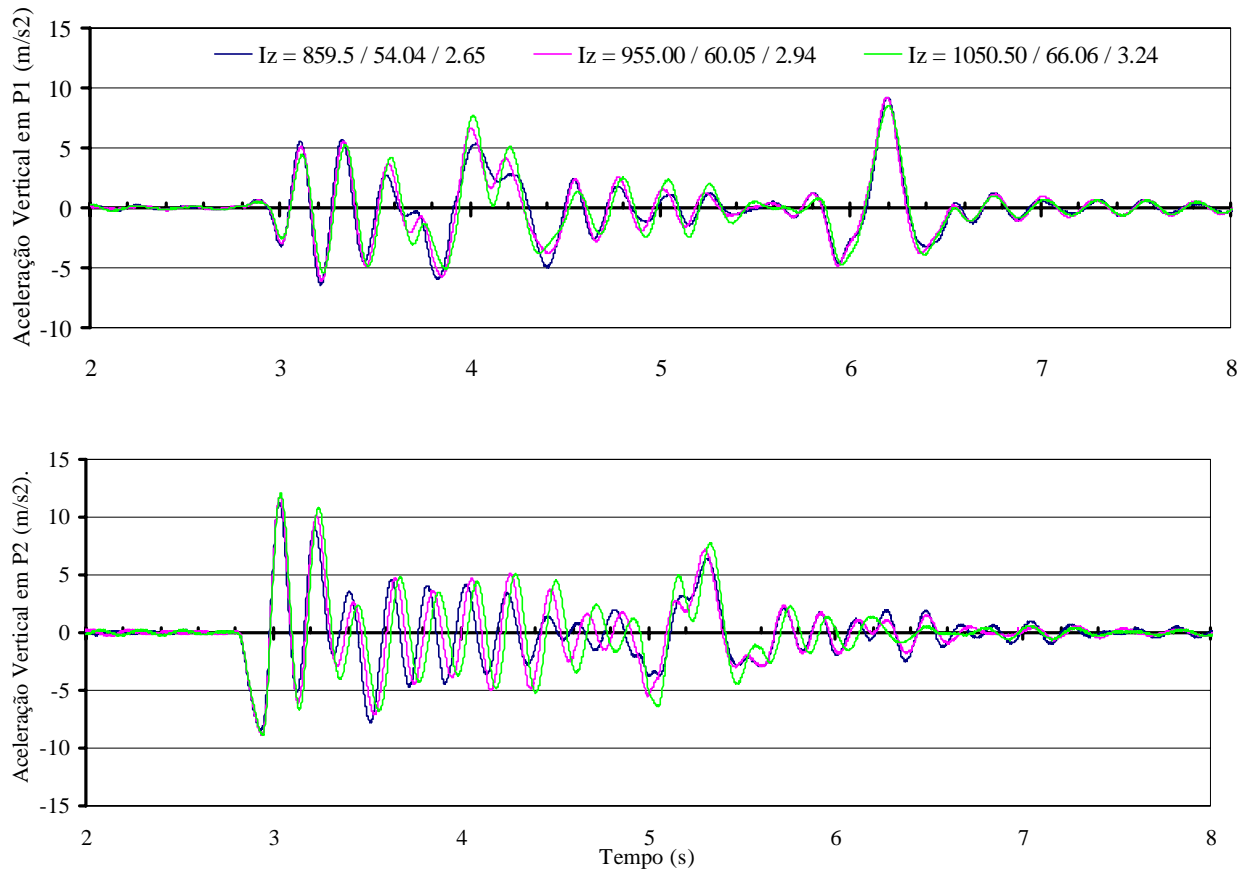


Figura J.7 - Acelerações verticais simuladas na FSSM em três diferentes momentos de inércia de massa (I_z), mantendo os demais parâmetros constantes.

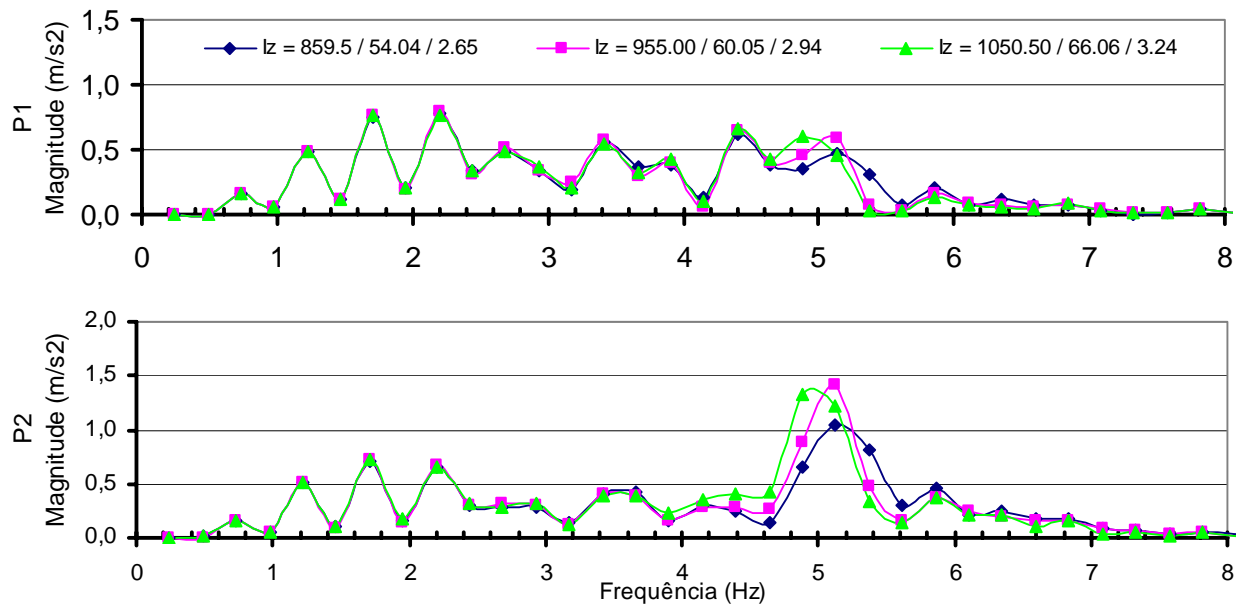


Figura J.8 – Espectros de frequências das acelerações nos três diferentes momentos de inércia de massa (I_z), mantendo os demais parâmetros constantes.

APÊNDICE K

Código fonte da FSSM (processamento)

Public sair As Boolean
Dim path As String
Dim resultdir As String
Dim Q() As Double '--TAMANHO = (3, NB) => MATRIZ QUE ARMAZENA A POSIÇÃO DE CADA CORPO
Dim QD() As Double '--TAMANHO = (3, NB) => MATRIZ QUE ARMAZENA A VELOCIDADE DE CADA CORPO
Dim QDD() As Double '--TAMANHO = (3, NB) => MATRIZ QUE ARMAZENA A ACELERAÇÃO DE CADA CORPO
Dim RB() As Double '--TAMANHO = (NB, 7) => MATRIZ QUE ARMAZENA INFORMAÇÃO DOS CORPOS
Dim RJ() As Double '--TAMANHO = (NR, 4) => MATRIZ QUE ARMAZENA INFORMAÇÕES DAS JUNTAS DE REVOLUÇÃO
Dim IRJ() As Integer '--TAMANHO = (NR, 2) => MATRIZ QUE RELACIONA A JUNTA AOS CORPOS LIGADOS AQUELA
JUNTA DE ROTAÇÃO
Dim TJ() As Double '--TAMANHO = (NT, 7) => MATRIZ QUE ARMAZENA INFORMAÇÕES DAS JUNTAS DE
TRANSLAÇÃO
Dim ITJ() As Integer '--TAMANHO = (NT, 2) => MATRIZ QUE RELACIONA A JUNTA AOS CORPOS LIGADOS AQUELA
JUNTA
Dim ENG() As Double '--TAMANHO = (NÉN, 6) => MATRIZ QUE ARMAZENA INFORMAÇÕES DOS PARES DE
ENGRENAGENS
Dim IENG() As Integer '--TAMANHO = (NEN, 2) => MATRIZ QUE RELACIONA O PAR DE ENGRENAGENS A 2 RESPECTIVOS
CORPOS
Dim COR() As Double '--TAMANHO = (NCO, 6) => MATRIZ QUE ARMAZENA INFORMAÇÕES DOS PARES DE POLIAS
LIGADAS POR CORREIAS
Dim ICOR() As Integer '--TAMANHO = (NCO, 2) => MATRIZ QUE RELACIONA O PAR DE POLIAS A 2 RESPECTIVOS
CORPOS
Dim GR() As Double '--TAMANHO = (NG3) => VETOR QUE ARMAZENA AS COORDENADAS DOS CORPOS TERRA
Dim IGR() As Integer '--TAMANHO = (NG3, 2) => MATRIZ QUE IDENTIFICA QUAL DOS CORPOS É DO TIPO TERRA
Dim SM() As Double '--TAMANHO = (NS) => VETOR QUE ARMAZENA AS COORDENADAS DAS JUNTAS SIMPLES
Dim ISM() As Integer '--TAMANHO = (NS, 2) => MATRIZ QUE RELACIONA A JUNTA SIMPLES AO CORPO
Dim SP() As Double '--TAMANHO = (NSP, 12) => MATRIZ QUE ARMAZENA AS INFORMAÇÕES DO SOLO
Dim ISP() As Integer '--TAMANHO = (NSP, 2) => MATRIZ QUE RELACIONA O SOLO AO CORPO
Dim DR() As Double '--TAMANHO = (ND, 3) => MATRIZ QUE ARMAZENA INFORMAÇÕES DAS JUNTAS MOTRIZES
Dim IDR() As Integer '--TAMANHO = (ND, 2) => MATRIZ QUE RELACIONA AS JUNTAS MOTRIZES AOS CORPOS
Dim PI() As Double '--TAMANHO = (NP, 2) => MATRIZ QUE ARMAZENA INFORMAÇÕES DOS PONTOS DE INTERESSE
Dim IPI() As Integer '--TAMANHO = (NP) => MATRIZ QUE RELACIONA OS PONTOS DE INTERESSE AOS CORPOS
Dim Y() As Double '--TAMANHO = (NC2) => VETOR QUE ARMAZENA OS VALORES DE Y NO ALGORITMO DE RUNGE-
KUTTA
Dim YD() As Double '--TAMANHO = (NC2) => VETOR QUE ARMAZENA OS VALORES DA DERIVADA DE Y NO
ALGORITMO DE RUNGE-KUTTA
Dim YS() As Double '--TAMANHO = (NC2) => VETOR QUE RECEBE OS VALORES DE Y A CADA PASSO, DURANTE AS
ITERAÇÕES (RUNGE-KUTTA)
Dim FTOT() As Double '--TAMANHO = (NC2) => VETOR QUE ARMAZENA O SOMATÓRIO DAS FUNÇÕES UTILIZADAS
PELO ALGORITMO RUNGE-KUTTA
Dim F() As Double '--TAMANHO = (M) => EQUAÇÕES DE RESTRIÇÕES
Dim RHS() As Double '--TAMANHO = (M) => FUNÇÃO DE Q E QD
Dim FQ() As Double '--TAMANHO = (M, N)
Dim EM() As Double '--TAMANHO = (NPM, NPM)
Dim FRC() As Double '--TAMANHO = (3, NB) => FUNÇÃO DE Q E QD
Dim EL() As Double '--TAMANHO = (M)
Dim VFRC() As Double '--TAMANHO = (M) OU (NPM)
Dim W() As Double '--TAMANHO = (N) => VETOR DE TRABALHO
Dim ICOL() As Integer '--TAMANHO = (NPM) => COLUNA DE PONTEIROS PARA AS EQUAÇÕES DE RESTRIÇÕES
Dim UF() As Double '--VETOR QUE ARMAZENA INFORMAÇÕES DAS FORÇAS DO USUÁRIO
Dim JUF() As Integer '--TAMANHO = (NUF, 3) => MATRIZ QUE RELACIONA A FORÇA A UM PAR DE CORPOS E TAMBEM
GUARDA O TIPO DE FORÇA
Dim FEPS As Double '--ERRO MÍNIMO UTILIZADO NO ALGORITMO DE NEWTON-RAPHSON
Dim JACOB As Integer '--FLAG PARA SOLUÇÃO DA MATRIZ JACOBIANA
Dim IFNCT As Integer '--FLAG PARA SOLUÇÃO DAS EQUAÇÕES DE RESTRIÇÃO
Dim NB As Integer '--TOTAL DE CORPOS
Dim NR As Integer '--TOTAL DE JUNTAS DE ROTAÇÃO
Dim NT As Integer '--TOTAL DE JUNTAS DE TRANSLAÇÃO
Dim NEN As Integer '--TOTAL DE PARES DE ENGRENAGENS
Dim NCO As Integer '--TOTAL DE PARES DE POLIAS LIGADAS POR CORREIAS
Dim NG As Integer '--TOTAL DE CORPOS TERRA
Dim ND As Integer '--TOTAL DE JUNTAS MOTRIZES
Dim NG3 As Integer '--NG3=3*NG => RESTRIÇÕES CAUSADAS PELOS CORPOS TERRA
Dim NS As Integer '--NÚMERO DE RESTRIÇÕES PELAS JUNTAS SIMPLES
Dim NSP As Integer '--NÚMERO DE FORÇAS DO SOLO
Dim NP As Integer '--NÚMERO DE PONTOS DE INTERESSE
Dim NUF As Integer '--TOTAL DE FORÇAS DO USUÁRIO
Dim NSF As Integer '--NÚMERO DE FORÇAS DO SOLO

```

Dim NCOORD As Integer '--NÚMERO DE COORDENADAS DE DEFINEM O PERFIL DO SOLO
Dim IR As Integer '--CONTADOR AUXILIAR
Dim m As Integer '--NÚMERO DE GRAUS DE LIBERDADE
Dim N As Integer '--NÚMERO DE RESTRICÇÕES
Dim NPM As Integer '--=N+m
Dim NC2 As Integer '--=N+N
Dim T0 As Double '--TEMPO INICIAL DA SIMULAÇÃO
Dim TE As Double '--TEMPO FINAL DA SIMULAÇÃO
Dim DT As Double '--INCREMENTO DE TEMPO DA SIMULAÇÃO
Dim PNPT() As Double '--VETOR DE COORDENADAS Y DO PERFIL DO SOLO
Dim T As Double '--TEMPO
Dim DeltaT As Double '--DELTA TEMPO
Dim TIPOAN As Integer '--TIPO DE ANÁLISE
Dim matESTAT() As String '--MATRIZ DE SAIDA DE RESULTADOS PARA ANÁLISE ESTÁTICA
Dim matKAP_CP() As String '--MATRIZ DE SAIDA DE RESULTADOS PARA ANÁLISE CINEMÁTICA DOS CORPOS
Dim matKAP_PI() As String '--MATRIZ DE SAIDA DE RESULTADOS PARA ANÁLISE CINEMÁTICA DO PONTO DE
INTERESSE
Dim matDAP_CP() As String '--MATRIZ DE SAIDA DE RESULTADOS PARA ANÁLISE DINÂMICA DOS CORPOS
Dim matDAP_MA() As String '--MATRIZ DE SAIDA DE RESULTADOS PARA ANÁLISE DINÂMICA DAS MOLAS E
AMORTECEDORES
Dim matDAP_JT() As String '--MATRIZ DE SAIDA DE RESULTADOS PARA ANÁLISE DINÂMICA DAS JUNTAS DE
TRANSLAÇÃO
Dim matDAP_PI() As String '--MATRIZ DE SAIDA DE RESULTADOS PARA ANÁLISE DINÂMICA DOS PONTOS DE
INTERESSE
Dim matENT_CP() As String '--MATRIZ DE ENTRADA DE DADOS DOS CORPOS - IMPORTADO DO AUTOCAD ATRAVÉS DO
ARQUIVO dados.aps
Dim matENT_MA() As String '--IDEM PARA MOLAS E AMORTECEDORES
Dim matENT_PI() As String '--IDEM PARA PONTOS DE INTERESSE
Dim matENT_JT() As String '--IDEM PARA JUNTAS DE TRANSLAÇÃO
Dim matENT_JR() As String '--IDEM PARA JUNTAS DE REVOLUÇÃO
Dim matENT_JS() As String '--IDEM PARA JUNTAS SIMPLES
Dim matENT_JM() As String '--IDEM PARA JUNTAS MOTRIZES
Dim matENT_EN() As String '--IDEM PARES DE ENGRENAGENS
Dim matENT_CO() As String '--IDEM PARA PARES DE CORREIAS
Dim matENT_FU() As String '--IDEM PARA FORÇAS DO USUÁRIO
Dim matENT_CT() As String '--IDEM PARA CORPOS TERRA
Dim matENT_SOLO_COORD() As String '--IDEM PARA COORDENADAS DO PERFIL DO SOLO (DISCRETIZAÇÃO)
Dim matENT_SOLO() As String '--IDEM PARA INFORMAÇÕES DO SOLO
Dim matENT_PN() As String '--IDEM PARA CORPOS DO TIPO PNEUS
Dim DELTAPN As Double '--DEFORMAÇÃO DO PNEU
Dim matDELTAPN_ANT() As Double '--VETOR QUE GUARDA A ÚLTIMA DEFORMAÇÃO DE CADA PNEU PARA CÁLCULO
DA VELOCIDADE DA DEFORMAÇÃO
Const CPI = 3.141592654 '--CONSTANTE PI
Const NRMAX = 20 '--MÁXIMO NÚMERO DE JUNTAS DE ROTAÇÃO
'-----
Public Sub Main()
 '--Programa principal
 arq = "c:/temp/fssmtempfile.txt"
 Open arq For Input As #1 ' Open file for output.
 'Salva os dados dos corpos
 Input #1, initialdir
 Close #1

 path = initialdir
 resultdir = path + "resultados\"

 sair = False
 '--On Error GoTo ERROFIM
 Call ler_dados
 formexec.evolucao.Max = 100
 formexec.evolucao.Min = 0
 formexec.Show
 formexec.Refresh
 Call KDE_Analysis
ERROFIM:
 Open path + "libera.aps" For Output As #4
 Close #4
 Unload formexec
End Sub
'-----
Public Function angulo(ByVal x1, ByVal y1, ByVal x2, ByVal y2 As Double) As Double
 '--Encontra o angulo entre duas coordenadas cartesianas (x1,y1) e (x2,y2)
 Dim dx1, dx2 As Double
 On Error GoTo erro1
 dx = x2 - x1
 dy = y2 - y1
 If dx <> 0 Then
 If dx > 0 And dy >= 0 Then angulo = Atn(dy / dx)

```

```

If dx < 0 And dy > 0 Then angulo = Atn(dy / dx) + 3.1416
If dx < 0 And dy <= 0 Then angulo = Atn((dy) / dx) + 3.1416
If dx > 0 And dy < 0 Then angulo = Atn(dy / dx) + 2 * 3.1416
Else
If dy > 0 Then
angulo = 3.1416 / 2
Else
angulo = 3 * 3.1416 / 2
End If
End If
erro1: If Err.Number <> 0 Then
MsgBox "Erro na função ÂNGULO"
Err.Clear
End If
End Function
'-----
Public Function DblToStr(x) As String
Dim aux As String
aux = CStr(x)
DblToStr = Replace(aux, ",", ".")
End Function
'-----
Public Sub ler_dados()
'--Abre o arquivos de dados do pré-processamento e os transfere para matrizes de dados de entrada. Estas matrizes
'--contém informações dos Corpos, Juntas de Revolução, Juntas de Tranlação, Pares de Engrenagem, Pares de Polias ligadas por Correia,
'--Corpos Terra, Juntas Simples, Juntas Motrizes (Motores), Atuadores tipo Mola-Amortecedor, Pontos de Interesse e Forças do Usuário.
Dim arq As String
Dim solo As Boolean
Dim NPNEU As Integer
Dim aux As String
Dim id As String, tnum As String, tfixo As String, tpneu As String, tsolo As String
Dim tXI As String, tYI As String, tPHIi As String, tDXi As String, tDYi As String, tDPHIi As String
Dim tM As String, tMI As String, tFX As String, tFY As String, tF As String, tEscala As String
Dim tcorpo As String, tTipo As String, tK As String, tCA As String, tH As String, tB As String, tIdade As String, tDE As String
Dim tCI As String, tCJ As String, tXJ As String, tYJ As String
Dim tXIP As String, tYIP As String, tXIQ As String, tYIQ As String, tXJP As String, tYJP As String
Dim tQUII As String, tNETAI As String, tQUIJ As String, tNETAJ As String, ta As String, tw As String
Dim tC As String, tx As String, ty As String, tx0 As String, tPHI As String, tYm As String
Dim tCD As String, ts As String, tDs As String, tJDDs As String, tIC As String, tCOMP As String
Dim tvar As String, tx1 As String, tf0 As String, tf1 As String
Dim tRI As String, tRJ As String, tExp As String, tCmax As String, td As String
Dim tRI As String, tDNI As String, tRJ As String, tDNJ As String
Dim tTA As String, tTi As String, tTf As String, tDT As String

arq = path + "dados.aps"
Open arq For Input As #1 '---Abre o arquivo criado pela macro no Autocad.

solo = False
NPNEU = 0

Do While Not EOF(1)
Input #1, aux
If aux = "#CP" Then
NB = NB + 1 '---Número de Corpos
Input #1, tnum, tfixo, tpneu, tsolo
If tfixo = "True" Then NG = NG + 1
If tsolo = "True" Then NG = NG + 1
End If
If aux = "#PI" Then NP = NP + 1 '---Número de pontos de interesse
If aux = "#JR" Then NR = NR + 1 '---Número de juntas de revolução
If aux = "#JT" Then NT = NT + 1 '---Número de juntas de translação
If aux = "#MA" Then NSP = NSP + 1 '---Número de conjuntos mola-amortecedores
If aux = "#JM" Then ND = ND + 1 '---Número de juntas motrizes
If aux = "#EN" Then NEN = NEN + 1 '---Número de pares de engrenagens
If aux = "#CO" Then NCO = NCO + 1 '---Numero de pares de polias ligadas por correias
If aux = "#JS" Then NS = NS + 1 '---Número de restrições(JUNTAS) simples
If aux = "#FU" Then NUF = NUF + 1 '---Número de forças do usuário
If aux = "#PNEU" Then NSF = NSF + 1 '---Número de forças do solo
If aux = "#COORD" Then NCOORD = NCOORD + 1 '---Numero de coordenadas que definem o perfil do solo
Loop
Close #1

'---Redimensiona os vetores e matrizes de acordo com a necessidade
ReDim matENT_CP(NB, 12 + 1)
ReDim matENT_MA(NSP, 11 + 1)
ReDim matENT_PI(NP, 4 + 1)
ReDim matENT_JT(NT, 9 + 1)
ReDim matENT_JR(NR, 7 + 1)

```

```

ReDim matENT_JM(ND, 6 + 1)
ReDim matENT_EN(NEN, 7 + 1)
ReDim matENT_CO(NCO, 5 + 1)
ReDim matENT_JS(NS, 3 + 1)
ReDim matENT_FU(NUF, 18 + 1)
ReDim UF(NUF, 11)
ReDim matENT_CT(NG)
ReDim matENT_PN(NSF, 9 + 1)
ReDim matENT_SOLO(8 + 1)
ReDim PNPT(NB)
ReDim matENT_SOLO_COORD(NCOORD, 2)
ReDim matDELTAPN_ANT(NB)

'--Inicializa as variáveis
CPcont = 0
MAcont = 0
PIcont = 0
JTcont = 0
JRcont = 0
JMCont = 0
ENcont = 0
COcont = 0
JScont = 0
FUcont = 0
CTcont = 0
PNcont = 0
COORDcont = 0
Open arq For Input As #1
Do While Not EOF(1)
    '--Loop até final do arquivo.
    Input #1, aux
    If aux = "#CP" Then
        '--Leitura de informações que definem os Corpos
        CPcont = CPcont + 1
        Input #1, tnum, tfixo, tpneu, tsolo, tXI, tYI, tPHIi, tDXi, tDYi, tDPHIi, tM, tMI, tFX, tFY, tF
        matENT_CP(CPcont, 2) = tnum
        matENT_CP(CPcont, 3) = tXI
        matENT_CP(CPcont, 4) = tYI
        matENT_CP(CPcont, 5) = tPHIi
        matENT_CP(CPcont, 6) = tDXi
        matENT_CP(CPcont, 7) = tDYi
        matENT_CP(CPcont, 8) = tDPHIi
        matENT_CP(CPcont, 9) = tM
        matENT_CP(CPcont, 10) = tMI
        matENT_CP(CPcont, 11) = tFX
        matENT_CP(CPcont, 12) = tFY
        matENT_CP(CPcont, 13) = tF
        If tfixo = "True" Or tsolo = "True" Then
            CTcont = CTcont + 1
            matENT_CT(CTcont) = tnum
        End If
        z = Val(matENT_CP(CPcont, 3))
        J = Cdbl(matENT_CP(CPcont, 3))
        J = Val(matENT_CP(CPcont, 4))
        J = Cdbl("0.01")
    End If
    If aux = "#PNEU" Then
        '--Leitura de informações que definem os Corpos do tipo Pneu
        Input #1, tcorpo, tTipo, tK, tCA, tH, tB, tIdade, tDE
        PNcont = PNcont + 1
        matENT_PN(PNcont, 1) = tcorpo
        matENT_PN(PNcont, 2) = tTipo
        matENT_PN(PNcont, 3) = tK
        matENT_PN(PNcont, 4) = tCA
        matENT_PN(PNcont, 5) = tH
        matENT_PN(PNcont, 6) = tB
        matENT_PN(PNcont, 7) = tIdade
        matENT_PN(PNcont, 8) = tDE
    End If
    If aux = "#JR" Then
        '--Leitura de informações que definem as Juntas de Revolução
        Input #1, tnum, tCI, tCJ, tXI, tYI, tXJ, tYJ
        JRcont = JRcont + 1
        matENT_JR(JRcont, 2) = tnum
        matENT_JR(JRcont, 3) = tCI
        matENT_JR(JRcont, 4) = tCJ
        matENT_JR(JRcont, 5) = tXI
        matENT_JR(JRcont, 6) = tYI
    End If
End Do

```

```

matENT_JR(JRcont, 7) = tXJ
matENT_JR(JRcont, 8) = tYJ
End If
If aux = "#JT" Then
'--Leitura de informações que definem as Juntas de Translação
Input #1, tnum, tCI, tCJ, tXIP, tYIP, tXIQ, tYIQ, tXJP, tYJP
JTcont = JTcont + 1
matENT_JT(JTcont, 1) = 0
matENT_JT(JTcont, 2) = tnum
matENT_JT(JTcont, 3) = tCI
matENT_JT(JTcont, 4) = tCJ
matENT_JT(JTcont, 5) = tXIP
matENT_JT(JTcont, 6) = tYIP
matENT_JT(JTcont, 7) = tXIQ
matENT_JT(JTcont, 8) = tYIQ
matENT_JT(JTcont, 9) = tXJP
matENT_JT(JTcont, 10) = tYJP
End If
If aux = "#MA" Then
'--Leitura de informações que definem Molas e Amortecedores
Input #1, tnum, tCI, tCJ, tQUII, tNETAI, tQUIJ, tNETAJ, tK, tC, tF, tCOMP
MAcont = MAcont + 1
matENT_MA(MAcont, 1) = 0
matENT_MA(MAcont, 2) = tnum
matENT_MA(MAcont, 3) = tCI
matENT_MA(MAcont, 4) = tCJ
matENT_MA(MAcont, 5) = tQUII
matENT_MA(MAcont, 6) = tNETAI
matENT_MA(MAcont, 7) = tQUIJ
matENT_MA(MAcont, 8) = tNETAJ
matENT_MA(MAcont, 9) = tK
matENT_MA(MAcont, 10) = tC
matENT_MA(MAcont, 11) = tF
matENT_MA(MAcont, 12) = tCOMP
End If
If aux = "#FU" Then
'--Leitura de informações que definem as Forças do Usuário
Input #1, tipoFU
Select Case tipoFU
Case "CTE"
'--Forças Constantes
Input #1, tnum, tCI, tCJ, tQUII, tNETAI, tQUIJ, tNETAJ, tF
FUcont = FUcont + 1
matENT_FU(FUcont, 1) = tnum
matENT_FU(FUcont, 2) = tCI
matENT_FU(FUcont, 3) = tCJ
matENT_FU(FUcont, 4) = tipoFU
matENT_FU(FUcont, 5) = tQUII
matENT_FU(FUcont, 6) = tNETAI
matENT_FU(FUcont, 7) = tQUIJ
matENT_FU(FUcont, 8) = tNETAJ
matENT_FU(FUcont, 9) = tF

Case "SHF"
'--Forças do tipo Função Harmônica Simples
Input #1, tnum, tCI, tCJ, tQUII, tNETAI, tQUIJ, tNETAJ, ta, tw, tx0, tPHI, tYm
FUcont = FUcont + 1
matENT_FU(FUcont, 1) = tnum
matENT_FU(FUcont, 2) = tCI
matENT_FU(FUcont, 3) = tCJ
matENT_FU(FUcont, 4) = tipoFU
matENT_FU(FUcont, 5) = tQUII
matENT_FU(FUcont, 6) = tNETAI
matENT_FU(FUcont, 7) = tQUIJ
matENT_FU(FUcont, 8) = tNETAJ
matENT_FU(FUcont, 9) = ta
matENT_FU(FUcont, 10) = tw
matENT_FU(FUcont, 11) = tx0
matENT_FU(FUcont, 12) = tPHI
matENT_FU(FUcont, 13) = tYm

Case "STEP"
'--Forças do tipo degrau ou rampa, com adoçamento por uma função polinomial cúbica
Input #1, tnum, tCI, tCJ, tQUII, tNETAI, tQUIJ, tNETAJ, tvar, tx0, tx1, tf0, tf1
FUcont = FUcont + 1
matENT_FU(FUcont, 1) = tnum
matENT_FU(FUcont, 2) = tCI
matENT_FU(FUcont, 3) = tCJ

```

```

matENT_FU(FUcont, 4) = tipoFU
matENT_FU(FUcont, 5) = tQUII
matENT_FU(FUcont, 6) = tNETAI
matENT_FU(FUcont, 7) = tQUIJ
matENT_FU(FUcont, 8) = tNETAJ
matENT_FU(FUcont, 9) = tx0
matENT_FU(FUcont, 10) = tx1
matENT_FU(FUcont, 11) = tf0
matENT_FU(FUcont, 12) = tf1
matENT_FU(FUcont, 13) = tvar

Case "IMP"
  '--Força do tipo impacto
  Input #1, tnum, tCI, tCJ, tQUII, tNETAI, tQUIJ, tNETAJ, tRI, tRJ, tK, tExp, tCmax, td
  FUcont = FUcont + 1
  matENT_FU(FUcont, 1) = tnum
  matENT_FU(FUcont, 2) = tCI
  matENT_FU(FUcont, 3) = tCJ
  matENT_FU(FUcont, 4) = tipoFU
  matENT_FU(FUcont, 5) = tQUII
  matENT_FU(FUcont, 6) = tNETAI
  matENT_FU(FUcont, 7) = tQUIJ
  matENT_FU(FUcont, 8) = tNETAJ
  matENT_FU(FUcont, 9) = tRI
  matENT_FU(FUcont, 10) = tRJ
  matENT_FU(FUcont, 11) = tK
  matENT_FU(FUcont, 12) = tExp
  matENT_FU(FUcont, 13) = tCmax
  matENT_FU(FUcont, 14) = td
End Select
End If
If aux = "#PI" Then
  '--Leitura de informações que definem os Pontos de Interesse
  PIcont = PIcont + 1
  Input #1, tnum, tC, tx, ty
  matENT_PI(PIcont, 1) = 0
  matENT_PI(PIcont, 2) = tnum
  matENT_PI(PIcont, 3) = tC
  matENT_PI(PIcont, 4) = tx
  matENT_PI(PIcont, 5) = ty
End If
If aux = "#JM" Then
  '--Leitura de informações que definem as Juntas Motrizes (Motores)
  JMCont = JMCont + 1
  Input #1, tnum, tC, tCD, ts, tDs, tDDS
  matENT_JM(JMCont, 1) = 0
  matENT_JM(JMCont, 2) = tnum
  matENT_JM(JMCont, 3) = tC
  matENT_JM(JMCont, 4) = tCD '--TIPO DE COORDENADA, ESCALA
  matENT_JM(JMCont, 5) = ts
  matENT_JM(JMCont, 6) = tDs
  matENT_JM(JMCont, 7) = tDDS
End If
If aux = "#EN" Then
  '--Leitura de informações que definem os Pares de Engrenagem
  ENcont = ENcont + 1
  Input #1, tnum, tCI, tCJ, tJRI, tDNI, tJRJ, tDNJ, tTipo
  matENT_EN(ENcont, 1) = tCI
  matENT_EN(ENcont, 2) = tCJ
  matENT_EN(ENcont, 3) = tnum
  matENT_EN(ENcont, 4) = tJRI
  matENT_EN(ENcont, 5) = tDNI
  matENT_EN(ENcont, 6) = tJRJ
  matENT_EN(ENcont, 7) = tDNJ
  matENT_EN(ENcont, 8) = tTipo
End If
If aux = "#CO" Then
  '--Leitura de informações que definem os pares de polias ligadas por Correias
  ENcont = ENcont + 1
  Input #1, tnum, tCI, tCJ, tJRI, tDNI, tJRJ, tDNJ
  matENT_CO(ENcont, 1) = tCI
  matENT_CO(ENcont, 2) = tCJ
  matENT_CO(ENcont, 3) = tnum
  matENT_CO(ENcont, 4) = tJRI
  matENT_CO(ENcont, 5) = tDNI
  matENT_CO(ENcont, 6) = tJRJ
  matENT_CO(ENcont, 7) = tDNJ
End If

```

```

If aux = "#JS" Then
    '--Leitura de informações que definem as Juntas Simples
    JScont = JScont + 1
    Input #1, tnum, tC, tCD
    matENT_JS(JScont, 1) = 0
    matENT_JS(JScont, 2) = tnum
    matENT_JS(JScont, 3) = tC
    matENT_JS(JScont, 4) = tCD
End If
If aux = "#SOLO" Then
    '--Leitura de informações que definem o tipo de Solo
    Input #1, tcorpo, tTipo, tIC
    matENT_SOLO(1) = tTipo
    matENT_SOLO(2) = tcorpo
    matENT_SOLO(3) = tIC
End If
If aux = "#COORD" Then
    '--Leitura de informações que definem os Pares de Engrenagem
    COORDcont = COORDcont + 1
    Input #1, tx, ty
    matENT_SOLO_COORD(COORDcont, 0) = tx
    matENT_SOLO_COORD(COORDcont, 1) = ty
End If
If aux = "#DA" Then
    '--Leitura de informações que definem a análise dinâmica ou cinemática

    Input #1, tTA, tTi, tTf, tDT
    formexec.TipoAnalise = tTA
    formexec.Tinicial = tTi
    formexec.Tfinal = tTf
    formexec.DeltaT = tDT
    DeltaT = Val(tDT)
End If
Loop
Close #1 '--Fecha Arquivo #1
End Sub
'-----
Public Function Yval(ByVal x As Double) As Double
    '--Percorre todo vetor de coordenadas do solo e encontra o valor da coordenada Y em função de uma entrada X.
    '--Uma interpolação é realizada.
    Dim y1 As Double, y2 As Double, x1 As Double, x2 As Double
    For i = 1 To NCOORD
        If Val(matENT_SOLO_COORD(i, 0)) >= x Then
            If Val(matENT_SOLO_COORD(i, 0)) = x Then
                Yval = Val(matENT_SOLO_COORD(i, 1))
            Else
                If ((i + 1) < NCOORD) Then
                    y1 = Val(matENT_SOLO_COORD(i - 1, 1))
                    y2 = Val(matENT_SOLO_COORD(i, 1))
                    x1 = Val(matENT_SOLO_COORD(i - 1, 0))
                    x2 = Val(matENT_SOLO_COORD(i, 0))
                    If (x2 - x1) <> 0 Then Yval = ((y2 - y1) / (x2 - x1)) * (x - x1) + y1
                Else
                    Yval = Val(matENT_SOLO_COORD(i, 1))
                End If
            End If
        End If
    Next i
    Exit Function
End Function
'-----
Public Sub KDE_Analysis()
    '--Função principal do sistema, que carrega as informações dos Corpos, Juntas de Revolução, Juntas de Tranlação,
    '--Pares de Engrenagem, Pares de Polias ligadas por Correia, Corpos Terra, Juntas Simples, Juntas Motrizes (Motores),
    '--Atuadores tipo Mola-Amortecedor, Pontos de Interesse, Forças do Usuário e demais parâmetros, chamando as funções
    '--apropriadas de acordo com o tipo de análise pre-estabelecido: CINEMÁTICA, DINÂMICA OU ESTÁTICA.
    Open resultdir + "result.res" For Output As #5
    Open resultdir + "result_estat.res" For Output As #6
    If formexec.TipoAnalise.Text = "Cinematica" Then
        TIPOAN = 1
    Else
        If formexec.TipoAnalise.Text = "Dinamica" Then
            TIPOAN = 2
        Else
            If formexec.TipoAnalise.Text = "Estatica" Then
                TIPOAN = 3
            End If
        End If
    End If
End Sub

```

```

End If

'--Determina o número de coordenadas N e o número de restrições M
N = 3 * NB
m = 2 * (NR + NT) + 3 * NG + NS + ND + NCO + NEN
NPM = N + m
NC2 = N + N
NG3 = 3 * NG

'--Redimensionando matrizes
ReDim Q(3, NB) As Double
ReDim QD(3, NB) As Double
ReDim QDD(3, NB) As Double
ReDim RB(NB, 7) As Double
If NR > 0 Then
    ReDim RJ(NR, 4) As Double
    ReDim IRJ(NR, 2) As Integer
End If
If NT > 0 Then
    ReDim TJ(NT, 7) As Double
    ReDim ITJ(NT, 2) As Integer
End If
If NEN > 0 Then
    ReDim ENG(NEN, 6)
    ReDim IENG(NEN, 2)
End If
If NCO > 0 Then
    ReDim COR(NCO, 6)
    ReDim ICOR(NCO, 2)
End If
If NUF > 0 Then
    ReDim JUF(NUF, 3)
End If
If NG3 > 0 Then
    ReDim GR(NG3) As Double
    ReDim IGR(NG3, 2) As Integer
End If
If NS > 0 Then
    ReDim SM(NS) As Double
    ReDim ISM(NS, 2) As Integer
End If
If ND > 0 Then
    ReDim DR(ND, 3) As Double
    ReDim IDR(ND, 2) As Integer
End If
If NSP > 0 Then
    ReDim SP(NSP, 12) As Double
    ReDim ISP(NSP, 2) As Integer
End If
If NC2 > 0 Then
    ReDim Y(NC2) As Double
    ReDim YD(NC2) As Double
    ReDim YS(NC2) As Double
    ReDim FTOT(NC2) As Double
End If
If m > 0 Then
    ReDim EL(m) As Double
    ReDim F(m) As Double
    ReDim RHS(m) As Double
    ReDim FQ(m, N) As Double
End If
ReDim EM(NPM, NPM) As Double
ReDim FRC(3, NB) As Double
If TIPOAN = 1 Then
    ReDim W(N) As Double
Else
    ReDim W(NPM) As Double
End If
If TIPOAN = 1 Or TIPOAN = 3 Then
    ReDim VFRC(m) As Double
Else
    ReDim VFRC(NPM) As Double
End If
ReDim ICOL(NPM) As Integer
ReDim PI(NP, 2) As Double
ReDim IPI(NP) As Integer

'--Lê dados iniciais dos corpos

```

```

Call INBODY
'--Lê dados das Juntas de Revolução
If (NR > 0) Then Call INRVLT
'--Lê dados das Juntas de Tranção
If (NT > 0) Then Call INTRAN
'--Lê dados dos Pares de Engrenagem
If (NEN > 0) Then Call INENG
'--Lê dados dos Pares de Polias ligadas por Correia
If (NCO > 0) Then Call INCOR
'--Lê dados dos Corpos Terra
If (NG > 0) Then Call INGRND
'--Lê dados das Juntas Simples
If (NS > 0) Then Call INSMPL
'--Lê dados das Juntas Motrizes (Motores)
If (ND > 0) Then Call INDRV
'--Lê dados dos Atuadores tipo Mola-Amortecedor
If (NSP > 0) Then Call INSPRG
'--Lê dados dos Pontos de Interesse
If (NP > 0) Then Call INPOIN
'--Lê dados das Forças do Usuário
If (NUF > 0) Then Call INUFOR
'--Lê tempo inicial, tempo final e incremento de tempo
T0 = Val(formexec.Tinicial.Text)
TE = Val(formexec.Tfinal.Text)
DT = Val(formexec.DeltaT.Text)
'--Final da entrada de dados

'--preparando saída dos resultados

'--Análise Estática
If TIPOAN = 3 Then
  If m <> N Then
    MsgBox ("Não é possível realizar análise estática, GL>0")
  Else
    Call ASTATIC
  End If
End If

'--Análise Dinâmica
'--Transfere Q e QD para YS
If TIPOAN = 2 Then
  JJ = 0
  For i = 1 To NB
    For J = 1 To 3
      JJ = JJ + 1
      YS(JJ) = Q(J, i)
      YS(JJ + N) = QD(J, i)
    Next J
  Next i
'--Começa integração numérica
  If m >= N Then
    MsgBox ("Não é possível realizar análise dinâmica, número de equações de restrição maior ou igual ao número de graus de liberdade máximo")
  Else
    Call RUNG4
  End If
End If
If TIPOAN = 1 Then
  FEPS = 0.001
  EPSLU = 0.001
  If m <> N Then
    MsgBox ("Não é possível realizar análise cinemática, GL>0")
  Else
    Call KINEM
  End If
End If
Close (unit = 3)
Close #5
End Sub
'-----
Private Sub INBODY()
'--Lê as informações relativas aos corpos
  For i = 1 To NB
    Q(1, i) = Val(matENT_CP(i, 3))
    Q(2, i) = Val(matENT_CP(i, 4))
    Q(3, i) = Val(matENT_CP(i, 5))
    QD(1, i) = Val(matENT_CP(i, 6))
    QD(2, i) = Val(matENT_CP(i, 7))
  
```

```

        QD(3, i) = Val(matENT_CP(i, 8))
        RB(i, 3) = Val(matENT_CP(i, 9))
        RB(i, 4) = Val(matENT_CP(i, 10))
        RB(i, 5) = Val(matENT_CP(i, 11))
        RB(i, 6) = Val(matENT_CP(i, 12))
        RB(i, 7) = Val(matENT_CP(i, 13))
        RB(i, 6) = RB(i, 6) - RB(i, 3) * 9.81
    Next i
End Sub
'-----
Sub INRVLT()
'--Lê as informações relativas às Juntas de Rotação
    Dim K As Integer
    Dim KK As Integer
    Dim JJ As Integer
    Dim LL As Integer
    For K = 1 To NR
        IRJ(K, 1) = Val(matENT_JR(K, 3))
        IRJ(K, 2) = Val(matENT_JR(K, 4))
        RJ(K, 1) = Val(matENT_JR(K, 5))
        RJ(K, 2) = Val(matENT_JR(K, 6))
        RJ(K, 3) = Val(matENT_JR(K, 7))
        RJ(K, 4) = Val(matENT_JR(K, 8))
    Next K
End Sub
'-----
Sub INTRAN()
'--Lê as informações relativas às Juntas de Translação
    Dim KK As Integer
    Dim JJ As Integer
    Dim LL As Integer
    Dim K As Integer
    For K = 1 To NT
        ITJ(K, 1) = Val(matENT_JT(K, 3))
        ITJ(K, 2) = Val(matENT_JT(K, 4))
        TJ(K, 1) = Val(matENT_JT(K, 5))
        TJ(K, 2) = Val(matENT_JT(K, 6))
        TJ(K, 3) = Val(matENT_JT(K, 7))
        TJ(K, 4) = Val(matENT_JT(K, 8))
        TJ(K, 5) = Val(matENT_JT(K, 9))
        TJ(K, 6) = Val(matENT_JT(K, 10))
        TJ(K, 3) = TJ(K, 1) - TJ(K, 3)
        TJ(K, 4) = TJ(K, 2) - TJ(K, 4)
        TJ(K, 7) = Q(3, ITJ(K, 1)) - Q(3, ITJ(K, 2))
    Next K
End Sub
'-----
Sub INENG()
'--Lê as informações relativas aos Pares de Engrenagens
    Dim K As Integer
    Dim i As Integer
    Dim J As Integer
    Dim L As Integer
    Dim ii As Integer
    Dim JJ As Integer
    Dim KK As Integer
    For K = 1 To NEN
        i = matENT_EN(K, 4)
        J = matENT_EN(K, 6)
        IENG(K, 1) = i
        IENG(K, 2) = J
        ii = IRJ(i, 1)
        JJ = IRJ(J, 1)
        If IRJ(i, 2) <> IRJ(J, 2) Then
            MsgBox ("Não é possível realizar análise porque corpo J das juntas de revolução não é o mesmo")
        Else
            KK = IRJ(i, 2)
        End If
        ENG(K, 1) = Val(matENT_EN(K, 5))
        ENG(K, 2) = Val(matENT_EN(K, 7))
        ENG(K, 6) = Val(matENT_EN(K, 8)) 'Engrenagem externa => ENG(K,6)=1 ; Engrenagem interna => ENG(K,6)=1
        ENG(K, 3) = Q(3, ii)
        ENG(K, 4) = Q(3, JJ)
        ENG(K, 5) = Q(3, KK)
    Next K
End Sub
'-----
Sub INCOR()

```

```

'--Lê as informações relativas aos Pares de Polias ligadas por correias
Dim K As Integer
Dim KK As Integer
Dim JJ As Integer
Dim LL As Integer
For K = 1 To NCO
    ICOR(K, 1) = matENT_CO(K, 3)
    ICOR(K, 2) = matENT_CO(6 + K, 5)
    COR(K, 1) = matENT_CO(6 + K, 4)
    COR(K, 2) = matENT_CO(6 + K, 6)
Next K
End Sub

```

```

Sub INGRND()
'--Lê as informações relativas aos Corpos Terra
Dim KK As Integer
Dim JJ As Integer
Dim LL As Integer
Dim K As Integer
Dim IB As Integer
Dim J As Integer
Dim ii As Integer
For K = 1 To NG
    IB = Val(matENT_CT(K))
    For J = 1 To 3
        KK = (K - 1) * 3 + J
        IGR(KK, 1) = IB
        IGR(KK, 2) = J
        GR(KK) = Q(J, IB)
    Next J
Next K
End Sub

```

```

Sub INSMPL()
'--Lê as informações relativas às Juntas Simples
Dim JJ As Integer
Dim KK As Integer
Dim K As Integer
Dim LL As Integer
For K = 1 To NS
    ISM(K, 1) = matENT_JS(K, 3)
    ISM(K, 2) = matENT_JS(K, 4)
    SM(K) = Q(ISM(K, 2), ISM(K, 1))
Next K
End Sub

```

```

Sub INDRVR()
'--Lê as informações relativas às Juntas Motrizes
Dim K As Integer
Dim KK As Integer
Dim ii As Integer
Dim JJ As Integer
For K = 1 To ND
    IDR(K, 1) = Val(matENT_JM(K, 3))
    IDR(K, 2) = Val(matENT_JM(K, 4))
    DR(K, 1) = Val(matENT_JM(K, 5))
    DR(K, 2) = Val(matENT_JM(K, 6))
    DR(K, 3) = Val(matENT_JM(K, 7))
    If Val(matENT_JM(K, 4)) = 3 Then QD(3, IDR(K, 1)) = DR(K, 2)
Next K
End Sub

```

```

Private Sub INSPRG()
'--Lê as informações relativas às Molas-Amortecedores
Dim K As Integer
Dim JJ As Integer
Dim ii As Integer
Dim LL As Integer
For K = 1 To NSP
    ISP(K, 1) = Val(matENT_MA(K, 3))
    ISP(K, 2) = Val(matENT_MA(K, 4))
    SP(K, 1) = Val(matENT_MA(K, 5))
    SP(K, 2) = Val(matENT_MA(K, 6))
    SP(K, 3) = Val(matENT_MA(K, 7))
    SP(K, 4) = Val(matENT_MA(K, 8))
    SP(K, 5) = Val(matENT_MA(K, 9))
    SP(K, 6) = Val(matENT_MA(K, 10))
    SP(K, 7) = Val(matENT_MA(K, 11))

```

```

    SP(K, 8) = Val(matENT_MA(K, 12))
Next K
End Sub
'-----
Private Sub INUFOR()
'--Lê informações relativas às Forças do Usuário
Dim NPA As Integer
Dim K As Integer
Dim ICOU As Integer
Dim IFT As Integer
NPA = 1
For K = 1 To NUF
    Select Case matENT_FU(K, 4)
        Case "CTE"
            IFT = 1
        Case "SHF"
            IFT = 2
        Case "STEP"
            IFT = 3
        Case "IMP"
            IFT = 4
    End Select
    JUF(K, 1) = matENT_FU(K, 2)
    JUF(K, 2) = matENT_FU(K, 3)
    JUF(K, 3) = IFT '---Tipo de força: 1 = CTE, 2=SHF , 3=STEP, 4=IMP
    UF(K, 1) = Val(matENT_FU(K, 5)) '---tQUII
    UF(K, 2) = Val(matENT_FU(K, 6)) '---tNETAI
    UF(K, 3) = Val(matENT_FU(K, 7)) '---tQUIJ
    UF(K, 4) = Val(matENT_FU(K, 8)) '---tNETAJ
    '---Dependendo do tipo de força, as variáveis mudam conforme mostrado abaixo (entre parênteses).
    UF(K, 5) = Val(matENT_FU(K, 9)) '---tF(CTE); ta (SHF), tx0(STEP), tRI (IMP)
    UF(K, 6) = Val(matENT_FU(K, 10)) '---tw (SHF); tx1(STEP); tRJ (IMP)
    UF(K, 7) = Val(matENT_FU(K, 11)) '---tx0 (SHF); tf0(STEP); tK (IMP)
    UF(K, 8) = Val(matENT_FU(K, 12)) '---tPHI(SHF) ; tf1(STEP); texp(IMP)
    UF(K, 9) = Val(matENT_FU(K, 13)) '---tYm (SHF); tCmax (IMP)
    If IFT <> 3 Then UF(K, 10) = Val(matENT_FU(K, 14)) '---td(IMP)
Next K
End Sub
'-----
Sub INPOIN()
'--Lê informações relativas aos pontos de interesse
Dim K As Integer
Dim ii As Integer
Dim KK As Integer
Dim JJ As Integer
For K = 1 To NP
    IPI(K) = Val(matENT_PI(K, 3))
    PI(K, 1) = Val(matENT_PI(K, 4))
    PI(K, 2) = Val(matENT_PI(K, 5))
Next K
End Sub
'-----
Sub KINEM()
'--Incrementa a variável Tempo de T0 a TE com passo DT. A cada passo esta subrotina
'--performa a análise da Posição, Velocidade e Aceleração.
'--Flags: JACOB=0 => Matriz Jacobiana não precisa ser resolvida
'-- JACOB=1 => Matriz Jacobiana precisa ser resolvida
'-- IFNCT=0 => Equações de restrição não precisam ser resolvidas
'-- IFNCT=1 => Equações de restrição precisam ser resolvidas
'-- IFNCT=2 => O lado direito das equações da velocidade deve ser resolvido
'-- IFNCT=3 => O lado direito das equações de aceleração deve ser resolvido
'--Análise de Posição => JACOB e IFNCT são iguais a 1
'--Análise de Velocidade => JACOB=1 e IFNCT=2
'--Análise de Aceleração => IFNCT=3 e JACOB=0, desde que a matriz Jacobiana e suas matrizes correspondentes L e U
'--sejam ainda válidas do passo de análise da velocidade. Uma chamada a subrotina FUNCT resolve o
'--lado direito das equações de aceleração. Neste passo, a subrotina LINEAR é usada para resolver a aceleração.
'--A velocidades e acelerações determinadas pela subrotina LINEAR são originalmente guardadas no vetor F e
'--em seguida transferidas para os vetores QD e QDD, respectivamente.
Dim ISTEP As Integer
Dim i As Integer
'--Inicializa variável tempo
ISTEP = 0
T = T0
'--Calcula seno e coseno para coordenadas rotacional
For i = 1 To NB
    RB(i, 1) = Sin(Q(3, i))
    RB(i, 2) = Cos(Q(3, i))
Next i

```

```

'--Análise de posição (coordenadas)
Do
  JACOB = 1
  IFNCT = 1
  Call NUTON2
  '--Análise de velocidade
  IFNCT = 2
  Call FUNCT
  For ii = 1 To m
    VFRC(ii) = F(ii)
  Next ii
  Call LINEAR(FQ, VFRC, W, ICOL, m, JACOB)
  '--Transfere velocidade do vtro F pata o vetor QD
  For i = 1 To NB
    For J = 1 To 3
      ii = (i - 1) * 3 + J
      QD(J, i) = VFRC(ii)
    Next J
  Next i
  '--Análise da aceleração
  JACOB = 0
  IFNCT = 3
  Call FUNCT
  For ii = 1 To m
    VFRC(ii) = F(ii)
  Next ii
  Call LINEAR(FQ, VFRC, W, ICOL, m, JACOB)
  '--Transfere a aceleração do vetor F para o vetor QDD
  For i = 1 To NB
    For J = 1 To 3
      ii = (i - 1) * 3 + J
      QDD(J, i) = VFRC(ii)
    Next J
  Next i
  '--Reporta os resultados deste passo
  Call REPORTKIN(T)
  '--Incrementa a variável tempo
  ISTEP = ISTEP + 1
  T = T0 + DT * ISTEP
  DoEvents
  If (T / TE) <= 1 Then
    formexec.evolucao.Value = (T / TE) * 100
    formexec.T = Format(T, "000000.00")
  End If
  DoEvents
  If sair Then Exit Do
  formexec.Show
Loop While ((T <= TE) And (DT > 0#))
End Sub
'-----
Sub NUTON2()
'--Esta subrotina é chamada pela subrotina KINEM para análise da posição quando JACOB=1 e IFNCT=1.
'--Esta subrotina chama a subrotina FUNCT para resolver a matriz Jacobiana e equações de restrição.
Dim JJ As Integer
Dim ii As Integer
Dim i As Integer
Dim ICONVR As Integer
i = 0
Do
  i = i + 1
  Call FUNCT
  For ii = 1 To m
    VFRC(ii) = F(ii)
  Next ii
  Call LINEAR(FQ, VFRC, W, ICOL, m, JACOB)
  ICONVR = 0
  For ii = 1 To NB
    For JJ = 1 To 3
      J = (ii - 1) * 3 + JJ
      If (Abs(F(J)) > FEPS) Then ICONVR = 1
      Q(JJ, ii) = Q(JJ, ii) - VFRC(J)
    Next JJ
  Next ii
  For ii = 1 To NB
    RB(ii, 1) = Sin(Q(3, ii))
    RB(ii, 2) = Cos(Q(3, ii))
  Next ii
Loop While (i < NRMAX) And (ICONVR = 1)

```

```

If ICONVR = 1 Then
  MsgBox "SOLUÇÃO NÃO CONVERGIU"
End If
End Sub
'-----
Private Sub RUNG4()
  '--Subrotina que implementa o algoritmo de Runge-Kutta de 4 ordem.
  '--Esta subrotina resolve dy quatro vezes a cada passo de tempo deltat. Esta subrotina chama DIFEQN para resolver dy.
  Dim i As Integer
  T = T0
  DTH = 0.5 * DT
  TWODT = 2# * DT
  '--Passo 1
  Do
    ts = T
    For i = 1 To NC2
      Y(i) = YS(i)
    Next i
    Call DIFEQN
    Call REPORTDYN(T)
    For i = 1 To NC2
      FTOT(i) = DT * YD(i)
    Next i
    '--Passo 2
    T = ts + DTH
    For i = 1 To NC2
      Y(i) = YS(i) + DTH * YD(i)
    Next i
    Call DIFEQN
    For i = 1 To NC2
      FTOT(i) = FTOT(i) + TWODT * YD(i)
    Next i
    '--Passo 3
    For i = 1 To NC2
      Y(i) = YS(i) + DTH * YD(i)
    Next i
    Call DIFEQN
    For i = 1 To NC2
      FTOT(i) = FTOT(i) + TWODT * YD(i)
    Next i
    '--Passo 4
    T = ts + DT
    For i = 1 To NC2
      Y(i) = YS(i) + DT * YD(i)
    Next i
    Call DIFEQN
    For i = 1 To NC2
      FTOT(i) = FTOT(i) + DT * YD(i)
    Next i
    '--Determina novos valores para Q e QD
    For i = 1 To NC2
      YS(i) = YS(i) + FTOT(i) / 6#
    Next i
    JJ = 0
    For i = 1 To NB
      For J = 1 To 3
        JJ = JJ + 1
        Q(J, i) = YS(JJ)
        QD(J, i) = YS(JJ + N)
      Next J
    Next i
    DoEvents
    If (T / TE) <= 1 Then
      formexec.evolucao.Value = (T / TE) * 100
      formexec.T = Format(T, "000000.00")
    End If
    DoEvents
    If sair Then
      Exit Do
    End If
  Loop Until (T > TE)
End Sub
'-----
Private Sub DIFEQN()
  '--Esta subrotina transfere o conteúdo de Y para o vetor Q e QD antes de chamar a subrotina DYNAM.
  '--Esta transferência é necessária porque a subrotina RUNGE4 modifica o conteúdo de Y 4 vezes a cada passo de tempo.
  '--Similarmente, após retornar da subrotina DYNAM, o conteúdo de QD e QDD são transferidos para YD.
  Dim i As Integer

```

```

'--Transfere Y para Q e QD *****CHECAR ESSA TRANSFERENCIA ESTA ZERANDO RJ
JJ = 0
For i = 1 To NB
  For J = 1 To 3
    JJ = JJ + 1
    Q(J, i) = Y(JJ)
    QD(J, i) = Y(JJ + N)
  Next J
Next i
'--Determina YD
Call DYNAM
'--Transfere QD e QDD para YD
JJ = 0
For i = 1 To NB
  For J = 1 To 3
    JJ = JJ + 1
    YD(JJ) = QD(J, i)
    YD(JJ + N) = QDD(J, i)
  Next J
Next i
End Sub
'-----
Private Sub DYNAM()
'--Esta subrotina é o centro da Análise Dinâmica. A entrada desta rotina é q e dq, a saída é ddq. Esta subrotina chama
'--subrotina FUNCT para resolver a matriz Jacobiana.
'--Resolve Forças, matriz de massa, Jacobiano e transposta do Jacobiano
'--Calcula as acelerações e multiplicadores de Lagrange.

Dim i As Integer
Dim J As Integer
Dim ICOUNT As Integer
Dim K As Integer
'--Calcula seno and coseno das coordenadas rotacionais
For i = 1 To NB
  RB(i, 1) = Sin(Q(3, i))
  RB(i, 2) = Cos(Q(3, i))
Next i
'--Resolve lado direito das equações de aceleração
JACOB = 1
IFNCT = 3
'--
Call FUNCT
'--
For i = 1 To m
  RHS(i) = F(i)
Next i
'--Resolve Forças
Call FORCE
'--Resolve matriz de massa, Jacobiano e transposta do Jacobiano
Call MASS
'--Calcula as acelerações e multiplicadores de Lagrange
ii = 0
For i = 1 To NB
  For J = 1 To 3
    ii = ii + 1
    VFRC(ii) = FRC(J, i)
  Next J
Next i
For i = 1 To m
  ii = ii + 1
  VFRC(ii) = RHS(i)
Next i
Call LINEAR(EM, VFRC, W, ICOL, NPM, 1)
ii = 0
For i = 1 To NB
  For J = 1 To 3
    ii = ii + 1
    FRC(J, i) = VFRC(ii)
  Next J
Next i
For i = 1 To m
  ii = ii + 1
  RHS(i) = VFRC(ii)
Next i
'--Transfere acelerações e mult. de Lagrange para QDD e EL
ii = 0
For i = 1 To NB
  For J = 1 To 3

```

```

        ii = ii + 1
        QDD(J, i) = VFRC(ii)
    Next J
Next i
For i = 1 To m
    ii = ii + 1
    EL(i) = VFRC(ii)
Next i
End Sub
'-----
Private Sub MASS()
'--Iniciliza matriz de massas, adiciona massa e momento de inércia na diagonal, o Jacobiano e transposta do Jacobiano.
'--Iniciliza matriz de massas
For i = 1 To NPM
    For J = 1 To NPM
        EM(i, J) = 0#
    Next J
Next i
'--Adiciona massa e momento de inércia a diagonal
For i = 1 To NB
    J = 3 * (i - 1) + 1
    EM(J, J) = RB(i, 3)
    EM(J + 1, J + 1) = RB(i, 3)
    EM(J + 2, J + 2) = RB(i, 4)
Next i
'--Inclui Jacobiano e transposta do Jacobiano
For i = 1 To m
    ii = N + i
    For J = 1 To N
        EM(ii, J) = FQ(i, J)
        EM(J, ii) = FQ(i, J)
    Next J
Next i
End Sub
'-----
Private Sub FUNCT()
'--Call FUNCT(, MAXA, MAXIA, A(N10), A(N11), A(N14), A(N15), JACOB
'--As equações de restrição, o lado direito das equações de velocidade e aceleração, e a matriz Jacobiana são resolvidas
'--por esta subrotina. IR é um contador do número total de funções ou linhas na matriz Jacobiana. Este contador é incrementado
'-- pelas subrotinas RVLT, TRAN, SMPL e DRVR. Após todas as equações de restrição terem sido consideradas, IR é igual a M (or N)
Dim ICOUNT As Integer
IR = 0
If (JACOB <> 0) Then
    For i = 1 To m
        For J = 1 To N
            FQ(i, J) = 0#
        Next J
    Next i
End If
If (NR > 0) Then Call RVLT
If (NT > 0) Then Call TRAN
If (NEN > 0) Then Call ENGREN
If (NCO > 0) Then Call CORREIA
If (NG > 0) Then Call SMPL(GR, IGR, NG3)
If (NS > 0) Then Call SMPL(SM, ISM, NS)
If (ND > 0) Then Call DRVR
End Sub
'-----
Private Sub RVLT()
'--A subrotina RVLT é chamada pela subrotina FUNCT quando NR>0. Ela resolve as violações das equações de restrição, o lado
'--direito das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondente para a junta de revolução
'--no sistema. O vetor F é usado para guardar as violações das equações de restrição e o lado direito das equações de
'--velocidade e aceleração dependendo do valor do FLAG IFUNCT. Uma entrada não nula da matrix Jacobiana são armazenadas no
'--vetor FQ, quando JACOB=1
Dim IR0 As Integer
Dim JJ As Integer
Dim KK As Integer
Dim ii As Integer
Dim i As Integer
Dim J As Integer
Dim ICI As Integer
Dim ICJ As Integer
Dim XPIMXI As Double
Dim YPIMYI As Double
Dim XPJMXJ As Double
Dim YPJMYJ As Double
IR0 = IR

```

```

For K = 1 To NR
  i = IRJ(K, 1)
  J = IRJ(K, 2)
  XPIMXI = RJ(K, 1) * RB(i, 2) - RJ(K, 2) * RB(i, 1)
  YPIMYI = RJ(K, 1) * RB(i, 1) + RJ(K, 2) * RB(i, 2)
  XPJMXJ = RJ(K, 3) * RB(J, 2) - RJ(K, 4) * RB(J, 1)
  YPJMYJ = RJ(K, 3) * RB(J, 1) + RJ(K, 4) * RB(J, 2)
  Select Case IFNCT
    Case 1
      '--Equações de restrição
      F(IR + 1) = Q(1, i) + XPIMXI - Q(1, J) - XPJMXJ
      F(IR + 2) = Q(2, i) + YPIMYI - Q(2, J) - YPJMYJ
    Case 2
      '--Lado direito da equação de velocidade
      F(IR + 1) = 0#
      F(IR + 2) = 0#
    Case 3
      '--Lado direito da equação de aceleração
      F(IR + 1) = XPIMXI * QD(3, i) * QD(3, i) - XPJMXJ * QD(3, J) * QD(3, J)
      F(IR + 2) = YPIMYI * QD(3, i) * QD(3, i) - YPJMYJ * QD(3, J) * QD(3, J)
  End Select
  If (JACOB > 0) Then
    '--Matriz Jacobiana para valores maiores que zero
    ICI = 3 * (i - 1)
    ICJ = 3 * (J - 1)
    FQ(IR + 1, ICI + 1) = 1#
    FQ(IR + 1, ICI + 3) = -YPIMYI
    FQ(IR + 1, ICJ + 1) = -1#
    FQ(IR + 1, ICJ + 3) = YPJMYJ
    FQ(IR + 2, ICI + 2) = 1#
    FQ(IR + 2, ICI + 3) = XPIMXI
    FQ(IR + 2, ICJ + 2) = -1#
    FQ(IR + 2, ICJ + 3) = -XPJMXJ
  End If
  IR = IR + 2
Next K
End Sub
'-----
Private Sub ENGRENA()
  'Subrotina que resolve pares de engrenagens
  Dim IR0 As Integer
  Dim JJ As Integer
  Dim KK As Integer
  Dim ii As Integer
  Dim K As Integer
  Dim i As Integer
  Dim J As Integer
  Dim ICI As Integer
  Dim ICJ As Integer
  Dim ICK As Integer
  Dim XPIMXI As Double
  Dim YPIMYI As Double
  Dim XPJMXJ As Double
  Dim YPJMYJ As Double
  IR0 = IR
  For K = 1 To NEN
    i = IENG(K, 1)
    J = IENG(K, 2)
    ii = IRJ(i, 1)
    JJ = IRJ(J, 1)
    If IRJ(i, 2) <> IRJ(J, 2) Then
      MsgBox ("Não é possível realizar análise porque corpo J das juntas não é o mesmo")
    Else
      KK = IRJ(J, 2)
    End If
    Select Case IFNCT
      Case 1
        '--Equações de restrição
        F(IR + 1) = (Q(3, ii) - ENG(K, 3) - Q(3, KK) + ENG(K, 5)) * ENG(K, 1)
        F(IR + 1) = F(IR + 1) + (Q(3, JJ) - ENG(K, 4) - Q(3, KK) + ENG(K, 5)) * ENG(K, 2) * ENG(K, 6)
      Case 2
        '--Lado direito das equações de velocidade
        F(IR + 1) = 0#
      Case 3
        '--Lado direito das equações de aceleração
        F(IR + 1) = 0#
    End Select
  End Select
  If (JACOB > 0) Then

```

```

'--Entrada não nula da matriz Jacobiana
ICI = 3 * (ii - 1)
ICJ = 3 * (JJ - 1)
ICK = 3 * (KK - 1)
FQ(IR + 1, ICI + 3) = ENG(K, 1)
FQ(IR + 1, ICJ + 3) = ENG(K, 2) * ENG(K, 6)
FQ(IR + 1, ICK + 3) = -ENG(K, 1) - ENG(K, 2) * ENG(K, 6)
End If
IR = IR + 1
Next K
End Sub
'-----
Private Sub CORREIA()
'--Subrotina que resolve pares de polias ligadas por correia
Dim IR0 As Integer
Dim JJ As Integer
Dim KK As Integer
Dim ii As Integer
Dim i As Integer
Dim J As Integer
Dim ICI As Integer
Dim ICJ As Integer
Dim ICK As Integer
Dim XPIMXI As Double
Dim YPIMYI As Double
Dim XPJMXJ As Double
Dim YPJMYJ As Double
IR0 = IR
For K = 1 To NEN
i = ICOR(K, 1)
J = ICOR(K, 2)
ii = IRJ(i, 1)
JJ = IRJ(J, 1)
If IRJ(i, 2) <> IRJ(J, 2) Then
MsgBox ("Não é possível realizar análise porque corpo J das juntas não é o mesmo")
Else
KK = IRJ(J, 2)
End If
Select Case IFNCT
Case 1
'--Equações de restrição
F(IR + 1) = (Q(3, ii) - COR(K, 3) - Q(3, KK) + COR(K, 6)) * COR(K, 1)
F(IR + 1) = F(IR + 1) - (Q(3, JJ) - COR(K, 4) - Q(3, KK) + COR(K, 6)) * COR(K, 2)
Case 2
'--Lado direto das equação de velocidade
F(IR + 1) = 0#
Case 3
'--Lado direto das equação de aceleração
F(IR + 1) = 0#
End Select
If (JACOB > 0) Then
'--Entradas não nulas da matriz Jacobiana
ICI = 3 * (ii - 1)
ICJ = 3 * (JJ - 1)
ICK = 3 * (KK - 1)
FQ(IR + 1, ICI + 3) = COR(K, 1)
FQ(IR + 1, ICJ + 3) = -COR(K, 2)
FQ(IR + 1, ICK + 3) = -ENG(K, 1) + ENG(K, 2)
End If
IR = IR + 1
Next K
End Sub
'-----
Private Sub TRAN()
'--Subrotina que resolve as Juntas de Translação.
'--A subrotina TRAN é chamada pela subrotina FUNCT quando NT>0. Ela resolve as violações das equações de restrição, o lado
'--direito das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondente para a junta de translação
'--no sistema. A organização desta subrotina é similar a da RVLTL.
Dim JJ As Integer
Dim KK As Integer
Dim ii As Integer
Dim i As Integer
Dim K As Integer
Dim J As Integer
Dim ICI As Integer
Dim ICJ As Integer
Dim ICK As Integer
Dim XPIMXI As Double
Dim YPIMYI As Double

```

```

Dim XPJMXJ As Double
Dim YPJMYJ As Double
Dim XPIMXQI As Double
Dim YPIMYQI As Double
For K = 1 To NT
  i = ITJ(K, 1)
  J = ITJ(K, 2)
  XPIMXI = TJ(K, 1) * RB(i, 2) - TJ(K, 2) * RB(i, 1)
  YPIMYI = TJ(K, 1) * RB(i, 1) + TJ(K, 2) * RB(i, 2)
  XPJMXJ = TJ(K, 5) * RB(J, 2) - TJ(K, 6) * RB(J, 1)
  YPJMYJ = TJ(K, 5) * RB(J, 1) + TJ(K, 6) * RB(J, 2)
  XPIMXQI = TJ(K, 3) * RB(i, 2) - TJ(K, 4) * RB(i, 1)
  YPIMYQI = TJ(K, 3) * RB(i, 1) + TJ(K, 4) * RB(i, 2)
  Select Case IFNCT
    Case 1
      '--Equações de restrição
      F(IR + 1) = XPIMXQI * (Q(2, J) + YPJMYJ - Q(2, i) - YPIMYI) - YPIMYQI * (Q(1, J) + XPJMXJ - Q(1, i) - XPIMXI)
      F(IR + 2) = Q(3, i) - Q(3, J) - TJ(K, 7)
    Case 2
      '--Lado direito da equação de velocidade
      F(IR + 1) = 0#
      F(IR + 2) = 0#
    Case 3
      '--Lado direito da equação de aceleração
      F(IR + 1) = -QD(3, i) * (2# * (XPIMXQI * (QD(1, i) - QD(1, J)) + YPIMYQI * (QD(2, i) - QD(2, J))) + QD(3, i) * (XPIMXQI *
(Q(2, i) - Q(2, J)) - YPIMYQI * (Q(1, i) - Q(1, J))))
      F(IR + 2) = 0#
  End Select
  If (JACOBI > 0) Then
    '--Entrada não nula da matrix Jacobiana
    ICI = 3 * (i - 1)
    ICJ = 3 * (J - 1)
    FQ(IR + 1, ICI + 1) = YPIMYQI
    FQ(IR + 1, ICI + 2) = -XPIMXQI
    FQ(IR + 1, ICI + 3) = -(Q(1, J) + XPJMXJ - Q(1, i)) * XPIMXQI - (Q(2, J) + YPJMYJ - Q(2, i)) * YPIMYQI
    FQ(IR + 1, ICJ + 1) = -YPIMYQI
    FQ(IR + 1, ICJ + 2) = XPIMXQI
    FQ(IR + 1, ICJ + 3) = XPJMXJ * XPIMXQI + YPJMYJ * YPIMYQI
    FQ(IR + 2, ICI + 3) = 1#
    FQ(IR + 2, ICJ + 3) = -1#
  End If
  IR = IR + 2
Next K
End Sub
'-----
Private Sub SMPL(SSM, IISM, NNS)
  '--Subrotina que resolve as Juntas Simples.
  '--Esta subrotina é chamada pela subrotina FUNCT quando NG>0. Ela resolve as violações das equações de restrição, o lado
  '--direito das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matrix Jacobiana correspondente para restrições simples.
  '--corpos terra são tratados como corpos como 3 restrições simples. A organização desta subrotina é similar a da RVLTL.
  Dim JJ As Integer
  Dim KK As Integer
  Dim ii As Integer
  Dim K As Integer
  Dim i As Integer
  Dim L As Integer
  Dim ICI As Integer
  For K = 1 To NNS
    i = IISM(K, 1)
    L = IISM(K, 2)
    Select Case IFNCT
      Case 1
        '--Equações de restrição
        F(IR + 1) = Q(L, i) - SSM(K)
      Case 2
        '--Lado direito das equações de velocidade/aceleração
        F(IR + 1) = 0#
    End Select
    If (JACOBI > 0) Then
      '--Entrada não nula da matrix Jacobiana
      ICI = 3 * (i - 1)
      FQ(IR + 1, ICI + L) = 1#
    End If
    IR = IR + 1
  Next K
End Sub
'-----

```

```

Sub DRVR()
'--Subrotina que resolve Juntas Motrizes (Motores)
'--Esta subrotina é chamada pela subrotina FUNCT quando ND>0. Ela resolve as violações das equações de restrição, o lado
'--direito das equações de velocidade e aceleração, e as entradas da matriz Jacobiana correspondente para Juntas Motoras no sistema.
Dim ii As Integer
Dim KK As Integer
Dim K As Integer
Dim i As Integer
Dim L As Integer
For K = 1 To ND
    i = IDR(K, 1)
    L = IDR(K, 2)
    Select Case IFNCT
        '--Constraint equation
        Case 1
            '--Equação de restrição
            F(IR + 1) = Q(L, i) - DR(K, 1) - T * (DR(K, 2) + T * DR(K, 3) / 2)
        Case 2
            '--Lado direito da equação de velocidade
            F(IR + 1) = DR(K, 2) + T * DR(K, 3)
        Case 3
            '--Lado direito da equação da aceleração
            F(IR + 1) = DR(K, 3)
    End Select
    If (JACOB > 0) Then
        '--Entrada não nula da Matriz Jacobiana
        ICI = 3 * (i - 1)
        FQ(IR + 1, ICI + L) = 1#
        IR = IR + 1
    Else
        IR = IR + 1
    End If
Next K
End Sub
'-----
Private Sub FORCE()
'--Esta subrotina chama outras subrotinas para resolver forças externas.
Call BODYF
If (NSP > 0) Then Call SPRNG '--Forças Mola-Amortecedor
If (NUF > 0) Then Call UFORCE '--Forças do Usuário
If (NSF > 0) Then Call SFORCE '--Forças da interface pneu-solo
End Sub
'-----
Private Sub BODYF()
'--Adiciona forças constantes e pesos a FRC
For i = 1 To NB
    FRC(1, i) = RB(i, 5)
    FRC(2, i) = RB(i, 6)
    FRC(3, i) = RB(i, 7)
Next i
End Sub
'-----
Private Sub SPRNG()
'--Resolve forças do tipo mola, amortecedor e atuadores entre dois corpos. O número dos corpos conectados
'--por cada elemento são encontrados no vetor ISP.
Dim JJ As Integer
Dim KK As Integer
Dim ii As Integer
For K = 1 To NSP
    i = ISP(K, 1)
    J = ISP(K, 2)
    XPIMXI = SP(K, 1) * RB(i, 2) - SP(K, 2) * RB(i, 1)
    YPIMYI = SP(K, 1) * RB(i, 1) + SP(K, 2) * RB(i, 2)
    XPJMXJ = SP(K, 3) * RB(J, 2) - SP(K, 4) * RB(J, 1)
    YPJMYJ = SP(K, 3) * RB(J, 1) + SP(K, 4) * RB(J, 2)
    '--Comprimento corrente da mola e mudança do comprimento
    ELX = Q(1, J) + XPJMXJ - Q(1, i) - XPIMXI
    ELY = Q(2, J) + YPJMYJ - Q(2, i) - YPIMYI
    ELDD = Sqr(ELX * ELX + ELY * ELY)
    DELEL = ELDD - SP(K, 8)
    If (Abs(ELDD) < 0.0000000001) Then ELDD = 0.0000000001
    '--Vetor unitário
    Ux = ELX / ELDD
    Uy = ELY / ELDD
    '--Vetor mola
    ELXD = QD(1, J) - YPJMYJ * QD(3, J) - QD(1, i) + YPIMYI * QD(3, i)
    ELYD = QD(2, J) + XPJMXJ * QD(3, J) - QD(2, i) - XPIMXI * QD(3, i)
    ELD = (ELX * ELXD + ELY * ELYD) / ELDD

```

```

'--Elementos de forças
FS = SP(K, 5) * DELEL
FD = SP(K, 6) * ELD
FF = FS + FD + SP(K, 7)
FX = Ux * FF
FY = Uy * FF
'--Grava comprimento, vel., força da mola, força de amortecimento para saída
SP(K, 9) = ELDD
SP(K, 10) = ELD
SP(K, 11) = FS
SP(K, 12) = FD
'--Adiciona as forças ao vetor de forças
FRC(1, i) = FRC(1, i) + FX
FRC(2, i) = FRC(2, i) + FY
FRC(3, i) = FRC(3, i) - YPIMYI * FX + XPIMXI * FY
FRC(1, J) = FRC(1, J) - FX
FRC(2, J) = FRC(2, J) - FY
FRC(3, J) = FRC(3, J) + YPJMYJ * FX - XPJMXJ * FY
Next K
End Sub
'-----
Private Sub UFORCE()
'--Esta subrotina calcula as Forças do Usuário. Forças do tipo Constante, Senoidal e Impacto são consideradas.
'--Nas forças do tipo Impacto, são resolvidos as forças nos contatos entre dois ou mais corpos circulares e também o contato entre
'--dois ou mais corpos circulares com um corpo do tipo solo que pode assumir um perfil qualquer.
Dim IFT As Integer
Dim K As Integer
Dim KI As Integer
Dim ELR As Double
Dim XSOLO, YSOLO, XX, YY As Double
Dim R As Double
Dim VDelta(1000) As Double
Dim POS(1000) As Integer

For K = 1 To NUF
i = JUF(K, 1)
J = JUF(K, 2)
IFT = JUF(K, 3)

XPIMXI = UF(K, 1) * RB(i, 2) - UF(K, 2) * RB(i, 1)
YPIMYI = UF(K, 1) * RB(i, 1) + UF(K, 2) * RB(i, 2)
XPJMXJ = UF(K, 3) * RB(J, 2) - UF(K, 4) * RB(J, 1)
YPJMYJ = UF(K, 3) * RB(J, 1) + UF(K, 4) * RB(J, 2)
'--vetor comprimento corrente
ELX = Q(1, J) + XPJMXJ - Q(1, i) - XPIMXI
ELY = Q(2, J) + YPJMYJ - Q(2, i) - YPIMYI
ELR = Sqr(ELX * ELX + ELY * ELY)
DELEL = ELR
If (Abs(ELX) < 1E-30) Then ELX = 1E-30
If (Abs(ELR) < 1E-30) Then ELR = 1E-30
'--vetor unitário
Ux = ELX / ELR
Uy = ELY / ELR
Select Case JUF(K, 3)
Case 1
FX = UF(K, 5) * Ux
FY = UF(K, 5) * Uy
Case 2
SHF = UF(K, 5) * Sin(UF(K, 6) * (T - UF(K, 7)) - UF(K, 8)) + UF(K, 9)
FX = SHF * Ux
FY = SHF * Uy
Case 3

If matENT_FU(K, 13) = "Tempo" Then
FX = STEP(T, UF(K, 6), UF(K, 8), UF(K, 5), UF(K, 6)) * Ux
FY = STEP(T, UF(K, 6), UF(K, 8), UF(K, 5), UF(K, 6)) * Uy
Else
FX = STEP(Q(1, J), UF(K, 7), UF(K, 8), UF(K, 5), UF(K, 6)) * Ux
FY = STEP(Q(1, J), UF(K, 7), UF(K, 8), UF(K, 5), UF(K, 6)) * Uy
End If
Case 4
'--Calcula a força de impacto entre dois corpos circulares, e entre corpos circulares e um solo.
FX = 0
FY = 0
XX = Q(1, J) '---COORDENADAS DO CORPO
YY = Q(2, J)
If i = Val(matENT_SOLO(2)) Or J = Val(matENT_SOLO(2)) Then
'--MONTA VETOR DE CONTATO PNEU-SOLO (CONJUNTO DE COORDENADAS DE CONTATO PNEU-SOLO)

```

```

XSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(1, 0))
YSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(1, 1))
If UF(K, 5) = 0 Then
  R = UF(K, 6)
Else
  R = UF(K, 5)
End If
TT = 0
DeltaMax = 0
For ii = 1 To NCOORD
  XSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(ii, 0))
  YSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(ii, 1))
  DIST = Sqr((YY - YSOLO) ^ 2 + (XX - XSOLO) ^ 2)
  If DIST <= R Then
    TT = TT + 1
    VDelta(TT) = R - DIST
    POS(TT) = ii
    NCONTATOS = TT
    If VDelta(TT) > DeltaMax Then
      DeltaMax = VDelta(TT)
      POSMAX = TT
    End If
  End If
Next ii
DELTA = DeltaMax
deltax = (Val(matENT_SOLO_COORD(2, 0)) - Val(matENT_SOLO_COORD(1, 0)))
If DELTA > 0 Then
  '--ENCONTRA A ÁREA TRANSVERSAL DO CONTATO
  SOMAAREA = 0
  SOMAX = 0
  SOMAPROD = 0
  If NCONTATOS > 1 Then
    For TT = 1 To NCONTATOS
      XSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(POS(TT), 0))
      YSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(POS(TT), 1))
      If TT > 1 Then
        ANG = angulo(XSOLO, YSOLO, XSOLO_OLD, YSOLO_OLD)
        H = deltax / Abs(Cos(ANG))
        area = (VDelta(TT) + VDelta(TT - 1)) * H / 2
        SOMAAREA = SOMAAREA + area
        SOMAX = SOMAX + XSOLO
        SOMAPROD = SOMAPROD + (XSOLO - deltax / 2) * area
      End If
      XSOLO_OLD = XSOLO
      YSOLO_OLD = YSOLO
    Next TT
  Else
    XSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(POS(1), 0))
    YSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(POS(1), 1))
    SOMAAREA = 0
  End If
  If SOMAAREA <> 0 Then
    XSOLO = SOMAPROD / SOMAAREA
    YSOLO = Yval(XSOLO)

    '--ENCONTRA A ÁREA TRANSVERSAL TEÓRICA DO CONTATO
    'Acos(X) = Atn(-X / Sqr(-X * X + 1)) + 2 * Atn(1)
    aux = (1 - DELTA / R)
    AREAT = (R ^ 2) * (Atn(-aux / Sqr(-aux * aux + 1)) + 2 * Atn(1)) - Sqr((R ^ 2) - (R - DELTA) ^ 2) * (R - DELTA)

    '--CORRIGE O DELTAPN
    DELTA = DELTA * SOMAAREA / AREAT
    ANG = angulo(XSOLO, YSOLO, Q(1, J), Q(2, J))
    DIST = Sqr((Q(1, J) - XSOLO) ^ 2 + (Q(2, J) - YSOLO) ^ 2)

    FX = FIMPACT(DIST, QD(1, J), UF(K, 5) + UF(K, 6), UF(K, 7), UF(K, 8), UF(K, 9), UF(K, 10)) * Cos(ANG)
    FY = FIMPACT(DIST, QD(2, J), UF(K, 5) + UF(K, 6), UF(K, 7), UF(K, 8), UF(K, 9), UF(K, 10)) * Sin(ANG)
  End If
End If
Else
  ANG = angulo(Q(1, i), Q(2, i), Q(1, J), Q(2, J))
  DIST = Sqr((Q(1, J) - Q(1, i)) ^ 2 + (Q(2, J) - Q(2, i)) ^ 2)
  FX = FIMPACT(DIST, QD(1, J), UF(K, 5) + UF(K, 6), UF(K, 7), UF(K, 8), UF(K, 9), UF(K, 10)) * Cos(ANG)
  FY = FIMPACT(DIST, QD(2, J), UF(K, 5) + UF(K, 6), UF(K, 7), UF(K, 8), UF(K, 9), UF(K, 10)) * Sin(ANG)
End If
If (Abs(ELR) < 0.000000001) Then ELR = 1E-35
'--VETOR UNITÁRIO
Ux = ELX / ELR

```

```

Uy = ELY / ELR

'--CALCULA O ÂNGULO DA SEMI RETA ENTRE O PONTO DE CONTATO E O CENTRO DO RODADO
'--Private Function FIMPACT(X, XD, x1, CONST1, E, CMAX, D) As Double
End Select
'--Add forces to the vector of forces
FRC(1, i) = FRC(1, i) - FX
FRC(2, i) = FRC(2, i) - FY
FRC(3, i) = FRC(3, i) - YPIMYI * FX + XPIMXI * FY
FRC(1, J) = FRC(1, J) + FX
FRC(2, J) = FRC(2, J) + FY
FRC(3, J) = FRC(3, J) + YPJMYJ * FX - XPJMXJ * FY
Next K
End Sub
'-----
Private Sub SFORCE() '--SOIL FORCE
'--Calcula força proveniente do contato pneu-solo. Esta subrotina considera as propriedades do pneu e solo.
'--informações como perfil do solo, índice de cone, tipo de pneu, constante elástica, coef. Amortecimento, etc.. São consideradas.
Dim K As Integer
Dim ELR, XSOLO, YSOLO, XX, YY As Double
Dim R, PNK, PNCA, PNDE, PNIC, PNB, PND, PNW, DELTAPN, PNH, Bn, PNCP, W As Double
Dim PNFSX, PNFSY, PNFx, PNFy, PNMR, PNGT As Double
Dim VEL_ANG() As Double
Dim PNCORPO As Integer
Dim PNTIPO As String
Dim VDelta(1000) As Double
Dim POS(1000) As Integer
ReDim VEL_ANG(NB)
For K = 1 To NSF
'--Entrada de dados
i = Val(matENT_SOLO(2)) '--corpo do tipo solo
J = Val(matENT_PN(K, 1)) '--corpo
PNTIPO = matENT_PN(K, 2) '--tipo do pneu
PNK = Val(matENT_PN(K, 3)) '--constante elástica do pneu
PNCA = Val(matENT_PN(K, 4)) '--coeficiente de amortecimento do pneu
PNH = Val(matENT_PN(K, 5)) '--altura do pneu
PNB = Val(matENT_PN(K, 6)) '--largura do pneu
PNDE = Val(matENT_PN(K, 8)) '--diam. externo do pneu indeformado
PNIC = Val(matENT_SOLO(3)) '--índice de cone do solo
TORQUE = Val(matENT_CP(J, 13)) '--torque constante aplicado ao corpo

For ii = 1 To ND
If Val(matENT_JM(ii, 3)) = J And matENT_JM(ii, 4) = "3" Then VEL_ANG(J) = Val(matENT_JM(ii, 6))
Next ii

'--inicialização de variáveis
MOTOR = False
PNMR = 0
PNGT = 0
PNFx = 0
PNFy = 0
PNFSX = 0
PNFSY = 0
vt = 0
va = 0

R = PNDE / 2 '--Raio do pneu indeformado
XPN = Q(1, J) '--Coordenada x do pneu
YPN = Q(2, J) '--Coordenada y do pneu

'--Verifica se existe junta motriz neste corpo
For ii = 1 To ND
If matENT_JM(ii, 3) = J And matENT_JM(ii, 4) = 3 Then MOTOR = True
If Val(matENT_JM(ii, 3)) = J And matENT_JM(ii, 4) = "3" Then VEL_ANG(J) = Val(matENT_JM(ii, 6))
Next ii

'--Monta vetor de contato pneu-solo (conjunto de coordenadas de contato pneu-solo)
XSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(1, 0))
YSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(1, 1))
TT = 0 '--Contador do num. de pontos do pneu em contato com o solo
DeltaMax = 0 '--Armazena o máximo valor contido no vetor VDelta
deltax = (Val(matENT_SOLO_COORD(2, 0)) - Val(matENT_SOLO_COORD(1, 0)))
For ii = 1 To NCOORD
XSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(ii, 0))
YSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(ii, 1))
DIST = Sqr((YPN - YSOLO) ^ 2 + (XPN - XSOLO) ^ 2)
If DIST <= R Then
TT = TT + 1

```

```

VDelta(TT) = R - DIST
POS(TT) = ii
NCONTATOS = TT
If VDelta(TT) > DeltaMax Then
    DeltaMax = VDelta(TT)
    POSMAX = TT
End If
End If
If TT > 0 And DIST > R Then
    Exit For 'Interrompe assim que o vetor de contato é montado (ganho de tempo de processamento)
End If
Next ii
DELTAPN = DeltaMax
If T = Val(formexec.Tinicial) Then
    matDELTAPN_ANT(J) = DELTAPN '--guarda a última deformação do pneu (deltapn) para calcular a velocidade da deformação
End If

'--Se existe contato pneu-solo (deltapn<0) executa o bloco de instruções abaixo
If DELTAPN > 0 Then
    '--Encontra a área transversal do contato (integral)
    SOMAAREA = 0
    SOMAX = 0
    SOMAPROD = 0
    If NCONTATOS > 1 Then
        For TT = 1 To NCONTATOS
            XSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(POS(TT), 0))
            YSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(POS(TT), 1))
            If TT > 1 Then
                H = Sqr((XSOLO - XSOLO_OLD) ^ 2 + (YSOLO - YSOLO_OLD) ^ 2) '--encontra a distancia entre dois pontos de contato
                area = (VDelta(TT) + VDelta(TT - 1)) * H / 2 '--calcula um elemento de área
                SOMAAREA = SOMAAREA + area '--soma os elementos de área
                SOMAX = SOMAX + XSOLO '--soma as coordenadas x para calcular o centróide da área
                SOMAPROD = SOMAPROD + (XSOLO - deltax / 2) * area '--soma o produto da coordenada x pelos elementos de área
            End If
            XSOLO_OLD = XSOLO
            YSOLO_OLD = YSOLO
        Next TT
    Else
        XSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(POS(1), 0))
        YSOLO = Val(matENT_SOLO_COORD(POS(1), 1))
        SOMAAREA = 0
    End If
    If SOMAAREA <> 0 Then
        XSOLO = SOMAPROD / SOMAAREA
        YSOLO = Yval(XSOLO)

        '--Encontra a área transversal teórica do contato
        aux = (1 - DELTAPN / R)
        AREAT = (R ^ 2) * (Atn(-aux / Sqr(-aux * aux + 1)) + 2 * Atn(1)) - Sqr((R ^ 2) - (R - DELTAPN) ^ 2) * (R - DELTAPN)

        '--Corrige o DELTAPN
        DELTAPN = DELTAPN * SOMAAREA / AREAT
    End If
    If (Abs(ELR) < 0.0000000001) Then ELR = 1E-35

    '--Calcula o ângulo da semi reta entre o ponto de contato e o centro do rodado
    ANG = angulo(XSOLO, YSOLO, Q(1, J), Q(2, J))

    '--Velocidade da deformação do pneu
    DELTAPND = (DELTAPN - matDELTAPN_ANT(J)) / DeltaT

    '--Cálculo das forças no centro do rodado, provenientes do simples contato pneu solo
    PNFy = (PNK * DELTAPN + PNCA * DELTAPND) * Sin(ANG)
    PNFx = (PNK * DELTAPN + PNCA * DELTAPND) * Cos(ANG)

    If PNFy < 0 Then PNFy = 0 'Garante somente a reação entre pneu e solo e não a atração
        'Isto ocorre quando a força viscosa é maior que a elástica
    '--Força resultante do contato pneu-solo
    PNF = Sqr(PNFx ^ 2 + PNFy ^ 2)

    '--Cálculo do coeficiente de mobilidade
    Bn = (PNIC * PNB * PNDE / PNF) * (1 + 5 * DELTAPN / PNH) / (1 + 3 * PNB / PNDE)

    '--Calculo do coeficiente de patinagem - apenas movimento horizontal
    va = QD(1, J)
    vt = -QD(3, J) * (R - DELTAPN)

```

```

If Abs(vt) > 0.0000000001 Then
  If Abs(va / vt) < 1 Then
    PNPT(J) = 1 - Abs(va / vt)
  Else
    PNPT(J) = 0
  End If
Else
  PNPT(J) = 0
End If

'--Sentido da força de resistência ao movimento
If QD(1, J) >= 0 Then
  sinalMR = -1
Else
  sinalMR = 1
End If

'--Cálculo da força de resistência ao rolamento (pnmr)
PNMR = sinalMR * PNFR * (1 / Bn + 0.5 * PNPT(J) / (Bn ^ 0.5) + 0.04)

'--Cálculo da força de resistência ao cisalhamento (pngt)
If PNTIPO = "Radial" Then
  PNGT = PNFR * (0.88 * (0.9 - Exp(-0.1 * Bn)) * (0.9 - Exp(-9.5 * PNPT(J))) + 0.04)
Else
  PNGT = PNFR * (0.88 * (1 - Exp(-0.1 * Bn)) * (1 - Exp(-7.5 * PNPT(J))) + 0.04)
End If

'--Cálculo das forças provenientes do torque e motores nas rodas
If MOTOR = True Then
  If VEL_ANG(J) > 0 Then
    H0 = Abs(PNGT * (PNDE / 2 - DELTAPN))
    H1 = 0
    X0 = 0.8 * VEL_ANG(J)
    x1 = VEL_ANG(J)
    JMTORQUE = STEP(QD(3, J), H0, H1, X0, x1)
  Else
    H0 = Abs(PNGT * (PNDE / 2 - DELTAPN))
    H1 = 0
    X0 = -0.8 * VEL_ANG(J)
    x1 = -VEL_ANG(J)
    JMTORQUE = -STEP(-QD(3, J), H0, H1, X0, x1)
  End If
Else
  PNGT = 0
  VEL_ANG(J) = -va / (R - DELTAPN)
  H0 = -3 * 9.81 * RB(J, 4)
  H1 = 3 * 9.81 * RB(J, 4) '---Aplica-se um torque = 3*momento de inercia para acelerar a roda "não motriz"
  '---até alcançar até não haver patinagem
  X0 = VEL_ANG(J)
  If X0 < 0 Then
    x1 = 1.1 * X0
    x2 = 0.9 * X0
  Else
    x1 = 0.9 * X0
    x2 = 1.1 * X0
  End If
  JMTORQUE = STEP(QD(3, J), H1, H0, x1, x2)
End If
TORQUE = JMTORQUE
PNFSX = PNGT * Cos(ANG - CPI / 2) + PNMR * -Cos(ANG + CPI / 2)
PNFSY = PNGT * Sin(ANG - CPI / 2) + PNMR * -Sin(ANG + CPI / 2)
Else
  '---Não havendo contato, deltaPN=0, as forças provenientes do contato serão zero
  PNFx = 0
  PNFy = 0
  PNFSX = 0
  PNFSY = 0
End If

'---Adiciona forças para o vetor de forças
FRC(1, i) = FRC(1, i) - PNFx - PNFSX
FRC(2, i) = FRC(2, i) - PNFy - PNFSY
FRC(3, i) = FRC(3, i) - TORQUE
FRC(1, J) = FRC(1, J) + PNFx + PNFSX
FRC(2, J) = FRC(2, J) + PNFy + PNFSY
FRC(3, J) = FRC(3, J) + TORQUE
matDELTAPN_ANT(J) = DELTAPN '---Guarda a última deformação do pneu j (deltapn) para calcular a velocidade da deformação
'---na próxima iteração.

```

```

Next K
End Sub

```

```

'-----
Private Sub REPORTDYN(T)

```

```

'--Reporta os valores de posição, velocidade e aceleração de todos os corpos e pontos de interesse, além de informações dos atuadores
'--e esforços nas juntas, em uma análise dinâmica.

```

```

Dim LL As Integer
Dim KK As Integer
Dim ii As Integer
Dim XPMX As Double
Dim YPMY As Double
Dim XP As Double
Dim YP As Double
Dim PHIP As Double
Dim XDP As Double
Dim YDP As Double
Dim PHIDP As Double
Dim XDDP As Double
Dim YDDP As Double
Dim PHIDDP As Double
On Error GoTo 400:
If m <> N Then
For i = 1 To NB
XP = Q(1, i)
YP = Q(2, i)
PHIP = Q(3, i)
XDP = QD(1, i)
YDP = QD(2, i)
PHIDP = QD(3, i)
XDDP = QDD(1, i)
YDDP = QDD(2, i)
PHIDDP = QDD(3, i)
Print #5, "T"; ";"; DbfToStr(CDbf(T)); ";"; "DIN"; ";"; "CP"; ";"; i; ";"; DbfToStr(XP); ";"; DbfToStr(YP); ";"; DbfToStr(PHIP); ";";
DbfToStr(XDP); ";"; DbfToStr(YDP); ";"; DbfToStr(PHIDP); ";"; DbfToStr(XDDP); ";"; DbfToStr(YDDP); ";"; DbfToStr(PHIDDP); ";";
DbfToStr(PNPT(i))
Next i
End If
If (NP <> 0) Then
For K = 1 To NP
i = IPI(K)
XPMX = PI(K, 1) * RB(i, 2) - PI(K, 2) * RB(i, 1)
YPMY = PI(K, 1) * RB(i, 1) + PI(K, 2) * RB(i, 2)
XP = Q(1, i) + XPMX
YP = Q(2, i) + YPMY
XDP = QD(1, i) - YPMY * QD(3, i)
YDP = QD(2, i) + XPMX * QD(3, i)
XDDP = QDD(1, i) - XPMX * QD(3, i) * QD(3, i) - YPMY * QDD(3, i)
YDDP = QDD(2, i) - YPMY * QD(3, i) * QD(3, i) + XPMX * QDD(3, i)
Print #5, "T"; ";"; DbfToStr(T); ";"; "DIN"; ";"; "PI"; ";"; K; ";"; DbfToStr(XP); ";"; DbfToStr(YP); ";"; DbfToStr(XDP); ";";
DbfToStr(YDP); ";"; DbfToStr(XDDP); ";"; DbfToStr(YDDP)
Next K
End If
If (NSP <> 0) Then
For K = 1 To NSP
Print #5, "T"; ";"; DbfToStr(T); ";"; "DIN"; ";"; "MA"; ";"; K; ";"; DbfToStr(SP(K, 9)); ";"; DbfToStr(SP(K, 10)); ";"; DbfToStr(SP(K,
11)); ";"; DbfToStr(SP(K, 12))
Next K
End If
If (m > 0) Then Call REACT
400:
If Err.Number <> 0 Then
sair = True
End If
End Sub
'-----

```

```

Sub REPORTKIN(T)

```

```

'--Reporta os valores de posição, velocidade e aceleração de todos os corpos e pontos de interesse em uma análise cinemática.

```

```

Dim LL As Integer
Dim KK As Integer
Dim ii As Integer
Dim XPMX As Double
Dim YPMY As Double
Dim XP As Double
Dim YP As Double
Dim PHIP As Double
Dim XDP As Double
Dim YDP As Double

```

```

Dim PHIDP As Double
Dim XDDP As Double
Dim YDDP As Double
Dim PHIDDP As Double
On Error GoTo 400:
For JJ = 1 To NB
  RB(JJ, 1) = Sin(Q(3, JJ))
  RB(JJ, 2) = Cos(Q(3, JJ))
Next JJ
For i = 1 To NB
  XP = Q(1, i)
  YP = Q(2, i)
  PHIP = Q(3, i)
  XDP = QD(1, i)
  YDP = QD(2, i)
  PHIDP = QD(3, i)
  XDDP = QDD(1, i)
  YDDP = QDD(2, i)
  PHIDDP = QDD(3, i)
  Print #5, "T"; ";"; DblToStr(T); ";"; "KIN"; ";"; "CP"; ";"; i; ";"; DblToStr(XP); ";"; DblToStr(YP); ";"; DblToStr(PHIP); ";";
  DblToStr(XDP); ";"; DblToStr(YDP); ";"; DblToStr(PHIDP); ";"; DblToStr(XDDP); ";"; DblToStr(YDDP); ";"; DblToStr(PHIDDP); ";";
  DblToStr(PNPT(i))
Next i
If (NP = 0) Then GoTo 400
For K = 1 To NP
  i = IPI(K)
  XPMX = PI(K, 1) * RB(i, 2) - PI(K, 2) * RB(i, 1)
  YPMY = PI(K, 1) * RB(i, 1) + PI(K, 2) * RB(i, 2)
  XP = Q(1, i) + XPMX
  YP = Q(2, i) + YPMY
  XDP = QD(1, i) - YPMY * QD(3, i)
  YDP = QD(2, i) + XPMX * QD(3, i)
  XDDP = QDD(1, i) - XPMX * QD(3, i) ^ 2 - YPMY * QDD(3, i)
  YDDP = QDD(2, i) - YPMY * QD(3, i) ^ 2 + XPMX * QDD(3, i)
  Print #5, "T"; ";"; DblToStr(T); ";"; "KIN"; ";"; "PI"; ";"; K; ";"; DblToStr(XP); ";"; DblToStr(YP); ";"; DblToStr(XDP); ";";
  DblToStr(YDP); ";"; DblToStr(XDDP); ";"; DblToStr(YDDP)
Next K
400:
  If Err.Number <> 0 Then
    sair = True
  End If
End Sub
'-----
Private Sub REACT()
  '--Esta subrotina chama a subrotina RFORCE para cada tipo de junta cinemática.
  Dim NAME As String
  JR = 0
  If (NR > 0) Then
    NAME = "REV."
    Call RFORCE(NR, 2, 2, JR, NAME)
  End If
  If (NT > 0) Then
    NAME = "TRA."
    Call RFORCE(NT, 2, 2, JR, NAME)
  End If
  JR = JR + NG3
  If (NS > 0) Then
    NAME = "SMP."
    Call RFORCE(NS, 1, 1, JR, NAME)
  End If
  If (NEN > 0) Then
    NAME = "ENG."
    Call RFORCE(NEN, 1, 1, JR, NAME)
  End If
End Sub
'-----
Private Sub RFORCE(NJ, NEQ, NBJ, JR, NAME)
  '--Esta subrotina calcula e reporta as forças de reação atuando em cada corpo.
  Dim FF(3, 2)
  Dim IC As Integer
  For K = 1 To NJ
    For L = 1 To NBJ
      If NAME = "REV." Then i = IRJ(K, L)
      If NAME = "TRA." Then i = ITJ(K, L)
      If NAME = "SMP." Then i = ISM(K, L)
      If NAME = "ENG." Then i = IENG(K, L)
      IC = (i - 1) * 3
      For J = 1 To 3

```

```

FF(J, L) = 0#
For MM = 1 To NEQ
  FF(J, L) = FF(J, L) - FQ(JR + MM, IC + J) * EL(JR + MM)
Next MM
Next J
Next L
If m <> N Then
  If NAME = "REV." Then i = IRJ(K, 1)
  If NAME = "TRA." Then i = ITJ(K, 1)
  If NAME = "SMP." Then i = ISM(K, 1)
  If NAME = "ENG." Then
    i = IENG(K, 1)
    J = IENG(K, 2)
    i = IRJ(i, 1)
    J = IRJ(J, 1)
  End If
  If NAME = "REV." Then J = IRJ(K, 2)
  If NAME = "TRA." Then J = ITJ(K, 2)
  If NAME = "SMP." Then J = ISM(K, 2)
  Print #5, "T"; ";"; DblToStr(T); ";"; "REACAO"; ";"; NAME; ";"; K; ";"; i; ";"; DblToStr(CDbl(FF(1, 1))); ";"; DblToStr(CDbl(FF(2, 1))); ";"; DblToStr(CDbl(FF(3, 1))); ";"; J; ";"; DblToStr(CDbl(FF(1, 2))); ";"; DblToStr(CDbl(FF(2, 2))); ";"; DblToStr(CDbl(FF(3, 2)))
Else
  If NAME = "REV." Then i = IRJ(K, 1)
  If NAME = "TRA." Then i = ITJ(K, 1)
  If NAME = "SMP." Then i = ISM(K, 1)
  If NAME = "REV." Then J = IRJ(K, 2)
  If NAME = "TRA." Then J = ITJ(K, 2)
  If NAME = "SMP." Then J = ISM(K, 2)
  If NAME = "ENG." Then
    i = IENG(K, 1)
    J = IENG(K, 2)
    i = IRJ(i, 1)
    J = IRJ(J, 1)
  End If
  Print #5, "T"; ";"; DblToStr(T); ";"; "FRJ"; ";"; NAME; ";"; K; ";"; i; ";"; DblToStr(CDbl(FF(1, 1))); ";"; DblToStr(CDbl(FF(2, 1))); ";"; DblToStr(CDbl(FF(3, 1))); ";"; J; ";"; DblToStr(CDbl(FF(1, 2))); ";"; DblToStr(CDbl(FF(2, 2))); ";"; DblToStr(CDbl(FF(3, 2)))
End If
JR = JR + NEQ
Next K
End Sub

```

```

-----
Private Sub ASTATIC()
  '--Quando o número de equações de restrição é igual ao número de coordenadas, esta subrotina é chamada para executar a análise estática.
  ReDim EM(m, m) As Double
  ReDim FQ(m, m) As Double
  '--Calcula seno e coseno das coordenadas rotacional
  For i = 1 To NB
    RB(i, 1) = Sin(Q(3, i))
    RB(i, 2) = Cos(Q(3, i))
  Next i
  '--Resolve matrix Jacobiana
  JACOB = 1
  IFNCT = 0
  Call FUNCT
  '--Calcula Forças
  Call FORCE
  '--Transposta do Jacobiano
  For i = 1 To m
    For J = 1 To m
      EM(i, J) = FQ(J, i)
    Next J
  Next i
  '--Resolve os multiplicadores de Lagrange
  ii = 0
  For i = 1 To NB
    For J = 1 To 3
      ii = ii + 1
      VFRC(ii) = FRC(J, i)
    Next J
  Next i
  Call LINEAR(EM, VFRC, W, ICOL, m, 1)
  '--Transfere os multiplicadores de Lagrange para EL
  ii = 0
  For i = 1 To m
    ii = ii + 1
    EL(i) = VFRC(ii)
  Next i
  '--Saida de resultados

```

```

Call REPORTS
End Sub
'-----
Private Sub REPORTS()
'--Esta subrotina reporta os valores das reações em análise estática.
For i = 1 To NB
  XP = Q(1, i)
  YP = Q(2, i)
  PHIP = Q(3, i)
  Print #6, "ESTAT"; ";"; i; ";"; Db1ToStr(XP); ";"; Db1ToStr(YP); ";"; Db1ToStr(PHIP)
Next i
For i = 1 To NB
  Print #6, Tab(1); "ESTAT"; ";"; i; ";"; Db1ToStr(CDb1(Q(1, i))); ";"; Db1ToStr(CDb1(Q(2, i))); ";"; Db1ToStr(CDb1(Q(3, i)))
Next i
Call REACT
End Sub
'-----
Private Sub LINEAR(A, C, W, ICOL, NN, ILU)
'--Esta subrotina resolve um conjunto de equações lineares da forma Ax=c pela chamada à subrotina LU.
Dim KK As Integer
Dim JJ As Integer
Dim LL As Integer
Dim J As Integer
Dim K As Integer
Dim NP1 As Integer
Dim SUM As Double
If (ILU > 0) Then Call LU(A, ICOL, NN, EPS)
For J = 1 To NN
  W(J) = C(J)
Next J
'--Executa a eliminação adiante. LY=C
For J = 2 To NN
  SUM = W(J)
  JM1 = J - 1
  For K = 1 To JM1
    SUM = SUM - A(J, K) * W(K)
  Next K
  W(J) = SUM
Next J
'--Executa o passo de substituição de volta. UX=Y
W(NN) = W(NN) / A(NN, NN)
NP1 = NN + 1
For J = 2 To NN
  i = NP1 - J
  SUM = W(i)
  IP1 = i + 1
  For K = IP1 To NN
    SUM = SUM - A(i, K) * W(K)
  Next K
  W(i) = SUM / A(i, i)
Next J
'--Permuta o vetor solução para esta forma original
For J = 1 To NN
  C(ICOL(J)) = W(J)
Next J
End Sub
'-----
Private Sub LU(XA, ICOL, NN, EPS)
'--Esta subrotina executa a fatoração LU com pivotamento parcial na matriz quadrada. Esta subrotina emprega
'--o método de Crout's com pivotamento da coluna na matriz A.
Dim K As Integer
Dim NM1 As Integer
Dim L As Integer
Dim PIV As Double
Dim IPIV As Integer
Dim IP1 As Integer
Dim TEMP As Double
Dim ii As Integer
Dim J As Integer
For K = 1 To NN
  ICOL(K) = K
Next K
NM1 = NN - 1
For L = 1 To NM1
  PIV = Abs(XA(L, L))
  IPIV = L
  IP1 = L + 1
  For K = IP1 To NN

```

```

TEMP = Abs(XA(L, K))
If (TEMP > PIV) Then
  PIV = TEMP
  IPIV = K
End If
Next K
If (PIV >= EPS) Then
  If (IPIV <> L) Then
    ii = ICOL(L)
    ICOL(L) = ICOL(IPIV)
    ICOL(IPIV) = ii
    For J = 1 To NN
      TEMP = XA(J, L)
      XA(J, L) = XA(J, IPIV)
      XA(J, IPIV) = TEMP
    Next J
  End If
  For J = IPIV To NN
    XA(J, L) = XA(J, L) / XA(L, L)
    For K = IPIV To NN
      XA(J, K) = XA(J, K) - XA(J, L) * XA(L, K)
    Next K
  Next J
Else
  'matriz singular
End If
Next L
End Sub
'-----
Private Function FIMPACT(x, XD, x1, CONST1, E, CMAX, D) As Double
  Dim X1MD As Double
  Dim X1MIN As Double
  If (x >= x1) Then
    FIMPACT = 0#
  Else
    X1MD = x1 - D
    X1MIN = 0#
    FIMPACT = CONST1 * (x1 - x) ^ E - STEP(x, X1MD, CMAX, x1, X1MIN) * XD
  End If
End Function
'-----
Private Function STEP(x, H0, H1, X0, x1) As Double
  If x1 > X0 Then
    If (x < X0) Then
      STEP = H0
    Else
      If (x >= x1) Then
        STEP = H1
      Else
        STEP = H0 + (H1 - H0) * (3# - 2# * ((x - X0) / (x1 - X0))) * (x - X0) * (x - X0) / ((x1 - X0) * (x1 - X0))
      End If
    End If
  Else
    If (x > X0) Then
      STEP = H0
    Else
      If (x <= x1) Then
        STEP = H1
      Else
        STEP = H0 + (H1 - H0) * (3# - 2# * ((x - X0) / (x1 - X0))) * (x - X0) * (x - X0) / ((x1 - X0) * (x1 - X0))
      End If
    End If
  End If
End Function

```

APÊNDICE L

Programa fonte do pré-processamento e pós-processamento da FSSM, em linguagem de programação Visual Basic para AutoCAD® versão 2007.

Na Figura L.1 é apresentada a tela do ambiente de programação do VBA (Visual Basic for Application) para AutoCAD®. Na janela *Project – ACADProject*, à esquerda, pode-se visualizar todos os formulários (Forms), Módulos (Modules) e Classes (Class Modules). Para cada Formulário, existe um objeto gráfico (lay-out) e o respectivo código (programa) associado. Os Módulos e Classes são formados apenas pelos códigos. Assim sendo, a seguir são apresentados todos os Formulários (Figuras L.2 à L.27), Módulos, Classes e os respectivos códigos.

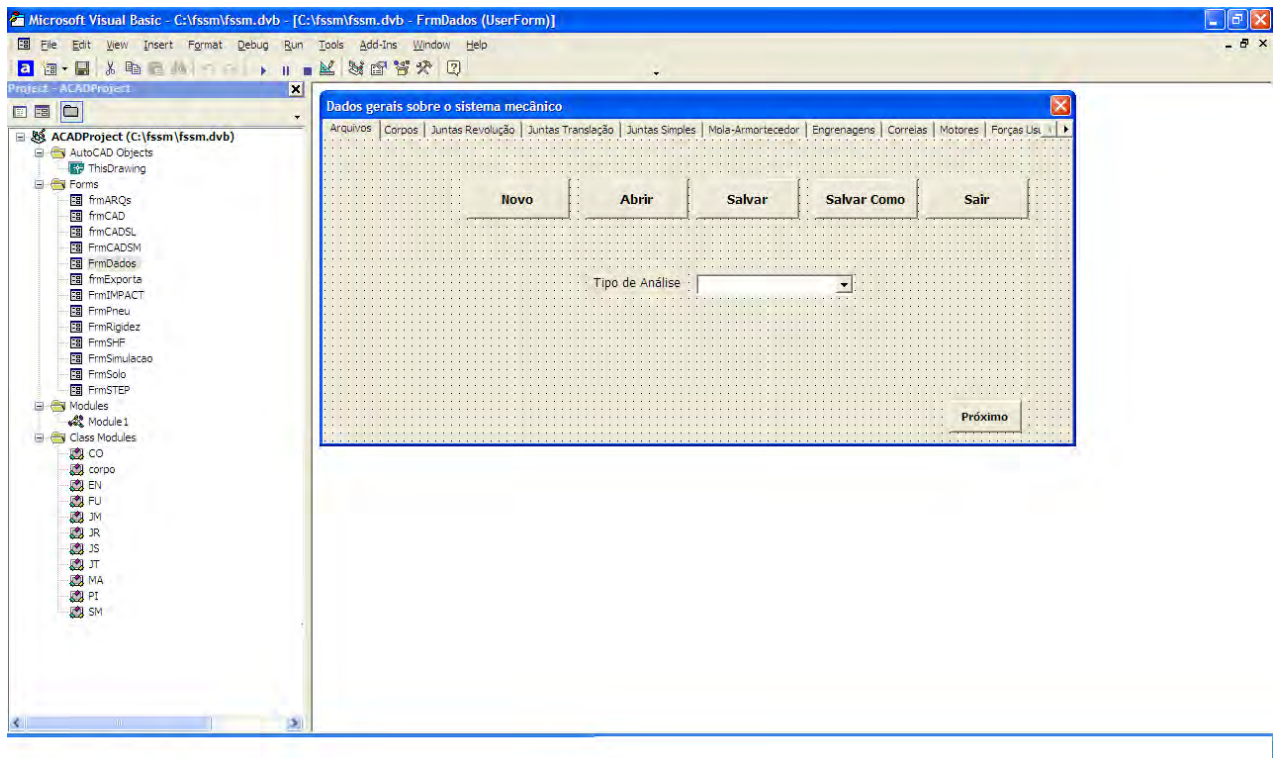


Figura L.1 – Tela principal do ambiente de programação Visual Basic para AutoCAD®

Nomenclaturas adotadas

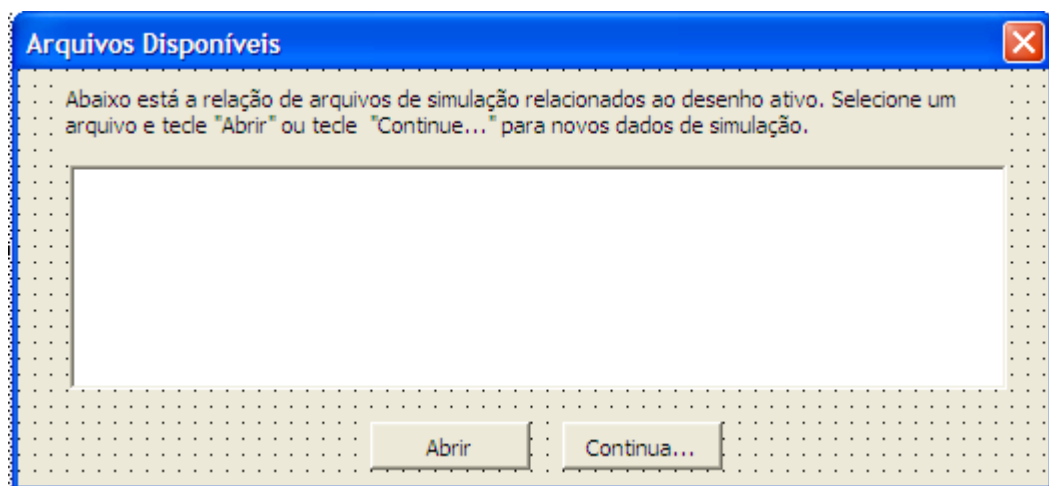
Para diferenciar os diversos comandos nos seus respectivos formulários ou abas, foi criada a seguinte nomenclatura:

- ARQ –Arquivos.
- C –Corpos
- JR – Juntas Revolução
- JT- Juntas Translação
- JS- Simples
- MA- Molas-Amortecedores
- EN- Engrenagens
- CO- Correias
- JM – Juntas Motrizes ou Motores
- FU- Forças Usuário
- PI- Pontos Interesse
- DS –Definição do Solo
- EX –Exporta
- SHF – Função Harmônica Simples
- IMP – Impacto
- RG – Rigidez
- SM – Simulação

Exemplo 1 : *Private Sub AdicionaC_Click()* - subrotina que é executada quando o botão *adiciona* do FrmDados, aba *Corpos* é acionado;

Exemplo 2 : *Private Sub ApagaJR_Click()* - subrotina que é executada quando o botão *Apagar* do formulário FrmDados, aba *Juntas Revolução*, é acionado.

INÍCIO DOS FORMULÁRIOS DE PRÉ-PROCESSAMENTO



Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de Listagem : ARQLBox	Botão Abrir : AbrirARQ
	Botão Continua : ContinuaARQ

Figura L.2 – Formulário FrmARQs - Comentado

Código fonte relativo ao formulário FrmARQs

```
Private Sub Abrir_Click()  
    Dim v As Boolean  
    On Error GoTo erro1:  
    nome_arq = ARQLBox.Value  
    Call abrir(ARQLBox.Value)  
    frmARQs.Hide  
erro1: If Err.Number <> 0 Then  
    MsgBox "Erro na abertura do arquivo. Tente novamente."  
    Err.Clear  
    End If  
End Sub
```

```
Private Sub Continue_Click()  
    frmARQs.Hide  
    FrmDados.NovoARQ = True  
End Sub
```



Figura L.3 – Formulário FrmCAD

Código fonte relativo ao formulário FrmCAD

```
Private Sub Retorna_Click()  
    frmCAD.Hide  
    FrmDados.show  
End Sub
```

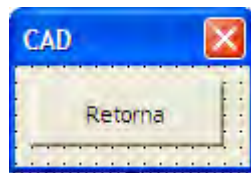


Figura L.4 – Formulário FrmCADSL

Código fonte relativo ao formulário FrmCADSL

```
Private Sub Retorna_Click()  
    frmCADSL.Hide  
    FrmSolo.show  
End Sub
```

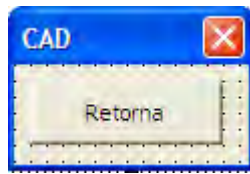


Figura L.5 – Formulário FrmCADSM

Código fonte relativo ao formulário FrmCADSM

```
Private Sub Retorna_Click()
    FrmCADSM.Hide
    FrmSimulacao.show
End Sub
```



Nome dos objetos (variáveis)	
Botão Novo : NovoARQ	Botão Sair : SairARQ
Botão Abrir : AbrirARQ	Caixa de combinação Tipo de Análise : CBoxARQTA
Botão Salvar : SalvarARQ	Botão Próximo : ProximoARQ
Botão Salvar Como : SalvarComoARQ	

Figura L.6 – Formulário FrmDados, aba Arquivos

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Corpo : CBoxCORPO	Caixa de Texto Fator de Escala dos Eixos : txtCPFator
Botão Seleciona (Corpo): SEL_CORPO	Botão de rolagem Fator de Escala dos Eixos : SButCPFE
Caixa de checagem Fixo : CheckBoxFixo	Botão CAD : CPCAD
Caixa de checagem Pneu : CheckBoxPneu	Caixa de Texto Velocidade na direção X : txtCPDXi
Caixa de checagem Solo (Superfície) : CheckBoxSolo	Caixa de Texto Velocidade na direção Y : txtCPDYi
Botão Propriedades (Pneu) : CButCPPneu	Caixa de Texto Velocidade angular : txtCPDPHIi
Botão Propriedades (Solo) : CButCPSolo	Caixa de Texto Força na direção X : txtCPFEX
Caixa de Texto Posição eixo X : txtCPXi	Caixa de Texto Força na direção Y : txtCPFY
Caixa de Texto Posição eixo Y : txtCPYi	Caixa de Texto Torque : txtCPT
Caixa de Texto Rotação PHI : txtCPPHIi	Botão Adicionar : AdicionaC
Botão Seleciona (X,Y) : SEL_XY	Botão Apagar : ApagaC
Botão Seleciona (PHI) : SEL_PHI	Botão Voltar : VoltarC
Caixa de Texto Massa : txtCPM	Botão Próximo : ProximoC
Caixa de Texto Momento Inércia : txtCPMI	

Figura L.7 – Formulário FrmDados, aba Corpos

Dados gerais sobre o sistema mecânico

Arquivos | Corpos | Juntas Revolução | Juntas Translação | Juntas Simples | Mola-Amortecedor | Engrenagens | Correias | Motores | Forças Us

Junta de Revolução Seleciona

Localização da junta em relação ao corpo I

Corpo I:

Coordenada local X (QUI) m

Coordenada local Y (NETA) m

Localização da junta em relação ao corpo J

Corpo J:

Coordenada local X (QUI) m

Coordenada local Y (NETA) m

Fator de Escala:

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Junta de Revolução : CBoxJR	Botão CAD : JRCAD
Botão Seleciona : Sel_Junta_R	Botão de comutação Editar (Corpo I): TButJRCI
Botão de comutação Editar (Corpo I): TButJRCI	Caixa de combinação Corpo J : CBoxJRCJ
Caixa de combinação Corpo I : CBoxJRCI	Caixa de texto Coordenada local X (QUI) : txtJRQUII
Caixa de texto Coordenada local X (QUI) : txtJRQUII	Caixa de texto Coordenada local Y (NETA) : txtJRNETAJ
Caixa de texto Coordenada local Y (NETA) : txtJRNETAJ	Botão Adicionar : AdicionaJR
Caixa de Texto Fator de Escala : txtJRFator	Botão Apagar : ApagaJR
Botão de rolagem Fator de Escala : SButJRFE	Botão Voltar : VoltarJR
	Botão Próximo : ProximoJR

Figura L.8 – Formulário FrmDados, aba Juntas Revolução

Dados gerais sobre o sistema mecânico

Arquivos | Corpos | Juntas Revolução | Juntas Translação | Juntas Simples | Mola-Amortecedor | Engrenagens | Correias | Motores | Forças Us

Juntas de Translação Seleciona

Localização da junta em relação ao corpo I

Corpo I

Coord. local X (QUI) do ponto P m

Coord. local Y (NETA) do ponto P m

Coord. local X (QUI) do ponto Q m

Coord. local Y (NETA) do ponto Q m

Localização da junta em relação ao corpo J

Corpo J

Coord. local X (QUI) do ponto P m

Coord. local Y (NETA) do ponto P m

Nome dos objetos (variáveis)

<p>Caixa de combinação Junta de Translação : CBoxJT</p> <p>Botão Seleciona : Sel_Junta_T</p> <p>Botão de comutação Editar (Corpo I): TButJCI</p> <p>Caixa de combinação Corpo I : CtBoxJT CI</p> <p>Caixa de texto Coord. local X (QUI) do ponto P : txtJTQUIIP</p> <p>Caixa de texto Coord. local Y (NETA) do ponto P : txtJTNETAIP</p> <p>Caixa de texto Coord. local X (QUI) do ponto Q : txtJTQUIIQ</p> <p>Caixa de texto Coord. local Y (NETA) do ponto Q : txtJTNETAIQ</p>	<p>Botão CAD : JTCAD</p> <p>Botão de comutação Editar (Corpo J): TButJTCJ</p> <p>Caixa de combinação Corpo J : CBoxJT CJ</p> <p>Caixa de texto Coord. local X (QUI) do ponto P : txtJTQUIJP</p> <p>Caixa de texto Coord. local Y (NETA) do ponto P : txtJTNETAJP</p> <p>Botão Adicionar : AdicionaJT</p> <p>Botão Apagar : ApagaJT</p> <p>Botão Voltar : VoltarJT</p> <p>Botão Próximo : ProximoJT</p>
--	---

Figura L.9 – Formulário FrmDados, aba Juntas Translação

The screenshot shows a software window with a menu bar containing 'Arquivos', 'Corpos', 'Juntas Revolução', 'Juntas Translação', 'Juntas Simples', 'Mola-Amortecedor', 'Engrenagens', 'Correias', 'Motores', and 'Forças Us'. The 'Juntas Simples' menu item is selected. The main area contains a form with the following fields and controls:

- 'Junta Simples': A dropdown menu followed by a 'Seleciona' button.
- 'Corpo': A dropdown menu followed by a 'Seleciona' button.
- 'Restrição': A dropdown menu.
- 'Fator de Escala': A spinner control.

At the bottom of the form are four buttons: 'Adicionar', 'Apagar', 'Voltar', and 'Próximo'. A 'CAD' button is located in the top right corner of the window.

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Junta Simples : CBoxJS	Botão CAD : JSCAD
Botão Seleciona : Sel_JS	Botão Adicionar : AdicionaJS
Caixa de combinação Corpo : CBoxJSC	Botão Apagar : ApagaJS
Botão Seleciona : SelJSC	Botão Voltar : VoltarJS
Caixa de combinação Restrição : CBoxJSR	Botão Próximo : ProximoJS
Caixa de Texto Fator de Escala : txtJSFator	
Botão de rolagem Fator de Escala : SButJSFE	

Figura L.10 – Formulário FrmDados, aba Juntas Simples

Dados gerais sobre o sistema mecânico

Arquivos | Corpos | Juntas Revolução | Juntas Translação | Juntas Simples | **Mola-Amortecedor** | Engrenagens | Correias | Motores | Forças Us

Mola-Amortecedor: Seleciona

Localização do Atuador em relação ao corpo I

Corpo I: m

Coordenada local X (QUI) m

Coordenada local Y (NETA) m

Localização do Atuador em relação ao corpo J

Corpo J: m

Coordenada local X (QUI) m

Coordenada local Y (NETA) m

Dados Físicos

Comprimento indeformado m

Constante Elástica da Mola N/m

Coef. de Amortecimento N.s/m

Força no Atuador N

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Mola-Amortecedor : CBoxMA	Botão CAD : MACAD
Botão Seleciona : Sel_MA	Caixa de texto Comprimento indeformado : txtMACOMPI
Botão de comutação Editar (Corpo I): TButMACI	Caixa de texto Constante Elástica da Mola : txtMAK
Caixa de combinação Corpo I : CBoxMACI	Caixa de texto Coef. de Amortecimento : txtMAC
Caixa de texto Coordenada local X (QUI) : txtMAQUII	Caixa de texto Força no Atuador : txtMAF
Caixa de texto Coordenada local Y (NETA) : txtMANETAJ	Botão Adicionar : AdicionaMA
Botão de comutação Editar (Corpo I): TButMACJ	Botão Apagar : ApagaMA
Caixa de combinação Corpo J : CBoxMACJ	Botão Voltar : VoltarMA
Caixa de texto Coordenada local X (QUI) : txtMAQUIJ	Botão Próximo : ProximoMA
Caixa de texto Coordenada local Y (NETA) : txtMANETAJ	

Figura L.11 – Formulário FrmDados, aba Mola-Amortecedor

Dados gerais sobre o sistema mecânico

Arquivos | Corpos | Juntas Revolução | Juntas Translação | Juntas Simples | Mola-Amortecedor | Engrenagens | Correias | Motores | Forças Usu

CAD

O corpo J das juntas de revolução em um par engrenado deve ser o mesmo.

Par de Engrenagens:

Corpo I: Seleciona

Corpo J: Seleciona

Junta de Revolução I: Seleciona

Junta de Revolução J: Seleciona

Diâmetro Nominal I: m

Diâmetro Nominal J: m

Tipo de Engrenamento:

Adicionar Apagar Voltar Próximo

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Par de Engrenagens : CBoxEN	Botão CAD : ENCAD
Caixa de combinação Corpo I : cCBoxENCI	Caixa de combinação Corpo I : CBoxENCJ
Botão Seleciona (Corpo I) : SelENCI	Botão Seleciona (Corpo I) : SelENCJ
Caixa de combinação Junta de Revolução I : CBoxENJRI	Caixa de combinação Junta de Revolução I : CBoxENRJ
Botão Seleciona (Junta de Revolução I) : SelENJRI	Botão Seleciona (Junta de Revolução J) : SelENRJ
Caixa de texto Diâmetro Nominal I : txtENDNI	Caixa de texto Diâmetro Nominal I : txtENDNJ
Caixa de combinação Tipo de Engrenamento : CBoxENTipo	Botão Adicionar : AdicionaEN
	Botão Apagar : ApagaEN
	Botão Voltar : VoltarEN
	Botão Próximo : ProximoEN

Figura L.12 – Formulário FrmDados, aba Engrenagens

Dados gerais sobre o sistema mecânico

Arquivos | Corpos | Juntas Revolução | Juntas Translação | Juntas Simples | Mola-Amortecedor | Engrenagens | Correias | Motores | Forças Usu

CAD

O corpo J das juntas de revolução em um par conectado por correia deve ser o mesmo

Par de Correias:

Corpo I: Seleciona

Corpo J: Seleciona

Junta de Revolução I: Seleciona

Junta de Revolução J: Seleciona

Diâmetro Nominal I: m

Diâmetro Nominal J: m

Adicionar Apagar Voltar Próximo

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Par de Engrenagens : CBoxCO	Botão CAD : COCAD
Caixa de combinação Corpo I : CBoxCOCI	Caixa de combinação Corpo I : CBoxCOCJ
Botão Seleciona (Corpo I) : SelCOCI	Botão Seleciona (Corpo I) : SelCOCJ
Caixa de combinação Junta de Revolução I : CBoxCOJRI	Caixa de combinação Junta de Revolução I : CBoxCOJRJ
Botão Seleciona (Junta de Revolução I) : SelCOJRI	Botão Seleciona (Junta de Revolução J) : SelCOJRJ
Caixa de texto Diâmetro Nominal I : txtCODNI	Caixa de texto Diâmetro Nominal I : txtCODNJ
	Botão Adicionar : AdicionaCO
	Botão Apagar : ApagaCO
	Botão Voltar : VoltarCO
	Botão Próximo : ProximoCO

Figura L.13 – Formulário FrmDados, aba Correias

Dados gerais sobre o sistema mecânico

Arquivos | Corpos | Juntas Revolução | Juntas Translação | Juntas Simples | Mola-Amortecedor | Engrenagens | Correias | Motores | Forças Usu

Motor Seleciona

Corpo Seleciona

Tipo

Fator de Escala

Configuração

Posição Inicial m

Velocidade Inicial m/s

Aceleração m/s²

Adicionar Apagar Voltar Próximo

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Motor : CBoxJM	Botão CAD : JMCAD
Botão Seleciona (Motor): SelJM	Caixa de Texto Fator de Escala : txtJMFator
Caixa de combinação Corpo : CBoxJMC	Botão de rolagem Fator de Escala : SButJMFE
Botão Seleciona (Corpo): SelJMC	Botão Adicionar : AdicionaJM
Caixa de combinação Tipo : CBoxJMtipo	Botão Apagar : ApagaJM
Caixa de texto Posição Inicial : txtJMpos	Botão Voltar : VoltarJM
Caixa de texto Velocidade Inicial : txtJMvel	Botão Próximo : ProximoJM
Caixa de texto Aceleração : txtJMacel	

Figura L.14 – Formulário FrmDados, aba Motores

Dados gerais sobre o sistema mecânico

Corpos | Juntas Revolução | Juntas Translação | Juntas Simples | Mola-Armortecedor | Engrenagens | Correias | Motores | Forças Usuário | Pont

Força do Usuário: [] CAD

Localização da Força em relação ao corpo I:

Editar Corpo I: []

Coordenada local X (QUI): [] m

Coordenada local Y (NETA): [] m

Seleciona

Localização da Força em relação ao corpo J:

Editar Corpo J: []

Coordenada local X (QUI): [] m

Coordenada local Y (NETA): [] m

Seleciona

Tipo de Função

Constante [] Propriedades

STEP [] Propriedades

SHF (Harmônica) [] Propriedades

IMPACTO [] Propriedades

Adicionar Apagar Voltar Próximo

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Força do Usuário : CBoxFU	Botão CAD : FUCAD
Botão de comutação Editar (Corpo I): TButFUCI	Caixa de checagem Constante : CBoxFUCTE
Caixa de combinação Corpo I : CBoxFUCI	Caixa de texto Constante : txtFUCTE
Caixa de texto Coordenada local X (QUI) : txtFUQUII	Caixa de checagem STEP : CBoxFUSTEP
Caixa de texto Coordenada local Y (NETA) : txtFUNETAI	Botão Propriedades (STEP) : CbutFUSTEP
Botão Seleciona (Corpo I) : CButFUSelI	Caixa de checagem SHF (Harmônica) : CBoxFUSHF
Botão de comutação Editar (Corpo I): TButFUCJ	Botão Propriedades (SHF) : CbutFUSHF
Caixa de combinação Corpo J : CBoxFUCJ	Caixa de checagem IMPACTO : CBoxFUIMP
Caixa de texto Coordenada local X (QUI) : txtFUQUIJ	Botão Propriedades (IMPACTO) : CbutFUIMP
Caixa de texto Coordenada local Y (NETA) : txtFUNETAJ	Botão Adicionar : AdicionaFU
Botão Seleciona (Corpo J) : CButFUSelJ	Botão Apagar : ApagaFU
	Botão Voltar : VoltarFU
	Botão Próximo : ProximoFU

Figura L.15 – Formulário FrmDados, aba Forças Usuário

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Pontos de Interesse : CBoxPI	Botão CAD : PICAD
Botão Seleciona : Sel_PIXY	Botão Adicionar : AdicionaPI
Botão de comutação Editar (Corpo) : TButPIC	Botão Apagar : ApagaPI
Caixa de combinação Corpo : CBoxPIC	Botão Voltar : VoltarPI
Caixa de texto Coordenada local X (QUI) : txtPIQUI	Botão Próximo : ProximoPI
Caixa de texto Coordenada local Y (NETA) : txtPINETA	
Caixa de Texto Fator de Escala : txtPIFator	
Botão de rolagem Fator de Escala : SButPIFE	

Figura L.16 – Formulário FrmDados, aba Pontos Interesse

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de texto Tempo Inicial : txtTi	Botão CAD : EXCAD
Caixa de texto Tempo Final : txtTf	Botão Voltar : VoltarFinal
Caixa de Texto Delta T : txtDT	Botão Terminar : Terminar
Botão Executar : Executar	

Figura L.17 – Formulário FrmDados, aba Execução

Código fonte do formulário FrmDados:

Dim TAB_OLD As Integer

Private Sub AdicionaC_Click() 'Botão adicionar, aba Corpos

Dim i, T As Integer

Dim verific As Boolean

Dim SSetColl As AcadSelectionSets

Dim ssetObj As AcadSelectionSet

ThisDrawing.Activate

Call imprime_corpos

FrmDados.Hide

Set SSetColl = ThisDrawing.SelectionSets

verific = False

For Each ssetObj In SSetColl

If ssetObj.Name = "CORPOS" Then

verific = True

ssetObj.Clear

End If

Next

If Not verific Then

Set ssetObj = ThisDrawing.SelectionSets.Add("CORPOS")

Else

Set ssetObj = ThisDrawing.SelectionSets.Item("CORPOS")

End If

' Seleciona entidades na tela, para inclusão de corpos na FSSM.

ssetObj.Clear

ssetObj.SelectOnScreen

T = CORPOS.count

v = True

Dim xcorpo, mcorpo As corpo

Dim pmax, pmin As Variant

Dim PONTO(2) As Double

For i = 1 To ssetObj.count

For Each xcorpo In CORPOS

If xcorpo.desenho.Handle = ssetObj.Item(i - 1).Handle Then v = False

Next

If v Then

Set mcorpo = New corpo

ssetObj.Item(i - 1).LAYER = "FSSM_CORPO"

mcorpo.desenho = ssetObj.Item(i - 1)

PathName = DesenhosDir + "Eixo.dwg"

mcorpo.desenho.GetBoundingBox pmin, pmax

mcorpo.num = T + i

Fator = 0.05 * Sqr((pmax(0) - pmin(0)) ^ 2 + (pmax(1) - pmin(1)) ^ 2)

PONTO(0) = (pmax(0) + pmin(0)) / 2

PONTO(1) = (pmax(1) + pmin(1)) / 2

If Fator = 0 Then Fator = 1

Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "#Eixo", PONTO, 1, 1, 1, 0, False)

mcorpo.xi = PONTO(0)

mcorpo.yi = PONTO(1)

mcorpo.eixo = insertedblock

mcorpo.Fator = Fator

mcorpo.fixo = False

mcorpo.Pneu = False

mcorpo.solo = False

mcorpo.COR = cor_Corpo

insertedblock.LAYER = "FSSM_EIXO"

insertedblock.color = acByLayer

CORPOS.Add Item:=mcorpo

End If

Next i

```

If CORPOS.count > 1 Then
  For i = 1 To 11
    FrmDados.MultiPage1.Pages(i).Enabled = True
  Next
End If
If CORPOS.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text = "1"
ssetObj.Clear
Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
Call imprime_corpos
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub AdicionaCO_Click() 'Botão adicionar, aba Correias
  Dim i As Integer
  Call captura_CO
  If CORPOS.count > 1 And JRs.count > 1 Then
    Set mCO = New CO
    mCO.CORPOI = CORPOS(1)
    mCO.CORPOJ = CORPOS(2)
    mCO.JRI = JRs(1)
    mCO.JRJ = JRs(2)
    mCO.num = COss.count + 1
    mCO.DNI = 0
    mCO.DNJ = 0
    COss.AddItem:=mCO
  Else
    MsgBox ("ERRO! Corpos e/ou Juntas de revolução insuficientes.")
  End If
  FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Clear
  i = 0
  For Each mCO In COss
    i = i + 1
    FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.AddItem (i)
  Next
  FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Value = i
  Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End Sub

```

```

Private Sub AdicionaFU_Click() 'Botão adicionar, aba Forças Usuário
'Adiciona Forças do Usuário
  Dim aux As Integer
  Dim pontoInicial, pontofinal As Variant
  Dim PONTO(2) As Double
  Dim PathName As String
  Dim insertedblock As AcadExternalReference
  FrmDados.Hide
  pontoInicial = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Selecione um ponto:")
  pontofinal = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Selecione um ponto:")
  Set mFU = New FU
  mFU.CORPOI = CORPOS.Item(1)
  mFU.CORPOJ = CORPOS.Item(2)
  mFU.num = FUs.count + 1
  mFU.xi = pontoInicial(0)
  mFU.yi = pontoInicial(1)
  mFU.XJ = pontofinal(0)
  mFU.YJ = pontofinal(1)
  PONTO(0) = (mFU.xi + mFU.XJ) / 2
  PONTO(1) = (mFU.yi + mFU.YJ) / 2
  ang = angulo(mFU.xi, mFU.yi, mFU.XJ, mFU.YJ)
  PathName = DesenhosDir + "FU.dwg"
  Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "#FU", PONTO, mFU.comp, mFU.comp, 1, ang,
False)

```

```

        insertedblock.LAYER = "FSSM_FU"
        insertedblock.color = acByLayer
        mFU.desenho = insertedblock
    If CBoxFUIMP.Value = False Then
        insertedblock.Visible = False
    Else
        insertedblock.Visible = True
    End If
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.AddItem (CStr(FUs.count + 1))
    FUs.Add Item:=mFU
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text = CStr(mFU.num)
    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
    FrmDados.show

End Sub

Private Sub AdicionaJM_Click() 'Botão adicionar, aba Motores
'Adiciona Juntas Motrizes
    Dim mcorpo As corpo
    Dim PONTO(2) As Double
    Dim Fator, soma As Double
    Dim PathName As String
    Dim insertedblock As AcadExternalReference
    FrmDados.Hide
    If CORPOS.count > 0 Then
        'FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.AddItem (CStr(JMs.Count + 1))
        If JMs.count > 0 Then
            Fator = JMs.Item(1).Fator
        Else
            Fator = 0
            For Each mcorpo In CORPOS
                Fator = Fator + mcorpo.Fator
            Next
            Fator = 0.7 * Fator / CORPOS.count
        End If
        Set mJM = New JM
        mJM.num = JMs.count + 1
        mJM.corpo = CORPOS.Item(1)
        mJM.X = CORPOS.Item(1).X
        mJM.Y = CORPOS.Item(1).Y
        mJM.POS = 0
        mJM.DPOS = 0
        mJM.DDPOS = 0
        PONTO(0) = mJM.X
        PONTO(1) = mJM.Y
        mJM.NCOORD = 3
        PathName = DesenhosDir + "JMr.dwg"
        Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "FSSM_JMr", PONTO, 1, 1, 1, 0, False)
        insertedblock.LAYER = "FSSM_JM"
        mJM.desenho = insertedblock
        mJM.Fator = Fator
        JMs.Add Item:=mJM ', Key:=CStr(i)
    Else:
        MsgBox ("ERRO: Não existem Corpos para inserir a Junta Motriz")
    End If

    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
    FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Text = CStr(JMs.count)
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub AdicionaJS_Click() 'Botão adicionar, aba Juntas Simples

```

```

'Adiciona Juntas Simples
Dim mcorpo As corpo
Dim PONTO(2) As Double
Dim Fator, soma As Double
Dim PathName As String
Dim insertedblock As AcadExternalReference
FrmDados.Hide
If (CORPOS.count > 0) Then
    FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.AddItem (CStr(JSs.count + 1))

    If JSs.count > 0 Then
        Fator = JSs.Item(1).Fator
    Else
        Fator = 0
        For Each mcorpo In CORPOS
            Fator = Fator + mcorpo.Fator
        Next
        Fator = 0.5 * Fator / CORPOS.count
    End If
    Set mJS = New JS
    mJS.num = JSs.count + 1
    mJS.corpo = CORPOS.Item(1)
    mJS.X = CORPOS.Item(1).X
    mJS.Y = CORPOS.Item(1).Y
    PONTO(0) = mJS.X
    PONTO(1) = mJS.Y
    mJS.NCOORD = 1
    PathName = DesenhosDir + "JSx.dwg"
    Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "FSSM_JSx", PONTO, 1, 1, 1, 0, False)
    insertedblock.LAYER = "FSSM_JS"
    mJS.desenho = insertedblock
    mJS.Fator = 1
    mJS.Fator = Fator
    JSs.Add Item:=mJS ', Key:=CStr(i)
Else:
    MsgBox ("ERRO: Não existem Corpos para inserir a Junta")
End If
Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Text = CStr(mJS.num)
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub AdicionaJT_Click() 'Botão adicionar, aba Juntas Translação

```

```

'Adiciona Juntas de Translação
Dim aux As Integer
Dim ponto inicial, pontofinal As Variant
Dim pontointer(2) As Double
Dim comp As Double
Dim PathName As String
Dim insertedblock As AcadExternalReference
FrmDados.Hide
ponto inicial = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Selecione o primeiro ponto:")
pontofinal = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Selecione o segundo ponto:")
pontointer(0) = (ponto inicial(0) + pontofinal(0)) / 2
pontointer(1) = (ponto inicial(1) + pontofinal(1)) / 2
FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.AddItem (CStr(JTs.count + 1))
Set mJT = New JT
mJT.num = JTs.count + 1
mJT.XIP = ponto inicial(0)
mJT.YIP = ponto inicial(1)
mJT.XIQ = pontointer(0)
mJT.YIQ = pontointer(1)

```

```

mJT.XJP = pontofinal(0)
mJT.YJP = pontofinal(1)
ang = angulo(mJT.XIP, mJT.YIP, mJT.XJP, mJT.YJP)
comp = Sqr((mJT.XJP - mJT.XIP) ^ 2 + (mJT.YJP - mJT.YIP) ^ 2)
PathName = DesenhosDir + "JT.dwg"
Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "#JT", pontointer, comp, comp, 1, ang, False)
insertedblock.LAYER = "FSSM_JT"
insertedblock.color = acByLayer
mJT.desenho = insertedblock
mJT.CORPOI = CORPOS.Item(1)
mJT.CORPOJ = CORPOS.Item(2)
JTs.Add Item:=mJT ', Key:=CStr(i)
FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text = CStr(mJT.num)
Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub AdicionaPI_Click() 'Botão adicionar, aba Pontos de Interesse
'Adiciona Pontos de Interess
Dim mcorpo As corpo
Dim PONTO As Variant
Dim Fator, soma As Double
Dim PathName As String
Dim insertedblock As AcadExternalReference
FrmDados.Hide
PONTO = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Selecione um ponto:")
FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.AddItem (CStr(PIs.count + 1))
If PIs.count > 0 Then
    Fator = PIs.Item(1).Fator
Else
    Fator = 0
    For Each mcorpo In CORPOS
        Fator = Fator + mcorpo.Fator
    Next
    Fator = 0.5 * Fator / CORPOS.count
End If
Set mPI = New PI
mPI.num = PIs.count + 1
mPI.xi = PONTO(0)
mPI.yi = PONTO(1)

```

```

PathName = DesenhosDir + "PI.dwg"
Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "#PI", PONTO, 1, 1, 1, 0, False)
insertedblock.LAYER = "FSSM_PI"
insertedblock.color = acByLayer
mPI.desenho = insertedblock
mPI.corpo = CORPOS.Item(1)
mPI.Fator = Fator
PIs.Add Item:=mPI ', Key:=CStr(i)
Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub ApagaEN_Click() 'Botão Apagar, aba Engrenagens
'Adiciona Engrenagens
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Text)
If i > 0 Then
    ENs.Remove i
    For Each mEN In ENs
        If mEN.num > i Then mEN.num = mEN.num - 1
    Next
    If ENs.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Text = "1"

```

```

    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End If
End Sub

Private Sub ApagaFU_Click() 'Botão Apagar, aba Forças Usuário
'Apaga Forças do Usuário
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text)
If i > 0 Then
    FUs.Item(i).desenho.Delete
    FUs.Remove i
    For Each mFU In FUs
        If mFU.num > i Then mFU.num = mFU.num - 1
    Next
    If FUs.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text = "1"
    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End If

End Sub

Private Sub ApagaJM_Click() 'Botão Apagar, aba Motores
'Apaga Juntas Motrizes
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Text)
If i > 0 Then
    JMs.Item(i).desenho.Delete
    JMs.Remove i
    For Each mJM In JMs
        If mJM.num > i Then mJM.num = mJM.num - 1
    Next
    If JMs.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Text = "1"
End If
Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End Sub

Private Sub ApagaJR_Click() 'Botão Apagar, aba Juntas Revolução
'Apaga Juntas de Revolução
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text)
If i > 0 Then
    JRs.Item(i).desenho.Delete
    JRs.Remove i
    For Each mJR In JRs
        If mJR.num > i Then mJR.num = mJR.num - 1
    Next
    If JRs.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text = "1"
    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End If
End Sub

Private Sub ApagaJS_Click() 'Botão Apagar, aba Juntas Simples
'Apaga Juntas Simples
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Text)
If i > 0 Then
    JSs.Item(i).desenho.Delete
    JSs.Remove i
    For Each mJS In JSs
        If mJS.num > i Then mJS.num = mJS.num - 1
    Next
    If JSs.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Text = "1"
    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End If
End Sub

Private Sub ApagaJT_Click() 'Botão Apagar, aba Juntas Translação

```

```

'Apaga Juntas de Translação
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text)
If i > 0 Then
    JTs.Item(i).desenho.Delete
    JTs.Remove i
    For Each mJT In JTs
        If mJT.num > i Then mJT.num = mJT.num - 1
    Next
    If JTs.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text = "1"
    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End If
End Sub

Private Sub ApagaMA_Click() 'Botão Apagar, aba Molas-Amortecedores
'Apaga Molas-Amortecedores
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text)
If i > 0 Then
    MAs.Item(i).desenho.Delete
    MAs.Remove i
    For Each mMMA In MAs
        If mMMA.num > i Then mMMA.num = mMMA.num - 1
    Next
    If MAs.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text = "1"
    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End If

End Sub

Private Sub ApagaPI_Click() 'Botão Apagar, aba Pontos de Interesse
'Apaga Pontos de Interesse
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Text)
If i > 0 Then
    PIs.Item(i).desenho.Delete
    PIs.Remove i
    For Each mPI In PIs
        If mPI.num > i Then mPI.num = mPI.num - 1
    Next
End If
If PIs.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Text = "1"
Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End Sub

Private Sub ApaguaCO_Click() 'Botão Apagar, aba Correias
'Apaga Polias ligadas po Correias
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Text)
If i > 0 Then
    COss.Remove i
    For Each mCO In COss
        If mCO.num > i Then mCO.num = mCO.num - 1
    Next
    If COss.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Text = "1"
    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End If
End Sub

Private Sub CBoxARQTA_Change()
'Atribui o Tipo de Análise selecionado ao objeto Simulação
    SMs(1).TipoAnalise = FrmDados.MultiPage1.Pages(0).CBoxARQTA.Text
End Sub

Private Sub CBoxCOCI_Change()
'Na aba Correias, atribui o Corpo I selecionado ao objeto CO ativo

```

```

n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCI.Text)
For Each mCO In COss
    If (mCO.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Text)) And (n > 0) Then
        mCO.CORPOI = CORPOS(n)
    End If
Next
Call imprime_CO
End Sub

Private Sub cboxCOCI_DropButtonClick()
'Na aba Correias, atribui o Corpo I selecionado ao objeto CO ativo
If (FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCI.Text <> "") And (FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCJ.Text <> "") Then
    Call captura_CO
End If
End Sub

Private Sub CBoxCOJRI_Change()
ThisDrawing.regen (acActiveViewport)
n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text)
For Each mCO In COss
    If (mCO.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Text)) And (n > 0) Then
        mCO.JRI = JRs(n)
    End If
Next
Call imprime_CO
End Sub

Private Sub CboxCOJRI_DropButtonClick()
If (FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text <> "") And (FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text <> "") Then
    Call captura_CO
End If
End Sub

Private Sub CBoxCOJRI_Change()
n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text)
For Each mCO In COss
    If (mCO.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Text)) And (n > 0) Then
        mCO.JRI = JRs(n)
    End If
Next
Call imprime_CO
End Sub

Private Sub CboxCOJRI_DropButtonClick()
If (FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text <> "") And (FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text <> "") Then
    Call captura_CO
End If
End Sub

Private Sub CBoxEN_Change()
    Call imprime_EN
End Sub

Private Sub CBoxEN_DropButtonClick()
    Call captura_EN
End Sub

Private Sub CBoxCO_Change()
    Call imprime_CO
End Sub

Private Sub CBoxCO_DropButtonClick()
    Call captura_CO

```

End Sub

Private Sub CBoxENJRI_Change()

ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)

n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRI.Text)

For Each mEN In ENs

If (mEN.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Text)) And (n > 0) Then

mEN.JRI = JRs(n)

End If

Next

Call imprime_EN

End Sub

Private Sub CboxENJRI_DropButtonClick()

If (FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRI.Text <> "") And (FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRJ.Text <> "") Then

Call captura_EN

End If

End Sub

Private Sub CBoxENJRJ_Change()

ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)

n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRJ.Text)

For Each mEN In ENs

If (mEN.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Text)) And (n > 0) Then

mEN.JRJ = JRs(n)

End If

Next

Call imprime_EN

End Sub

Private Sub CboxENJRJ_DropButtonClick()

If (FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRI.Text <> "") And (FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRJ.Text <> "") Then

Call captura_EN

End If

End Sub

Private Sub CBoxFU_Change()

Call imprime_FU

End Sub

Private Sub CboxFU_DropButtonClick()

Call captura_FU

End Sub

Private Sub CBoxFUCI_Change()

n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCI.Text)

If n > CORPOS.count Then n = CORPOS.count

For Each mFU In FUs

If (mFU.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text)) And (n > 0) Then

mFU.CORPOI = CORPOS(n)

End If

Next

For Each mFU In FUs

If mFU.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text) And (FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCI.Value = True)

Then

mFU.QUII = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Text)

mFU.NETAI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Text)

mFU.QUIJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Text)

mFU.NETAJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Text)

Call mFU.atualiza_XY(0)

End If

Call imprime_FU

```

Next
End Sub

Private Sub CBoxFUCJ_Change()
n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCJ.Text)
If n > CORPOS.count Then n = CORPOS.count
For Each mFU In FUs
    If (mFU.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text)) And (n > 0) Then
        mFU.CORPOJ = CORPOS(n)
    End If
Next
For Each mFU In FUs
    If mFU.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text) And (FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCJ.Value = True)
Then
        mFU.QUII = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Text)
        mFU.NETAI = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Text)
        mFU.QUIJ = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Text)
        mFU.NETAJ = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Text)
        Call mFU.atualiza_XY(1)
    End If
    Call imprime_FU
Next
End Sub

Private Sub CBoxFUCTE_Click()
Dim PONTO As Variant
n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)
If n > 0 Then

    If CBoxFUCTE.Value = True Then
        FUs(n).CTE = True
        FUs(n).SHF = False
        FUs(n).STEP = False
        FUs(n).IMPACT = False
    Else
        FUs(n).CTE = False
    End If
    Call FUs(n).show
Else
    CBoxFUCTE.Value = False
    CBoxFUSHF.Value = False
    CBoxFUSTEP.Value = False
    CBoxFUIMP.Value = False
End If
End Sub

Private Sub CBoxFUIMP_Click()
n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)
If n > 0 And n <= FUs.count Then
    If CBoxFUIMP.Value = True Then
        FUs(n).desenho.Visible = True
        FUs(n).CTE = False
        FUs(n).STEP = False
        FUs(n).SHF = False
        FUs(n).IMPACT = True
        FUs(n).desenho.Update
    Else
        FUs(n).IMPACT = False
    End If
    Call FUs(n).show
Else
    CBoxFUCTE.Value = False

```

```

        CBoxFUSHF.Value = False
        CBoxFUSTEP.Value = False
        CBoxFUIMP.Value = False
    End If
End Sub

Private Sub CBoxFUSHF_Click()
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)
    If n > 0 Then
        If CBoxFUSHF.Value = True Then
            FUs(n).CTE = False
            FUs(n).SHF = True
            FUs(n).STEP = False
            FUs(n).IMPACT = False
        Else
            FUs(n).SHF = False
        End If
        Call FUs(n).show
    Else
        CBoxFUCTE.Value = False
        CBoxFUSHF.Value = False
        CBoxFUSTEP.Value = False
        CBoxFUIMP.Value = False

        End If
    End Sub

Private Sub CBoxFUSTEP_Click()
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)
    If n > 0 Then
        If CBoxFUSTEP.Value = True Then
            FUs(n).CTE = False
            FUs(n).STEP = True
            FUs(n).SHF = False
            FUs(n).IMPACT = False
        Else
            FUs(n).STEP = False

            End If
        Call FUs(n).show
    Else
        CBoxFUCTE.Value = False
        CBoxFUSHF.Value = False
        CBoxFUSTEP.Value = False
        CBoxFUIMP.Value = False

        End If
    End Sub

Private Sub CBoxJM_Change()
    Call imprime_JM
End Sub

Private Sub CboxJM_DropButton_Click()
    Call captura_JM
End Sub

Private Sub CBoxJMC_Change()
    Dim n As Integer
    Dim mJS As New JS
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
    If FrmDatos.MultiPage1.Value = 8 Then
        n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMC.Text)

```

```

If n > CORPOS.count Then n = CORPOS.count
For Each mJM In JMJs
    If (mJM.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Text)) And (n > 0) Then
        mJM.corpo = CORPOS(n)
        Call mJM.move(CORPOS(n).X, CORPOS(n).Y, 0)
    End If
Next
End If
Call imprime_JM
End Sub

Private Sub CboxJMC_DropButton_Click()
    Call captura_JM
End Sub

Private Sub CBoxJMtipo_Change()
    For Each mJM In JMJs
        If mJM.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Text) Then
            Select Case FrmDatos.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMtipo
                Case "X":
                    mJM.NCOORD = 1

                Case "Y":
                    mJM.NCOORD = 2

                Case "PHI":
                    mJM.NCOORD = 3

            End Select

        End If
    Next
    Call imprime_JM
End Sub

Private Sub CboxJMtipo_DropButton_Click()
    Call captura_JM
End Sub

Private Sub CBoxJS_Change()
    Call imprime_JS
End Sub

Private Sub CboxJS_DropButton_Click()
    Call captura_JS
End Sub

Private Sub CBoxJSR_Change()
    For Each mJS In JSs
        If mJS.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Text) Then
            Select Case FrmDatos.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSR
                Case "X":
                    mJS.NCOORD = 1

                Case "Y":
                    mJS.NCOORD = 2

                Case "PHI":
                    mJS.NCOORD = 3

            End Select
        End If
    Next
End Sub

```

```

    End If
Next
Call imprime_JS
End Sub

Private Sub CboxJSR_DropButton_Click()
    Call captura_JS
End Sub

Private Sub CButCPPneu_Click()
    FrmDados.Hide
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO)
    FrmPneu.TxtPNB = CStr(CORPOS(n).PNLargura)
    FrmPneu.TxtPNK = CStr(CORPOS(n).PNK)
    FrmPneu.TxtPNC = CStr(CORPOS(n).PNCA)
    FrmPneu.TxtPNH = CStr(CORPOS(n).PNH)
    FrmPneu.TxtPNDE = CStr(CORPOS(n).PNDE)
    FrmPneu.CboxPNTipo = CStr(CORPOS(n).PNTIPO)
    FrmPneu.show
End Sub

Private Sub CButCPSolo_Click()
    FrmDados.Hide
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO)
    FrmSolo.TxtDSIC = CStr(CORPOS(n).SLIC)
    FrmSolo.CBoxDSTipo = CStr(CORPOS(n).SLtipo)
    FrmSolo.TxtDSDeltaX = CStr(CORPOS(n).SLDeltaX)
    FrmSolo.show
End Sub

Private Sub CButFUIMP_Click()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text)
    If n > 0 Then
        FrmIMPACT.TxtIMPk = FUs(n).IMPk
        FrmIMPACT.TxtIMPe = FUs(n).IMPe
        FrmIMPACT.TxtIMPcmax = FUs(n).IMPcmax
        FrmIMPACT.TxtIMPd = FUs(n).IMPd
    End If
    FrmDados.Hide
    FrmIMPACT.show
End Sub

Private Sub CButFUSel_Click()
    Dim PONTO() As Double
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)
    FrmDados.Hide
    If n > 0 Then
        ThisDrawing.Activate
        PONTO = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Selecione um ponto:")
        Call FUs(n).move(PONTO(0), PONTO(1), FUs(n).XJ, FUs(n).YJ)
        Call imprime_FU
        Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
    End If
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub CButFUSHF_Click()
    FrmDados.Hide
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)
    FUs(n).show
    FrmSHF.show
End Sub

```

End Sub

Private Sub CButFUSTEP_Click()

 FrmDados.Hide

 FrmSTEP.show

End Sub

Private Sub CButFUSElJ_Click()

 Dim PONTO() As Double

 n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)

 FrmDados.Hide

 If n > 0 Then

 ThisDrawing.Activate

 PONTO = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Selecione um ponto:")

 Call FUs(n).move(FUs(n).xi, FUs(n).yi, PONTO(0), PONTO(1))

 Call imprime_FU

 Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)

 End If

 FrmDados.show

End Sub

Private Sub CheckBoxfixo_Click()

 Dim n As Integer

 If CORPOS.count > 0 Then

 n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)

 If FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxFixo.Value = True Then

 CORPOS(n).Pneu = False

 CORPOS(n).fixo = True

 CORPOS(n).solo = False

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame2.Enabled = False

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame3.Enabled = False

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame4.Enabled = False

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxSolo.Value = False

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxPneu.Value = False

 Else

 CORPOS(n).fixo = False

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame2.Enabled = True

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame3.Enabled = True

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame4.Enabled = True

 End If

 Else

 If FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxFixo.Value = True Then

 MsgBox "Erro: Corpo não encontrado. Adicione um corpo e tente novamente."

 FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxFixo.Value = False

 End If

 End If

End Sub

Private Sub CheckBoxPneu_Click()

 Dim n As Integer

 If CORPOS.count > 0 Then

 n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)

 If CheckBoxPneu.Value = True Then

 CORPOS(n).Pneu = True

 CORPOS(n).fixo = False

 CORPOS(n).solo = False

 CButCPPneu.Visible = True

 CheckBoxSolo.Value = False

 CheckBoxFixo.Value = False

 Else

 CORPOS(n).Pneu = False

```

        CButCPPneu.Visible = False
    End If
Else
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxPneu.Value = True Then
        MsgBox "Erro: Corpo não encontrado. Adicione um corpo e tente novamente."
        FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxPneu.Value = False
    End If
End If
End Sub

Private Sub CheckBoxSolo_Click()
    Dim n As Integer
    If CORPOS.count > 0 Then
        n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)
        If n = 0 And CORPOS.count > 0 Then n = 1
        m = -1
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.solo = True And mcorpo.num <> n Then
                m = mcorpo.num
            End If
        Next
        If n > 0 Then
            If FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxSolo.Value = True Then
                CORPOS(n).solo = True
                CORPOS(n).fixo = False
                CORPOS(n).Pneu = False
                If m > 0 Then
                    CORPOS(n).SLtipo = CORPOS(m).SLtipo
                    CORPOS(n).SLIC = CORPOS(m).SLIC
                    CORPOS(n).SLtipo = CORPOS(m).SLtipo
                    CORPOS(n).SLDeltaX = CORPOS(m).SLDeltaX
                    CORPOS(m).solo = False
                End If
                Call CORPOS(n).SLCria_pontos
                FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CButCPSolo.Visible = True
                FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame1.Enabled = False
                FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame2.Enabled = False
                FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame3.Enabled = False
                FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Frame4.Enabled = False
                FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxPneu.Value = False
                FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxFixo.Value = False
            Else
                CORPOS(n).solo = False
                CButCPSolo.Visible = False
                Frame1.Enabled = True
                Frame2.Enabled = True
                Frame3.Enabled = True
                Frame4.Enabled = True
            End If
        End If
    Else
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxSolo.Value = True Then
            MsgBox "Erro: Corpo não encontrado. Adicione um corpo e tente novamente."
            FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxSolo.Value = False
        End If
    End If
End Sub

Private Sub COCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

```

```

Private Sub CPCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub CPSHF_Click()
    FrmDados.Hide
    FrmSHF.show
End Sub

Private Sub ENCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub EXCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub FUCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub JMCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub JRCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub JSCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub JTCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub MACAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub NovoARQ_Click()
    For i = 1 To CORPOS.count
        CORPOS.Remove (1)
    Next
    For i = 1 To JRs.count
        JRs.Remove (1)
    Next
    For i = 1 To JTs.count
        JTs.Remove (1)
    Next
    For i = 1 To JSs.count

```

```

    JSs.Remove (1)
Next
For i = 1 To MAs.count
    MAs.Remove (1)
Next
For i = 1 To ENs.count
    ENs.Remove (1)
Next
For i = 1 To COss.count
    COss.Remove (1)
Next
For i = 1 To JM.s.count
    JM.s.Remove (1)
Next
For i = 1 To FUs.count
    FUs.Remove (1)
Next
For i = 1 To PIs.count
    PIs.Remove (1)
Next
Call limpa_tags
For i = 2 To 11
    FrmDados.MultiPage1.Pages(i).Enabled = False
Next
nome_arq = ""
FrmDados.MultiPage1.Pages(1).Enabled = True
FrmDados.MultiPage1.Value = 1
Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End Sub

Private Sub PICAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub Sair_Click()
    Call limpa_tags
    Unload FrmDados
End Sub

Private Sub SButCPFE_Change()
    Dim A As Integer
    A = FrmDados.MultiPage1.Pages(1).SButCPFE.Value
    For Each mcorpos In CORPOS
        If (mcorpos.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text)) And A <> 0 Then
            If A > 0 Then
                mcorpos.Fator = mcorpos.Fator * 1.1
            Else
                mcorpos.Fator = mcorpos.Fator * 0.9
            End If
            Call mcorpos.show
        End If
    Next
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).SButCPFE.Value = 0
End Sub

Private Sub SButJMFE_Change()
    Dim A As Integer
    A = FrmDados.MultiPage1.Pages(8).SButJMFE.Value
    For Each mJM In JM.s
        If (mJM.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Text)) And A <> 0 Then
            If A > 0 Then

```

```

        mJM.Fator = mJM.Fator * 1.1
    Else
        mJM.Fator = mJM.Fator * 0.9
    End If
    Call mJM.show
End If
Next
FrmDados.MultiPage1.Pages(8).SButJMFE.Value = 0
End Sub

Private Sub SButJRFE_Change()
    Dim A As Integer
    A = FrmDados.MultiPage1.Pages(2).SButJRFE.Value
    For Each mJR In JRs
        If (mJR.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text)) And A <> 0 Then
            If A > 0 Then
                mJR.Fator = mJR.Fator * 1.1
            Else
                mJR.Fator = mJR.Fator * 0.9
            End If
            Call mJR.show
        End If
    Next
    FrmDados.MultiPage1.Pages(2).SButJRFE.Value = 0
End Sub

Private Sub SButJSFE_Change()
    Dim A As Integer
    A = FrmDados.MultiPage1.Pages(4).SButJSFE.Value
    For Each mJS In JSs
        If (mJS.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Text)) And A <> 0 Then
            If A > 0 Then
                mJS.Fator = mJS.Fator * 1.1
            Else
                mJS.Fator = mJS.Fator * 0.9
            End If
            Call mJS.show
        End If
    Next
    FrmDados.MultiPage1.Pages(4).SButJSFE.Value = 0
End Sub

Private Sub SButPIFE_Change()
    Dim A As Integer
    A = FrmDados.MultiPage1.Pages(10).SButPIFE.Value
    For Each mPI In PIs
        If (mPI.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Text)) And A <> 0 Then
            If A > 0 Then
                mPI.Fator = mPI.Fator * 1.1
            Else
                mPI.Fator = mPI.Fator * 0.9
            End If
            Call mPI.show
        End If
    Next
    FrmDados.MultiPage1.Pages(10).SButPIFE.Value = 0
End Sub

Private Sub Sel_JS_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    Dim YY As AcadEntity

```

```

FrmDados.Hide
ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
If FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Value = "" Then
    MsgBox ("Erro! Tente adicionar uma Junta Simples e tente novamente.")
    GoTo SC1
End If
n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Value)
Set YY = JSs(n).desenho
For Each mJS In JSs
    If mJS.desenho.Handle = XX.Handle Then
        mJS.desenho = YY
    End If
Next
JSs(n).desenho = XX
Call imprime_JS
SC1:
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub Sel_MA_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    Dim YY As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Value = "" Then
        MsgBox ("Erro! Tente adicionar um conjunto Mola-Amortecedor e tente novamente.")
        GoTo SC1
    End If
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Value)
    Set YY = MAs(n).desenho
    For Each mMAs In MAs
        If mMAs.desenho.Handle = XX.Handle Then
            mMAs.desenho = YY
        End If
    Next
    MAs(n).desenho = XX
    Call imprime_MA
SC1:
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub SelCOCI_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    'thisdrawing.activate
    If CORPOS.count < 1 Then
        MsgBox ("Erro! Não existem corpos para seleção.")
    Else
        v = False
        ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.desenho.Handle = XX.Handle Then
                FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCI = CStr(mcorpo.num)
                v = True
            End If
        Next
        If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Seleccionado não é um corpo")
        Call imprime_corpos
    End If
    Call imprime_CO

```

```
FrmDados.show
End Sub
```

```
Private Sub SelCOJ_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    If CORPOS.count < 1 Then
        MsgBox ("Erro! Não existem corpos para seleção.")
    Else
        v = False
        ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.desenho.Handle = XX.Handle Then
                FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJ = CStr(mcorpo.num)
                v = True
            End If
        Next
        If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um corpo")
        Call imprime_corpos
    End If
    Call imprime_CO
    FrmDados.show
End Sub
```

```
Private Sub SelCOJRI_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
    If JRs.count < 1 Then
        MsgBox ("Erro! Não existem juntas para seleção.")
    Else
        v = False
        ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
        For Each mJR In JRs
            If mJR.desenho.Handle = XX.Handle Then
                FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI = CStr(mJR.num)
                v = True
            End If
        Next
        If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um junta de rotação válida")
        Call imprime_corpos
    End If
    Call imprime_CO
    FrmDados.show
End Sub
```

```
Private Sub SelCOJRI_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
    If JRs.count < 1 Then
        MsgBox ("Erro! Não existem juntas para seleção.")
    Else
        v = False
        ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
        For Each mJR In JRs
            If mJR.desenho.Handle = XX.Handle Then
                FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI = CStr(mJR.num)
                v = True
            End If
        Next
    End If
    Call imprime_CO
    FrmDados.show
End Sub
```

```

    End If
Next
If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um junta de rotação válida")
Call imprime_corpos
End If
Call imprime_CO
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub SelENCI_Click()
Dim basePnt As Variant
Dim XX As AcadEntity
FrmDados.Hide
If CORPOS.count < 1 Then
MsgBox ("Erro! Não existem corpos para seleção.")
Else
v = False
ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
For Each mcorpo In CORPOS
If mcorpo.desenho.Handle = XX.Handle Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENCI = CStr(mcorpo.num)
v = True
End If
Next
If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um corpo")
Call imprime_corpos
End If
Call imprime_EN
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub SelENCJ_Click()
Dim basePnt As Variant
Dim XX As AcadEntity
FrmDados.Hide
If CORPOS.count < 1 Then
MsgBox ("Erro! Não existem corpos para seleção.")
Else
v = False
ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
For Each mcorpo In CORPOS
If mcorpo.desenho.Handle = XX.Handle Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENCJ = CStr(mcorpo.num)
v = True
End If
Next
If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um corpo")
Call imprime_corpos
End If
Call imprime_EN
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub SelENJRI_Click()
Dim basePnt As Variant
Dim XX As AcadEntity
FrmDados.Hide
ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
If JRs.count < 1 Then
MsgBox ("Erro! Não existem juntas para seleção.")
Else
v = False

```

```

ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
For Each mJR In JRs
    If mJR.desenho.Handle = XX.Handle Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRI = CStr(mJR.num)
        v = True
    End If
Next
If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um junta de rotação válida")
Call imprime_corpos
End If
Call imprime_EN
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub SelENJRJ_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    'thisdrawing.activate
    If JRs.count < 1 Then
        MsgBox ("Erro! Não existem juntas para seleção.")
    Else
        v = False
        ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
        For Each mJR In JRs
            If mJR.desenho.Handle = XX.Handle Then
                FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRJ = CStr(mJR.num)
                v = True
            End If
        Next
        If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um junta de rotação válida")
        Call imprime_corpos
    End If
    Call imprime_EN
    FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub SelJM_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    Dim YY As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Value = "" Then
        MsgBox ("Erro! Tente adicionar uma Junta Motriz e tente novamente.")
        GoTo SC1
    End If
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Value)
    Set YY = JMs(n).desenho
    For Each mJM In JMs
        If mJM.desenho.Handle = XX.Handle Then
            mJM.desenho = YY
        End If
    Next
    JMs(n).desenho = XX
    Call imprime_JM
SC1:
    FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub AdicionaJR_Click()
    Dim mcorpo As corpo

```

```

Dim PONTO As Variant
Dim soma As Double
Dim PathName As String
Dim insertedblock As AcadExternalReference
Call captura_JR
'thisdrawing.activate
FrmDados.Hide
PONTO = ThisDrawing.Utility.GetPoint( "Selecione um ponto:")
FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.AddItem (CStr(JRs.count + 1))
Set mJR = New JR
mJR.num = JRs.count + 1
mJR.xi = PONTO(0)
mJR.yi = PONTO(1)
PathName = DesenhosDir + "JR.dwg"
If JRs.count > 0 Then
    Fator = JRs.Item(1).Fator
Else
    Fator = 0
    For Each mcorpo In CORPOS
        Fator = Fator + mcorpo.Fator
    Next
    Fator = 0.5 * Fator / CORPOS.count
End If

Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "#JR", PONTO, 1, 1, 1, 0, False)
insertedblock.LAYER = "FSSM_JR"
insertedblock.color = acByLayer
mJR.desenho = insertedblock
'mJR.cor = cor_JR
mJR.CORPOI = CORPOS.Item(1)
mJR.CORPOJ = CORPOS.Item(2)
mJR.Fator = Fator
JRs.Add Item:=mJR ', Key:=CStr(i)
FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text = CStr(mJR.num)

Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
FrmDados.show
End Sub

Private Sub AdicionaMA_Click()
    Dim pontoInicial, pontofinal As Variant
    Dim PONTO(2) As Double
    Dim PathName As String
    Dim insertedblock As AcadExternalReference
    On Error GoTo erro1
    FrmDados.Hide
    pontoInicial = ThisDrawing.Utility.GetPoint( "Selecione um ponto:")
    pontofinal = ThisDrawing.Utility.GetPoint( "Selecione um ponto:")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.AddItem (CStr(MAs.count + 1))
    Set mMA = New MA
    mMA.num = MAs.count + 1
    mMA.xi = pontoInicial(0)
    mMA.yi = pontoInicial(1)
    mMA.XJ = pontofinal(0)
    mMA.YJ = pontofinal(1)
    PONTO(0) = (pontoInicial(0) + pontofinal(0)) / 2
    PONTO(1) = (pontoInicial(1) + pontofinal(1)) / 2
    ang = angulo(mMA.xi, mMA.yi, mMA.XJ, mMA.YJ)
    PathName = DesenhosDir + "ma.dwg"
    Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "#MA", PONTO, mMA.comp, mMA.comp, 1, ang,
False)
    insertedblock.LAYER = "FSSM_MA"

```

```

insertedblock.color = acByLayer
mMA.desenho = insertedblock
mMA.CORPOI = CORPOS.Item(1)
mMA.CORPOJ = CORPOS.Item(2)
MAs.Add Item:=mMA ', Key:=CStr(i)
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text = CStr(mMA.num)
Call imprime_MA
Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
erro1:
    FrmDados.show
End Sub
Private Sub adicionaEN_Click()
'Adiciona par de Engrenagem
    Dim i As Integer
    Call captura_EN
    If CORPOS.count > 1 And JRs.count > 1 Then
        Set mEN = New EN
        mEN.CORPOI = CORPOS(1)
        mEN.CORPOJ = CORPOS(2)
        mEN.JRI = JRs(1)
        mEN.JRJ = JRs(2)
        mEN.num = ENs.count + 1
        mEN.DNI = 0
        mEN.DNJ = 0
        ENs.Add Item:=mEN ', Key:=CStr(i)
    Else
        MsgBox ("ERRO! Corpos e/ou Juntas de revolução insuficientes.")
    End If
    FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Clear
    i = 0
    For Each mEN In ENs
        i = i + 1
        FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.AddItem (i)
    Next
    FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Value = i
    Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
End Sub

Private Sub ApagaC_Click()
'Apaga Corpo
    i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text)
    If i > 0 Then
        CORPOS.Item(i).desenho.Delete
        CORPOS.Remove i
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.num > i Then mcorpo.num = mcorpo.num - 1
        Next
        If CORPOS.count >= 1 Then FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text = "1"
        Call Atualiza_FrmDados(TAB_OLD)
    End If
End Sub

Private Sub cboxCORPO_change()
    Call imprime_corpos
End Sub

Private Sub cboxCORPO_DropButton_Click()
    Call captura_corpo
End Sub
Private Sub CBoxMA_Change()
    Call imprime_MA
End Sub

```

```

Private Sub CBoxMA_DropButtonClick()
    Call captura_MA
End Sub
Private Sub CBoxMACI_Change()
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Text)
    If n > CORPOS.count Then n = CORPOS.count
    For Each mMMA In MAs
        If (mMA.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text)) And (n > 0) Then
            mMMA.CORPOI = CORPOS(n)
        End If
    Next
    Call imprime_MA
End Sub
Private Sub cboxmaCI_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Text <> "") And (FrmDatos.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Text <> "") Then
        Call captura_MA
    End If
End Sub

Private Sub CBoxMACJ_Change()
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Text)
    If n > CORPOS.count Then n = CORPOS.count
    For Each mMMA In MAs
        If (mMA.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text)) And (n > 0) Then
            mMMA.CORPOJ = CORPOS(n)
        End If
    Next
    Call imprime_MA
End Sub

Private Sub cboxmaMACJ_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Text <> "") And (FrmDatos.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Text <> "") Then
        Call captura_MA
    End If
End Sub

Private Sub CBoxPI_Change()
    Call imprime_PI
End Sub

Private Sub CboxPI_DropButtonClick()
    Call captura_PI
End Sub

Private Sub cboxPIC_Change()
    Dim mPI As New PI
    If FrmDatos.MultiPage1.Value = 10 Then
        n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(10).CboxPIC.Text)
        If n > CORPOS.count Then n = CORPOS.count
        For Each mPI In PIs
            If (mPI.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Text)) And (n > 0) Then
                mPI.corpo = CORPOS(n)
            End If
        Next
        Call imprime_PI
    End If
End Sub

Private Sub cboxPIC_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(10).CboxPIC.Text <> "") Then
        Call captura_PI
    End If
End Sub

```

End Sub

Private Sub cboxJSC_Change()

Dim n As Integer

Dim mJS As New JS

ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)

If FrmDados.MultiPage1.Value = 4 Then

n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSC.Text)

If n > CORPOS.count Then n = CORPOS.count

For Each mJS In JSs

If (mJS.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Text)) And (n > 0) Then

mJS.corpo = CORPOS(n)

Call mJS.move(CORPOS(n).X, CORPOS(n).Y, 0)

End If

Next

End If

Call imprime_JS

End Sub

Private Sub cboxJSC_DropButtonClick()

If (FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSC.Text <> "") Then

Call captura_JS

End If

End Sub

Private Sub abrirARQ_Click()

'Abre caixa de diálogo e carrega arquivo

Dim Filter As String

Dim DialogTitle As String

Dim ELE As AcadEntity

Filter = "Simulation Files (*.fssm)" + Chr\$(0) + "*.fssm" + Chr\$(0) + "All Files (*.*)" + Chr\$(0) + " *.*" + Chr\$(0)

DialogTitle = "Open File"

nome_arq = ShowOpen(Filter, initialdir, DialogTitle)

Call abrir(nome_arq)

End Sub

Private Sub Executar_Click()

'Executa simulação

Dim v As Boolean

Dim retval

On Error GoTo erro1

ChDir initialdir

FrmDados.Controls.SendToBack

FrmDados.Hide

ThisDrawing.Activate

ThisDrawing.Regen acActiveViewport

Call SMs(1).captura

'Verifica se o arquivo dados.aps existe e o apaga, caso ele exista.

Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")

v = fs.fileexists(initialdir + "dados.aps")

If v = True Then Kill (initialdir + "dados.aps")

'Salva o arquivo dados.aps contendo todos os dados de configuração da simulação

Call Salvar(initialdir + "dados.aps")

'Verifica se o arquivo libera.aps existe e o apaga, caso ele exista

Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")

v = fs.fileexists(initialdir + "libera.aps")

DoEvents

If v = True Then Kill (initialdir + "libera.aps")

DoEvents

```

'Verifica se o arquivo result.res existe e o apaga, caso ele exista
v = fs.fileexists(ResultDir + "result.res")
If v = True Then Kill ResultDir + "result.res"

DoEvents

'Executa o programa executável FSSM_EXEC.exe (processamento).
'Quando este programa terminar o processamento, ele cria um arquivo vazio de nome libera.aps indicando o término.
retval = Shell(initialdir + "FSSM_EXEC.EXE", 1)
DoEvents
Do
  DoEvents
  'Verificao continuamente se o arquivo libera.aps foi criado, caso sim, o loop termina.
  v = fs.fileexists(initialdir + "libera.aps")
Loop Until v

PathName = ResultDir + "result.res"
SMs(1).arq = PathName
SMs(1).vel = 50
SMs(1).atualiza
If FrmDados.MultiPage1.Pages(0).CBoxARQTA = "Estatica" Then
  FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 0
Else
  FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 1
End If
FrmSimulacao.show

erro1: If Err.Number <> 0 Then
  MsgBox "Erro no Processamento"
End If
End Sub

Private Sub SalvarARQ_Click()
  Dim Filter As String
  Dim DialogTitle As String
  If nome_arq <> "" Then
    Call Salvar(nome_arq)
  Else
    Filter = "Simulation Files (*.fssm)" + Chr$(0) + "/*.fssm" + Chr$(0) + "All Files (*.*)" + Chr$(0) + "/*.*" + Chr$(0)
    DialogTitle = "Save File"
    nome_arq = ShowSave(Filter, DadosDir, DialogTitle)
  End If
  If nome_arq <> "" Then Call Salvar(nome_arq)
End Sub

Private Sub MultiPage1_Change()
  ThisDrawing.Activate
  ThisDrawing.Regen (1)
  FrmDados.Repaint
  Atualiza_FrmDados (TAB_OLD)
  TAB_OLD = FrmDados.MultiPage1.Value
End Sub

Private Sub CBoxJR_Change()
  Call imprime_JR
End Sub

Private Sub cboxJR_DropButtonClick()
  Call captura_JR
End Sub

Private Sub cboxJRCL_Change()

```

```

Dim n As Integer
ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCl.Text)
For Each mJR In JRs
    If (mJR.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text)) And (n > 0) Then
        mJR.CORPOI = CORPOS(n)
    End If
Next
Call imprime_JR
End Sub

Private Sub cboxJRCl_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCl.Text <> "") And (FrmDatos.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCl.Text <> "") Then
        Call captura_JR
    End If
End Sub

Private Sub CcboxENCI_Change()
    Dim n As Integer
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(6).cCBoxENCI.Text)
    For Each mEN In ENs
        If (mEN.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Text)) And (n > 0) Then
            mEN.CORPOI = CORPOS(n)
        End If
    Next
    Call imprime_EN
End Sub

Private Sub CcboxENCI_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(6).cCBoxENCI.Text <> "") And (FrmDatos.MultiPage1.Pages(6).CBoxENCJ.Text <> "") Then
        Call captura_EN
    End If
End Sub

Private Sub cboxENCJ_Change()
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
    Dim mEN As New EN
    Dim n As Integer
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(6).CBoxENCJ.Text)
    For Each mEN In ENs
        If (mEN.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Text)) And (n > 0) Then
            mEN.CORPOJ = CORPOS(n)
        End If
    Next
    Call imprime_EN
End Sub

Private Sub cboxENCJ_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(6).cCBoxENCI.Text <> "") And (FrmDatos.MultiPage1.Pages(6).CBoxENCJ.Text <> "") Then
        Call captura_EN
    End If
End Sub

Private Sub cboxJRCJ_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCl.Text <> "") And (FrmDatos.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Text <> "") Then
        Call captura_JR
    End If
End Sub

Private Sub cboxJRCJ_Change()
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)

```

```

Dim mJR As New JR
Dim n As Integer
n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Text)
If n > CORPOS.count Then n = CORPOS.count
For Each mJR In JRs
    If (mJR.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text)) And (n > 0) Then
        mJR.CORPOJ = CORPOS(n)
    End If
Next
Call imprime_JR
End Sub

Private Sub cboxCOCJ_Change()
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
    Dim mCO As New CO
    Dim n As Integer
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCJ.Text)
    For Each mCO In COss
        If (mCO.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Text)) And (n > 0) Then
            mCO.CORPOJ = CORPOS(n)
        End If
    Next
    Call imprime_CO
End Sub

Private Sub cboxCOCJ_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCI.Text <> "") And (FrmDatos.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCJ.Text <> "") Then
        Call captura_CO
    End If
End Sub

Private Sub CBoxJT_Change()
    Call imprime_JT
End Sub

Private Sub CboxJT_DropButtonClick()
    Call captura_JT
End Sub

Private Sub cboxJTCI_Change()
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
    Dim n As Integer
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCI.Text)
    For Each mJT In JTs
        If (mJT.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text)) And (n > 0) Then
            mJT.CORPOI = CORPOS(n)
        End If
    Next
    Call imprime_JT
End Sub

Private Sub cboxJTCI_DropButtonClick()
    If (FrmDatos.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCI.Text <> "") And (FrmDatos.MultiPage1.Pages(3).cboxJT CJ.Text <> "") Then
        Call captura_JT
    End If
End Sub

Private Sub cboxJT CJ_Change()
    ThisDrawing.Regen (acActiveViewport)
    Dim n As Integer
    n = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(3).cboxJT CJ.Text)
    For Each mJT In JTs
        If (mJT.num = Val(FrmDatos.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text)) And (n > 0) Then

```

```

        mJT.CORPOJ = CORPOS(n)
    End If
Next
Call imprime_JT
End Sub

Private Sub cboxJT CJ_DropButton Click()
    If (FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJT CI.Text <> "") And (FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJT CJ.Text <> "") Then
        Call captura_JT
    End If
End Sub

Private Sub ProximoARQ_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub ProximoC_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub ProximoJR_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub
Private Sub ProximoJT_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub ProximoJS_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub proximoMA_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub proximoEN_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub proximoCO_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub ProximoJM_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub ProximoFU_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub ProximoPI_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value + 1
End Sub

Private Sub SalvarComoARQ_Click()
    Dim Filter As String
    Dim DialogTitle As String
    Filter = "Simulation Files (*.fssm)" + Chr$(0) + "*.fssm" + Chr$(0) + "All Files (*.*)" + Chr$(0) + " *.*" + Chr$(0)
    DialogTitle = "Save File"
    nome_arq = ShowSave(Filter, initialdir, DialogTitle)
    If nome_arq <> "" Then Call Salvar(nome_arq)

```

```

FrmDados.Caption = "FSSM - Entrada de Dados - " + nome_arq
FrmSimulacao.Caption = "Resultado da Simulação - " + nome_arq
End Sub

```

```

Static Sub SEL_CORPO_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    Dim YY As AcadEntity
    Dim n As Integer
    FrmDados.Hide
    On Error GoTo erro1
    ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"

```

```

    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)
    Set YY = CORPOS(n).desenho
    For Each mcorpo In CORPOS
        If mcorpo.desenho.Handle = XX.Handle Then
            mcorpo.desenho = YY
        End If
    Next
    CORPOS(n).desenho = XX
    Call imprime_corpos
erro1:
    If Err.Number <> 0 Then
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value = "" Then
            MsgBox ("Erro! Adicione um corpo e tente novamente.")
        Else
            MsgBox "Erro na função Seleção"
        End If
        Err.Number = 0
    End If
    FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub SelJMC_Click()
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    If CORPOS.count < 1 Then
        MsgBox ("Erro! Não existem corpos para seleção.")
    Else
        v = False
        ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.desenho.Handle = XX.Handle Then
                FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxJMC = CStr(mcorpo.num)
                v = True
            End If
        Next
        If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um corpo")
        Call imprime_corpos
    End If
    Call imprime_JM
    FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub SEL_JUNTA_R_Click()
'Seleciona junta de revolução pré-existente
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    Dim YY As AcadEntity
    Dim n As Integer

```

```

FrmDados.Hide
ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
If FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Value = "" Then
    MsgBox ("Erro! Tente adicionar uma Junta de Revolução e tente novamente.")
    GoTo SC1
End If
n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Value)
Set YY = JR(n).desenho
For Each mJR In JRs
    If mJR.desenho.Handle = XX.Handle Then
        mJR.desenho = YY
    End If
Next
JR(n).desenho = XX
Call imprime_JR
SC1:
    FrmDados.show

End Sub

Private Sub SelJSC_Click()
'Seleciona o corpo onde se deseja incluir Junta Simples
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    If CORPOS.count < 1 Then
        MsgBox ("Erro! Não existem corpos para seleção.")
    Else
        v = False
        ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.desenho.Handle = XX.Handle Then
                FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSC = CStr(mcorpo.num)
                v = True
            End If
        Next
        If v = False Then MsgBox ("ERRO! Objeto Selecionado não é um corpo")
        Call imprime_corpos
    End If
    Call imprime_JS
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub SelJT_Click()
'Seleciona Junta de Translação
    Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    Dim YY As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Value = "" Then
        MsgBox ("Erro! Tente adicionar uma Junta de Translação e tente novamente.")
        GoTo SC1
    End If
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Value)
    Set YY = JT(n).desenho
    For Each mJT In JTs
        If mJT.desenho.Handle = XX.Handle Then
            mJT.desenho = YY
        End If
    Next
    JTs(n).desenho = XX

```

```

Call imprime_JT
SC1:
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub SEL_PHL_Click()
'Seleciona manualmente o ângulo do eixo de um determinado corpo
    FrmDados.Hide
    Dim dx, dy, x2, y2, phi As Double
    Dim Pnt1, Pnt2 As Variant
    On Error GoTo erro1
    Pnt1 = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Enter a point 1: ")
    Pnt2 = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Enter a point 2: ")
    phi = angulo(Pnt1(0), Pnt1(1), Pnt2(0), Pnt2(1))
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPPHi.Text = Format(phi * 180 / PI, "0.00000")
    i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text)
    Call CORPOS.Item(i).moveEixo(CORPOS.Item(i).X, CORPOS.Item(i).Y, phi)
    CORPOS(i).PHI = phi
    ThisDrawing.Regen acActiveViewport
    Call imprime_corpos
erro1:
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub Sel_PIXY_Click()
'Seleciona a coordenada XY do Ponto de Interesse
Dim basePnt As Variant
    Dim XX As AcadEntity
    FrmDados.Hide
    ThisDrawing.Utility.GetEntity XX, basePnt, "Select an object"
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Value = "" Then
        MsgBox ("Erro! Tente adicionar e tente novamente.")
        GoTo SPI1
    Else: n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Value)
    End If
    For Each mPI In PIs
        If PIs(n).desenho.Handle = XX.Handle Then MsgBox ("Junta já selecionada")
    Next
    PIs(n).desenho = XX
    Call imprime_PI
SPI1:
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub SEL_XY_Click()
'Seleciona as coordenadas XY de um corpo pré-existente
    Dim COR As AcColor
    On Error GoTo erro1
    FrmDados.Hide
    For Each mcorpo In CORPOS
        If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text) Then
            ThisDrawing.Application.Update
            Dim returnPnt As Variant
            returnPnt = ThisDrawing.Utility.GetPoint(, "Entre com um ponto: ")
            FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPXi.Text = Format(returnPnt(0), "0.00000")
            FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPYi.Text = Format(returnPnt(1), "0.00000")
            mcorpo.xi = returnPnt(0)
            mcorpo.yi = returnPnt(1)
        End If
    Next
    ThisDrawing.Regen acActiveViewport
    If CORPOS.count < 1 Then MsgBox "Não existem corpos para seleção. Click em adicionar para criar corpos."

```

```

Call imprime_corpos
erro1:
  FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub TButJRCI_Click()
'Habilita a edição manual das coordenadas QUI e NETA do corpo I, na aba Junta de Revolução
Dim mcorpo As corpo
If FrmDados.MultiPage1.Pages(2).TButJRCI.Value = True Then
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCI.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRQUII.Enabled = True
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRNETAJ.Enabled = True
  If TButJRCJ.Value = True Then TButJRCJ.Value = False
  For Each mcorpo In CORPOS
    mcorpo.desenho.Highlight (False)
    If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCI.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
  Next
Else
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRQUII.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRNETAJ.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCI.Enabled = True
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Enabled = True
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Enabled = True
  For Each mJR In JRs
    If mJR.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text) Then
      mJR.QUII = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRQUII.Text)
      mJR.NETAJ = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRNETAJ.Text)
      Call mJR.atualiza_XY(True)
    End If
  Next
  Call imprime_JR
End If
FrmDados.Hide
FrmDados.show
End Sub

```

```

Private Sub TButJRCJ_Click()
'Habilita a edição manual das coordenadas QUI e NETA do corpo J, na aba Junta de Revolução
Dim mcorpo As corpo
If FrmDados.MultiPage1.Pages(2).TButJRCJ.Value = True Then
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCI.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRQUIJ.Enabled = True
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRNETAJ.Enabled = True
  TButJRCI.Value = False
  For Each mcorpo In CORPOS
    mcorpo.desenho.Highlight (False)
    If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
  Next
Else
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRQUIJ.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRNETAJ.Enabled = False
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCI.Enabled = True
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Enabled = True
  FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Enabled = True
  For Each mJR In JRs
    If mJR.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text) Then
      mJR.QUIJ = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRQUIJ.Text)
      mJR.NETAJ = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRNETAJ.Text)
    End If
  Next
End If
FrmDados.Hide
FrmDados.show
End Sub

```

```

        Call mJR.atualiza_XY(False)
    End If
Next
Call imprime_JR
End If
FrmDados.Hide
FrmDados.show
End Sub

```

```
Private Sub TButJTCL_Click()
```

```
'Habilita a edição manual das coordenadas QUI e NETA do corpo I, na aba Junta de Translação
```

```
Dim mcorpo As corpo
```

```
If FrmDados.MultiPage1.Pages(3).TButJTCL.Value = True Then
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCJ.Enabled = False
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Enabled = False
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIIP.Enabled = True
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIP.Enabled = True
```

```
    If TButJTCJ.Value = True Then TButJTCJ.Value = False
```

```
    For Each mcorpo In CORPOS
```

```
        mcorpo.desenho.Highlight (False)
```

```
        If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCL.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
```

```
    Next
```

```
Else
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIIP.Enabled = False
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIP.Enabled = False
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCJ.Enabled = True
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Enabled = True
```

```
    For Each mJT In JTs
```

```
        If mJT.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text) Then
```

```
            mJT.QUIIP = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIIP.Text)
```

```
            mJT.NETAIP = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIP.Text)
```

```
            mJT.QUIJP = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIJP.Text)
```

```
            mJT.NETAJP = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAJP.Text)
```

```
            Call mJT.atualiza_XY(True)
```

```
        End If
```

```
    Next
```

```
    Call imprime_JT
```

```
End If
```

```
FrmDados.Hide
```

```
FrmDados.show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub TButJTCJ_Click()
```

```
Dim mcorpo As corpo
```

```
If FrmDados.MultiPage1.Pages(3).TButJTCJ.Value = True Then
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCL.Enabled = False
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIJP.Enabled = True
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAJP.Enabled = True
```

```
    TButJTCL.Value = False
```

```
    For Each mcorpo In CORPOS
```

```
        mcorpo.desenho.Highlight (False)
```

```
        If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCJ.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
```

```
    Next
```

```
Else
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIJP.Enabled = False
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAJP.Enabled = False
```

```
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCL.Enabled = True
```

```
    For Each mJT In JTs
```

```
        If mJT.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text) Then
```

```
            mJT.QUIIP = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIIP.Text)
```

```
            mJT.NETAIP = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIP.Text)
```

```

        mJT.QUIJP = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIJP.Text)
        mJT.NETAJP = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAJP.Text)
        Call mJT.atualiza_XY(False)
    End If
Next
Call imprime_JT
End If
FrmDados.Hide
FrmDados.show
End Sub

Private Sub TButMACI_Click()
    Dim mcorpo As corpo
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TButMACI.Value = True Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Enabled = True
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAI.Enabled = True
        If TButMACJ.Value = True Then TButMACJ.Value = False
        For Each mcorpo In CORPOS
            mcorpo.desenho.Highlight (False)
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
        Next
    Else
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAI.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Enabled = True
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Enabled = True
        For Each mMA In MAs
            If mMA.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text) Then
                mMA.QUII = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Text)
                mMA.NETAI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAI.Text)
                mMA.QUIJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUIJ.Text)
                mMA.NETAJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Text)
                Call mMA.atualiza_XY(0)
            End If
        Next
        Call imprime_MA
    End If
    FrmDados.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub TButMACJ_Click()
    Dim mcorpo As corpo
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TButMACJ.Value = True Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Enabled = True
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Enabled = True
        TButMACI.Value = False
        For Each mcorpo In CORPOS
            mcorpo.desenho.Highlight (False)
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
        Next
    Else
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Enabled = True
        For Each mMA In MAs
            If mMA.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text) Then
                mMA.QUII = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Text)

```

```

        mMA.NETAI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAI.Text)
        mMA.QUIJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUIJ.Text)
        mMA.NETAJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Text)
        Call mMA.atualiza_XY(1)
    End If

    Next
    Call imprime_MA
End If
FrmDados.Hide
FrmDados.show
End Sub

Private Sub TButFUCI_Click()
    Dim mcorpo As corpo
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUIMP.Value = False Then
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCI.Value = True Then
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCJ.Enabled = False
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Enabled = False
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Enabled = True
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Enabled = True
            If TButFUCJ.Value = True Then TButFUCJ.Value = False
            For Each mcorpo In CORPOS
                mcorpo.desenho.Highlight (False)
                If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCI.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
            Next
        Else
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Enabled = False
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Enabled = False
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCJ.Enabled = True
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Enabled = True
            For Each mFU In FUs
                If mFU.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text) Then
                    mFU.QUII = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Text)
                    mFU.NETAI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Text)
                    mFU.QUIJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Text)
                    mFU.NETAJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Text)
                    Call mFU.atualiza_XY(0)
                End If
                Call imprime_FU
            Next
        End If
    Else
        FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Enabled = True
        FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Enabled = True
        FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Enabled = True
        FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Enabled = True
    End If
    FrmDados.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub TButFUCJ_Click()
    Dim mcorpo As corpo
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUIMP.Value = False Then
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCJ.Value = True Then
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCI.Enabled = False
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Enabled = True
            FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Enabled = True
            TButFUCI.Value = False
            For Each mcorpo In CORPOS
                mcorpo.desenho.Highlight (False)
            Next
        End If
    End If
End Sub

```

```

        If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCJ.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
    Next
Else
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCI.Enabled = True
    For Each mFU In FUs
        If mFU.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text) Then
            mFU.QUII = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Text)
            mFU.NETAI = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Text)
            mFU.QUIJ = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Text)
            mFU.NETAJ = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Text)
            Call mFU.atualiza_XY(1)
        End If
        Call imprime_FU
    Next
End If

Else
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Enabled = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Enabled = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Enabled = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Enabled = True
End If
FrmDados.Hide
FrmDados.show
End Sub

Private Sub TButPIC_Click()
    Dim mcorpo As corpo
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(10).TButPIC.Value = True Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CboxPIC.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPIQUI.Enabled = True
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPINETA.Enabled = True
        For Each mcorpo In CORPOS
            mcorpo.desenho.Highlight (False)
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CboxPIC.Text) Then mcorpo.desenho.Highlight (True)
        Next
    Else
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPIQUI.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPINETA.Enabled = False
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CboxPIC.Enabled = True
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Enabled = True
        For Each mPI In PIs
            If mPI.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Text) Then
                mPI.QUI = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPIQUI.Text)
                mPI.NETA = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPINETA.Text)
                Call mPI.atualiza_XY
            End If
        Next
        Call imprime_PI
    End If
    FrmDados.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub Terminar_Click()
    Call limpa_tags
    Unload FrmDados
End Sub

Private Sub TxtCODNI_AfterUpdate()

```

```

    TxtCODNI = Format(CDbI(TxtCODNI), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtCODNJ_AfterUpdate()
    TxtCODNJ = Format(CDbI(TxtCODNJ), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPDPHi_AfterUpdate()
    txtCPDPHi = Format(CDbI(txtCPDPHi), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPDXi_AfterUpdate()
    txtCPDXi = Format(CDbI(txtCPDXi), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPDYi_AfterUpdate()
    txtCPDYi = Format(CDbI(txtCPDYi), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtCPFator_Change()
    Call captura_corpo
End Sub

Private Sub txtCPFx_AfterUpdate()
    txtCPFx = Format(CDbI(txtCPFx), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPFY_AfterUpdate()
    txtCPFY = Format(CDbI(txtCPFY), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPM_AfterUpdate()
    txtCPM = Format(CDbI(txtCPM), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPMI_AfterUpdate()
    txtCPMI = Format(CDbI(txtCPMI), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPPHi_AfterUpdate()
    txtCPPHi = Format(CDbI(txtCPPHi), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPT_AfterUpdate()
    txtCPT = Format(CDbI(txtCPT), "0.00000")
End Sub

Private Sub txtCPXi_AfterUpdate()
    txtCPXi = Format(CDbI(txtCPXi), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtFUFator_Change()
    Call captura_FU
End Sub

Private Sub txtCPYi_AfterUpdate()
    txtCPYi = Format(CDbI(txtCPYi), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtDt_AfterUpdate()

```

```

FrmDados.MultiPage1.Pages(11).TxtDt = Format(CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(11).TxtDt), "0.00000")
SMs(1).DT = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(11).TxtDt)
End Sub

Private Sub TxtENDNI_AfterUpdate()
    FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNI = Format(CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNI), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtENDNJ_AfterUpdate()
    FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNJ = Format(CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNJ), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtJMacel_AfterUpdate()
    TxtJMacel = Format(CDb1(TxtJMacel), "0.00000")
End Sub
Private Sub TxtJMFactor_Change()
    Call captura_JM
End Sub

Private Sub TxtJMpos_AfterUpdate()
    TxtJMpos = Format(CDb1(TxtJMpos), "0.00000")
End Sub
Private Sub TxtJMvel_AfterUpdate()
    TxtJMvel = Format(CDb1(TxtJMvel), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtJRFactor_Change()
    Call captura_JR
End Sub

Private Sub TxtJSFactor_Change()
    Call captura_JS
End Sub

Private Sub TxtMAC_AfterUpdate()
    TxtMAC = Format(CDb1(TxtMAC), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtMACOMPI_AfterUpdate()
    TxtMACOMPI = Format(CDb1(TxtMACOMPI), "0.00000")
End Sub
Private Sub TxtMAF_AfterUpdate()
    TxtMAF = Format(CDb1(TxtMAF), "0.00000")
End Sub
Private Sub TxtMAK_AfterUpdate()
    TxtMAK = Format(CDb1(TxtMAK), "0.00000")
End Sub
Private Sub TxtPIFactor_Change()
    Call captura_PI
End Sub

Private Sub TxtTi_AfterUpdate()
    TxtTi = Format(CDb1(TxtTi), "0.00000")
End Sub

Private Sub TxtTf_AfterUpdate()
    TxtTf = Format(CDb1(TxtTf), "0.00000")
End Sub

Private Sub VoltarC_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub

```

```
Private Sub voltarFinal_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub
```

```
Private Sub VoltarFU_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub
```

```
Private Sub VoltarJM_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub
```

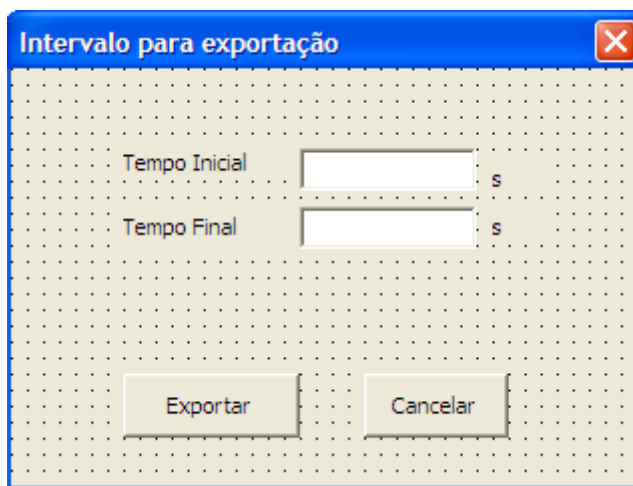
```
Private Sub VoltarJR_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub
```

```
Private Sub VoltarJS_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub
```

```
Private Sub VoltarJT_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub
```

```
Private Sub VoltarMA_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub
```

```
Private Sub VoltarPI_Click()
    FrmDados.MultiPage1.Value = FrmDados.MultiPage1.Value - 1
End Sub
```



Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de texto Tempo Inicial : TxtEXTi	Botão Exportar : CmdEXok
Caixa de texto Tempo Final : TxtEXTf	Botão Cancelar : CmdEXCancel

Figura L.18 – Formulário FrmExporta

Código fonte relativo do formulário FrmExporta:

```
Private Sub CmdEXCancel_Click()
    frmExporta.Hide
```

End Sub

Private Sub CmdEXok_Click()

'Exporta os resultados da simulação

Dim num As Integer

Dim T As Integer

arq1 = inicialdir + "Exporta\CP.txt"

arq2 = inicialdir + "Exporta\PI.txt"

arq3 = inicialdir + "Exporta\MA.txt"

arq4 = inicialdir + "Exporta\JR.txt"

arq5 = inicialdir + "Exporta\JT.txt"

If SMs(1).DT > 0 Then

num = Abs((SMs(1).tmax - SMs(1).tmin) / SMs(1).DT) + 1

Else

num = 1

End If

On Error GoTo erro1

Open arq1 For Output As #1

Open arq2 For Output As #2

Open arq3 For Output As #3

Open arq4 For Output As #4

Open arq5 For Output As #5

tt = SMs(1).tinicial

Print #1, "t, num, x, y, phi, dx, dy, dphi, ddx, ddy, ddphi, Patinagem"

Print #2, "t, num, x, y, dx, dy, ddx, ddy"

Print #3, "t, num, Comp, dcomp, K, C"

Print #4, "t, num, CI, FXI, FYI, NI, CJ, FXJ, FYJ, NJ"

Print #5, "t, num, CI, FXI, FYI, NI, CJ, FXJ, FYJ, NJ"

For T = 0 To num

If tt >= CDbI(TxtEXTi.Text) And tt <= CDbI(TxtEXTf.Text) Then

For Each mcorpo In CORPOS

Print #1, DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 0)); ";"; CStr(mcorpo.num); ";"; DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 1));
";"; DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 2)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 3)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 4)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 5)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 6)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 7)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 8)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 9)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATC(mcorpo.num, T, 10))

Next mcorpo

For Each mPI In PIs

Print #2, DblToStr(SMs(1).MATPI(mPI.num, T, 0)); ";"; CStr(mPI.num); ";"; DblToStr(SMs(1).MATPI(mPI.num, T, 1)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATPI(mPI.num, T, 2)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATPI(mPI.num, T, 3)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATPI(mPI.num, T, 4));
";"; DblToStr(SMs(1).MATPI(mPI.num, T, 5)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATPI(mPI.num, T, 6))

Next

For Each mMA In MAs

Print #3, DblToStr(SMs(1).MATMA(mMA.num, T, 0)); ";"; CStr(mMA.num); ";"; DblToStr(SMs(1).MATMA(mMA.num, T, 1));
";"; DblToStr(SMs(1).MATMA(mMA.num, T, 2)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATMA(mMA.num, T, 3)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATMA(mMA.num, T, 4))

Next

For Each mJR In JRs

Print #4, DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 0)); ";"; CStr(mJR.num); ";"; DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 1));
";"; DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 2)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 3)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 4)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 5)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 6)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 7)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATREV(mJR.num, T, 8))

Next

For Each mJT In JTs

Print #5, DblToStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T, 0)); ";"; CStr(mJT.num); ";"; DblToStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T, 1));
";"; DblToStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T, 2)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T, 3)); ";";
DblToStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T, 4)); ";"; CStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T, 5)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T,
6)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T, 7)); ";"; DblToStr(SMs(1).MATTRA(mJT.num, T, 8))

Next

End If

tt = tt + SMs(1).DT

Next T

```

erro1:
  Close #1
  Close #2
  Close #3
  Close #4
  Close #5
  frmExporta.Hide
End Sub

```

```

Private Sub UserForm_INITIALIZE()
  TxtEXTi.Text = Format(SMs(1).tinicial, "0.0000")
  TxtEXTf.Text = Format(SMs(1).Tfinal, "0.0000")
End Sub

```

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de texto Penetração Máxima : txtIMPd	Botão Exportar : CButFUOk
Caixa de texto Coef. de Amortecimento Máx. : txtIMPCmax	Botão Cancelar : CButFUCancel
Caixa de Texto Expoente : txtIMPe	
Caixa de Texto Constante Elástica (Rigidez) : txtIMPk	

Figura L.19 – Formulário FrmIMPACT

Código fonte relativo do formulário FrmIMPACT:

```

Private Sub CButFUCancel_Click()
  FrmIMPACT.Hide
  FrmDados.show
End Sub

Private Sub CButFUOk_Click()
  n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU)
  FUs(n).captura
  FrmIMPACT.Hide
  FrmDados.show
End Sub

```

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Tipo : CboxPNTipo	Caixa de Texto Coeficiente de Amortecimento : txtPNC
Caixa de texto Diâmetro Externo : txtPNDE	Botão OK : CButPNOK
Caixa de texto Largura : txtPNB	Botão Cancela : CButPNCancel
Caixa de Texto Altura : txtPNH	
Caixa de Texto Rigidez : txtPNK	
Botão Calcula K : CButPNRG	

Figura L.20 – Formulário FrmPneu

Código fonte relativo ao formulário FrmPneu:

```

Private Sub CboxPnTipo_Change()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO)
    CORPOS(n).PNTIPO = CboxPNTipo
End Sub

Private Sub CButPNCancel_Click()
    FrmPneu.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub CButPNOK_Click()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO)
    CORPOS(n).captura
    FrmPneu.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub CButPNRG_Click()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text)
    FrmRigidez.TxtRGDE = Format(CDb1(FrmPneu.TxtPNDE) / 0.0254, "0.000")
    FrmRigidez.TxtRGB = Format(CDb1(FrmPneu.TxtPNB) / 0.0254, "0.000")
    FrmRigidez.TxtRGA = Format(CDb1(CORPOS(n).PNIdade), "")
    FrmRigidez.TxtRGP = Format(CDb1(CORPOS(n).PNPressao), "0.0000")
    FrmRigidez.TxtRGK = ""
    FrmRigidez.show
End Sub

Private Sub UserForm_INITIALIZE()

```

```

CboxPNTipo.AddItem ("Radial")
CboxPNTipo.AddItem ("Diagonal")
End Sub

```

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de texto Diâmetro Externo - D : txtRGDE	Caixa de Texto Rigidez - K* : txtRGK
Caixa de texto Largura - B : txtRGB	Botão Calcula : CButRGCalcula
Caixa de Texto Idade - A : txtRGA	Botão OK : CButRGOK
Caixa de Texto Pressão - P : txtRGP	Botão Cancela : CButRGCancel

Figura L.21 – Formulário FrmRigidez

Código fonte do formulário FrmRigidez:

```

Private Sub CButRGCalcula_Click()
    b = CDbI(txtRGB)
    A = CDbI(txtRGA)
    de = CDbI(txtRGDE)
    p = CDbI(txtRGP)
    K = 2 * (172 - 1.77 * b + 5.6 * A + 0.34 * de * b * p)
    TxtRGK = Format(K, "0.00000")
End Sub

Private Sub CButRGCancel_Click()
    FrmRigidez.Hide
End Sub

Private Sub CButRGOK_Click()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text)
    If FrmRigidez.TxtRGK <> "" Then FrmPneu.TxtPNK = Format(CDbI(FrmRigidez.TxtRGK) * 1000, "0.00")
    CORPOS(n).captura
    FrmRigidez.Hide
End Sub

```

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de texto Amplitude - a : txtSHFa	Caixa de Texto Deslocamento médio - Ym : txtSHFYm
Caixa de texto Frequência - W : txtSHFw	Botão OK : CButSHFOK
Caixa de Texto Fase do deslocamento - Xo : txtSHFXo	Botão Cancela : CButSHFCancela
Caixa de Texto Fase harmônica - Phi : txtSHFPhi	

Figura L.22 – Formulário FrmSHF

Código fonte do formulário FrmSHF:

```

Private Sub CButSHFCancela_Click()
    FrmSHF.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub CButSHFOK_Click()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)
    FUs(n).captura
    FrmSHF.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub UserForm_INITIALIZE()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text)
    If n > 0 Then
        FrmSHF.TxtSHFa = FUs(n).SHFA
        FrmSHF.TxtSHFw = FUs(n).SHFW
        FrmSHF.TxtSHFX0 = FUs(n).SHFX0
        FrmSHF.TxtSHFPhi = FUs(n).SHFPHI
        FrmSHF.TxtSHFYm = FUs(n).SHFYm
    End If
End Sub

```

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Tipo : CBoxDSTipo	Botão Captura traçado : CButDSCaptura
Caixa de texto Índice de Cone : txtDSIC	Botão Ver Pontos : TButDSPreview
Caixa de Texto DeltaX : txtDSDeltaX	Botão OK : CButDSOK
	Botão Cancela : CButDSCancelar

Figura L.23 – Formulário FrmSolo

Código fonte relativo ao formulário FrmSolo

```

Private Sub CBoxDSTipo_Change()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)
    CORPOS(n).SLtipo = CBoxDSTipo
End Sub

Private Sub CButDSCaptura_Click()
    Dim returnObj As AcadObject
    Dim basePnt As Variant
    On Error GoTo erro1
    FrmSolo.Hide
    ThisDrawing.Activate
    ThisDrawing.Utility.GetEntity returnObj, basePnt, "Select a polyline"
    If Err <> 0 Then
        If returnObj.EntityName <> "AcDbPolyline" Then
            MsgBox "You did not select a polyline"
        End If
        Exit Sub
    End If
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)
    CORPOS(n).desenho = returnObj
    Call CORPOS(n).SLCria_pontos
erro1:
    FrmSolo.show
End Sub

Private Sub CButDSCancelar_Click()
    FrmSolo.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub CButDSOK_Click()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)

```

```

CORPOS(n).SLIC = CDbI(TxtDSIC)
CORPOS(n).captura
FrmSolo.Hide
FrmDados.show
End Sub

Private Sub CPCAD_Click()
    FrmSolo.Hide
    frmCADSL.show
End Sub

Private Sub TButDSPreview_Click()
    On Error GoTo erro1:
    FrmSolo.Hide
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)
    If TButDSPreview = True Then
        CORPOS(n).SLVerPontos = True
    Else
        CORPOS(n).SLVerPontos = False
    End If
    ThisDrawing.Regen acActiveViewport
erro1:
    FrmSolo.show
End Sub

Private Sub TxtDSDeltaX_Change()
    On Error GoTo erro1:
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)
    If CORPOS(n).solo = True Then
        CORPOS(n).SLDeltaX = CDbI(TxtDSDeltaX)
        Call CORPOS(n).SLCria_pontos
        CORPOS(n).SLVerPontos = False
        If TButDSPreview = True Then
            CORPOS(n).SLVerPontos = True
        End If
        ThisDrawing.Regen acActiveViewport
    End If
erro1:
End Sub

Private Sub TxtdSIC_Change()
    'n = val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Value)
    'CORPOS(n).SLIC = Val(TxtDSIC)
End Sub

Private Sub UserForm_INITIALIZE()
    Dim ELE As AcadObject
    Dim DataTypeOUT As Variant
    Dim DataOUT As Variant
    CBoxDSTipo.AddItem ("Firme")
    CBoxDSTipo.AddItem ("Médico ou Agricultável")
    CBoxDSTipo.AddItem ("Leve ou Arenoso")
    CBoxDSTipo.AddItem ("Outros")
    On Error GoTo erro1
    For Each mcorpo In CORPOS
        If mcorpo.solo = True Then
            FrmSolo.TxtDSDeltaX = CStr(mcorpo.SLDeltaX)
            mcorpo.desenho.GetXData "", DataTypeOUT, DataOUT
            'If DataOUT <> Empty Then
            If DataOUT(1) = "SIM" Then
                FrmSolo.Frame1.Enabled = True
                FrmSolo.TxtDSDeltaX = ""
            End If
        End If
    Next mcorpo
erro1:
End Sub

```

```

Else
    FrmSolo.Frame1.Enabled = False
End If
'End If
FrmSolo.CBoxDSTipo = mcorpo.SLtipo
FrmSolo.TxtDSIC = CStr(mcorpo.SLIC)
For Each ELE In ThisDrawing.ModelSpace
    ELE.Highlight (False)
    If ELE.Handle = mcorpo.desenho.Handle Then ELE.Highlight (True)
Next
End If
Next
erro1:
End Sub

```

Força do tipo STEP (Degrau)

t0 = Tempo inicial

t1 = Tempo final

F0 - Força em t0

F1 - Força em t1

$$STEP = \begin{cases} F_0 & t \leq t_0 \\ F_0 + (F_1 - F_0) * \left[\frac{(t - t_0)}{(t_1 - t_0)} \right]^2 * \{ 3 - 2 * \left[\frac{(t - t_0)}{(t_1 - t_0)} \right] \} & t_0 < t < t_1 \\ F_1 & t \geq t_1 \end{cases}$$

OK Cancela

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de texto t0=Tempo inicial : txtSTEPT0	Botão OK : CButSTEPOK
Caixa de texto t1=Tempo final : txtSTEPT1	Botão Cancela : CButSTEPCancela
Caixa de texto F0=Força em T0 : txtSTEPF0	
Caixa de texto F1=Força em F1 : txtSTEPF1	

Figura L.24 – Formulário FrmSTEP

Código fonte relativo ao formulário FrmSTEP

```

Private Sub CButSTEPCancela_Click()
    On Error GoTo erro1
    FrmSTEP.Hide
    FrmDados.show
erro1:
End Sub

Private Sub CButSTEPOK_Click()
    n = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Value)
    FUs(n).captura
    FrmSTEP.Hide
    FrmDados.show

```

End Sub

FIM DOS FORMULÁRIOS DE PRÉ-PROCESSAMENTO

INÍCIO DOS FORMULÁRIOS DE PÓS-PROCESSAMENTO (SIMULAÇÃO)

The screenshot shows a software window titled "Resultados da Simulação". It has a menu bar with tabs: "Análise Estática", "Dinâmica dos Corpos", "Ponto de Interesse", "Molas e Amortecedores", "Juntas de Revolução", and "Juntas de Translação". The "Análise Estática" tab is active. Below the menu bar, there are two dropdown menus: "Junta de Revolução" and "Junta de Translação". The main area contains four input fields arranged in a 2x2 grid. Each field is titled "Forças e Momento" and is associated with a body ("Corpo I" or "Corpo J"). Each field has three sub-inputs: "Fx" (with unit "N"), "Fy" (with unit "N"), and "Momento" (with unit "N.m"). At the bottom of the window, there are three buttons: "Exporta", "CAD", and "Sair".

Nome dos objetos (variáveis)

Caixa de combinação Junta de Revolução : CBoxAEJR	Caixa de combinação Junta de Tranlação : CBoxAEJT
Caixa de texto Corpo I : txtAEJRCI	Caixa de texto Corpo I : txtAEJTCI
Caixa de texto Fx : txtAEJRFxI	Caixa de texto Fx : txtAEJTFxI
Caixa de texto Fy : txtAEJRFyI	Caixa de texto Fy : txtAEJTFyI
Caixa de texto Momento : txtAEJRMI	Caixa de texto Momento : txtAEJTMJ
Caixa de texto Corpo J : txtAEJRJCJ	Caixa de texto Corpo J : txtAEJTJCJ
Caixa de texto Fx : txtAEJRFxJ	Caixa de texto Fx : txtAEJTFxJ
Caixa de texto Fy : txtAEJRFyJ	Caixa de texto Fy : txtAEJTFyJ
Caixa de texto Momento : txtAEJRMJ	Caixa de texto Momento : txtAEJTMJ
	Botão Exporta : CButSMExporta
	Botão CAD : SMCAD
	Botão Sair : FrmSMSair

Figura L.25 – Formulário FrmSimulação, aba análise Estática

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Junta de Revolução : CBoxDC	Caixa de texto Direção X : txtDCDDX
Caixa de texto Eixo X : txtDCX	Caixa de texto Direção Y : txtDCDDY
Caixa de texto Eixo Y : txtDCY	Caixa de texto Aceleração Angular : txtDCDDPHI
Caixa de texto PHI : txtDCPHI	Botão Inicia : IniciaDC
Caixa de texto Direção X : txtDCDX	Botão Pausa : PausaDC
Caixa de texto Direção Y : txtDCDY	Botão Parar : PararDC
Caixa de texto Velocidade Angular : txtDCDPHI	Caixa de texto Tempo : txtDCT
Caixa de texto PATINAGEM : txtDCPNPT	Botão de comutação 2x : TbutDC2x
	Botão de comutação 5x : TbutDC5x
	Barra de rolagem do tempo : SBarDCT
	Barra de rolagem do tempo : SBarDCVel
	Botão Exporta : CButSMExporta
	Botão CAD : SMCAD
	Botão Sair : FrmSMSair

Figura L.26 – Formulário FrmSimulação, aba Dinâmica dos Corpos

Resultados da Simulação

Análise Estática | Dinâmica dos Corpos | **Ponto de Interesse** | Molas e Amortecedores | Juntas de Revolução | Juntas de Translação

Ponto de Interesse

Corpo

Posição

Eixo X m

Eixo Y m

Velocidade

Direção X m/s

Direção Y m/s

Aceleração

Direção X m/s²

Direção Y m/s²

Animação

Veloc. da Simulação

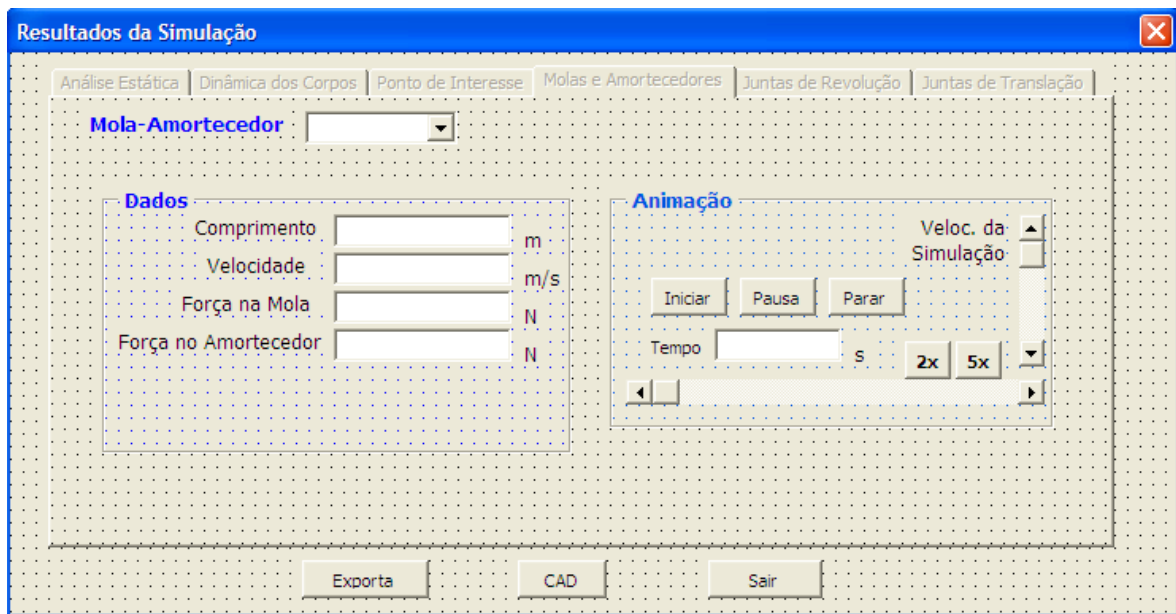
Iniciar Pausa Parar

Tempo s 2x 5x

Exporta CAD Sair

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Junta de Revolução : CBoxPI	Botão Iniciar : IniciaPI
Caixa de texto Corpo : txtPIC	Botão Pausa : PausaPI
Caixa de texto Eixo X (Posição) : txtPIX	Botão Parar : PararPI
Caixa de texto Eixo Y (Posição): txtPIY	Caixa de texto Tempo : txtPIT
Caixa de texto Direção X (Velocidade): txtPIDX	Botão de comutação 2x : TbutPI2x
Caixa de texto Direção Y (Velocidade) : txtPIDY	Botão de comutação 5x : TbutPI5x
Caixa de texto Direção X (Aceleração): txtPIDDX	Barra de rolagem do tempo : SBarPIT
Caixa de texto Direção Y (Aceleração) : txtPIDDY	Barra de rolagem do tempo : SBarPIVel
	Botão Exporta : CButSMExporta
	Botão CAD : SMCAD
	Botão Sair : FrmSMSair

Figura L.27 – Formulário FrmSimulação, aba Pontos de Interesse



Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Mola-Amortecedor : CBoxMA	Botão Iniciar : IniciaMA
Caixa de texto Comprimento : txtMACOMP	Botão Pausa : PausaMA
Caixa de texto Velocidade : txtMADCOMP	Botão Parar : PararMA
Caixa de texto Força na Mola : txtMAFK	Caixa de texto Tempo : txtMAT
Caixa de texto Força no Amortecedor : txtMAFC	Botão de comutação 2x : TbutMA2x
	Botão de comutação 5x : TbutMA5x
	Barra de rolagem do tempo : SBarMAT
	Barra de rolagem do tempo : SBarMAVel
	Botão Exporta : CButSMExporta
	Botão CAD : SMCAD
	Botão Sair : FrmSMSair

Figura L.28 – Formulário FrmSimulação, aba Molas e Amortecedores

Resultados da Simulação

Análise Estática | Dinâmica dos Corpos | Ponto de Interesse | Molas e Amortecedores | Juntas de Revolução | Juntas de Translação

Junta de Revolução:

Forças e Momento

Corpo I Fx N

Fy N

Momento N.m

Forças e Momento

Corpo J Fx N

Fy N

Momento N.m

Animação

Veloc. da Simulação

Iniciar Pausa Parar

Tempo s 2x 5x

Exporta CAD Sair

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Junta de Revolução : CBoxJR	Botão Iniciar : IniciaJR
Caixa de texto Corpo I : txtJRCI	Botão Pausa : PausaJR
Caixa de texto Fx : txtJRFXI	Botão Parar : PararJR
Caixa de texto Fy : txtJRFYI	Caixa de texto Tempo : txtJRT
Caixa de texto Momento : txtJRFMI	Botão de comutação 2x : TbutJR2x
Caixa de texto Corpo J : txtJRCJ	Botão de comutação 5x : TbutJR5x
Caixa de texto Fx : txtJRFXJ	Barra de rolagem do tempo : SBarJRT
Caixa de texto Fy : txtJRFYJ	Barra de rolagem do tempo : SBarJRVel
Caixa de texto Momento : txtJRFMJ	Botão Exporta : CButSMExporta
	Botão CAD : SMCAD
	Botão Sair : FrmSMSair

Figura L.29 – Formulário FrmSimulação, aba Juntas de Revolução

Nome dos objetos (variáveis)	
Caixa de combinação Junta de Translação : CBoxJT	Botão Iniciar : IniciaJT
Caixa de texto Corpo I : txtJTCI	Botão Pausa : PausaJT
Caixa de texto Fx : txtJTFXI	Botão Parar : PararJT
Caixa de texto Fy : txtJTFYI	Caixa de texto Tempo : txtJTT
Caixa de texto Momento : txtJTMJ	Botão de comutação 2x : TbutJT2x
	Botão de comutação 5x : TbutJT5x
Caixa de texto Corpo J : txtJTCJ	Barra de rolagem do tempo : SBarJTT
Caixa de texto Fx : txtJTFXJ	Barra de rolagem do tempo : SBarJTVel
Caixa de texto Fy : txtJTFYJ	Botão Exporta : CButSMExporta
Caixa de texto Momento : txtJTMJ	Botão CAD : SMCAD
	Botão Sair : FrmSMSair

Figura L.30 – Formulário FrmSimulação, aba Juntas de Translação

Código fonte do formulário Simulação

```

Private Sub CBoxAEJR_Change()
    Call SMs(1).atualiza
End Sub

Private Sub CBoxAEJT_Change()
    Call SMs(1).atualiza
End Sub

Private Sub CboxDC_Change()
    Call SMs(1).atualiza
    n = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).CboxDC.Value)

    If n = 0 Then n = 1
    If CORPOS(n).Pneu = True Then
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).LBNPT.Visible = True
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).TxtDCPNPT.Visible = True
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).LBNPTPerc.Visible = True
    Else
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).LBNPT.Visible = False
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).TxtDCPNPT.Visible = False
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).LBNPTPerc.Visible = False
    End If
End Sub

```

```

Private Sub CBoxJR_Change()
    Call SMs(1).atualiza
End Sub

Private Sub CBoxJT_Change()
    Call SMs(1).atualiza
End Sub

Private Sub CBoxMA_Change()
    Call SMs(1).atualiza
End Sub

Private Sub CBoxPI_Change()
    Call SMs(1).atualiza
End Sub

Private Sub CButSMExporta_Click()
    frmExporta.show
End Sub

Private Sub DCCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub FrmSMSair_Click()
    SMs(1).parar = True
    For i = 0 To 5
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(i).Enabled = False
    Next
    FrmSimulacao.Hide
    FrmDados.show
End Sub

Private Sub IniciaDC_Click()
    Dim i As Integer
    Dim T As Double
    'On Error GoTo erro1:
    SMs(1).parar = False
    SMs(1).pausa = False
    DoEvents
    For i = 0 To SMs(1).num
        If SMs(1).turbo2x = True And i Mod 2 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 1
        If SMs(1).turbo5x = True And i Mod 5 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 4
        If i > SBarDCT.Max Then
            i = SBarDCT.Max
        End If
        DoEvents
        SMs(1).Tempo = i * SMs(1).DT
        Call delay(SMs(1).vel)
        If SMs(1).pausa = True Then
            Do
                DoEvents
            Loop Until SMs(1).pausa = False
        End If
        If SMs(1).parar = True Then Exit For
    Next i
erro1:
End Sub

Private Sub IniciaJR_Click()
    Dim i As Integer

```

```

Dim T As Double
SMs(1).parar = False
SMs(1).pausa = False
DoEvents
For i = 0 To SMs(1).num
    If SMs(1).turbo2x = True And i Mod 2 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 1
    If SMs(1).turbo5x = True And i Mod 5 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 4
    DoEvents
    SMs(1).Tempo = i * SMs(1).DT
    Call delay(SMs(1).vel)
    If SMs(1).pausa = True Then
        Do
            DoEvents
        Loop Until SMs(1).pausa = False
    End If
    If SMs(1).parar = True Then Exit For
Next i
End Sub

```

```

Private Sub IniciaJT_Click()
    Dim i As Integer
    Dim T As Double
    SMs(1).parar = False
    SMs(1).pausa = False
    DoEvents
    For i = 0 To SMs(1).num
        If SMs(1).turbo2x = True And i Mod 2 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 1
        If SMs(1).turbo5x = True And i Mod 5 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 4
        DoEvents
        SMs(1).Tempo = i * SMs(1).DT
        Call delay(SMs(1).vel)
        If SMs(1).pausa = True Then
            Do
                DoEvents
            Loop Until SMs(1).pausa = False
        End If
        If SMs(1).parar = True Then Exit For
    Next i
End Sub

```

```

Private Sub IniciaMA_Click()
    Dim i As Integer
    Dim T As Double
    SMs(1).parar = False
    SMs(1).pausa = False
    DoEvents
    For i = 0 To SMs(1).num
        If SMs(1).turbo2x = True And i Mod 2 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 1
        If SMs(1).turbo5x = True And i Mod 5 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 4
        DoEvents
        SMs(1).Tempo = i * SMs(1).DT
        Call delay(SMs(1).vel)
        If SMs(1).pausa = True Then
            Do
                DoEvents
            Loop Until SMs(1).pausa = False
        End If
        If SMs(1).parar = True Then Exit For
    Next i
End Sub

```

```

Private Sub iniciaPI_Click()

```

```

Dim i As Integer
Dim T As Double
SMs(1).parar = False
SMs(1).pausa = False
DoEvents
For i = 0 To SMs(1).num
    If SMs(1).turbo2x = True And i Mod 2 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 1
    If SMs(1).turbo5x = True And i Mod 5 = 0 And i < SMs(1).num Then i = i + 4
    If i > SBarDCT.Max Then
        i = SBarDCT.Max
    End If
    DoEvents
    SMs(1).Tempo = i * SMs(1).DT
    Call delay(SMs(1).vel)
    If SMs(1).pausa = True Then
        Do
            DoEvents
        Loop Until SMs(1).pausa = False
    End If
    If SMs(1).parar = True Then Exit For
Next i
End Sub

Private Sub JRCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub JTCAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub MACAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

Private Sub MultiPage1_Change()
    FrmSimulacao.Repaint
    If SMs.count > 0 Then Call SMs(1).atualiza
End Sub

Private Sub PararDC_Click()
    SMs(1).parar = True
End Sub

Private Sub PararJR_Click()
    SMs(1).parar = True
End Sub

Private Sub PararJT_Click()
    SMs(1).parar = True
End Sub

Private Sub PararMA_Click()
    SMs(1).parar = True
End Sub

Private Sub pararPI_Click()
    SMs(1).parar = True
End Sub

```

```

Private Sub PausaDC_Click()
    If SMs(1).pausa = True Then
        SMs(1).pausa = False
    Else
        SMs(1).pausa = True
    End If
End Sub

```

```

Private Sub PausaJR_Click()
    If SMs(1).pausa = True Then
        SMs(1).pausa = False
    Else
        SMs(1).pausa = True
    End If
End Sub

```

```

Private Sub PausaJT_Click()
    If SMs(1).pausa = True Then
        SMs(1).pausa = False
    Else
        SMs(1).pausa = True
    End If
End Sub

```

```

Private Sub PausaMA_Click()
    If SMs(1).pausa = True Then
        SMs(1).pausa = False
    Else
        SMs(1).pausa = True
    End If
End Sub

```

```

Private Sub pausaPI_Click()
    If SMs(1).pausa = True Then
        SMs(1).pausa = False
    Else
        SMs(1).pausa = True
    End If
End Sub

```

```

Private Sub PICAD_Click()
    FrmDados.Hide
    frmCAD.show
End Sub

```

```

Private Sub SBarDCT_Change()
    On erro GoTo erro1:
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 1 Then
        SMs(1).Tempo = SBarDCT.Value * SMs(1).DT
        If SBarDCT.Value >= (SBarDCT.Max - 1) Then SMs(1).Tempo = 0
    End If
erro1:
End Sub

```

```

Private Sub SBarDCVel_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 1 Then SMs(1).vel = FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).SBarDCVel.Value
End Sub

```

```

Private Sub SBarJRT_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 4 Then
        SMs(1).Tempo = SBarJRT.Value * SMs(1).DT
    End If
End Sub

```

```

End If

End Sub

Private Sub SBarJRVel_Change()
    SMs(1).vel = FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).SBarJRVel.Value
End Sub

Private Sub SBarJTt_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 5 Then
        txtJTt.Text = CStr(SBarJTt.Value * SMs(1).DT)
        If FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).SBarJTt.Value = FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).SBarJTt.Max Then
            txtJTt.Text = "0"
        End If
    End If
End Sub

Private Sub SBarJTVEL_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 5 Then SMs(1).vel = FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).SBarJTVEL.Value
End Sub

Private Sub SBarMAT_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 3 Then
        txtMAT.Text = CStr(SBarMAT.Value * SMs(1).DT)
        If FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).SBarMAT.Value > FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).SBarMAT.Max Then
            txtMAT.Text = "0"
        End If
    End If
End Sub

Private Sub SBarMAVel_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 3 Then SMs(1).vel = FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).SBarMAVel.Value
End Sub

Private Sub SBarPIT_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 2 Then
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).txtPIT = CStr(SBarPIT.Value * SMs(1).DT)
        If FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).SBarPIT.Value = FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).SBarPIT.Max Then
            txtPIT.Text = "0"
        End If
    End If
End Sub

Private Sub SBarPIVel_Change()
    On Error GoTo erro1
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 2 Then SMs(1).Tempo = FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).SBarPIVel.Value
erro1:
End Sub

Private Sub SMCAD_Click()
    FrmSimulacao.Hide
    FrmCADSM.show
End Sub

Private Sub TButDC2x_Click()
    If TButDC2x.Value = True Then
        TButDC5x.Value = False
        SMs(1).turbo2x = True
    Else
        SMs(1).turbo2x = False
    End If
    DoEvents

```

End Sub

```
Private Sub TButDC5x_Click()  
If TButDC5x.Value = True Then  
    TButDC2x.Value = False  
    SMs(1).turbo5x = True  
Else  
    SMs(1).turbo5x = False  
End If  
DoEvents  
End Sub
```

```
Private Sub TButPI2x_Click()  
If TButPI2x.Value = True Then  
    TButPI5x.Value = False  
    SMs(1).turbo2x = True  
Else  
    SMs(1).turbo2x = False  
End If  
DoEvents  
End Sub
```

```
Private Sub TButPI5x_Click()  
If TButPI5x.Value = True Then  
    TButPI2x.Value = False  
    SMs(1).turbo5x = True  
Else  
    SMs(1).turbo5x = False  
End If  
DoEvents  
End Sub
```

```
Private Sub TButMA2x_Click()  
If TButMA2x.Value = True Then  
    TButMA5x.Value = False  
    SMs(1).turbo2x = True  
Else  
    SMs(1).turbo2x = False  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub TButMA5x_Click()  
If TButMA5x.Value = True Then  
    TButMA2x.Value = False  
    SMs(1).turbo5x = True  
Else  
    SMs(1).turbo5x = False  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub TButJT2x_Click()  
If TButJT2x.Value = True Then  
    TButJT5x.Value = False  
    SMs(1).turbo2x = True  
Else  
    SMs(1).turbo2x = False  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub TButJT5x_Click()  
If TButJT5x.Value = True Then  
    TButJT2x.Value = False
```

```

        SMs(1).turbo5x = True
    Else
        SMs(1).turbo5x = False
    End If
End Sub

Private Sub txtDCT_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 1 Then
        SMs(1).Tempo = CDbI(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).txtDCT.Text)
    End If
End Sub

Private Sub txtJRT_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 4 Then SMs(1).Tempo = CDbI(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).txtJRT.Text)
End Sub

Private Sub txtJTt_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 5 Then SMs(1).Tempo = CDbI(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).txtJTt.Text)
End Sub

Private Sub txtMAT_Change()
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 3 Then SMs(1).Tempo = CDbI(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).txtMAT.Text)
End Sub

Private Sub txtPIT_Change()
    On Error GoTo erro
        If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 2 Then SMs(1).Tempo = CDbI(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).txtPIT.Text)
    erro:
End Sub

```

FIM DOS FORMULÁRIOS DE PÓS-PROCESSAMENTO

CLASSES DE OBJETOS

'CLASSE DO OBJETO CO (CORREIA)

```

Private ANum As Integer
Private ACORPOI As corpo    'Corpo I a qual a correia está ligada
Private ACORPOJ As corpo    'Corpo J a qual a correia está ligada
Private AJRI As JR          'Junta de Rotação I
Private AJRJ As JR          'Junta de Rotação J
Private ADNJ, ADNI As Double 'Diâmetro nominal da polia I e J respectivamente

```

```

Public Property Let COR(T As AcColor)
    ACORPOI.COR = T
    ACORPOJ.COR = T
End Property

```

```

Public Property Let CORPOI(T As corpo)
    Set ACORPOI = T
End Property

```

```

Public Property Let CORPOJ(T As corpo)
    Set ACORPOJ = T
End Property

```

```

Public Property Let num(T As Integer)

```

```

    ANum = T
End Property

Public Property Let JRI(T As JR)
    Set AJRI = T
End Property

Public Property Let JRJ(T As JR)
    Set AJRJ = T
End Property

Public Property Let DNI(T As Double)
    ADNI = T
End Property

Public Property Let DNJ(T As Double)
    ADNJ = T
End Property

Public Property Get COR() As AcColor
    COR = Adesenho.color
End Property

Public Property Get CORPOI() As corpo
    Set CORPOI = ACORPOI
End Property

Public Property Get CORPOJ() As corpo
    Set CORPOJ = ACORPOJ
End Property

Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property

Public Property Get JRI() As JR
    Set JRI = AJRI
End Property

Public Property Get JRJ() As JR
    Set JRJ = AJRJ
End Property

Public Property Get DNI() As Double
    DNI = ADNI
End Property

Public Property Get DNJ() As Double
    DNJ = ADNJ
End Property

Public Sub show()
    For Each mcorpo In CORPOS
        mcorpo.desenho.Highlight (False)
    Next
    For Each mJR In JRs
        mJR.desenho.Highlight (False)
    Next
    If num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 7 Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCI.Text = CStr(ACORPOI.num)
        FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCJ.Text = CStr(ACORPOJ.num)
        FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text = CStr(AJRI.num)
    End If
End Sub

```

```

FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRJ.Text = CStr(AJRJ.num)
FrmDados.MultiPage1.Pages(7).TxtCODNI.Text = Format(ADNI, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(7).TxtCODNJ.Text = Format(ADNJ, "0.00000")
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCI.Text)
J = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCJ.Text)
CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)
CORPOS.Item(J).desenho.Highlight (True)
ii = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text)
JJ = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRJ.Text)
JR.Item(ii).desenho.Highlight (True)
JR.Item(JJ).desenho.Highlight (True)
End If
End Sub

Public Sub captura()
If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCO.Text) Then
For Each mcorpo In CORPOS
If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCI.Text) Then
Set ACORPOI = mcorpo
End If
If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOCJ.Text) Then
Set ACORPOJ = mcorpo
End If
End If
Next
For Each mJR In JRs
If mJR.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRI.Text) Then
Set AJRI = mJR
End If
If mJR.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).CBoxCOJRJ.Text) Then
Set AJRJ = mJR
End If
End If
Next
ADNI = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).TxtCODNI.Text)
ADNJ = CDb1(FrmDados.MultiPage1.Pages(7).TxtCODNJ.Text)
End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO CO (CORREIA)

```

'CLASSE DO OBJETO CORPO

```

Private ANum As Integer
'dados iniciais e constantes
Private Afixo As Boolean 'Define se o corpo é do tipo fixo ou não
Private AFator As Double 'Fator de escala
Private AXI As Double 'Coordenada global X inicial
Private AYI As Double 'Coordenada global Y inicial
Private APHi As Double 'Ângulo global PHI inicial
Private ADXi As Double 'Componente X da velocidade inicial
Private ADYi As Double 'Componente Y da velocidade inicial
Private ADPHi As Double 'Componente PHI da velocidade angular inicial
Private AFx As Double 'Componente X da força
Private AFy As Double 'Componente Y da força
Private ATorque As Double 'Torque constante imposta ao corpo
Private AMassa As Double 'Massa
Private AMomento As Double 'Momento de inércia
Private Adesenho As AcadEntity 'Desenho do corpo
Private Aeixo As AcadEntity 'Ícone do eixo centro de gravidade do corpo

'dados dinâmicos

```

```

Private AX As Double      'Coordenada X
Private AY As Double      'Coordenada Y
Private APHI As Double    'Ângulo PHI
Private ADX As Double     'Componente X da velocidade
Private ADY As Double     'Componente Y da velocidade
Private ADPHI As Double   'Velocidade angular
Private ADDX As Double    'Componente X da aceleração
Private ADDY As Double    'Componente Y da aceleração
Private ADDPHI As Double  'Aceleração angular
Private AmostraEixo As Boolean

Private APneu As Boolean  'Define se o corpo é do tipo pneu ou não
Private APNK As Double    'Coeficiente de rigidez
Private APNCA As Double   'Coeficiente de amortecimento
Private APNh As Double    'Altura da seção do pneu
Private APNLargura As Double 'Largura do pneu
Private APNTipo As String 'Tipo do pneu
Private APNIdade As Integer 'Idade do pneu
Private APNDE As Double   'Diâmetro externo do pneu em situação indeformada
Private APNPressao As Double 'Pressão no pneu

Private ASolo As Boolean  'Define se o corpo é do tipo solo ou não
Private ASLIC As Double   'Índice de cone
Private ASLTipo As String 'Tipo de Solo
Private ASLFz As Double   'componente vertical
Private ASLDeltaX As Double 'Delta x da discretizacao do solo
Private ASLCoords As Variant 'Vetor com as coordenadas dos ponto que definem o solo
Private ASLProfile As AcadObject 'Guarda a entidade Solo
Private ASLNCoords As Integer 'Número de coordenadas discretas do solo
Private ASLVerPontos As Boolean

Public Property Get fixo() As Boolean
    fixo = Afixo
End Property

Public Property Get MostraEixo() As Boolean
    MostraEixo = AmostraEixo
End Property

Public Property Get xi() As Double
    xi = AXI
End Property

Public Property Get Fator() As Double
    Fator = AFator
End Property

Public Property Let Fator(T As Double)
    Dim PONTO(2) As Double
    Dim escala As Double
    PONTO(0) = AX
    PONTO(1) = AY
    If AFator <> 0 Then
        escala = 1 + (T - AFator) / AFator
    Else
        If T <> 0 Then
            escala = T
        Else:
            escala = 1
        End If
    End If
End Property

If escala <> 0 Then
    Aeixo.ScaleEntity PONTO, escala

```

```

    AFator = T
End If
ThisDrawing.Application.Update
End Property

Public Property Get yi() As Double
    yi = AYI
End Property
Public Property Get PHli() As Double
    PHli = APHli
End Property

Public Property Get DXi() As Double
    DXi = ADXi
End Property

Public Property Get DYi() As Double
    DYi = ADYi
End Property
Public Property Get DPHli() As Double
    DPHli = ADPHli
End Property

Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property

Public Property Get desenho() As AcadEntity
    Set desenho = Adesenho
End Property

Public Property Get eixo() As AcadEntity
    Set eixo = Aeixo
End Property

Public Property Get X() As Double
    X = AX
End Property

Public Property Get Y() As Double
    Y = AY
End Property

Public Property Get phi() As Double
    phi = APHI
End Property

Public Property Get dx() As Double
    dx = ADX
End Property

Public Property Get dy() As Double
    dy = ADY
End Property

Public Property Get DPHI() As Double
    DPHI = ADPHI
End Property

Public Property Get DDX() As Double
    DDX = ADDX
End Property

```

```
Public Property Get DDY() As Double
    DDY = ADDY
End Property
```

```
Public Property Get DDPHI() As Double
    DDPHI = ADDPHI
End Property
```

```
Public Property Get Fx() As Double
    Fx = AFx
End Property
```

```
Public Property Get FY() As Double
    FY = AFy
End Property
```

```
Public Property Get Torque() As Double
    Torque = ATorque
End Property
```

```
Public Property Get Massa() As Double
    Massa = AMassa
End Property
```

```
Public Property Get Momento() As Double
    Momento = AMomento
End Property
```

```
Public Property Let fixo(T As Boolean)
    Afixo = T
End Property
```

```
Public Property Let MostraEixo(T As Boolean)
    AmostraEixo = T
End Property
```

```
Public Property Let desenho(T As AcadEntity)
    Set Adesenho = T
End Property
```

```
Public Property Let eixo(T As AcadEntity)
    Set Aeixo = T
End Property
```

```
Public Property Let num(T As Integer)
    ANum = T
End Property
```

```
Public Property Let xi(T As Double)
    AXI = T
    X = T
End Property
```

```
Public Property Let yi(T As Double)
    AYI = T
    Y = T
End Property
```

```
Public Property Let PHLi(T As Double)
    APHLi = T
    phi = T
```

End Property

Public Property Let DXi(T As Double)

ADXi = T

ADX = T

End Property

Public Property Let DYi(T As Double)

ADYi = T

ADY = T

End Property

Public Property Let DPHi(T As Double)

ADPHi = T

ADPHI = T

End Property

Public Property Let X(T As Double)

Call moveEixo(T, AY, APHI)

AX = T

End Property

Public Property Let Y(T As Double)

Call moveEixo(AX, T, APHI)

AY = T

End Property

Public Property Let phi(T As Double)

Call moveEixo(AX, AY, T)

APHI = T

End Property

Public Property Let dx(T As Double)

ADX = T

End Property

Public Property Let dy(T As Double)

ADY = T

End Property

Public Property Let DPHI(T As Double)

ADPHI = T

End Property

Public Property Let DDX(T As Double)

ADDX = T

End Property

Public Property Let DDY(T As Double)

ADDDY = T

End Property

Public Property Let DDPHI(T As Double)

ADDPHI = T

End Property

Public Property Let Fx(T As Double)

AFx = T

End Property

Public Property Let FY(T As Double)

AFy = T

End Property

```

Public Property Let Torque(T As Double)
    ATorque = T
End Property

Public Property Let Massa(T As Double)
    AMassa = T
End Property

Public Property Let Momento(T As Double)
    AMomento = T
End Property

Public Property Let COR(T As AcColor)
    Adesenho.color = T
End Property

Public Sub move(xn, yn, phin As Double)
    Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double
    Dim TETA, BETA, R As Double
    On Error GoTo erro1
    If Afixo = False Then
        AErro = 0
        BETA = angulo(0, 0, X, Y)
        alfa = angulo(0, 0, xn, yn)
        R = Sqr(X * X + Y * Y)
        TETA = phin - phi
        x1 = R * Cos(TETA + BETA)
        y1 = R * Sin(TETA + BETA)
        T1 = xn - x1
        T2 = yn - y1
        m(0, 0) = Cos(TETA): m(0, 1) = -Sin(TETA): m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1
        m(1, 0) = Sin(TETA): m(1, 1) = Cos(TETA): m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2
        m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#
        m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#
        Adesenho.TransformBy (m)
        X = xn
        Y = yn
        phi = phin
        Adesenho.Update
        Aeixo.Update
        For Each mJR In JRs
            If mJR.Tempo <> SMs(1).Tempo Then 'CADA JUNTA PODE SE MOVER APENAS UMA VEZ NUM MESMO TEMPO
                If mJR.CORPOI.num = ANum Then
                    If APneu = True Then
                        mJR.desenho.TransformBy (m)
                        mJR.Tempo = SMs(1).Tempo
                        Exit For
                    End If
                End If
                If mJR.CORPOJ.num = ANum Then
                    If APneu = True Then
                        mJR.desenho.TransformBy (m)
                        mJR.Tempo = SMs(1).Tempo
                        Exit For
                    End If
                End If
                If mJR.CORPOI.num = ANum Then
                    mJR.desenho.TransformBy (m)
                    mJR.Tempo = SMs(1).Tempo
                    Exit For
                End If
            End If
        Next mJR
    End If
End Sub

```

```

        If mJR.CORPOJ.num = ANum Then
            mJR.desenho.TransformBy (m)
            mJR.Tempo = SMS(1).Tempo
            Exit For
        End If
    End If
Next
For Each mPI In PIs
    If mPI.corpo.num = ANum Then mPI.desenho.TransformBy (m)
Next
For Each mJS In JSs
    If mJS.corpo.num = ANum Then mJS.desenho.TransformBy (m)
Next
For Each mJM In JMJs
    If mJM.corpo.num = ANum Then mJM.desenho.TransformBy (m)
Next
For Each mMA In MAs
    If mMA.CORPOI.num = ANum Or mMA.CORPOJ.num = ANum Then Call mMA.atualiza_XY(2)
Next
For Each mJT In JTJs
    If mJT.CORPOI.num = ANum Then mJT.desenho.TransformBy (m)
Next
For Each mFU In FUs
    If mFU.CORPOI.num = ANum Or mFU.CORPOJ.num = ANum Then Call mFU.atualiza_XY(2)
Next
End If
erro1:
End Sub

```

```

Public Sub moveEixo(xn, yn, phin As Double)
    Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double
    On Error GoTo erro1
    AErro = 0
    BETA = angulo(0, 0, AX, AY)
    alfa = angulo(0, 0, xn, yn)
    R = Sqr(AX * AX + AY * AY)
    TETA = phin - phi
    x1 = R * Cos(TETA + BETA)
    y1 = R * Sin(TETA + BETA)
    T1 = xn - x1
    T2 = yn - y1
    m(0, 0) = Cos(TETA): m(0, 1) = -Sin(TETA): m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1
    m(1, 0) = Sin(TETA): m(1, 1) = Cos(TETA): m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2
    m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#
    m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#
    eixo.TransformBy (m)
    AX = xn
    AY = yn
    APhi = phin
    Aeixo.Update
    Call FUs(ANum).atualiza_XY(2)
erro1:
End Sub

```

```

Public Sub show()
'imprime o conteúdo dos atributos na tela
    Dim mcorpo As New corpo
    On erro GoTo erro1
    ThisDrawing.Activate
    For Each mcorpo In CORPOS
        mcorpo.desenho.Highlight (False)
    Next

```

```

If FrmSimulacao.Visible = False And Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text) = ANum Then
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxFixo.Value = Afixo
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPXi.Text = Format(AXI, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPYi.Text = Format(AYI, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPPHi.Text = Format(APHi * 180 / PI, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPDXi.Text = Format(ADXi, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPDYi.Text = Format(ADYi, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPDPHi.Text = Format(ADPHi, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPFX.Text = Format(AFX, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPFY.Text = Format(AFy, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPT.Text = Format(ATorque, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPM.Text = Format(AMassa, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPMI.Text = Format(AMomento, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxPneu.Value = APneu
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxSolo.Value = ASolo
    FrmDados.MultiPage1.Pages(1).TxtCPFator.Text = Format(AFator, "0.00000")
End If
If FrmSolo.Visible = True Then
    FrmSolo.TxtDSIC = CStr(ASLIC)
    FrmSolo.CBoxDSTipo = ASLTipo
    FrmSolo.TxtDSDeltaX = Format(ASLDeltaX, "0.000")
    FrmSolo.TButDSPreview = ASLVerPontos
End If
erro1: If Err.Number <> 0 Then
    MsgBox "Erro na função IMPRIME CORPOS"
    Err.Clear
End If
Adesenho.Highlight (True)
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

Public Sub captura()
'captura os dados da tela e atualiza atributos
Dim mcorpo As New corpo
On Error GoTo erro1
If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).cboxCORPO.Text) Then
    If FrmDados.Visible = True Then
        fixo = FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxFixo.Value
        xi = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPXi.Text)
        yi = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPYi.Text)
        PHi = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPPHi.Text) * PI / 180
        DXi = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPDXi.Text)
        DYi = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPDYi.Text)
        DPHi = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPDPHi.Text)
        Fx = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPFX.Text)
        FY = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPFY.Text)
        Torque = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPT.Text)
        Massa = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPM.Text)
        Momento = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).txtCPMI.Text)
        Pneu = FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxPneu.Value
        solo = FrmDados.MultiPage1.Pages(1).CheckBoxSolo.Value
        Fator = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(1).TxtCPFator.Text)
    End If
    If FrmPneu.Visible = True Then
        PNLargura = CDbI(FrmPneu.TxtPNB)
        PNK = CDbI(FrmPneu.TxtPNK)
        PNCA = CDbI(FrmPneu.TxtPNC)
        PNH = CDbI(FrmPneu.TxtPNH)
        PNDE = CDbI(FrmPneu.TxtPNDE)
        PNTIPO = FrmPneu.CboxPNTipo
    End If
    If FrmSolo.Visible = True Then

```

```

        SLIC = CDb1(FrmSolo.TxtDSIC)
        SLtipo = FrmSolo.CBoxDSTipo
        SLDeltaX = CDb1(FrmSolo.TxtDSDeltaX)
        SLVerPontos = FrmSolo.TButDSPreview
    End If
    If FrmRigidez.Visible = True Then
        PNIidade = CDb1(FrmRigidez.TxtRGA)
        PNPressao = CDb1(FrmRigidez.TxtRGP)
    End If
Else
    MsgBox "Erro na função CAPTURA_CORPOS"
End If

erro1: If Err.Number <> 0 Then
    MsgBox "Erro na função CAPTURA_CORPOS"
    Err.Clear
End If
End Sub

'MÉTODOS PARA CORPOS TIPO PNEU

Public Property Let Pneu(T As Boolean)
    APneu = T
End Property

Public Property Get Pneu() As Boolean
    Pneu = APneu
End Property

Public Property Let PNK(T As Double)
    APNK = T
End Property

Public Property Get PNK() As Double
    PNK = APNK
End Property

Public Property Let PNIidade(T As Double)
    APNIidade = T
End Property

Public Property Get PNIidade() As Double
    PNIidade = APNIidade
End Property

Public Property Let PNPressao(T As Double)
    APNPressao = T
End Property

Public Property Get PNPressao() As Double
    PNPressao = APNPressao
End Property

Public Property Let PNCA(T As Double)
    APNCA = T
End Property

Public Property Get PNCA() As Double
    PNCA = APNCA
End Property

Public Property Let PNB(T As Double)

```

```
aPNb = T
End Property
```

```
Public Property Get PNB() As Double
    PNB = aPNb
End Property
```

```
Public Property Let PNLargura(T As Double)
    APNLargura = T
End Property
```

```
Public Property Get PNLargura() As Double
    PNLargura = APNLargura
End Property
```

```
Public Property Let PNTIPO(T As String)
    APNTipo = T
End Property
```

```
Public Property Get PNTIPO() As String
    PNTIPO = APNTipo
End Property
```

```
Public Property Let PNDE(T As Double)
    APNDE = T
End Property
```

```
Public Property Get PNDE() As Double
    PNDE = APNDE
End Property
```

```
Public Property Let PNH(T As Double)
    APNh = T
End Property
```

```
Public Property Get PNH() As Double
    PNH = APNh
End Property
```

'MÉTODOS PARA CORPOS TIPO SOLO

```
Public Property Let solo(T As Boolean)
    ASolo = T
End Property
```

```
Public Property Get solo() As Boolean
    solo = ASolo
End Property
```

```
Public Property Let SLtipo(T As String)
    ASLTipo = T
    Select Case T:
        Case "Firme": SLIC = 1800000 'Brixius, 1987.
        Case "Médio ou Agricultável": SLIC = 900000 'Brixius, 1987.
        Case "Leve ou Arenoso": SLIC = 450000 'Brixius, 1987.
        Case "Outros": SLIC = 0
    End Select
    Call show
End Property
```

```
Public Property Get SLtipo() As String
    SLtipo = ASLTipo
```

```

End Property

Public Property Let SLDeltaX(T As Double)
    ASLDeltaX = T
End Property

Public Property Get SLDeltaX() As Double
    SLDeltaX = ASLDeltaX
End Property

Public Property Let SLVerPontos(T As Boolean)
If Abs(ASLNCoords) > 0 Then
    Dim pointObj As AcadPoint
    Dim i As Integer
    Dim nptSolo As Integer
    Dim location(0 To 2) As Double
    If T = True Then
        i = 0
        Do While i < Abs(ASLNCoords)
            i = i + 1
            location(0) = ASLCoords(i, 0)
            location(1) = ASLCoords(i, 1)
            Set pointObj = ThisDrawing.ModelSpace.AddPoint(location)
            pointObj.LAYER = "FSSM_PONTOS_SOLO"
        Loop
    Else
        For Each ELE In ThisDrawing.ModelSpace
            If ELE.LAYER = "FSSM_PONTOS_SOLO" Then ELE.Delete
        Next
    End If
    ThisDrawing.Regen acActiveViewport
End If
End Property

Public Property Let SLCoords(vet As Variant)
    ASLCoords = vet
End Property

Public Property Get SLCoords() As Variant
    SLCoords = ASLCoords
End Property

Public Property Get SLNCoords() As Integer
    SLNCoords = ASLNCoords
End Property

Public Property Let SLIC(T As Double)
    ASLIC = T
End Property

Public Property Get SLIC() As Double
    SLIC = ASLIC
End Property

Public Property Let SLdelta(T As Double)
    ASLdelta = T
End Property

Public Property Get SLdelta() As Double
    SLdelta = ASLdelta
End Property

```

```

Public Sub SLCria_pontos()
'Monta o vetor ASLCoords com as coordenadas dos pontos que definem o perfil do solo
On Error GoTo erro1
If ASLDeltaX > 0 Then
    Dim returnObj As AcadObject
    Dim basePnt As Variant
    Dim retCoord As Variant
    Dim xi, yi, xf, yf, DeltaX As Double
    Dim i, J As Integer
    Dim nbr_of_segments As Long
    Dim nbr_of_vertices As Long
    Dim segment As Long
    Dim pointObj As AcadPoint
    Dim location(0 To 2) As Double
    Dim v1, v2 As Variant
    Dim vet As Variant
    'Obtêm as coordenadas de cada vértice de uma polyline selecionade.
    retCoord = Adesenho.Coordinates
    segment = 0
    i = LBound(retCoord)          ' índice de partida do vetor de coordenadas
    J = UBound(retCoord)          ' índice final do vetor de coordenadas
    nbr_of_vertices = ((J - i) \ 2) + 1 ' número de vértices na polyline
    nbr_of_segments = nbr_of_vertices - 1 'Determina o número de segmentos na polyline
    v1 = Adesenho.Coordinate(i)
    xi = v1(0)
    yi = v1(1)
    v2 = Adesenho.Coordinate(nbr_of_segments)
    xf = v2(0)
    yf = v2(1)
    L = xf - xi
    If L > 0 Then 'SUPERFICIE CRIADA DA ESQUERDA PARA DIREITA
        ASLNCoords = Round(L / ASLDeltaX) + 1
        ReDim vet(ASLNCoords + 1, 2) As Double
        XX = xi
        If xi < xf Then
            J = 0
        Else
            J = nbr_of_segments
        End If
        v1 = Adesenho.Coordinate(J)
        x1 = v1(0)
        y1 = v1(1)
        vet(1, 0) = x1
        vet(1, 1) = y1
        i = 1
        Do While XX <= xf
            z = Adesenho.GetBulge(J)
            TETA = Sqr((4 * Atn(z)) ^ 2)
            If xi < xf Then
                J = J + 1
            Else
                J = J - 1
            End If
            XX = XX + ASLDeltaX
            v2 = Adesenho.Coordinate(J)
            x2 = v2(0)
            y2 = v2(1)
            i = i + 1
            Do While XX <= x2
                If z <> 0 Then
                    L = Sqr((x2 - x1) ^ 2 + (y2 - y1) ^ 2)
                    BETA = Atn((y2 - y1) / (x2 - x1))
                End If
            End Do
        End Do
    End If
End Sub

```

```

If z < 0 Then
    alfa = TETA / 2 - PI / 2
    R = (L / (2 * Cos(alfa)))
    yc = y1 + R * Sin(BETA + alfa)
    vet(i, 0) = XX
    xc = x1 + R * Cos(BETA + alfa)
    vet(i, 1) = Sqr(R ^ 2 - (XX - xc) ^ 2) + yc
Else
    alfa = -TETA / 2 + PI / 2
    R = (L / (2 * Cos(alfa)))
    xc = x1 + R * Cos(BETA + alfa)
    yc = y1 + R * Sin(BETA + alfa)
    vet(i, 0) = XX
    vet(i, 1) = yc - Sqr(R ^ 2 - (XX - xc) ^ 2)
End If
Else
    vet(i, 0) = XX
    vet(i, 1) = ((y2 - y1) / (x2 - x1)) * (XX - x1) + y1
End If
XX = XX + ASLDeltaX
i = i + 1
Loop
If XX >= xf Then
    Exit Do
Else
    XX = XX - ASLDeltaX
End If
x1 = x2
y1 = y2
i = i - 1
Loop
ASLNCoords = i - 1
ASLCoords = vet
Else 'SUPERFICIE CRIADA DA DIREITA PARA ESQUERDA
ASLNCoords = Round(-L / ASLDeltaX) + 1
ReDim vet(ASLNCoords + 1, 2) As Double
XX = xf
xf = xi
xi = XX
J = nbr_of_segments - 1
v1 = Adesenho.Coordinate(J + 1)
x1 = v1(0)
y1 = v1(1)
vet(1, 0) = x1
vet(1, 1) = y1
i = 1
Do While XX <= xf
    z = Adesenho.GetBulge(J)
    TETA = Sqr((4 * Atn(z)) ^ 2)
    XX = XX + ASLDeltaX
    v2 = Adesenho.Coordinate(J)
    J = J - 1
    x2 = v2(0)
    y2 = v2(1)
    i = i + 1
Do While XX <= x2
    If z <> 0 Then
        L = Sqr((x2 - x1) ^ 2 + (y2 - y1) ^ 2)
        BETA = Atn((y2 - y1) / (x2 - x1))
        If z > 0 Then
            alfa = TETA / 2 - PI / 2
            R = (L / (2 * Cos(alfa)))

```

```

        yc = y1 + R * Sin(BETA + alfa)
        vet(i, 0) = XX
        xc = x1 + R * Cos(BETA + alfa)
        vet(i, 1) = Sqr(R ^ 2 - (XX - xc) ^ 2) + yc
    Else
        alfa = -TETA / 2 + PI / 2
        R = (L / (2 * Cos(alfa)))
        xc = x1 + R * Cos(BETA + alfa)
        yc = y1 + R * Sin(BETA + alfa)
        vet(i, 0) = XX
        vet(i, 1) = yc - Sqr(R ^ 2 - (XX - xc) ^ 2)
    End If
Else
    vet(i, 0) = XX
    vet(i, 1) = ((y2 - y1) / (x2 - x1)) * (XX - x1) + y1
End If

    XX = XX + ASLDeltaX
    i = i + 1
Loop
If XX >= xf Then
    Exit Do
Else
    XX = XX - ASLDeltaX
End If
x1 = x2
y1 = y2
i = i - 1
Loop
ASLNCords = i - 1
ASLCoords = vet

    End If
End If
erro1:
End Sub

```

'FIM DA CLASSE DO OBJETO CORPO

'CLASSE DO OBJETO EN (ENGRENAGEM)

```

Private ANum, erro As Integer
Private ACORPOI As corpo    'Corpo I a qual a Engrenagem está ligada
Private ACORPOJ As corpo    'Corpo J a qual a Engrenagem está ligada
Private AJRI As JR          'Junta de Rotação I
Private AJRJ As JR          'Junta de Rotação J
Private ADNI, ADNJ As Double 'Diâmetro nominal das Engrenagens I e J respectivamente
Private ATipo As Integer    'Tipo interna(-1) ou externa(1)

Public Property Let num(T As Integer)
    ANum = T
End Property

Public Property Let JRI(T As JR)
    Set AJRI = T
End Property

Public Property Let JRJ(T As JR)
    Set AJRJ = T
End Property

```

```
Public Property Let CORPOI(T As corpo)
    Set ACORPOI = T
End Property
```

```
Public Property Let CORPOJ(T As corpo)
    Set ACORPOJ = T
End Property
```

```
Public Property Let DNI(T As Double)
    ADNI = T
End Property
```

```
Public Property Let DNJ(T As Double)
    ADNJ = T
End Property
```

```
Public Property Let tipo(T As Integer)
    ATipo = T
End Property
```

```
Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property
```

```
Public Property Get JRI() As JR
    Set JRI = AJRI
End Property
```

```
Public Property Get JRJ() As JR
    Set JRJ = AJRJ
End Property
```

```
Public Property Get CORPOI() As corpo
    Set CORPOI = ACORPOI
End Property
```

```
Public Property Get CORPOJ() As corpo
    Set CORPOJ = ACORPOJ
End Property
```

```
Public Property Get DNI() As Double
    DNI = ADNI
End Property
```

```
Public Property Get DNJ() As Double
    DNJ = ADNJ
End Property
```

```
Public Property Get tipo() As Integer
    tipo = ATipo
End Property
```

```
Public Sub show()
    Dim mEN As New EN
    For Each mcorpo In CORPOS
        mcorpo.desenho.Highlight (False)
    Next
    For Each mJR In JRs
        mJR.desenho.Highlight (False)
    Next
    If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 6 Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(6).cCBoxENCI.Text = CStr(ACORPOI.num)
    End If
End Sub
```

```

FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENCJ.Text = CStr(ACORPOJ.num)
FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRI.Text = CStr(AJRI.num)
FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRJ.Text = CStr(AJRJ.num)
FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNI.Text = Format(ADNI, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNJ.Text = Format(ADNJ, "0.00000")
If tipo = 1 Then
    FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENTipo.Text = "Externo"
Else
    FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENTipo.Text = "Interno"
End If
End If
If FrmDados.MultiPage1.Value = 6 Then
    i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).cCBoxENCI.Text)
    J = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENCJ.Text)
    CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)
    CORPOS.Item(J).desenho.Highlight (True)
    ii = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRI.Text)
    JJ = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRJ.Text)
    JRs.Item(ii).desenho.Highlight (True)
    JRs.Item(JJ).desenho.Highlight (True)
End If
End If
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

Public Sub captura()
    Dim mEN As New EN
    If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxEN.Text) Then
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).cCBoxENCI.Text) Then
                Set ACORPOI = mcorpo
            End If
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENCJ.Text) Then
                Set ACORPOJ = mcorpo
            End If
        Next
        For Each mJR In JRs
            If mJR.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRI.Text) Then
                Set AJRI = mJR
            End If
            If mJR.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENJRJ.Text) Then
                Set AJRJ = mJR
            End If
        Next
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNI.Text <> "" Then ADNI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNI.Text)
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNJ.Text <> "" Then ADNJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(6).TxtENDNJ.Text)
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(6).CBoxENTipo.Text = "Interno" Then
            ATipo = -1
        Else
            ATipo = 1
        End If
    End If
End Sub

'FIM DA CLASSE DO OBJETO EN (ENGRENAGEM)
'-----

'CLASSE DO OBJETO FU (FORÇAS DO USUÁRIO)
Private ANum, AErro As Integer
Private AXI, AYI As Double           'Componente global X e Y da FU do ponto preso co corpo I
Private AXJ, AYJ As Double           'Componente global X e Y da FU do ponto preso co corpo J
Private ACOMP As Double              'Comprimento da FU
Private ACTEF As Double              'Força constante
Private ASHFA, ASHFW, ASHFX0, ASHFPHI, ASHFYm As Double 'Variáveis que definem Forças do tipo SHF (Harmônicas)

```

Private ASTEPT0, ASTEPT1, ASTEPF0, ASTEPF1 As Double 'Variáveis que definem Forças do tipo STEP
 Private AIMPRI, AIMPRJ, AIMPK, AIMPe, AIMPCmax, AIMPd As Double 'Variáveis que definem Forças do tipo Impacto
 Private ACORPOI As corpo 'Corpo I ao qual a FU está ligada
 Private ACORPOJ As corpo 'Corpo J ao qual a FU está ligada
 Private Adesenho As AcadEntity 'ícone que representa a JM
 Private AQUII, ANETAJ As Double 'Coordenadas local da FU em relação ao corpo I
 Private AQUIJ, ANETAJ As Double 'Coordenadas local da FU em relação ao corpo J
 Private ASHF, AIMPACT, ASTEP, ACTE As Boolean 'Variáveis booleanas que identificam o tipo de FU

Public Property Let COR(T As AcColor)
 Adesenho.color = T

End Property

Public Property Let CTEF(T As Double)
 ACTEF = T

End Property

Public Property Get CTEF() As Double
 CTEF = ACTEF

End Property

Public Property Let STEPT0(T As Double)
 ASTEPT0 = T

End Property

Public Property Get STEPT0() As Double
 STEPT0 = ASTEPT0

End Property

Public Property Let IMPRI(T As Double)
 AIMPRI = T

End Property

Public Property Get IMPRI() As Double
 IMPRI = AIMPRI

End Property

Public Property Let IMPRJ(T As Double)
 AIMPRJ = T

End Property

Public Property Get IMPRJ() As Double
 IMPRJ = AIMPRJ

End Property

Public Property Let IMPK(T As Double)
 AIMPK = T

End Property

Public Property Get IMPK() As Double
 IMPK = AIMPK

End Property

Public Property Let IMPe(T As Double)
 AIMPe = T

End Property

Public Property Get IMPe() As Double
 IMPe = AIMPe

End Property

Public Property Let IMPCmax(T As Double)
 AIMPCmax = T

End Property

Public Property Get IMPCmax() As Double
IMPCmax = AIMPCmax
End Property

Public Property Let IMPd(T As Double)
AIMPd = T
End Property

Public Property Get IMPd() As Double
IMPd = AIMPd
End Property

Public Property Let STEPT1(T As Double)
ASTEPT1 = T
End Property

Public Property Get STEPT1() As Double
STEPT1 = ASTEPT1
End Property

Public Property Let STEPF0(T As Double)
ASTEPF0 = T
End Property

Public Property Get STEPF0() As Double
STEPF0 = ASTEPF0
End Property

Public Property Let STEPF1(T As Double)
ASTEPF1 = T
End Property

Public Property Get STEPF1() As Double
STEPF1 = ASTEPF1
End Property

Public Property Let SHFA(T As Double)
ASHFA = T
End Property

Public Property Get SHFA() As Double
SHFA = ASHFA
End Property

Public Property Let SHFW(T As Double)
ASHFW = T
End Property

Public Property Get SHFW() As Double
SHFW = ASHFW
End Property

Public Property Let SHFX0(T As Double)
ASHFX0 = T
End Property

Public Property Get SHFX0() As Double
SHFX0 = ASHFX0
End Property

Public Property Let SHFPHI(T As Double)

```

    ASHFPHI = T
End Property

Public Property Get SHFPHI() As Double
    SHFPHI = ASHFPHI
End Property

Public Property Let SHFYm(T As Double)
    ASHFYm = T
End Property

Public Property Get SHFYm() As Double
    SHFYm = ASHFYm
End Property

Public Property Let num(T As Integer)
    ANum = T
End Property

Public Property Let COMPI(T As Double)
    ACOMPI = T
End Property

Public Property Let CORPOI(T As corpo)
    Set ACORPOI = T
End Property

Public Property Let CORPOJ(T As corpo)
    Set ACORPOJ = T
End Property

Public Property Let SHF(T As Boolean)
    ASHF = T
    If T = True Then
        ACTE = False
        ASTEP = False
    End If
End Property

Public Property Let CTE(T As Boolean)
    ACTE = T
End Property

Public Property Let STEP(T As Boolean)
    ASTEP = T
End Property

Public Property Get CTE() As Boolean
    CTE = ACTE
End Property

Public Property Get SHF() As Boolean
    SHF = ASHF
End Property

Public Property Get STEP() As Boolean
    STEP = ASTEP
End Property

Public Property Let IMPACT(T As Boolean)
    AIMPACT = T
End Property

```

```
Public Property Get IMPACT() As Boolean
    IMPACT = AIMPACT
End Property
```

```
Public Property Let xi(T As Double)
    AXI = T
    AX = T
End Property
```

```
Public Property Let yi(T As Double)
    AYI = T
    AY = T
End Property
```

```
Public Property Let XJ(T As Double)
    AXJ = T
End Property
```

```
Public Property Let YJ(T As Double)
    AYJ = T
End Property
Public Property Let desenho(T As AcadEntity)
    Set Adesenho = T
End Property
```

```
Public Property Let QUII(T As Double)
    AQUII = T
End Property
```

```
Public Property Let NETAI(T As Double)
    ANETAI = T
End Property
```

```
Public Property Let QUIJ(T As Double)
    AQUIJ = T
End Property
```

```
Public Property Let NETAJ(T As Double)
    ANETAJ = T
End Property
```

```
Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property
```

```
Public Property Get CORPOI() As corpo
    Set CORPOI = ACORPOI
End Property
```

```
Public Property Get CORPOJ() As corpo
    Set CORPOJ = ACORPOJ
End Property
```

```
Public Property Get xi() As Double
    xi = AXI
End Property
```

```
Public Property Get yi() As Double
    yi = AYI
```

End Property

Public Property Get XJ() As Double

XJ = AXJ

End Property

Public Property Get YJ() As Double

YJ = AYJ

End Property

Public Property Get desenho() As AcadEntity

Set desenho = Adesenho

End Property

Public Property Get QUII() As Double

Call atualiza_QUI_NETA

QUII = AQUII

End Property

Public Property Get NETAI() As Double

NETAI = ANETAI

End Property

Public Property Get QUIJ() As Double

QUIJ = AQUIJ

End Property

Public Property Get NETAJ() As Double

NETAJ = ANETAJ

End Property

Public Sub plota()

Dim ang As Double

ang = angulo(xi, yi, XJ, YJ)

Set newMBlock = ThisDrawing.ModelSpace.AddMInsertBlock(retval, "FU", comp, comp, comp, ang, 1, 1, 1, 1)

End Sub

Public Property Get comp() As Double

comp = Sqr((xi - XJ) ^ 2 + (yi - YJ) ^ 2)

ACOMP = comp

End Property

Public Sub atualiza_QUI_NETA()

Dim TETA, phi, p As Double 'teta = angulo do vetor CG em relacao ao plano global

'phi = angulo do eixo corpo informado nos parametros de entrada

'p = distancia entre o CG e a junta de revolucão

TETA = angulo(CORPOL.X, CORPOL.Y, xi, yi)

p = Sqr((CORPOL.X - xi) ^ 2 + (CORPOL.Y - yi) ^ 2)

AQUII = p * Cos(TETA - CORPOL.phi)

ANETAI = p * Sin(TETA - CORPOL.phi)

TETA = angulo(CORPOJ.X, CORPOJ.Y, XJ, YJ)

p = Sqr((CORPOJ.X - XJ) ^ 2 + (CORPOJ.Y - YJ) ^ 2)

AQUIJ = p * Cos(TETA - CORPOJ.phi)

ANETAJ = p * Sin(TETA - CORPOJ.phi)

ACOMP = Sqr((xi - XJ) ^ 2 + (yi - YJ) ^ 2)

End Sub

Public Sub atualiza_XY(v As Integer)

Dim XXI, YYI, XXJ, YYJ As Double

```

Dim PONTO(2) As Double
If v = 0 Then
    XXI = CORPOS(CORPOI.num).X + AQUUI * Cos(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAJ * Cos(PI / 2 +
CORPOS(CORPOI.num).phi)
    YYI = CORPOS(CORPOI.num).Y + AQUUI * Sin(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAJ * Sin(PI / 2 +
CORPOS(CORPOI.num).phi)
    XXJ = XJ
    YYJ = YJ
End If
If v = 1 Then
    XXJ = CORPOS(CORPOJ.num).X + AQUIJ * Cos(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Cos(PI / 2 +
CORPOS(CORPOJ.num).phi)
    YYJ = CORPOS(CORPOJ.num).Y + AQUIJ * Sin(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Sin(PI / 2 +
CORPOS(CORPOJ.num).phi)
    XXI = xi
    YYI = yi
End If
If v = 2 Then
    XXI = CORPOS(CORPOI.num).X + AQUUI * Cos(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAJ * Cos(PI / 2 +
CORPOS(CORPOI.num).phi)
    YYI = CORPOS(CORPOI.num).Y + AQUUI * Sin(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAJ * Sin(PI / 2 +
CORPOS(CORPOI.num).phi)
    XXJ = CORPOS(CORPOJ.num).X + AQUIJ * Cos(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Cos(PI / 2 +
CORPOS(CORPOJ.num).phi)
    YYJ = CORPOS(CORPOJ.num).Y + AQUIJ * Sin(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Sin(PI / 2 +
CORPOS(CORPOJ.num).phi)
End If
If AIMPACT = False Then
    Call move(XXI, YYI, XXJ, YYJ)
Else
    Adesenho.Visible = False
End If
Call atualiza_QUI_NETA
Adesenho.Update
End Sub

```

Public Sub move(XXI, YYI, XXJ, YYJ As Double)

```

Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double
Dim PONTO(2) As Double
PONTO(0) = (xi + XJ) / 2
PONTO(1) = (yi + YJ) / 2
escala = Sqr((XXI - XXJ) ^ 2 + (YYI - YYJ) ^ 2) / comp
Adesenho.Visible = True
Adesenho.ScaleEntity PONTO, escala
phin = angulo(XXI, YYI, XXJ, YYJ)
phi = angulo(xi, yi, XJ, YJ)
BETA = angulo(0, 0, (xi + XJ) / 2, (yi + YJ) / 2)
alfa = angulo(0, 0, (XXI + XXJ) / 2, (YYI + YYJ) / 2)
R = Sqr(((xi + XJ) / 2) ^ 2 + ((yi + YJ) / 2) ^ 2)
TETA = phin - phi
x1 = R * Cos(TETA + BETA)
y1 = R * Sin(TETA + BETA)
T1 = (XXI + XXJ) / 2 - x1
T2 = (YYI + YYJ) / 2 - y1
m(0, 0) = Cos(TETA): m(0, 1) = -Sin(TETA): m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1
m(1, 0) = Sin(TETA): m(1, 1) = Cos(TETA): m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2
m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#
m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#
Adesenho.TransformBy (m)
Adesenho.Update
xi = XXI
yi = YYI
XJ = XXJ
YJ = YYJ

```

```

Call atualiza_QUI_NETA
End Sub

Public Sub show()
Dim mFU As New FU
For Each mFU In FUs
mFU.desenho.Highlight (False)
Next
For Each mcorpo In CORPOS
mcorpo.desenho.Highlight (False)
Next
If FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCJ.Value = False Or FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCI.Value = False Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Enabled = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Enabled = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Enabled = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Enabled = False
End If
If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 9 Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCI.Text = CStr(CORPOI.num)
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCJ.Text = CStr(CORPOJ.num)
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Text = Format(QUII, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Text = Format(NETAI, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Text = Format(QUIJ, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Text = Format(NETAJ, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCTE = CTE
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUSHF = SHF
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUSTEP = STEP
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUIMP = IMPACT
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUCTEF = CTEF
If ACTE Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUCTEF.Visible = True
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUSHF.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUSTEP.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUIMP.Value = False
End If
If ASHF Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUSHF.Visible = True
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCTE.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUSTEP.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUIMP.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUSHF.Visible = True
Else
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUSHF.Visible = False
End If
If ASTEP Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUSTEP.Visible = True
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCTE.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUSHF.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUIMP.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUSTEP.Visible = True
Else
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUSTEP.Visible = False
End If
If AIMPACT Then
Adesenho.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUIMP.Visible = True
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII = CStr(IMPRI)
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ = CStr(IMPRI)
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCI.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCJ.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUSHF.Value = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUSTEP.Value = False

```

```

FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUIMP.Value = True
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUYI.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUYIm.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXI.Caption = "Entre com o Raio"
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXIm.Visible = True
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUYJ.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUYJm.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Visible = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Enabled = True
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Enabled = True
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXJ.Caption = "Entre com o Raio"
FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXJm.Visible = True
If CORPOI.solo = True Then
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Visible = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXI.Caption = "    CORPO TIPO SOLO"
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXIm.Visible = False
Else
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXI.Caption = "    Entre com o Raio"
End If
If CORPOJ.solo = True Then
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Visible = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXJ.Caption = "    CORPO TIPO SOLO"
Else
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXJ.Caption = "    Entre com o Raio"
End If
Else
    Adesenho.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUIMP.Visible = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CButFUIMP.Visible = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUYI.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUYIm.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXI.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXIm.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXI.Caption = "Coordenada local X (QUI)"
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUYJ.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUYJm.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXJ.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXJm.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).LabelFUXJ.Caption = "Coordenada local X (QUI)"
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCI.Visible = True
    FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TButFUCJ.Visible = True
End If
Adesenho.Highlight (True)
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCI.Text)
J = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUCJ.Text)
CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)
CORPOS.Item(J).desenho.Highlight (True)
If STEP Then
    FrmSTEP.TxtSTEPT0 = STEPT0
    FrmSTEP.TxtSTEPT1 = STEPT1
    FrmSTEP.TxtSTEPF0 = STEPFO
    FrmSTEP.TxtSTEPF1 = STEPFI
End If

```

```

If SHF Then
    FrmSHF.TxtSHFa = ASHFA
    FrmSHF.TxtSHFw = ASHFW
    FrmSHF.TxtSHFX0 = ASHFX0
    FrmSHF.TxtSHFPhi = ASHFPHI
    FrmSHF.TxtSHFYm = ASHFYm
End If
If IMPACT Then
    FrmIMPACT.TxtIMPk = AIMPK
    FrmIMPACT.TxtIMPe = AIMPe
    FrmIMPACT.TxtIMPcmax = AIMPCmax
    FrmIMPACT.TxtIMPd = AIMPd
End If
FrmDados.TButFUCI.Visible = True
FrmDados.TButFUCJ.Visible = True
End If
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

Public Sub captura()
    Dim mFU As New FU
    If num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFU.Text) Then
        QUII = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIL.Text)
        NETAI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAI.Text)
        QUIJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Text)
        NETAJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUNETAJ.Text)
        If CTE Then CTEF = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUCTEF.Text)
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Text) Then
                CORPOI = mcorpo
            End If
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Text) Then
                CORPOJ = mcorpo
            End If
        Next
        If FrmSHF.Visible = True Then
            SHFA = CDbI(FrmSHF.TxtSHFa)
            SHFW = CDbI(FrmSHF.TxtSHFw)
            SHFX0 = CDbI(FrmSHF.TxtSHFX0)
            SHFPHI = CDbI(FrmSHF.TxtSHFPhi)
            SHFYm = CDbI(FrmSHF.TxtSHFYm)
        End If
        If FrmSTEP.Visible = True Then
            STEPT0 = CDbI(FrmSTEP.TxtSTEPT0)
            STEPT1 = CDbI(FrmSTEP.TxtSTEPT1)
            STEPFO = CDbI(FrmSTEP.TxtSTEPFO)
            STEPF1 = CDbI(FrmSTEP.TxtSTEPF1)
        End If
        If FrmIMPACT.Visible = True Then
            IMPK = CDbI(FrmIMPACT.TxtIMPk)
            IMPe = CDbI(FrmIMPACT.TxtIMPe)
            IMPCmax = CDbI(FrmIMPACT.TxtIMPcmax)
            IMPd = CDbI(FrmIMPACT.TxtIMPd)
        End If
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(9).CBoxFUIMP.Value = True Then
            If FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII.Visible = True Then
                IMPRI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUII)
            Else
                IMPRI = 0
            End If
            If FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ.Visible = True Then
                IMPRJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(9).TxtFUQUIJ)
            End If
        End If
    End If
End Sub

```

```

        Else
            IMPRJ = 0
        End If
    End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO FU (FORÇAS DO USUÁRIO)

```

```

'CLASSE DO OBJETO JM (JUNTA MOTRIZ)
Private ANum, AErro As Integer
Private APOS, ADPOS, ADDPOS, AFator As Double 'Posição velocidade, aceleração e escala
Private Adesenho As AcadEntity 'ícone que representa a JM
Private AX, AY As Double 'Coordenadas X e Y
Private ACORPO As corpo 'Corpo ao qual a JM está presa
Private ANCOORD As Integer 'Tipo de coordenada (1=X;2=Y;3=PHI)

Public Property Let COR(T As AcColor)
    Adesenho.color = T
End Property

Public Property Let desenho(T As AcadEntity)
    Set Adesenho = T
End Property

Public Property Let X(T As Double)
    AX = T
End Property

Public Property Let Y(T As Double)
    AY = T
End Property

Public Property Get Fator() As Double
    Fator = AFator
End Property

Public Property Let Fator(T As Double)
    Dim PONTO(2) As Double
    Dim escala As Double
    AErro = 0
    PONTO(0) = AX
    PONTO(1) = AY
    If AFator <> 0 Then
        escala = 1 + (T - AFator) / AFator
    Else
        If T <> 0 Then
            escala = T
        Else:
            escala = 1
        End If
    End If
    If escala <> 0 Then
        Adesenho.ScaleEntity PONTO, escala
        AFator = T
    End If
    ThisDrawing.Application.Update
End Property

Public Property Let num(T As Integer)
    ANum = T

```

```

End Property

Public Property Let POS(T As Double)
    APOS = T
End Property

Public Property Let DPOS(T As Double)
    ADPOS = T
End Property

Public Property Let DDPOS(T As Double)
    ADDPOS = T
End Property

Public Property Let corpo(T As corpo)
    Set ACORPO = T
End Property

Public Property Let NCOORD(T As Integer)
    ANCOORD = T
End Property

Public Property Get COR() As AcColor
    COR = Adesenho.color
End Property

Public Property Get desenho() As AcadEntity
    Set desenho = Adesenho
End Property

Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property

Public Property Get X() As Double
    X = AX
End Property
Public Property Get Y() As Double
    Y = AY
End Property

Public Property Get POS() As Double
    POS = APOS
End Property

Public Property Get DPOS() As Double
    DPOS = ADPOS
End Property

Public Property Get DDPOS() As Double
    DDPOS = ADDPOS
End Property

Public Property Get NCOORD() As Integer
    NCOORD = ANCOORD
End Property

Public Property Get corpo() As corpo
    Set corpo = ACORPO
End Property

Public Sub move(xn, yn, phin As Double)

```

```

Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double
AErro = 0
BETA = angulo(0, 0, X, Y)
alfa = angulo(0, 0, xn, yn)
If X <> xn Or Y <> yn Then
    R = Sqr(X * X + Y * Y)
    TETA = phin - phi
    x1 = R * Cos(TETA + BETA)
    y1 = R * Sin(TETA + BETA)
    T1 = xn - x1
    T2 = yn - y1
    m(0, 0) = Cos(TETA): m(0, 1) = -Sin(TETA): m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1
    m(1, 0) = Sin(TETA): m(1, 1) = Cos(TETA): m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2
    m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#
    m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#
    desenho.TransformBy (m)
    X = xn
    Y = yn
End If
End Sub

Public Sub show()
    Dim mJM As New JM
    Dim PONTO(2) As Double
    For Each mJM In JM
        desenho.Highlight (False)
    Next
    For Each mcorpo In CORPOS
        mcorpo.desenho.Highlight (False)
    Next
    If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 8 Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMC.Text = CStr(ACORPO.num)
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).TxtJMpos.Text = Format(APOS, "0.00000")
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).TxtJMvel.Text = Format(ADPOS, "0.00000")
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).TxtJMacel.Text = Format(ADDPOS, "0.00000")
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).TxtJMFator.Text = Format(AFator, "0.00000")
        desenho.Highlight (True)
        i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMC.Text)
        CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)
        For Each mJM In JM
            mJM.desenho.Highlight (False)
        Next
        PONTO(0) = AX
        PONTO(1) = AY
        Select Case ANCOORD
        Case 1:
            FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMtipo = "X"
            FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LbJMposUn = "m"
            FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LbJMvelUn = "m/s"
            FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LbJMacelUn = "m/s2"
            PathName = DesenhosDir + "JMx.dwg"
            Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "FSSM_JMx", PONTO, AFator, AFator, 1, 0,
False)

            insertedblock.LAYER = "FSSM_JM"
        Case 2:
            FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMtipo = "Y"
            FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LbJMposUn = "m"
            FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LbJMvelUn = "m/s"
            FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LbJMacelUn = "m/s2"
            PathName = DesenhosDir + "JMy.dwg"

```

```

        Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "FSSM_JMy", PONTO, AFator, AFator, 1, 0,
False)
        insertedblock.LAYER = "FSSM_JM"
    Case 3:
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMtipo = "PHI"
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LblJMposUn = "rad"
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LblJMvelUn = "rad/s"
        FrmDados.MultiPage1.Pages(8).LblJMacelUn = "rad/s2"
        PathName = DesenhosDir + "JMr.dwg"
        Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "FSSM_JMr", PONTO, AFator, AFator, 1, 0,
False)
        insertedblock.LAYER = "FSSM_JM"
    End Select
    Adesenho.Delete
    Set Adesenho = insertedblock
End If
Adesenho.Highlight (True)
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

Public Sub captura()
    On Error GoTo erro1
    If num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJM.Text) Then
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMC.Text) Then
                corpo = mcorpo
            End If
        Next
    End If
    APOS = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).TxtJMpos.Text)
    ADPOS = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).TxtJMvel.Text)
    ADDPOS = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).TxtJMacel.Text)
    Fator = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(8).TxtJMFator.Text)
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMtipo.Text = "X" Then ANCOORD = 1
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMtipo.Text = "Y" Then ANCOORD = 2
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(8).CBoxJMtipo.Text = "PHI" Then ANCOORD = 3
erro1: If Err.Number <> 0 Then
    MsgBox "Erro na função CAPTURA_JM : Números inválidos"
    Err.Clear
End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO JM (JUNTA MOTRIZ)

'-----

'CLASSE DO OBJETO JR (JUNTA DE REVOLUÇÃO)
Private ANum As Integer
Private AX, AY, AXI, AYI, AFator As Double 'Coordenadas X, Y, Xinicial, Yinicial e escala
Private Adesenho As AcadEntity 'Ícone que representa a JR
Private ACORPOI As corpo 'Corpo I ligado pela JR
Private ACORPOJ As corpo 'Corpo J ligado pela JR
Private AQUII, ANETAJ As Double 'Coordenadas local da JR em relação ao corpo I
Private AQUIJ, ANETAJ As Double 'Coordenadas local da JR em relação ao corpo J
Private ATEMPO As Double 'Guarda o tempo do último movimento da JR

Public Property Let COR(T As AcColor)
    Adesenho.color = T
End Property

Public Property Let desenho(T As AcadEntity)
    Set Adesenho = T
End Property

```

```
Public Property Let num(T As Integer)
  ANum = T
End Property
```

```
Public Property Let xi(T As Double)
  AXI = T
  AX = T
End Property
```

```
Public Property Let yi(T As Double)
  AYI = T
  AY = T
End Property
```

```
Public Property Let Tempo(T As Double)
  ATEMPO = T
End Property
```

```
Public Property Get Tempo() As Double
  Tempo = ATEMPO
End Property
```

```
Public Property Get Fator() As Double
  Fator = AFator
End Property
```

```
Public Property Let Fator(T As Double)
  Dim PONTO(2) As Double
  Dim escala As Double
  PONTO(0) = X
  PONTO(1) = Y
  If T < 0 Or Abs(T) < 0.000000000000001 Then T = 0.000000000000001
  If AFator <> 0 Then
    escala = 1 + (T - AFator) / AFator
  Else
    escala = T
  End If
  If escala <> 0 Then
    Adesenho.ScaleEntity PONTO, escala
    Adesenho.Highlight (True)
  End If
  AFator = T
  ThisDrawing.Application.Update
End Property
```

```
Public Property Let X(T As Double)
  AX = T
End Property
```

```
Public Property Let Y(T As Double)
  AY = T
End Property
```

```
Public Property Let CORPOI(T As corpo)
  Set ACORPOI = T
End Property
```

```
Public Property Let CORPOJ(T As corpo)
  Set ACORPOJ = T
End Property
```

```

Public Property Let QUII(T As Double)
    AQUII = T
End Property

Public Property Let NETAI(T As Double)
    ANETAI = T
End Property
Public Property Let QUIJ(T As Double)
    AQUIJ = T
End Property

Public Property Let NETAJ(T As Double)
    ANETAJ = T
End Property

Public Property Get desenho() As AcadEntity
    Set desenho = Adesenho
End Property

Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property

Public Property Get xi() As Double
    xi = AXI
End Property

Public Property Get yi() As Double
    yi = AYI
End Property

Public Property Get X() As Double
    X = AX
End Property

Public Property Get Y() As Double
    Y = AY
End Property

Public Property Get CORPOI() As corpo
    Set CORPOI = ACORPOI
End Property

Public Property Get CORPOJ() As corpo
    Set CORPOJ = ACORPOJ
End Property

Public Property Get QUII() As Double
    Call atualiza_QUI_NETA
    QUII = AQUII
End Property

Public Property Get NETAI() As Double
    Call atualiza_QUI_NETA
    NETAI = ANETAI
End Property

Public Property Get QUIJ() As Double
    Call atualiza_QUI_NETA
    QUIJ = AQUIJ
End Property

```

```
Public Property Get NETAJ() As Double
```

```
    Call atualiza_QUI_NETA
```

```
    NETAJ = ANETAJ
```

```
End Property
```

```
Public Sub atualiza_QUI_NETA()
```

```
Dim TETA, phi, p As Double 'teta = angulo do vetor CG em relacao ao plano global
```

```
    'phi = angulo do eixo corpo informado nos parametros de entrada
```

```
    'p = distancia entre o CG e a junta de revolucao
```

```
    TETA = angulo(CORPOI.X, CORPOI.Y, X, Y)
```

```
    p = Sqr((CORPOI.X - X) ^ 2 + (CORPOI.Y - Y) ^ 2)
```

```
    AQUUI = p * Cos(TETA - CORPOI.phi)
```

```
    ANETAJ = p * Sin(TETA - CORPOI.phi)
```

```
    TETA = angulo(CORPOJ.X, CORPOJ.Y, X, Y)
```

```
    p = Sqr((CORPOJ.X - X) ^ 2 + (CORPOJ.Y - Y) ^ 2)
```

```
    AQUUIJ = p * Cos(TETA - CORPOJ.phi)
```

```
    ANETAJ = p * Sin(TETA - CORPOJ.phi)
```

```
End Sub
```

```
Public Sub atualiza_XY(v As Boolean) 'V=TRUE ATUALIZA EM RELAÇÃO AO CORPOI, FALSE EM RELAÇÃO AO CORPO J
```

```
    Dim XX, YY As Double
```

```
    If v Then
```

```
        XX = CORPOS(CORPOI.num).X + AQUUI * Cos(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAJ * Cos(PI / 2 +  
CORPOS(CORPOI.num).phi)
```

```
        YY = CORPOS(CORPOI.num).Y + AQUUI * Sin(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAJ * Sin(PI / 2 +  
CORPOS(CORPOI.num).phi)
```

```
    Else:
```

```
        XX = CORPOS(CORPOJ.num).X + AQUUIJ * Cos(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Cos(PI / 2 +  
CORPOS(CORPOJ.num).phi)
```

```
        YY = CORPOS(CORPOJ.num).Y + AQUUIJ * Sin(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Sin(PI / 2 +  
CORPOS(CORPOJ.num).phi)
```

```
    End If
```

```
    Call move(XX, YY)
```

```
    CORPOI.desenho.Update
```

```
    CORPOJ.desenho.Update
```

```
    ThisDrawing.Application.Update
```

```
End Sub
```

```
Public Sub move(xn, yn As Double)
```

```
    Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double
```

```
    BETA = angulo(0, 0, X, Y)
```

```
    alfa = angulo(0, 0, xn, yn)
```

```
    R = Sqr(X * X + Y * Y)
```

```
    TETA = 0
```

```
    x1 = R * Cos(TETA + BETA)
```

```
    y1 = R * Sin(TETA + BETA)
```

```
    T1 = xn - x1
```

```
    T2 = yn - y1
```

```
    m(0, 0) = 1: m(0, 1) = 0: m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1
```

```
    m(1, 0) = 0: m(1, 1) = 1: m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2
```

```
    m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#
```

```
    m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#
```

```
    If X <> xn Or Y <> yn Then desenho.TransformBy (m)
```

```
    X = xn
```

```
    Y = yn
```

```
    Call atualiza_QUI_NETA
```

```
End Sub
```

```
Public Sub show()
```

```
    Dim PONTO(2) As Double
```

```
    On Error GoTo erro1
```

```
    For Each mcorpo In CORPOS
```

```
        mcorpo.desenho.Highlight (False)
```

```

Next
For Each mJR In JRs
    mJR.desenho.Highlight (False)
Next
If (ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 2) Or (ANum =
Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(0).CBoxAEJR.Text) And FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 0) Then
    If FrmSimulacao.Visible = False Then
        If CORPOI.num <> Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCI.Text) Then FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCI.Text =
CStr(CORPOI.num)
        If CORPOJ.num <> Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Text) Then FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Text =
CStr(CORPOJ.num)
        FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRQUII.Text = Format(QUII, "0.00000")
        FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRNETAJ.Text = Format(NETAJ, "0.00000")
        FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRQUIJ.Text = Format(QUIJ, "0.00000")
        FrmDados.MultiPage1.Pages(2).txtJRNETAJ.Text = Format(NETAJ, "0.00000")
    End If
    desenho.Highlight (True)
    CORPOI.desenho.Highlight (True)
    CORPOJ.desenho.Highlight (True)
    FrmDados.MultiPage1.Pages(2).TxtJRFator.Text = Format(Fator, "0.00000")
End If
If FrmSimulacao.Visible = True Then
    desenho.Highlight (True)
    CORPOI.desenho.Highlight (True)
    CORPOJ.desenho.Highlight (True)
End If
ThisDrawing.Application.Update
erro1: If Err.Number <> 0 Then
    MsgBox "Erro na função IMPRIME_JR"
    Err.Clear
End If
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

Public Sub captura()
    On Error GoTo erro1
    If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJR.Text) Then
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCI.Text) Then
                CORPOI = mcorpo
            End If
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).cboxJRCJ.Text) Then
                CORPOJ = mcorpo
            End If
        Next
        Fator = CDbf(FrmDados.MultiPage1.Pages(2).TxtJRFator.Text)
    End If
erro1: If Err.Number <> 0 Then
    MsgBox "Erro na função CAPTURA_JR"
    Err.Clear
End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO JR (JUNTA DE REVOLUÇÃO)

```

```

'CLASSE DO OBJETO JS (JUNTA SIMPLES)
Private ANum As Integer
Private Adesenho As AcadEntity 'Ícone que representa a JS
Private ACORPO As corpo 'Corpo ao qual a JS está presa
Private AX, AY, AFator As Double 'Coordenadas X e Y da JS

```

```
Private ANCOORD As Integer 'tipo de coordenada(1=X;2=Y;3=PHI)
```

```
Public Property Let COR(T As AcColor)  
    Adesenho.color = T  
End Property
```

```
Public Property Let X(T As Double)  
    AX = T  
End Property
```

```
Public Property Let Y(T As Double)  
    AY = T  
End Property
```

```
Public Property Let desenho(T As AcadEntity)  
    Set Adesenho = T  
End Property
```

```
Public Property Let num(T As Integer)  
    ANum = T  
End Property
```

```
Public Property Get Fator() As Double  
    Fator = AFator  
End Property
```

```
Public Property Let Fator(T As Double)  
    Dim PONTO(2) As Double  
    Dim escala As Double  
    PONTO(0) = AX  
    PONTO(1) = AY  
    If T < 0 Or Abs(T) < 0.000000000000001 Then T = 0.000000000000001  
    If AFator <> 0 Then  
        escala = 1 + (T - AFator) / AFator  
    Else  
        If T <> 0 Then  
            escala = T  
        End If  
    End If  
    If escala <> 0 Then  
        Adesenho.ScaleEntity PONTO, escala  
        Adesenho.Highlight (True)  
    End If  
    AFator = T  
    ThisDrawing.Application.Update  
End Property
```

```
Public Property Let corpo(T As corpo)  
    Set ACORPO = T  
End Property
```

```
Public Property Let NCOORD(T As Integer)  
    ANCOORD = T  
End Property
```

```
Public Property Get COR() As AcColor  
    COR = Adesenho.color  
End Property
```

```
Public Property Get desenho() As AcadEntity  
    Set desenho = Adesenho  
End Property
```

```

Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property

Public Property Get X() As Double
    X = AX
End Property

Public Property Get Y() As Double
    Y = AY
End Property

Public Property Get NCOORD() As Integer
    NCOORD = ANCOORD
End Property

Public Property Get corpo() As corpo
    Set corpo = ACORPO
End Property

Public Sub move(xn, yn, phin As Double)
    Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double
    BETA = angulo(0, 0, X, Y)
    alfa = angulo(0, 0, xn, yn)
    If X <> xn Or Y <> yn Then
        R = Sqr(X * X + Y * Y)
        TETA = phin - phi
        x1 = R * Cos(TETA + BETA)
        y1 = R * Sin(TETA + BETA)
        T1 = xn - x1
        T2 = yn - y1
        m(0, 0) = Cos(TETA): m(0, 1) = -Sin(TETA): m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1
        m(1, 0) = Sin(TETA): m(1, 1) = Cos(TETA): m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2
        m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#
        m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#
        desenho.TransformBy (m)
        X = xn
        Y = yn
    End If
End Sub

Public Sub show()
    Dim mJS As JS
    Dim PONTO(2) As Double
    For Each mJS In JSs
        mJS.desenho.Highlight (False)
    Next
    For Each mcorpo In CORPOS
        mcorpo.desenho.Highlight (False)
    Next
    If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 4 Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSC.Text = CStr(ACORPO.num)
        FrmDados.MultiPage1.Pages(4).TxtJSFator.Text = Format(AFator, "0.00000")
        desenho.Highlight (True)
        i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSC.Text)
        CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)
        PONTO(0) = AX
        PONTO(1) = AY
        Select Case ANCOORD
        Case 1:
            FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSR = "X"

```

```

        PathName = DesenhosDir + "JSx.dwg"
        Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "FSSM_JSx", PONTO, AFator, AFator, 1, 0,
False)
        insertedblock.LAYER = "FSSM_JS"
    Case 2:
        FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSR = "Y"
        PathName = DesenhosDir + "JSy.dwg"
        Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "FSSM_JSy", PONTO, AFator, AFator, 1, 0,
False)
        insertedblock.LAYER = "FSSM_JS"
    Case 3:
        FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSR = "PHI"
        PathName = DesenhosDir + "JSr.dwg"
        Set insertedblock = ThisDrawing.ModelSpace.AttachExternalReference(PathName, "FSSM_JSr", PONTO, AFator, AFator, 1, 0,
False)
        insertedblock.LAYER = "FSSM_JS"
    End Select
    Adesenho.Delete
    Set Adesenho = insertedblock
End If
    ThisDrawing.Application.Update
End Sub

```

```

Public Sub captura()
    If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJS.Text) Then
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSC.Text) Then
                Set ACORPO = mcorpo
            End If
        Next
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSR.Text = "X" Then ANCOORD = 1
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSR.Text = "Y" Then ANCOORD = 2
        If FrmDados.MultiPage1.Pages(4).CBoxJSR.Text = "PHI" Then ANCOORD = 3
        Fator = Cdbl(FrmDados.MultiPage1.Pages(4).TxtJSFator.Text)
    End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO JS (JUNTA SIMPLES)

```

'CLASSE DO OBJETO JT (JUNTA DE TRANSLAÇÃO)

```

Private ANum, erro As Integer
Private AXIP, AYIP As Double      'Coordenadas X e Y do ponto P preso no corpo I
Private AXIQ, AYIQ As Double      'Coordenadas X e Y do ponto Q preso no corpo I
Private AXJP, AYJP As Double      'Coordenadas X e Y do ponto P preso no corpo J
Private Adesenho As AcadEntity    'Ícone da JT
Private ACORPOI As corpo          'Corpo I
Private ACORPOJ As corpo          'Corpo J
Private AQUIP, ANETAIP As Double  'Coordenadas local do ponto P em relação ao corpo I
Private AQUIQ, ANETAIQ As Double  'Coordenadas local do ponto Q em relação ao corpo I
Private AQUJP, ANETAJP As Double  'Coordenadas local do ponto P em relação ao corpo J

```

```

Public Property Let COR(T As AcColor)
    Adesenho.color = T
End Property

```

```

Public Property Let desenho(T As AcadEntity)
    Set Adesenho = T
End Property

```

```

Public Property Let num(T As Integer)
    ANum = T
End Property

```

Public Property Let XIP(T As Double)

AXIP = T

End Property

Public Property Let YIP(T As Double)

AYIP = T

End Property

Public Property Let XIQ(T As Double)

AXIQ = T

End Property

Public Property Let YIQ(T As Double)

AYIQ = T

End Property

Public Property Let XJP(T As Double)

AXJP = T

End Property

Public Property Let YJP(T As Double)

AYJP = T

End Property

Public Property Let CORPOI(T As corpo)

Set ACORPOI = T

End Property

Public Property Let CORPOJ(T As corpo)

Set ACORPOJ = T

End Property

Public Property Let QUIIP(T As Double)

AQUIIP = T

End Property

Public Property Let NETAIP(T As Double)

ANETAIP = T

End Property

Public Property Let QUIJP(T As Double)

AQUIJP = T

End Property

Public Property Let NETAJP(T As Double)

ANETAJP = T

End Property

Public Property Let QUIIQ(T As Double)

AQUIIQ = T

End Property

Public Property Let NETAIQ(T As Double)

ANETAIQ = T

End Property

Public Property Get desenho() As AcadEntity

Set desenho = Adesenho

End Property

Public Property Get XIP() As Double

XIP = AXIP

```

End Property

Public Property Get YIP() As Double
    YIP = AYIP
End Property

Public Property Get XIQ() As Double
    XIQ = AXIQ
End Property

Public Property Get YIQ() As Double
    YIQ = AYIQ
End Property

Public Property Get XJP() As Double
    XJP = AXJP
End Property

Public Property Get YJP() As Double
    YJP = AYJP
End Property

Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property

Public Property Get CORPOI() As corpo
    Set CORPOI = ACORPOI
End Property

Public Property Get CORPOJ() As corpo
    Set CORPOJ = ACORPOJ
End Property
Public Property Get QUIIP() As Double
    Call atualiza QUI_NETA
    QUIIP = AQUUIP
End Property

Public Property Get NETAIP() As Double
    Call atualiza QUI_NETA
    NETAIP = ANETAIP
End Property

Public Property Get QUIIQ() As Double
    Call atualiza QUI_NETA
    QUIIQ = AQUUIQ
End Property

Public Property Get NETAIQ() As Double
    Call atualiza QUI_NETA
    NETAIQ = ANETAIQ
End Property

Public Property Get QUIJP() As Double
    Call atualiza QUI_NETA
    QUIJP = AQUUIP
End Property

Public Property Get NETAJP() As Double
    Call atualiza QUI_NETA
    NETAJP = ANETAJP
End Property

```

Public Sub atualiza_QUI_NETA()

Dim TETA, phi, p As Double 'teta = angulo do vetor CG em relacao ao plano global

'phi = angulo do eixo corpo informado nos parametros de entrada

'p = distancia entre o CG e a junta de revolucao

TETA = angulo(CORPOI.X, CORPOI.Y, XIP, YIP)

p = Sqr((CORPOI.X - XIP) ^ 2 + (CORPOI.Y - YIP) ^ 2)

AQUIIP = p * Cos(TETA - CORPOI.phi)

ANETAIP = p * Sin(TETA - CORPOI.phi)

TETA = angulo(CORPOI.X, CORPOI.Y, XIQ, YIQ)

p = Sqr((CORPOI.X - XIQ) ^ 2 + (CORPOI.Y - YIQ) ^ 2)

AQUIIQ = p * Cos(TETA - CORPOI.phi)

ANETAIQ = p * Sin(TETA - CORPOI.phi)

TETA = angulo(CORPOJ.X, CORPOJ.Y, XJP, YJP)

p = Sqr((CORPOJ.X - XJP) ^ 2 + (CORPOJ.Y - YJP) ^ 2)

AQUIJP = p * Cos(TETA - CORPOJ.phi)

ANETAJP = p * Sin(TETA - CORPOJ.phi)

End Sub

Public Sub atualiza_XY(v As Boolean)

Dim XXIP, YYIP, XXJP, YYJP As Double

If v Then

XXIP = CORPOS(CORPOI.num).X + AQUIIP * Cos(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAIP * Cos(PI / 2 + CORPOS(CORPOI.num).phi)

YYIP = CORPOS(CORPOI.num).Y + AQUIIP * Sin(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAIP * Sin(PI / 2 + CORPOS(CORPOI.num).phi)

XXJP = XJP

YYJP = YJP

Else:

XXJP = CORPOS(CORPOJ.num).X + AQUIJP * Cos(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJP * Cos(PI / 2 + CORPOS(CORPOJ.num).phi)

YYJP = CORPOS(CORPOJ.num).Y + AQUIJP * Sin(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJP * Sin(PI / 2 + CORPOS(CORPOJ.num).phi)

XXIP = XIP

YYIP = YIP

End If

XXIQ = (XXIP + XXJP) / 2

YYIQ = (YYIP + YYJP) / 2

Call move(XXIP, YYIP, XXJP, YYJP)

CORPOI.desenho.Update

CORPOJ.desenho.Update

ThisDrawing.Application.Update

End Sub

Public Sub move(XXIP, YYIP, XXJP, YYJP As Double)

Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double

phin = angulo(XXIP, YYIP, XXJP, YYJP)

phi = angulo(XIP, YIP, XJP, YJP)

BETA = angulo(0, 0, XIP, YIP)

alfa = angulo(0, 0, XXIP, YYIP)

R = Sqr(XIP * XIP + YIP * YIP)

TETA = phin - phi

x1 = R * Cos(TETA + BETA)

y1 = R * Sin(TETA + BETA)

T1 = XXIP - x1

T2 = YYIP - y1

m(0, 0) = Cos(TETA): m(0, 1) = -Sin(TETA): m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1

m(1, 0) = Sin(TETA): m(1, 1) = Cos(TETA): m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2

m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#

m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#

desenho.TransformBy (m)

```

XIP = XXIP
YIP = YYIP
XJP = XXJP
YJP = YYJP
XIQ = (XXIP + XXJP) / 2
YIQ = (YYIP + YYJP) / 2
Call atualiza_QUI_NETA
End Sub

Public Sub show()
Dim mJT As New JT
If FrmDados.MultiPage1.Pages(3).TButJTCL.Value = False Or FrmDados.MultiPage1.Pages(3).TButJTCL.Value = False Then
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIQ.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIQ.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIIP.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIP.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIJP.Enabled = False
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAJP.Enabled = False
End If
For Each mJT In JTs
    mJT.desenho.Highlight (False)
Next
For Each mcorpo In CORPOS
    mcorpo.desenho.Highlight (False)
Next
If num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 3 Then
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCL.Text = CStr(CORPOI.num)
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCL.Text = CStr(CORPOJ.num)
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIIP.Text = Format(QUIIP, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIP.Text = Format(NETAIP, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIQ.Text = Format(QUIQ, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIQ.Text = Format(NETAIQ, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIJP.Text = Format(QUIJP, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAJP.Text = Format(NETAJP, "0.00000")
    Adesenho.Highlight (True)
    i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCL.Text)
    J = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCL.Text)
    CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)
    CORPOS.Item(J).desenho.Highlight (True)
End If
If FrmSimulacao.Visible = True Then
    Adesenho.Highlight (True)
    i = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).TxtJTCL.Text)
    J = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).TxtJTCL.Text)
    CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)
    CORPOS.Item(J).desenho.Highlight (True)
End If
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

Public Sub captura()
On Error GoTo erro1
If num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).CboxJT.Text) Then
    AQUUIP = CDbf(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIIP.Text)
    ANETAIP = CDbf(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIP.Text)
    AQUUIQ = CDbf(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIQ.Text)
    ANETAIQ = CDbf(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAIQ.Text)
    AQUUIJP = CDbf(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTQUIJP.Text)
    ANETAJP = CDbf(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).txtJTNETAJP.Text)
For Each mcorpo In CORPOS
    If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCL.Text) Then
        Set ACORPOI = mcorpo
    
```

```

End If
If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(3).cboxJTCJ.Text) Then
    Set ACORPOJ = mcorpo
End If
Next
End If
erro1: If Err.Number <> 0 Then
    MsgBox "Erro na função CAPTURA_JT"
    Err.Clear
End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO JT (JUNTA DE TRANSLAÇÃO)

```

```

'-----
'CLASSE DO OBJETO MA (MOLA AMORTECEDOR)
Private ANum, erro As Integer
Private AXI, AYI, AXJ, AYJ As Double 'Coordenadas global instantâneas
Private AXIi, AYIi, AXJi, AYJi As Double 'Coordenadas globais iniciais
Private ACOMP, ACOMPI As Double 'Comprimento, comprimento indeformada
Private AK, AC, AF As Double 'Constante elástica, constante de amortecimento e força
Private Adesenho As AcadEntity 'ícone de representa a MA
Private ACORPOI As corpo 'Corpo I
Private ACORPOJ As corpo 'Corpo J
Private AQUII, ANETAJ As Double 'Coordenadas da MA em relação ao corpo I
Private AQUIJ, ANETAJ As Double 'Coordenadas da MA em relação ao corpo J

Public Property Let COR(T As AcColor)
    Adesenho.color = T
End Property

Public Property Let desenho(T As AcadEntity)
    Set Adesenho = T
End Property

Public Property Let num(T As Integer)
    ANum = T
End Property

Public Property Let XIi(T As Double)
    AXIi = T
    AXI = T
End Property

Public Property Let YIi(T As Double)
    AYIi = T
    AYI = T
End Property

Public Property Let XJi(T As Double)
    AXJi = T
    AXJ = T
End Property

Public Property Let YJi(T As Double)
    AYJi = T
    AYJ = T
End Property

Public Property Let xi(T As Double)
    AXI = T
End Property

```

```

Public Property Let yi(T As Double)
  AYI = T
End Property

Public Property Let XJ(T As Double)
  AXJ = T
End Property

Public Property Let YJ(T As Double)
  AYJ = T
End Property

Public Property Let K(T As Double)
  AK = T
End Property

Public Property Let C(T As Double)
  AC = T
End Property

Public Property Let F(T As Double)
  AF = T
End Property

Public Property Let COMPI(T As Double)
  ACOMPI = T
End Property

Public Property Let CORPOI(T As corpo)
  Set ACORPOI = T
End Property

Public Property Let CORPOJ(T As corpo)
  Set ACORPOJ = T
End Property

Public Property Let QUII(T As Double)
  AQUII = T
End Property

Public Property Let NETAI(T As Double)
  ANETAI = T
End Property

Public Property Let QUIJ(T As Double)
  AQUIJ = T
End Property

Public Property Let NETAJ(T As Double)
  ANETAJ = T
End Property

Public Property Get desenho() As AcadEntity
  Set desenho = Adesenho
End Property

Public Property Get num() As Integer
  num = ANum
End Property

Public Property Get XIi() As Double
  XIi = AXIi

```

```

End Property

Public Property Get YIi() As Double
    YIi = AYIi
End Property

Public Property Get XJi() As Double
    XJi = AXJi
End Property

Public Property Get YJi() As Double
    YJi = AYJi
End Property

Public Property Get xi() As Double
    xi = AXI
End Property

Public Property Get yi() As Double
    yi = AYI
End Property

Public Property Get XJ() As Double
    XJ = AXJ
End Property

Public Property Get YJ() As Double
    YJ = AYJ
End Property

Public Property Get comp() As Double
    comp = Sqr((xi - XJ) ^ 2 + (yi - YJ) ^ 2)
    ACOMP = comp
End Property

Public Property Get C() As Double
    C = AC
End Property

Public Property Get K() As Double
    K = AK
End Property

Public Property Get F() As Double
    F = AF
End Property

Public Property Get COMPI() As Double
    COMPI = ACOMPI
End Property

Public Property Get CORPOI() As corpo
    Set CORPOI = ACORPOI
End Property

Public Property Get CORPOJ() As corpo
    Set CORPOJ = ACORPOJ
End Property

Public Property Get QUII() As Double
    Call atualiza_QUI_NETA
    QUII = AQUII

```

```

End Property

Public Property Get NETAI() As Double
    NETAI = ANETAI
End Property

Public Property Get QUII() As Double
    QUII = AQUII
End Property

Public Property Get NETAJ() As Double
    NETAJ = ANETAJ
End Property

Public Sub plota()
    Dim ang As Double
    ang = angulo(xi, yi, XJ, YJ)
    Set newMBlock = ThisDrawing.ModelSpace.AddMInsertBlock(retval, "MA", comp, comp, comp, ang, 1, 1, 1, 1)
End Sub

Public Sub atualiza_QUI_NETA()
    Dim TETA, phi, p As Double 'teta = angulo do vetor CG em relacao ao plano global
    'phi = angulo do eixo corpo informado nos parametros de entrada
    'p = distancia entre o CG e a junta de revolucão
    TETA = angulo(CORPOI.X, CORPOI.Y, xi, yi)
    p = Sqr((CORPOI.X - xi) ^ 2 + (CORPOI.Y - yi) ^ 2)
    AQUII = p * Cos(TETA - CORPOI.phi)
    ANETAI = p * Sin(TETA - CORPOI.phi)

    TETA = angulo(CORPOJ.X, CORPOJ.Y, XJ, YJ)
    p = Sqr((CORPOJ.X - XJ) ^ 2 + (CORPOJ.Y - YJ) ^ 2)
    AQUII = p * Cos(TETA - CORPOJ.phi)
    ANETAJ = p * Sin(TETA - CORPOJ.phi)
    ACOMP = Sqr((xi - XJ) ^ 2 + (yi - YJ) ^ 2)
End Sub

Public Sub atualiza_XY(v As Integer)
    Dim XXI, YYI, XXJ, YYJ As Double
    Dim PONTO(2) As Double
    If v = 0 Then
        XXI = CORPOS(CORPOI.num).X + AQUII * Cos(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAI * Cos(PI / 2 + CORPOS(CORPOI.num).phi)
        YYI = CORPOS(CORPOI.num).Y + AQUII * Sin(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAI * Sin(PI / 2 + CORPOS(CORPOI.num).phi)
        XXJ = XJ
        YYJ = YJ
    End If
    If v = 1 Then
        XXJ = CORPOS(CORPOJ.num).X + AQUII * Cos(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Cos(PI / 2 + CORPOS(CORPOJ.num).phi)
        YYJ = CORPOS(CORPOJ.num).Y + AQUII * Sin(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Sin(PI / 2 + CORPOS(CORPOJ.num).phi)
        XXI = xi
        YYI = yi
    End If
    If v = 2 Then
        XXI = CORPOS(CORPOI.num).X + AQUII * Cos(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAI * Cos(PI / 2 + CORPOS(CORPOI.num).phi)
        YYI = CORPOS(CORPOI.num).Y + AQUII * Sin(CORPOS(CORPOI.num).phi) + ANETAI * Sin(PI / 2 + CORPOS(CORPOI.num).phi)
        XXJ = CORPOS(CORPOJ.num).X + AQUII * Cos(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Cos(PI / 2 + CORPOS(CORPOJ.num).phi)
        YYJ = CORPOS(CORPOJ.num).Y + AQUII * Sin(CORPOS(CORPOJ.num).phi) + ANETAJ * Sin(PI / 2 + CORPOS(CORPOJ.num).phi)
    End If

```

```

End If
PONTO(0) = (xi + XJ) / 2
PONTO(1) = (yi + YJ) / 2
escala = Sqr((XXI - XXJ) ^ 2 + (YYI - YYJ) ^ 2) / comp
Adesenho.ScaleEntity PONTO, escala
Call move(XXI, YYI, XXJ, YYJ)
Call atualiza_QUI_NETA
End Sub

Public Sub move(XXI, YYI, XXJ, YYJ As Double)
Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double
phin = angulo(XXI, YYI, XXJ, YYJ)
phi = angulo(xi, yi, XJ, YJ)
BETA = angulo(0, 0, (xi + XJ) / 2, (yi + YJ) / 2)
alfa = angulo(0, 0, (XXI + XXJ) / 2, (YYI + YYJ) / 2)
R = Sqr(((xi + XJ) / 2) ^ 2 + ((yi + YJ) / 2) ^ 2)
TETA = phin - phi
x1 = R * Cos(TETA + BETA)
y1 = R * Sin(TETA + BETA)
T1 = (XXI + XXJ) / 2 - x1
T2 = (YYI + YYJ) / 2 - y1
m(0, 0) = Cos(TETA): m(0, 1) = -Sin(TETA): m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1
m(1, 0) = Sin(TETA): m(1, 1) = Cos(TETA): m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2
m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#
m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#
Adesenho.TransformBy (m)
Adesenho.Update
xi = XXI
yi = YYI
XJ = XXJ
YJ = YYJ
Call atualiza_QUI_NETA
End Sub

Public Sub show()
Dim mMA As New MA
For Each mcorpo In CORPOS
mcorpo.desenho.Highlight (False)
Next
For Each mMA In MAs
mMA.desenho.Highlight (False)
Next
If FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TButMACJ.Value = False Or FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TButMACI.Value = False Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Enabled = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Enabled = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUIJ.Enabled = False
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Enabled = False
End If
If num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 5 Then
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Text = CStr(CORPOI.num)
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Text = CStr(CORPOJ.num)
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Text = Format(QUII, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Text = Format(NETAJ, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUIJ.Text = Format(QUIJ, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Text = Format(NETAJ, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TxtMACOMPI.Text = Format(COMPI, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TxtMAK.Text = Format(K, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TxtMAC.Text = Format(C, "0.00000")
FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TxtMAF.Text = Format(F, "0.00000")
i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Text)
J = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Text)
CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)

```

```

CORPOS.Item(J).desenho.Highlight (True)
Adesenho.Highlight (True)
End If
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

Public Sub captura()
Dim mMA As New MA
On Error GoTo erro1
If num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMA.Text) Then
QUII = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUII.Text)
NETAI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAI.Text)
QUIJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMAQUIJ.Text)
NETAJ = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).txtMANETAJ.Text)
COMPI = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TxtMACOMPI.Text)
K = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TxtMAK.Text)
C = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TxtMAC.Text)
F = CDbI(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).TxtMAF.Text)
For Each mcorpo In CORPOS
If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACI.Text) Then
CORPOI = mcorpo
End If
If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(5).CBoxMACJ.Text) Then
CORPOJ = mcorpo
End If
Next
End If
erro1: If Err.Number <> 0 Then
MsgBox "Erro na função CAPTURA_MA"
Err.Clear
End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO MA (MOLA AMORTECEDOR)

```

```

'-----
'CLASSE DO OBJETO PI (PONTO DE INTERESSE)
Private ANum As Integer
Private AX, AY As Double      'Coordenadas global X e Y
Private AFator, AXI, AYI As Double 'Coordenadas global iniciais
Private Adesenho As AcadEntity 'Ícone que representa o PI
Private ACORPO As corpo      'Corpo ao qual o PI está preso
Private AQUI, ANETA As Double 'Coordenadas locais do PI em relação ao corpo

Public Property Let desenho(T As AcadEntity)
Set Adesenho = T
End Property

Public Property Let num(T As Integer)
ANum = T
End Property

Public Property Let xi(T As Double)
AXI = T
AX = T
End Property

Public Property Let yi(T As Double)
AYI = T
AY = T
End Property

```

```

Public Property Get Fator() As Double
    Fator = AFator
End Property

Public Property Let Fator(T As Double)
    Dim PONTO(2) As Double
    Dim escala As Double
    PONTO(0) = AX
    PONTO(1) = AY
    If T < 0 Or Abs(T) < 0.000000000000001 Then T = 0.000000000000001
    If AFator <> 0 Then
        escala = 1 + (T - AFator) / AFator
    Else
        If T <> 0 Then
            escala = T
        End If
    End If
    If escala <> 0 Then
        Adesenho.ScaleEntity PONTO, escala
        Adesenho.Highlight True
    End If
    AFator = T
    ThisDrawing.Application.Update
End Property

Public Property Let X(T As Double)
    AX = T
End Property

Public Property Let Y(T As Double)
    AY = T
End Property

Public Property Let corpo(T As corpo)
    Set ACORPO = T
End Property

Public Property Let QUI(T As Double)
    AQUÍ = T
End Property

Public Property Let NETA(T As Double)
    ANETA = T
End Property

Public Property Get desenho() As AcadEntity
    Set desenho = Adesenho
End Property

Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property

Public Property Get xi() As Double
    xi = AXI
End Property

Public Property Get yi() As Double
    yi = AYI
End Property

Public Property Get X() As Double

```

```

X = AX
End Property

Public Property Get Y() As Double
Y = AY
End Property

Public Property Get corpo() As corpo
Set corpo = ACORPO
End Property

Public Property Get QUI() As Double
Call atualiza QUI_NETA
QUI = AQUI
End Property

Public Property Get NETA() As Double
Call atualiza QUI_NETA
NETA = ANETA
End Property

Public Sub atualiza QUI_NETA()
Dim TETA, phi, p As Double 'teta = angulo do vetor CG em relacao ao plano global
'phi = angulo do eixo corpo informado nos parametros de entrada
'p = distancia entre o CG e a junta de revolucão
TETA = angulo(corpo.X, corpo.Y, X, Y)
p = Sqr((corpo.X - X) ^ 2 + (corpo.Y - Y) ^ 2)
AQUI = p * Cos(TETA - corpo.phi)
ANETA = p * Sin(TETA - corpo.phi)
End Sub

Public Sub atualiza_XY()
Dim XX, YY As Double
XX = CORPOS(corpo.num).X + AQUI * Cos(CORPOS(corpo.num).phi) + ANETA * Cos(PI / 2 + CORPOS(corpo.num).phi)
YY = CORPOS(corpo.num).Y + AQUI * Sin(CORPOS(corpo.num).phi) + ANETA * Sin(PI / 2 + CORPOS(corpo.num).phi)
Call move(XX, YY)
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

Public Sub move(xn, yn As Double)
Dim m(0 To 3, 0 To 3) As Double
BETA = angulo(0, 0, X, Y)
alfa = angulo(0, 0, xn, yn)
R = Sqr(X * X + Y * Y)
TETA = 0
x1 = R * Cos(TETA + BETA)
y1 = R * Sin(TETA + BETA)
T1 = xn - x1
T2 = yn - y1
m(0, 0) = Cos(TETA): m(0, 1) = -Sin(TETA): m(0, 2) = 0#: m(0, 3) = T1
m(1, 0) = Sin(TETA): m(1, 1) = Cos(TETA): m(1, 2) = 0#: m(1, 3) = T2
m(2, 0) = 0#: m(2, 1) = 0#: m(2, 2) = 1#: m(2, 3) = 0#
m(3, 0) = 0#: m(3, 1) = 0#: m(3, 2) = 0#: m(3, 3) = 1#
Adesenho.TransformBy (m)
Adesenho.Update
X = xn
Y = yn
Call atualiza QUI_NETA
End Sub

Public Sub show()
Dim mPI As New PI

```

```

For Each mPI In PIs
    mPI.desenho.Highlight (False)
Next
For Each mcorpo In CORPOS
    mcorpo.desenho.Highlight (False)
Next
For Each mPI In PIs
    If num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Text) And FrmDados.MultiPage1.Value = 10 Then
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CboxPIC.Text = CStr(ACORPO.num)
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPIQUI.Text = Format(QUI, "0.00000")
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPINETA.Text = Format(NETA, "0.00000")
        FrmDados.MultiPage1.Pages(10).TxtPIFator.Text = Format(Fator, "0.00000")
        desenho.Highlight (True)
        i = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CboxPIC.Text)
        CORPOS.Item(i).desenho.Highlight (True)
    End If
Next
ThisDrawing.Application.Update
End Sub

```

```

Public Sub captura()
    Dim mcorpo As corpo
    Dim mPI As New PI
    If ANum = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CBoxPI.Text) Then
        For Each mcorpo In CORPOS
            If mcorpo.num = Val(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).CboxPIC.Text) Then
                Set ACORPO = mcorpo
            End If
        Next
        AQUI = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPIQUI.Text)
        ANETA = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).txtPINETA.Text)
        Fator = CDb(FrmDados.MultiPage1.Pages(10).TxtPIFator.Text)
    End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO PI (PONTO DE INTERESSE)

```

```

'CLASSE DO OBJETO SM (SIMULAÇÃO)
Private Atmax As Double          'Tempo máximo e mínimo
Private ATEMPO, Adt, ATfinal As Double  'Tempo instantâneo da simulação, Delta T e Tempo final
Private Aarq As String          'Tipo de análise
Private ATipoAnalise As String   'Arquivo com os resultados da simulação
Private AMATC(), AMATPI(), AMATMA() As Double  'Matrizes onde são carregados os resultados da simulação gerados no processamento
Private AMATREV(), AMATTRA() As Double  'Matrizes onde são carregados os resultados da simulação gerados no processamento
Private ANum As Integer         'numero de iteracoes de tempo
Private AVEL As Integer        'Método que altera a velocidade da simulação
Private AVC, AVPI, AVMA, AVJR, AVJT, AVSTAT As Boolean 'Indicadores que indicam quais abas serão abilitadas no formulário de simulação
Private Apausa As Boolean      'Método que pausa a simulação
Private Aparar As Boolean      'Método que para a simulação
Private Aturbo2x, Aturbo5x As Boolean  'Métodos que "turbinam" ou aceleram a simulação em 2 e 5 vezes respectivamente
Const ATinicial = 0           'Estabelece que o tempo inicial será zero

Public Property Get MATC(C As Integer, T As Integer, i As Integer) As Double
    MATC = AMATC(C, T, i)
End Property

Public Property Get MATPI(C As Integer, T As Integer, i As Integer) As Double
    MATPI = AMATPI(C, T, i)

```

```

End Property

Public Property Get MATMA(C As Integer, T As Integer, i As Integer) As Double
    MATMA = AMATMA(C, T, i)
End Property

Public Property Get MATREV(C As Integer, T As Integer, i As Integer) As Double
    MATREV = AMATREV(C, T, i)
End Property

Public Property Get MATTRA(C As Integer, T As Integer, i As Integer) As Double
    MATTRA = AMATTRA(C, T, i)
End Property

Public Property Let DT(T As Double)
    Adt = T
End Property

Public Property Get DT() As Double
    DT = Adt
End Property

Public Property Let turbo2x(T As Boolean)
    Aturbo2x = T
End Property

Public Property Get turbo2x() As Boolean
    turbo2x = Aturbo2x
End Property

Public Property Let turbo5x(T As Boolean)
    Aturbo5x = T
End Property

Public Property Get turbo5x() As Boolean
    turbo5x = Aturbo5x
End Property

Public Property Get tinicial() As Double
    tinicial = ATinicial
End Property

Public Property Let Tfinal(T As Double)
    ATfinal = T
End Property

Public Property Get Tfinal() As Double
    Tfinal = ATfinal
End Property

Public Property Let Tempo(T As Double)
    If ATEMPO <> T And AVSTAT = False Then
        ATEMPO = T
        If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 1 Then
            FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).txtDCT = CStr(T)
            FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).SBarDCT.Value = T / Adt
        End If
        If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 2 Then
            FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).txtPIT = CStr(T)
            FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).SBarPIT.Value = T / Adt
        End If
        If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 3 Then

```

```

        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).txtMAT = CStr(T)
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).SBarMAT.Value = T / Adt
    End If
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 4 Then
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).txtJRT = CStr(T)
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).SBarJRT.Value = T / Adt
    End If
    If FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 5 Then
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).txtJTt = CStr(T)
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).SBarJTt.Value = T / Adt

    End If
    Call atualiza
End If
End Property

Public Property Get Tempo() As Double
    Tempo = ATEMPO
End Property

Public Property Let TipoAnalise(T As String)
    ATipoAnalise = T
End Property

Public Property Get TipoAnalise() As String
    TipoAnalise = ATipoAnalise
End Property

Public Property Get num() As Integer
    num = ANum
End Property

Public Property Let pausa(T As Boolean)
    Apausa = T
End Property

Public Property Let vel(T As Integer)
    AVEL = T
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).SBarDCVel.Value = T
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).SBarPIVel.Value = T
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).SBarMAVel.Value = T
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).SBarJRVel.Value = T
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).SBarJTVEL.Value = T
End Property

Public Property Get vel() As Integer
    vel = AVEL
End Property

Public Property Get pausa() As Boolean
    pausa = Apausa
End Property

Public Property Let parar(T As Boolean)
    Aparar = T
    If Aparar = True Then Tempo = 0
End Property

Public Property Get parar() As Boolean
    parar = Aparar
End Property

```

```

Public Property Get tmin() As Double
    tmin = ATmin
End Property

Public Property Get tmax() As Double
    tmax = Atmax
End Property

Public Property Get arq() As String
    arq = Aarq
End Property

Public Sub show()
    FrmDados.MultiPage1.Pages(11).TxtTi = Format(ATinicial, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(11).TxtTf = Format(ATfinal, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(11).TxtDt = Format(Adt, "0.00000")
    FrmDados.MultiPage1.Pages(0).CBoxARQTA = ATipoAnalise
End Sub

Public Sub captura()
    On Error GoTo erro1
    ATfinal = CDbl(FrmDados.MultiPage1.Pages(11).TxtTf)
    Adt = CDbl(FrmDados.MultiPage1.Pages(11).TxtDt)
    ATipoAnalise = FrmDados.MultiPage1.Pages(0).CBoxARQTA.Text
erro1:
End Sub

Public Property Let arq(W As String)
    Dim tnum As String, tCI As String, tFXI As String, tFYI As String, tNI As String, tCJ As String, tFXJ As String, tFYJ As String, tNJ As String
    Dim Tx As String, tY As String, tphi As String, tdx As String, tdy As String, tDPHI As String, tDDX As String, tDDY As String, tDDPHI As String, tPNPT As String
    Dim ttemp As String, tCOMP As String, tDCOMP As String, tFK As String, tFC As String
    Dim i As Integer
    Aarq = W
    Dim aux As String
    Dim count As Long
    AC = 0
    AJR = 0
    AMA = 0
    API = 0
    T = 0
    aux = 0
    ATmin = ATinicial
    Atmax = 0
    count = 0
    Close #2
    Open Aarq For Input As #2
    Do While Not EOF(2)
        Input #2, aux
        If aux = "T" Then
            Input #2, TEMP
            'max tempo de simulação
            If Atmax < TEMP Then
                Atmax = TEMP
            End If
        End If
    Loop
    Close #2

    If Adt > 0 Then
        i = ATfinal / Adt
    Else:
        i = 1
    End If
    ReDim AMATC(CORPOS.count + 1, i + 1, 11)
    ReDim AMATPI(Pis.count + 1, i + 1, 7)
    ReDim AMATMA(MAs.count + 1, i + 1, 5)
    ReDim AMATREV(JRs.count + 1, i + 1, 9)
    ReDim AMATTRA(JTs.count + 1, i + 1, 9)
    Open Aarq For Input As #2
    n = CORPOS.count * 10 + Pis.count * 6 + MAs.count + 10
    AVC = False
    AVPI = False
    AVMA = False
    AVJR = False
    AVJT = False

```

```

AVSTAT = False
Do While Not EOF(2)
  Input #2, aux
  If aux = "T" Then
    Input #2, ttemp
  End If
  If aux = "CP" Then
    AC = AC + 1
    If AC > CORPOS.count Then
      AC = 1
      T = T + 1
    End If
    Input #2, tnum, Tx, tY, tphi, tdx, tdy, tDPHI, tDDX, tDDY, tDDPHI, tPNPT
    AMATC(AC, T, 0) = Val(ttemp)
    AMATC(AC, T, 1) = Val(Tx)
    AMATC(AC, T, 2) = Val(tY)
    AMATC(AC, T, 3) = Val(tphi)
    AMATC(AC, T, 4) = Val(tdx)
    AMATC(AC, T, 5) = Val(tdy)
    AMATC(AC, T, 6) = Val(tDPHI)
    AMATC(AC, T, 7) = Val(tDDX)
    AMATC(AC, T, 8) = Val(tDDY)
    AMATC(AC, T, 9) = Val(tDDPHI)
    AMATC(AC, T, 10) = Val(tPNPT)
    AVC = True
  End If
  If aux = "PI" Then
    API = API + 1
    If API > PIs.count Then
      API = 1
    End If
    Input #2, tnum, Tx, tY, tdx, tdy, tDDX, tDDY

    AMATPI(API, T, 0) = Val(ttemp)
    AMATPI(API, T, 1) = Val(Tx)
    AMATPI(API, T, 2) = Val(tY)
    AMATPI(API, T, 3) = Val(tdx)
    AMATPI(API, T, 4) = Val(tdy)
    AMATPI(API, T, 5) = Val(tDDX)
    AMATPI(API, T, 6) = Val(tDDY)
    AVPI = True
  End If
  If aux = "MA" Then
    AMA = AMA + 1
    If AMA > MAs.count Then
      AMA = 1
    End If
    Input #2, tnum, tCOMP, tDCOMP, tFK, tFC
    AMATMA(AMA, T, 0) = Val(ttemp)
    AMATMA(AMA, T, 1) = Val(tCOMP)
    AMATMA(AMA, T, 2) = Val(tDCOMP)
    AMATMA(AMA, T, 3) = Val(tFK)
    AMATMA(AMA, T, 4) = Val(tFC)
    AVMA = True
  End If
  If aux = "REV." Then
    AJR = AJR + 1
    If AJR > JRs.count Then
      AJR = 1
    End If
    Input #2, tnum, tCI, tFXI, tFYI, tNI, tCJ, tFXJ, tFYJ, tNJ
    AMATREV(AJR, T, 0) = Val(ttemp)
    AMATREV(AJR, T, 1) = Val(tCI)
    AMATREV(AJR, T, 2) = Val(tFXI)
    AMATREV(AJR, T, 3) = Val(tFYI)
    AMATREV(AJR, T, 4) = Val(tNI)
    AMATREV(AJR, T, 5) = Val(tCJ)
    AMATREV(AJR, T, 6) = Val(tFXJ)
    AMATREV(AJR, T, 7) = Val(tFYJ)
    AMATREV(AJR, T, 8) = Val(tNJ)
    AVJR = True
    If FrmDados.MultiPage1.Pages(0).CBoxARQTA.Text = "Estatica" Then AVSTAT = True
  End If
  If aux = "TRA." Then
    AJT = AJT + 1
    If AJT > JTs.count Then
      AJT = 1
    End If
  End If
End While

```

```

End If
Input #2, tnum, tCI, tFXI, tFYI, tNI, tCJ, tFXJ, tFYJ, tNJ
AMATTRA(AJT, T, 0) = Val(ttemp)
AMATTRA(AJT, T, 1) = Val(tCI)
AMATTRA(AJT, T, 2) = Val(tFXI)
AMATTRA(AJT, T, 3) = Val(tFYI)
AMATTRA(AJT, T, 4) = Val(tNI)
AMATTRA(AJT, T, 5) = Val(tCJ)
AMATTRA(AJT, T, 6) = Val(tFXJ)
AMATTRA(AJT, T, 7) = Val(tFYJ)
AMATTRA(AJT, T, 8) = Val(tNJ)
AVJT = True
If FrmDados.MultiPage1.Pages(0).CBoxARQTA.Text = "Estatica" Then AVSTAT = True
End If
Loop
Close #2
If AVSTAT = True Then FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(0).Enabled = True
If AVC = True Then FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).Enabled = True
If AVMA = True Then FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).Enabled = True
If AVPI = True Then FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).Enabled = True
If AVJR = True Then
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).Enabled = True
    If AVSTAT = True Then
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).Enabled = False
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(0).Enabled = True
    End If
End If
End If
If AVJT = True Then
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).Enabled = True
    If AVSTAT = True Then
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).Enabled = False
        FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(0).Enabled = True
    End If
End If
End If
If AVSTAT = False Then
    Adt = AMATC(1, 2, 0) - AMATC(1, 1, 0)
    Tempo = ATmin
    vel = 50
    ANum = (Atmax - tmin) / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).SBarDCT.Value = ATmin / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).SBarPIT.Value = ATmin / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).SBarMAT.Value = ATmin / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).SBarJRT.Value = ATmin / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).SBarJtT.Value = ATmin / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1(1).SBarDCT.Min = ATmin
    FrmSimulacao.MultiPage1(1).SBarDCT.Max = 1 + (Atmax - ATmin) / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).SBarPIT.Min = ATmin
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).SBarPIT.Max = 1 + (Atmax - ATmin) / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1(3).SBarMAT.Min = ATmin
    FrmSimulacao.MultiPage1(3).SBarMAT.Max = 1 + (Atmax - ATmin) / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1(4).SBarJRT.Min = ATmin
    FrmSimulacao.MultiPage1(4).SBarJRT.Max = 1 + (Atmax - ATmin) / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1(5).SBarJtT.Min = ATmin
    FrmSimulacao.MultiPage1(5).SBarJtT.Max = 1 + (Atmax - ATmin) / Adt
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).SBarDCVel.Min = 0
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).SBarDCVel.Max = 100
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).SBarPIVel.Min = 0
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).SBarPIVel.Max = 100
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).SBarMAVel.Min = 0
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).SBarMAVel.Max = 100
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).SBarJRVel.Min = 0
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).SBarJRVel.Max = 100
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).SBarJTVEL.Min = 0
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).SBarJTVEL.Max = 100
Else
    FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(0).Enabled = True
End If
End If
Call Atualiza_FrmSimulacao
End Property

Public Sub atualiza()
Dim x2 As Double
Dim y2 As Double
Dim phi2 As Double
Dim i, C, T As Integer
If Adt > 0 Then
    T = Round((ATEMPO) / Adt)

```

```

Else
  T = 0
End If
W = FrmSimulacao.MultiPage1.Value

If AVSTAT = True Then W = 0
If W >= 0 Then

Select Case W:
Case 0
  If AVSTAT = True Then
    i = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(0).CBoxAEJR.Text)
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJRCl = Format(AMATREV(i, T, 1), "")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJRFxI = Format(AMATREV(i, T, 2), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJRFyI = Format(AMATREV(i, T, 3), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJRMI = Format(AMATREV(i, T, 4), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJRCJ = Format(AMATREV(i, T, 5), "")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJRFxJ = Format(AMATREV(i, T, 6), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJRFyJ = Format(AMATREV(i, T, 7), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJRMJ = Format(AMATREV(i, T, 8), "0.0000000 E+00")
    i = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(0).CBoxAEJT.Text)
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJTCl = Format(AMATTRA(i, T, 1), "")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJTfXl = Format(AMATTRA(i, T, 2), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJTfYl = Format(AMATTRA(i, T, 3), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJTMl = Format(AMATTRA(i, T, 4), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJTcJ = Format(AMATTRA(i, T, 5), "")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJTfXj = Format(AMATTRA(i, T, 6), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJTfYj = Format(AMATTRA(i, T, 7), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(0).TxtAEJTMj = Format(AMATTRA(i, T, 8), "0.0000000 E+00")

  End If
Case 1
  If DT > 0 Then
    If AVC = True And T <= Round(ATfinal / DT) Then
      i = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).CboxDC.Text)
      If i = 0 And CORPOS.count > 0 Then i = 1
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCX = Format(AMATC(i, T, 1), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCY = Format(AMATC(i, T, 2), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCPHI = Format(AMATC(i, T, 3), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCDX = Format(AMATC(i, T, 4), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCDY = Format(AMATC(i, T, 5), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCDPHI = Format(AMATC(i, T, 6), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCDDX = Format(AMATC(i, T, 7), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCDDY = Format(AMATC(i, T, 8), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).txtDCDDPHI = Format(AMATC(i, T, 9), "0.0000000 E+00")
      FrmSimulacao.MultiPage1(1).TxtDCPNPT = Format(AMATC(i, T, 10), "0.00%")
      For C = 1 To CORPOS.count
        x2 = AMATC(C, T, 1)
        y2 = AMATC(C, T, 2)
        phi2 = AMATC(C, T, 3)
        Call CORPOS.Item(C).move(x2, y2, phi2)
      Next C
    End If
  End If
Case 2
  If AVPI = True Then
    i = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).CBoxPI.Text)
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).TxtPIC = Format(Pis.Item(i).corpo.num)
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).txtPIX = Format(AMATPI(i, T, 1), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).txtPIY = Format(AMATPI(i, T, 2), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).txtPIDX = Format(AMATPI(i, T, 3), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).txtPIDY = Format(AMATPI(i, T, 4), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).txtPIDDX = Format(AMATPI(i, T, 5), "0.0000000 E+00")
    FrmSimulacao.MultiPage1(2).txtPIDDY = Format(AMATPI(i, T, 6), "0.0000000 E+00")
    Pis.Item(i).QUI = AMATPI(i, T, 1)
    Pis.Item(i).NETA = AMATPI(i, T, 2)
    For C = 1 To CORPOS.count
      x2 = AMATC(C, T, 1)
      y2 = AMATC(C, T, 2)
      phi2 = AMATC(C, T, 3)
      Call CORPOS.Item(C).move(x2, y2, phi2)
    Next C
  End If
Case 3
  If AVMA = True Then
    i = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(3).CBoxMA.Text)

```

```

FrmSimulacao.MultiPage1(3).TxtMACOMP = Format(AMATMA(i, T, 1), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(3).TxtMADCOMP = Format(AMATMA(i, T, 2), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(3).TxtMAFK = Format(AMATMA(i, T, 3), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(3).TxtMAFC = Format(AMATMA(i, T, 4), "0.0000000 E+00")
For C = 1 To CORPOS.count
    x2 = AMATC(C, T, 1)
    y2 = AMATC(C, T, 2)
    phi2 = AMATC(C, T, 3)
    Call CORPOS.Item(C).move(x2, y2, phi2)
Next C
End If
Case 4
If AVJR = True Then
i = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).cboxJR.Text)
FrmSimulacao.MultiPage1(4).TxtJRCI = Format(AMATREV(i, T, 1), "")
FrmSimulacao.MultiPage1(4).TxtJRFXI = Format(AMATREV(i, T, 2), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(4).TxtJRFYI = Format(AMATREV(i, T, 3), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(4).TxtJRMI = Format(AMATREV(i, T, 4), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(4).TxtJRCJ = Format(AMATREV(i, T, 5), "")
FrmSimulacao.MultiPage1(4).TxtJRFXJ = Format(AMATREV(i, T, 6), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(4).TxtJRFYJ = Format(AMATREV(i, T, 7), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(4).TxtJRMJ = Format(AMATREV(i, T, 8), "0.0000000 E+00")

For C = 1 To CORPOS.count
    x2 = AMATC(C, T, 1)
    y2 = AMATC(C, T, 2)
    phi2 = AMATC(C, T, 3)
    Call CORPOS.Item(C).move(x2, y2, phi2)
Next C
End If
Case 5
If AVJT = True Then
i = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).CboxJT.Text)
FrmSimulacao.MultiPage1(5).TxtJTCI = Format(AMATTRA(i, T, 1), "")
FrmSimulacao.MultiPage1(5).TxtJTFxi = Format(AMATTRA(i, T, 2), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(5).TxtJTFyi = Format(AMATTRA(i, T, 3), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(5).TxtJTMi = Format(AMATTRA(i, T, 4), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(5).TxtJTCJ = Format(AMATTRA(i, T, 5), "")
FrmSimulacao.MultiPage1(5).TxtJTFxj = Format(AMATTRA(i, T, 6), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(5).TxtJTFyj = Format(AMATTRA(i, T, 7), "0.0000000 E+00")
FrmSimulacao.MultiPage1(5).TxtJTMj = Format(AMATTRA(i, T, 8), "0.0000000 E+00")
For C = 1 To CORPOS.count
    x2 = AMATC(C, T, 1)
    y2 = AMATC(C, T, 2)
    phi2 = AMATC(C, T, 3)
    Call CORPOS.Item(C).move(x2, y2, phi2)
Next C

End If
End Select
For Each mcorpo In CORPOS
If mcorpo.num = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(1).CboxDC.Text) And FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 1 Then
mcorpo.show
End If
If mcorpo.num = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(2).TxtPIC) And FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 2 Then
mcorpo.show
End If
Next
For Each mJR In JRs
If mJR.num = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(0).CBoxAEJR) And FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 0 Then
mJR.show
End If
If mJR.num = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(4).cboxJR) And FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 4 Then
mJR.show
End If
Next
For Each mJT In JTs
If mJT.num = Val(FrmSimulacao.MultiPage1.Pages(5).CboxJT) And FrmSimulacao.MultiPage1.Value = 5 Then
mJT.show
End If
Next
End If
End Sub
'FIM DA CLASSE DO OBJETO SM (SIMULAÇÃO)

```