

1991

SÃO PAULO

Orientador: Prof. Dr. José Sotelo Júnior, Depto. Eng. Mecânica

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da USP
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mecânica

SÍNTESE DA CURVA DE AMORTECEDOR SEGUNDO CRITÉRIO DE
DESEMPENHO ÓTIMO PARA SUSPENSÃO VEICULAR

Eng. Mecânico, EPUSP, 1983

PAULO AFONSO RODI

FD-1094

BC

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. José Sotelo Júnior pela orientação dada neste trabalho e pelo encorajamento durante as discussões de idéias sobre este tema.

Agradeço também às pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para a execução deste trabalho:

Msc. José Augusto Perrota pelo constante apoio e incentivo dispensado para a conclusão do curso de Mestrado;

Gelson Otani pelo suporte técnico durante a implementação computacional;

Aos colegas da Divisão da Engenharia do Núcleo da EMGEPRON, que proporcionaram um ambiente de trabalho motivador ao longo desta realização.

Aos meus pais.

Uma formulação para a síntese da curva de amortecimento de uma suspensão veicular passiva não-linear é desenvolvida. A Teoria do Controle Ótimo é utilizada para a obtenção da curva característica do amortecedor em tração e compressão otimizada segundo o índice de desempenho padrão que pondera os requisitos de conforto e dirigibilidade, expressos pela aceleração rms da massa suspensa do veículo e pela deflexão dinâmica de pneu.

Uma implementação numérica é feita baseada no Método do gradiente de Primeira-Ordem e aplicada para um caso particular da suspensão de um veículo leve fora-de-estrada modelada por um sistema de 2 graus de liberdade (2-GL).

As não-linearidades das curvas de mola e de amortecedor influenciam significativamente os resultados obtidos na simulação da passagem do veículo por terreno de rugosidade superficial severa, devendo ser consideradas quando se tenta estabelecer a comparação com os resultados obtidos em literatura através do modelo linear.

Comparações são feitas entre os desempenhos ótimos obtidos através da suspensão passiva e da suspensão ativa de mesmas características geométricas.

RESUMO

The design of optimal damping for a non-linear passive vehicle suspension is addressed using Optimal Control Theory. The damping characteristic curve is optimized with respect to the standard performance index, which reflects the influence of ride quality requirements such as comfort and tire dynamic deflections. A digital computer program based on the First Order Steepest Descent Method is developed and numerical results are obtained for a realistic off-road vehicle suspension modeled by a two-degree-of-freedom system.

The spring and damper non-linearities play an important role on the resultant vehicle performance when traversing profiles with severe roughness, and should not be disregarded when comparisons with results obtained in the literature through the linear model are attempted.

Comparisons are made between the optimal performances obtained through the passive system and the active system with similar geometries.

ABSTRACT

PÁG.	RESUMO	1
	ÍNDICE	iii
	LISTA DE SÍMBOLOS	vii
	LISTA DE FIGURAS	xi
	LISTA DE TABELAS	xii
	LISTA DE GRÁFICOS	xiii
	CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
	I.1 - Revisão de alguns sistemas de suspensão atuais	3
	I.2 - Projeto do sistema de suspensão passiva	4
	I.3 - Metodologia de projeto clássica	5
	I.3.1 - Modelo do veículo	6
	I.3.2 - O conforto como critério de projeto	10
	I.3.3 - Simulação computacional	12
	I.3.4 - Desvantagens da metodologia clássica	14
	I.4 - Abordagem baseada na Teoria do controle ótimo	15
	I.4.1 - Revisão de alguns trabalhos baseados em controle ótimo	15
	I.4.2 - Metodologia proposta	17
	CAPÍTULO II - MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA	20
	II.1 - Dados técnicos do veículo	20
	II.2 - Modelagem dos sistemas de suspensão	21
	II.2.1 - Modelo da suspensão passiva para o método proposto	23

27	II.2.2 - Modelo da suspensão ativa
29	de suspensão
30	II.3 - Modelos de terreno
32	II.4 - Modelagem da roda segmentada
33	II.4.1 - Programa para cálculo da deflexão por segmento
34	II.4.2 - Programa para cálculo da força vertical transmitida
35	com os modelos PS e RS
36	II.4.3.1 - Elasticidade do pneu
37	II.4.3.2 - Resultados das simulações
CAPÍTULO III - FORMULAÇÃO DO PROBLEMA EM TERMOS	
42	DE CONTROLE ÓTIMO
42	III.1 - Formulação do índice de desempenho da suspensão
44	III.2 - Problema da otimização de uma suspensão ativa
44	III.3 - Formulação do problema em termos de controle ótimo
45	III.3.1 - Índice de desempenho proposto
46	III.3.2 - Vinculos dinâmicos e condições iniciais especificadas
48	III.3.3 - Problema de controle ótimo
51	III.4 - Solução numérica do problema
51	III.4.1 - Descrição do Método Gradiente de Primeira-Ordem
52	

III.4.2 - Estimativas de s^2 e das matrizes M e W do MGPO 54

III.5 - Teste de convergência do método 57

III.5.1 - Resultados 58

III.6 - Influência da ponderação no IP 61

CAPÍTULO IV - CURVAS DE AMORTECEDOR OTIMIZADAS

PELO PROGRAMA 'AMTPASS' 65

IV.1 - Curva de amortecedor otimizada para
passagem por obstáculos 65

IV.2 - Curvas de amortecedor otimizadas
para perfil irregular 67

CAPÍTULO V - SUSPENSÃO ATIVA 70

CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES 73

REFERÊNCIAS 77

APÊNDICE I - PROGRAMA PARA CÁLCULO DE DEFLEXÕES MÉDIAS NO
MODELO DE RODA SEGMENTADA. SAÍDA DO PROGRAMA . 82

APÊNDICE II - PROGRAMA PARA CÁLCULO DA FORÇA VERTICAL
TRANSMITIDA NO MODELO DE RODA SEGMENTADA 87

APÊNDICE III - DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO GRADIENTE
DE PRIMEIRA-ORDEM 93

APÊNDICE IV - SUBROTINAS DOS PROGRAMAS "AMTPASS" E
"SUSATI". DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA 100

APÊNDICE V - PROGRAMA FONTE "AMTPASS" COM MODELO
PONTO SEGUIDOR 111

APÊNDICE VI - PROGRAMA FONTE "AMTPASS" COM MODELO
DE RODA SEGMENTADA 129

APÊNDICE VII - DESENVOLVIMENTO DAS MATRIZES NECESSÁRIAS
 PARA A APLICAÇÃO DO MGPO NO CASO DE
 SUSPENSÃO PASSIVA 151

APÊNDICE VIII - DESENVOLVIMENTO DAS MATRIZES NECESSÁRIAS
 PARA A APLICAÇÃO DO MGPO NO CASO DE
 SUSPENSÃO ATIVA 160

APÊNDICE IX - SAÍDA DO PROGRAMA "AMTPASS" PARA
 PASSAGEM POR OBSTÁCULOS 165

APÊNDICE X - SAÍDA DO PROGRAMA "AMTPASS" PARA
 PASSAGEM POR PERFIL DE TERRENO 177

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DEFINIÇÃO	DIMENSÃO
a, b	parâmetros geométricos do veículo	m
d	deflexão da suspensão	m
dp	deflexão de pneu	m
f_n	frequência natural não amortecida da massa suspensa do veículo, $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{dFm}{ad}}$ e $\frac{1}{m_1}$	s ⁻¹
g	aceleração da gravidade, 9,807 m/s ²	
m_1	massa suspensa da suspensão	Kg
m_2	massa não-suspensa da suspensão	Kg
s	passo permissível em cada iteração para as variações δx_0 e δu	-
t	tempo	s
v	velocidade de passagem do veículo	m/s
Y	irregularidade do solo	m
Y_1	posição de m_1 em relação ao referencial inercial	m
Y_2	posição de m_2 em relação ao referencial inercial	m
A_1, A_2, A_3	parâmetros de amortecimento	N.s/m
A_{mq}	aceleração quadrática média	N.s ² /m ³
c	amortecimento local, dF/dv	N.s/m
Cc	amortecimento crítico, $4\pi m_1 f_n$	N.s/m

SÍMBOLO	DEFINIÇÃO	DIMENSÃO
CG	centro de gravidade	-
DPMq	deflexão de pneu quadrática média	m ²
Fa	força de amortecedor	N
Fm	força de mola	N
K _a	fator de ponderação sobre Amq	-
K _p	fator de ponderação sobre DPMq	-
Kp	rigidez elástica do pneu	N/m
Ks	rigidez elástica do segmento de pneu	N/m
Ms	massa suspensa de 1/2 veículo	Kg
Mns	massa não-suspensa de 1/2 veículo	Kg
M, W	matrizes de ponderação	-
u	vetor das variáveis de controle	-
x	vetor das variáveis de estado	-
δu	variação nas variáveis de controle	-
δx ₀	variação nas variáveis de estado no instante inicial t = 0	-
P1 ^{rms} , P2 ^{rms}	"potência rms da vibração" de m ¹ e m ² , respectivamente, definida como a	-
	$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (m_1 \ddot{y}_1^2 + m_2 \ddot{y}_2^2) dt}$, i = 1, 2	M

denota o valor da grandeza na posição de carga estática
 denota o valor eficaz da grandeza
 valor referente ao instante $t = 0$
 $\{i \in \mathbb{N} \mid i > 0\}$ referencia os elementos de um vetor

SUBSCRITOS:

matriz transposta
 estimativa para a iteração inicial
 valor calculado na iteração K
 função inversa ou matriz inversa

SOBRESCRITOS:

ângulo de "pitch" de M_s
 vetor das variáveis adjuntas
 rugosidade rms da superfície de terreno
 instante final do intervalo de simulação
 razão de amortecimento relativa, C/C_c

SÍMBOLO

DEFINIÇÃO

DIMENSÃO

texto.

NOTA: os demais símbolos e abreviações são definidos no próprio

RS	modelo de roda segmentada
PS	modelo de roda tipo ponto seguidor
MGPO	Método do Gradiente de Primeira-Ordem
IP	Índice de desempenho
GL	grau de liberdade

ABREVIACÕES USADAS NO TEXTO:

$p = (p_1, \dots, p_n)^T$ um vetor p cujos elementos são p_1, \dots, p_n
 $\frac{\partial}{\partial (\cdot)}$ operador de derivada parcial em relação à variável (\cdot)
 $\| \cdot \|$ norma euclidiana do vetor (\cdot)
 $\dot{\cdot}$ em relação ao tempo, d/dt
 \cdot o ponto sobre uma variável denota a derivada total

OUTROS SÍMBOLOS:

1	Figura 1. Veículo fora-de-estrada típico	1
6	Figura 2. Modelo simplificado do veículo com 4-GL	6
8	Figura 3. Modelo de curva de mola típica de uma suspensão veicular	8
9	Figura 4. Modelo de curva típica de amortecimento para uma suspensão veicular de grande curso de roda	9
11	Figura 5. Curvas de aceleração x frequência parametrizadas no tempo (norma ISO-2631)	11
23	Figura 6. Modelo físico de 2-GL da suspensão veicular passiva sujeita à excitação de solo	23
27	Figura 7. Modelo físico de 2-GL da suspensão veicular ativa sujeita à excitação de solo	27
31	Figura 8. Perfil irregular de terreno	31
31	Figura 9. Sequência de 5 obstáculos semi-circulares	31
32	Figura 10. Modelo de roda segmentada	32
35	Figura 11. Diagrama esquemático mostrando as coordenadas espaciais do programa digital do pneu segmentado	35
53	Figura 12. Diagrama de blocos simplificado do MGPO	53

LISTA DE FIGURAS

PÁG.

Tabela 1. Dados técnicos do veículo 21

Tabela 2. Curva de mola da suspensão 29

Tabela 3. Curvas de amortecimento iniciais 58

Tabela 4. Razão de amortecimento ζ calculada a partir
do gráfico 15 (modelo PS) 67

Tabela 5. Razão de amortecimento ζ calculada a partir
do gráfico 16 (modelo RS) 67

Tabela 6. Razão de amortecimento ζ calculada a partir
do gráfico 17 68

Tabela 7. Razão de amortecimento ζ calculada a partir
do gráfico 18 68

LISTA DE TABELAS

LISTA DE GRÁFICOS

41 roda segmentada (RS) x ponto seguidor (PS) 41

Gráfico 1. A^{rms} x velocidade

Gráfico 2. DP^{rms} x velocidade

Gráfico 3. $P1^{rms}$ x velocidade

Gráfico 4. $P2^{rms}$ x velocidade

59 Teste de convergência: $(K^a \cdot \Delta m q / K^p \cdot D P m q = 3 E-4)$ 59

Gráfico 5. A^{rms} x No. iteração

Gráfico 6. DP^{rms} x No. iteração

Gráfico 7. $P1^{rms}$ x No. iteração

Gráfico 8. $P2^{rms}$ x No. iteração

60 Teste de convergência: $(K^a \cdot \Delta m q / K^p \cdot D P m q = 3 E5)$ 60

Gráfico 9. A^{rms} x No. iteração

Gráfico 10. DP^{rms} x No. iteração

Gráfico 11. $P1^{rms}$ x No. iteração

Gráfico 12. $P2^{rms}$ x No. iteração

Parametrização da ponderação do índice de desempenho:

62 Gráfico 13. A^{rms} e DP^{rms} x $K^a \cdot \Delta m q / K^p \cdot D P m q$ 62

64 Gráfico 14. $P1^{rms}$ e $P2^{rms}$ x $K^a \cdot \Delta m q / K^p \cdot D P m q$ 64

Curvas de amortecedor $F_a \times d$ (gráficos 15 a 18):

Gráfico 15. Passagem por obstáculos (modelo de roda: PS) .. 66

Gráfico 16. Passagem por obstáculos (modelo de roda: RS) .. 66

Gráfico 17. Passagem por perfil irregular

Gráfico 18. Passagem por perfil irregular
 $(K^a \cdot A_{mq}/K^p \cdot D_{Pmq} = 3 E-4)$ 66

Suspensão ativa $(K^a \cdot A_{mq}/K^p \cdot D_{Pmq} = 3 E-4)$ 71

Gráfico 19. A^{rms} e DP^{rms} x potência rms do atuador
Gráfico 20. $P1^{rms}$ e $P2^{rms}$ x potência rms do atuador

Suspensão ativa $(K^a \cdot A_{mq}/K^p \cdot D_{Pmq} = 3 E5)$ 71

Gráfico 21. A^{rms} e DP^{rms} x potência rms do atuador

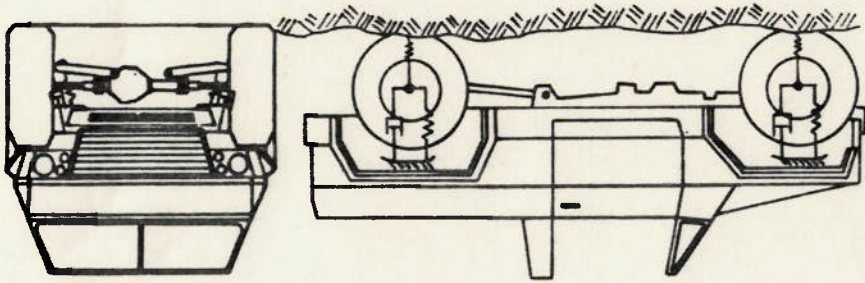
Gráfico 22. $P1^{rms}$ e $P2^{rms}$ x potência rms do atuador

As diferenças básicas entre veículos do tipo da Fig. 1 e veículos urbanos são principalmente as seguintes:

- maior curso de roda disponível para a passagem sobre obstáculos e irregularidades severas de perfil de terreno!

- menor frequência natural de vibração da massa principal do veículo (massa suspensa), consequência do grande curso de

Figura 1. Veículo fora-de-estrada típico.



A motivação para o presente trabalho originou-se durante a fase de otimização do projeto de suspensões para veículos fora-de-estrada desenvolvido pelo então grupo da Engenharia de Pesquisa - Engepes - da ENGESA S.A., do qual o autor participava. A metodologia na época adotada era a da simulação computacional da dinâmica do veículo para diferentes condições de terreno, curvas características de mola e de amortecedor [17].

Como ilustração é mostrado na Fig. 1 um veículo típico dessa categoria.

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I

suspensão e baixa rigidez de mola!

-capacidade de suportar grandes acelerações de impacto (da ordem de $6 g's$) conseguida através de pneus largos, com razão altura/largura da secção ("aspect ratio") entre 0,60 e 0,70, e incorporando batentes de fim-de-curso de suspensão fabricados de elastômeros de alta resiliência!

-alta não-linearidade da curva de mola da suspensão, caracterizada por um aumento progressivo da rigidez elástica, dada pela atuação conjunta da mola e batentes de fim-de-curso!

-altas velocidades relativas de tração e compressão do amortecedor da suspensão, o que accentua os efeitos da sua inerente não-linearidade sobre o desempenho do veículo!

-maior robustez dos elementos estruturais da suspensão e da carroceria do veículo.

A competição de mercado impõe aos fabricantes e montadoras desses veículos a necessidade do aperfeiçoamento de seus produtos no que diz respeito à estética e desempenho. Na área do projeto da suspensão, diversos sistemas têm surgido para oferecer melhoria de desempenho a nível do conforto dos passageiros e motorista e da dirigibilidade do veículo.

De forma a evitar confusão e esclarecer melhor alguns tipos básicos de sistemas de suspensão desenvolvidos até o momento, no item seguinte é feita uma breve revisão desses sistemas.

Um sistema com a capacidade de variar continuamente a taxa de dissipação de energia dentro da suspensão. Isto envolve tipicamente controlar um amortecedor ou outro "atuador", e um mínimo de energia é exigido para isto.

Semi-ativa dissipativa.

Um sistema com elementos passivos e um meio de aplicar energia externa (tipicamente através de um atuador) em resposta a sinais de controle. A estratégia de controle limita intencionalmente a faixa de frequência de resposta do atuador, o que a diferencia de um sistema totalmente ativo.

Semi-ativa.

Um sistema passivo como acima, exceto que energia externa (usualmente uma pequena quantidade) é disponível para manter constante a deflexão da suspensão sob diferentes carregamentos estáticos.

Passivo com autônivelamento.

sistema.

Um sistema composto apenas por molas e amortecedores cujas curvas características não são capazes de serem variadas por sinais externos. Não há meios de aplicar energia externa ao sistema.

Passivo.

Trabalhos encontrados na literatura comprovam que este tipo de sistema é o mais limitado na capacidade de atingir o melhor compromisso entre os requisitos normalmente impostos sobre esses aspectos de comportamento durante a travessia de um perfil irregular de terreno [11, 12, 29]. Entretanto este fato não

-controle da atitude do veículo

-deflexão dinâmica de pneu

-conforto do motorista

-curso de trabalho da suspensão

veículo:

Um bom projeto de suspensão passiva requer um efetivo compromisso entre os seguintes aspectos de comportamento do

I.2 - Projeto do sistema de suspensão passiva

Esta lista cobre os principais sistemas de suspensão mas não é exaustiva. Por exemplo, os dois sistemas semi-ativos como definidos acima poderiam ser combinados em um único sistema. O objetivo deste trabalho está centrado no sistema passivo, que ainda hoje representa a parcela mais importante das suspensões utilizadas em veículos fora-de-estrada.

Um sistema no qual um atuador ou substitui ou age em paralelo com os componentes passivos. Usualmente uma quantidade significativa de energia pode ser introduzida ou retirada do sistema, e com tempo de resposta dado pela dinâmica própria do atuador e dos componentes de controle.

Ativa.

É fato que existe uma forte tendência de evolução para

contabilidade destes sistemas.

complexidade e custo dos componentes envolvidos e na maior está centrado no sistema passivo. A razão para isto está na menor veículos fora-de-estrada produzidos pela indústria automotiva o interesse principal do atual projeto de suspensões dos

1.3 - Metodologia de projeto clássica

modelo de um quarto de veículo é utilizado.

e é deixado para uma investigação futura. Assim, neste estudo, o aspecto do controle da atitude do veículo não é abordado no texto de cálculo. Procurando simplificar o estudo deste trabalho, o consideradas no modelo da suspensão, o que aumenta a complexidade as não-linearidades do sistema físico já mencionadas sejam Para o caso do veículo fora-de-estrada é fundamental que veículo.

estendido de forma a englobar as suspensões de todas as rodas do precisa ser considerada e este modelo simples precisa ser ("pitch" e "roll"), claramente a geometria do veículo inteiro veículo em termos dos movimentos angulares da sua massa suspensa Na análise das propriedades de controle da atitude do apenas uma roda.

veículo, o qual representa basicamente a suspensão associada a de pneu podem ser feitas utilizando-se um modelo de um quarto de As análises dos aspectos de curso, conforto e deflexão através deste tipo de sistema de suspensão. diminuir o mérito do esforço para se obter o melhor desempenho

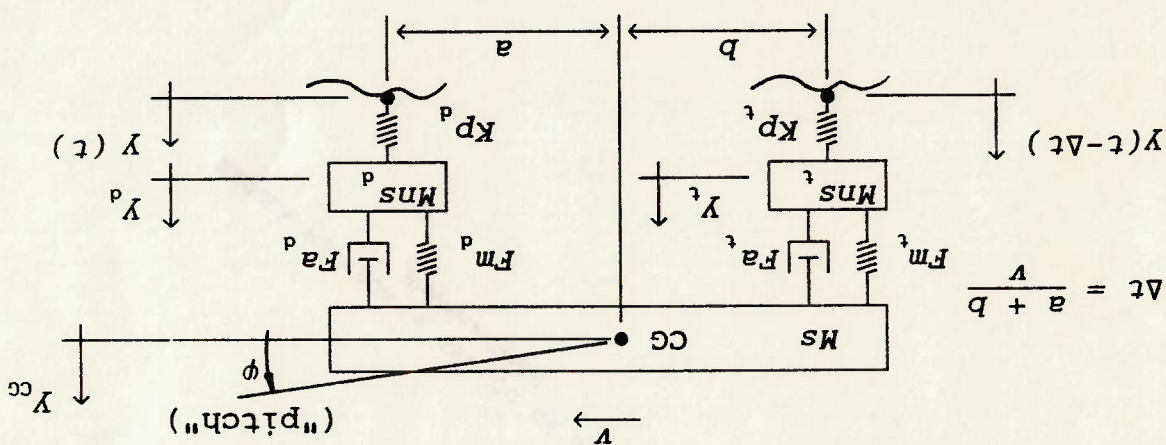
movimento de "roll" não é considerado.

Neste modelo é representado meio veículo e, portanto, o

$$Y_{cc}, Y_d \text{ e } Y_t.$$

gravidade da MS. Os graus de liberdade (GL) do sistema são: ϕ , dianteiro e traseiro, respectivamente, e cc denota o centro de Na Fig. 2 os subscritos d e t são referentes aos eixos

Figura 2. Modelo simplificado do veículo com 4-GL.



arranjo visto na Fig. 2.

um conjunto de massas, molas e amortecedores dispostos conforme o Fig. 1 é referenciado. O modelo físico simplificado é formado por Para fixar melhor as idéias do problema, o veículo da

I.3.1 - Modelo do veículo

econômica.

suspensões semi-ativas numa primeira etapa e totalmente ativa em escala industrial no futuro. A limitação não é tecnológica, mas

As curvas de mola e de amortecedor são consideradas conforme a Fig. 3 e Fig. 4, respectivamente. Essas curvas são ajustadas inicialmente para as suspensões dianteira e traseira de maneira a compatibilizar as características de frequência de natural e taxa de dissipação de energia da vibração.

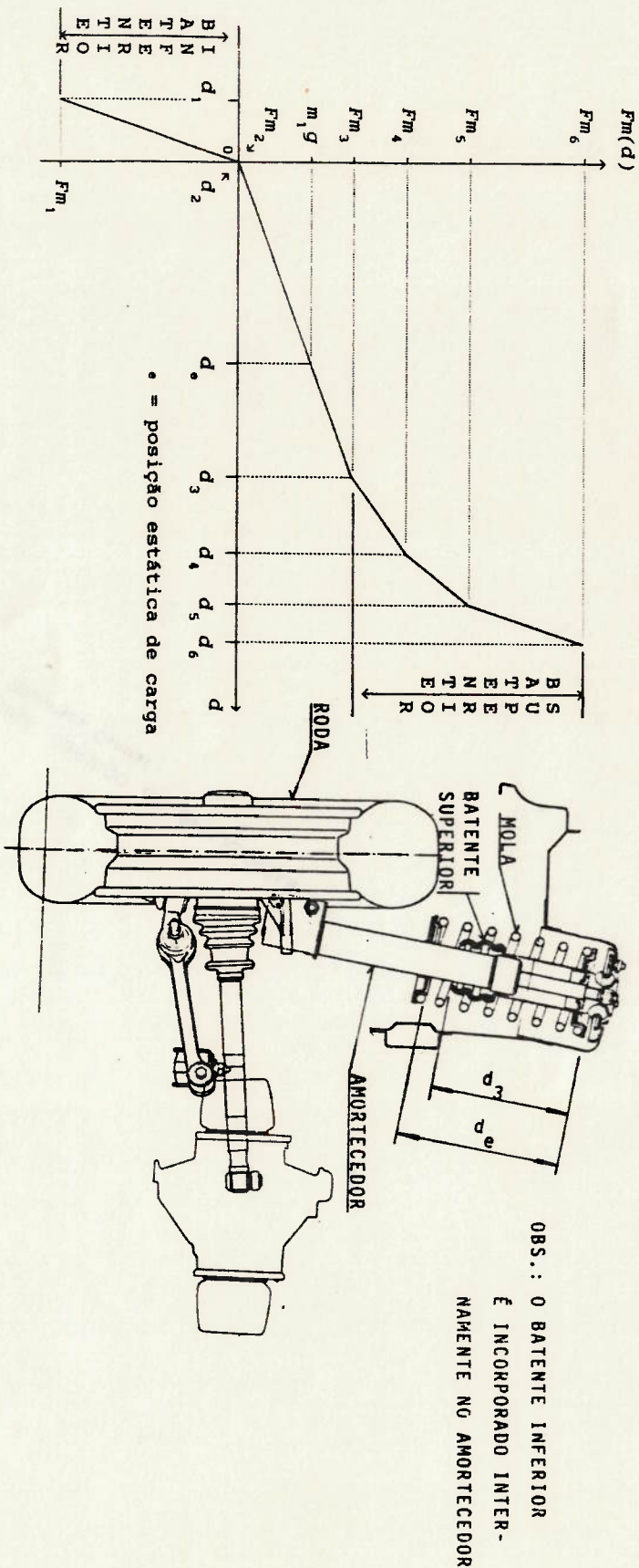


Figura 3. Modelo de curva de mola típica de uma suspensão veicular.

batentes são especificados em manuais técnicos dentre os quais segurança. Os valores das acelerações máximas de impacto nos de um veículo fora-de-estrada, está intimamente ligado a sua diretamente o conforto do motorista que, nas situações de operação curvas. O valor da frequência natural de vibração influencia do veículo e pelo aspecto do controle direcional do veículo em o primeiro ponto é restrito principalmente pela silhueta

-força máxima de impacto (número de g 's nos batentes)

estática de carga (d^e)!

-frequência natural de vibração da M_s na posição

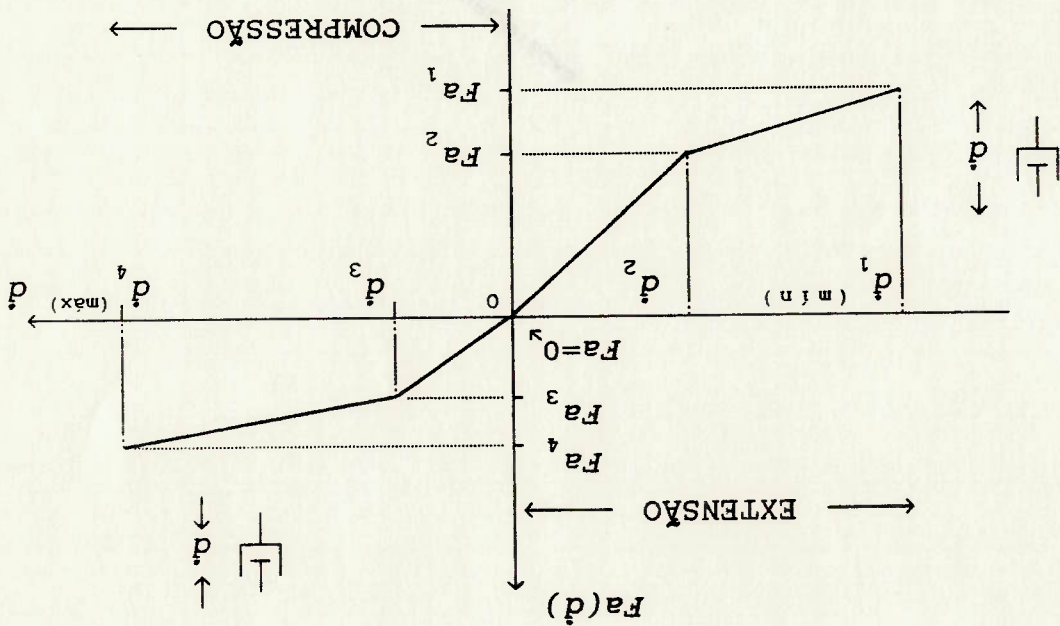
suspensão!

-máximo espaço disponível para o curso de trabalho da

principalmente nos seguintes pontos:

A curva da Fig. 3 é bem estabelecida baseando-se

Figura 4. Modelo de curva típica de amortecimento para uma suspensão veicular de grande curso de roda.



como [39]:

vibração pode ser escrita para um intervalo infinito de amostragem
No domínio do tempo, a potência absorvida pelo corpo em

padrão.

medida da taxa de absorção de energia pelo corpo de um homem
quantidade é chamada de potência absorvida e propõe-se a ser uma
do indivíduo através de uma quantidade escalar simples. Esta
medir a resposta à vibração, bem como a sua aceitação subjetiva,
Tank Automotive Command (orgão do exército norte-americano) para
O método da Potência Absorvida foi criado pelo U.S. Army

a Fig. 5.

estratificados em curvas de tempo de exposição constante conforme
sua proficiência, os níveis de aceleração recomendados são
indivíduo seja capaz de desempenhar as suas tarefas ou de manter a
ponderada na faixa de frequência de 1 a 80 Hz. Para que o
exposição à vibração em termos de aceleração eficaz (rms)
A norma ISO-2631 define limites numéricos para a

indivíduo.

Pradko [36]. Os dois métodos relacionam o conforto à vibração do
norma ISO-2631, e o método da Potência Absorvida introduzido por
conforto humano existem atualmente: o método ISO, especificado pela
Pelo menos dois métodos que quantificam o nível de

I.3.2 - O conforto como critério de projeto

estudo da referência [20].

A forma da curva da Fig. 4 é baseada principalmente no

pode-se citar a obra clássica da referência [15].

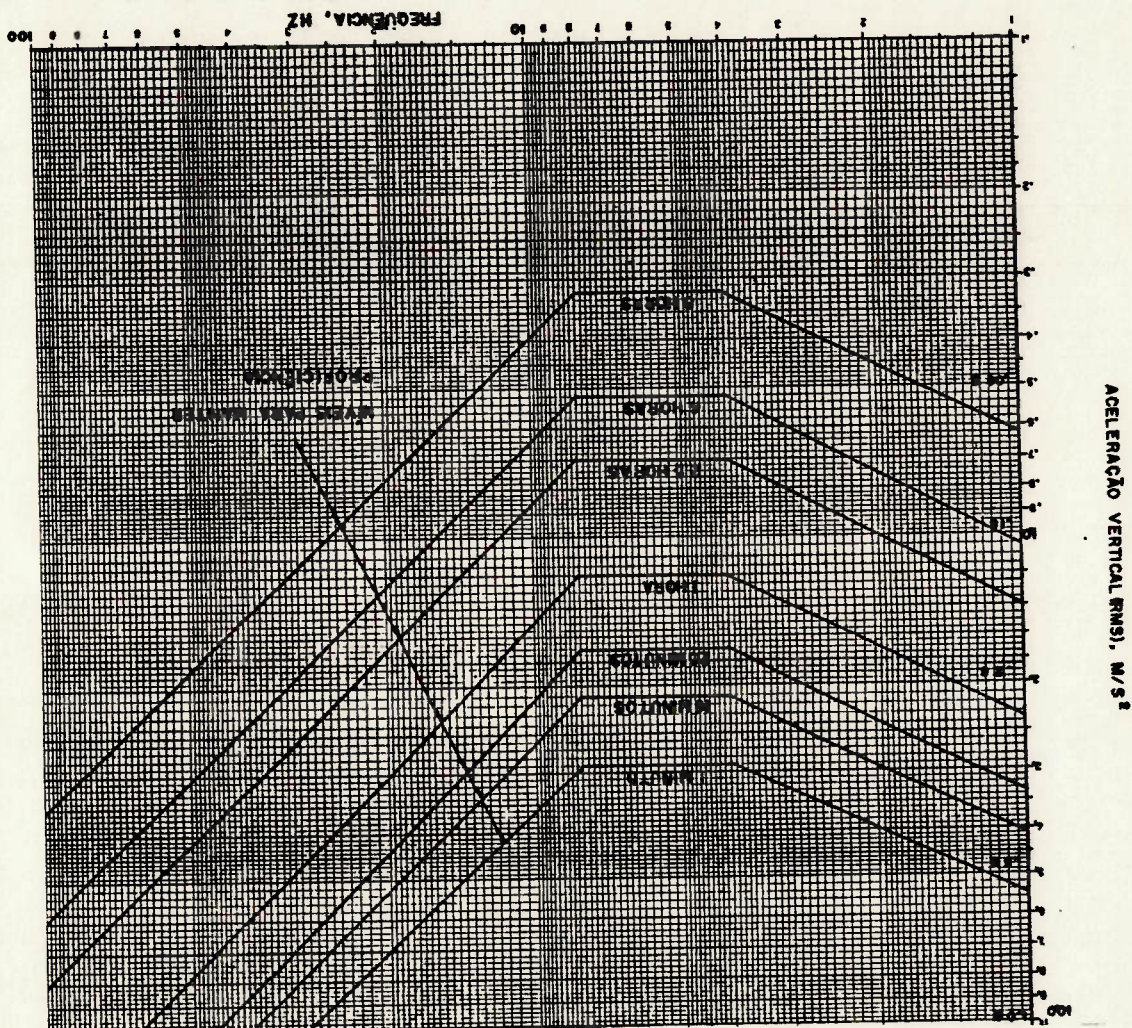
$F(t)$ = Força vertical de excitação no indivíduo
 $V(t)$ = velocidade vertical de excitação

onde:

$$\text{Potência Absorvida média} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T F(t) \cdot V(t) dt$$

tempo (norma ISO-2631).

Figura 5. Curvas de aceleração x frequência parametrizadas no



potência absorvida média no motorista. velocidades e acelerações das massas. E também calculada a expressão em termos dos valores mínimos, máximos e médios de da irregularidade de solo é calculada no domínio do tempo e meio da simulação via computador. A resposta do modelo à excitação de pneu), diversas curvas de mola e amortecedor são testadas por massas suspensa e não-suspensa, curso máximo das suspensões, tipo Fixados alguns parâmetros do modelo (como por exemplo as domínio de frequência.

conceito de função de transferência, o que dificulta a análise no sistemas não-lineares, como também não é rigorosamente válido o importante é que o teorema da superposição não é válido para consequência da não-linearidade do modelo adotado. O ponto A razão para a simulação no domínio do tempo é utilização pelo programa.

real medido experimentalmente, formando um banco de dados para representativo de operação. Com esses dados reconstrói-se o perfil determinístico, isto é, obtida do registro do perfil de terreno Para essa simulação a excitação de entrada é do tipo no domínio do tempo através do método de tentativa-e-erro. suspensão passiva é através da técnica da simulação computacional A forma atual de tratar o problema da otimização da

I.3.3 - Simulação computacional

comparativos da referência [40]. conclusões similares conforme é mostrado através dos testes A norma ISO e o método da potência absorvida levam a

Exceção pela variação da posição dos batentes de suspensão, a variação das curvas de mola não são muito efetivas no controle da vibração do veículo (considerando um curso de trabalho da suspensão fixo). Por outro lado, é reconhecido que a melhor forma de controlar a vibração das massas de um sistema de suspensão passivo de um veículo fora-de-estrada é através da aplicação de forças de amortecedor [15, 18]. Baseado neste fato, o projetista testa diversas curvas de amortecedor (do tipo visto na Fig. 4), buscando minimizar a potência absorvida no motorista durante a passagem do veículo por um terreno típico de operação e a uma dada velocidade de projeto.

A tentativa inicial é baseada em considerações da engenharia de veículos similares. É comum no caso de veículos leves fora-de-estrada adotar como curva inicial um amortecimento linear C dado por um percentual do CC . Por exemplo, $C = 0,25 \cdot CC$ (25 % de amortecimento) dentro da faixa de velocidade de tração e compressão compatíveis com o projeto do amortecedor.

A partir da primeira resposta o processo continua testando-se novas curvas onde progressivamente são incorporadas regiões de saturação, coeficientes de amortecimento diferenciados em tração e compressão, bem como valores de velocidade de transição entre declividades adjacentes distintas da curva de amortecimento.

Após um número exaustivo de simulações, normalmente limitado pelo tempo disponível para esta etapa do projeto, a melhor solução obtida é encaminhada para desenvolvimento junto aos fornecedores dos componentes. No caso do amortecedor é comum

senso aqui entendido.

um número reduzido de tentativas, o que compromete o ótimo no
obviamente, na prática, a solução escolhida é obtida de

amortecimento.

parametrizar, ao menos grosseiramente, o desempenho do veículo com o
velocidades mínima e máxima da curva). Com isso ele seria capaz de
para cada parâmetro típico indicado na Fig. 4 e admitindo fixas as

curvas de amortecedor diferentes (assumindo três valores distintos
projetista poderia testar, em princípio, $\frac{6i(18-6)i}{18i} = 18564$

número de variáveis presentes na curva do amortecedor. Ou seja, o
parametrização do desempenho do veículo, considerando-se apenas o

As não-linearidades do sistema não permitem uma fácil

utilizado.

descisão para cada nova tentativa e o correspondente tempo de CPU
programa a cada tentativa, na análise dos resultados e tomada de
o tempo enorme gasto na preparação dos dados de entrada do
A desvantagem evidente da metodologia atual de projeto é

I.3.4 - Desvantagens da atual metodologia

- 1) com curva de amortecimento nominal
- 2) com amortecimento menor do que o nominal
- 3) com amortecimento maior do que o nominal

na experiência do projetista e fornecedor:

desenvolver três conjuntos distintos para teste de campo baseados

Usando a Teoria de Controle Ótimo Estocástico, Hác [6]

aceleração da massa.

inclui o curso rms da suspensão, aceleração e a derivada da Teoria do Regulador Quadrático Linear. O índice de desempenho de suspensão ótima para um modelo de veículo de 1-GL usando a Hrovat e Hubbard [38] abordaram o problema da estrutura

curvas de amortecedor semi-ativas controladas por microcomputador. parâmetros das suspensões dianteira e traseira para o estudo de veículo linear bi-dimensional que inclua os efeitos dos check et alii. [11] utilizaram um modelo de

relativo de roda.

sobre o corpo do veículo, deflexões dinâmicas de pneu e curso soma ponderada dos valores médios-quadráticos das forças atuantes veículo de 2-GL e otimizou um índice de desempenho envolvendo uma Thompson [28] aplicou a Teoria de Controle Ótimo para um modelo de projeto de suspensões veiculares têm despertado muito interesse. Atualmente as aplicações da Teoria de Controle Ótimo no

I.4.1 - Revisão de alguns trabalhos baseados em Controle Ótimo

apresentado.

área do projeto de suspensão veicular, e baseados nesta teoria, é

Inicialmente um breve resumo dos trabalhos publicados na

controle ótimo é proposta neste trabalho.

curva ótima de amortecedor, uma metodologia baseada na Teoria do

Com o objetivo de poder auxiliar na tarefa do projeto da

I.4 - Abordagem baseada na Teoria de Controle Ótimo

Dos estudos citados acima e dos demais pesquisados e relacionados nas referências deste trabalho, verifica-se que a possível aplicação da Teoria do Controle Ótimo para o projeto da suspensão passiva não-linear de um veículo fora-de-estrada não foi abordada. O presente trabalho propõe-se a aplicar esta teoria para auxiliar na solução deste problema de projeto.

realimentação otimizados da suspensão ativa equivalente. parâmetros são obtidos pelo algoritmo a partir dos coeficientes de norma ISO 2631, sem aumentar as cargas dinâmicas das rodas. Esses as acelerações da massa do veículo, ponderadas de acordo com a suspensão (constantes das molas e dos amortecedores) que reduzem pneus e cursos de roda), leva aos parâmetros otimizados da aceleração quadrática da massa suspensa, deflexões dinâmicas dos minimização do índice de desempenho adotado (composto pela de frequência. Para o modelo do sistema linear com 4-GL, a Controle Ótimo para a otimização da suspensão passiva no domínio Lin e Zhang [16] desenvolveram um algoritmo baseado em

da massa suspensa do veículo e da deflexão dinâmica do pneu. desempenho que pondera os valores quadráticos médios da aceleração de forças externas. A otimização é baseada em um índice de submetido simultaneamente às irregularidades de terreno e efeitos estrutura de suspensão ótima de um modelo veicular linear Young e Wormley [8] apresentaram resultados para a de controle.

analisou um modelo de veículo com 2-GL. O sistema ativo de suspensão foi otimizado com respeito ao conforto medido em aceleração quadrática média, dirigibilidade (deflexão dinâmica de pneu) e curso de suspensão com a limitação sobre o gasto de forças

Este trabalho aplica a Teoria do Controle Ótimo no projeto da suspensão passiva não-linear de um veículo fora-de-estrada. A atenuação é dirigida para a síntese da curva de amortecedor ótima segundo um índice de desempenho padrão que pondera a aceleração quadrática média da massa do veículo e a deflexão dinâmica de pneu.

Para tornar a implementação computacional menos complexa e facilitar a interpretação dos resultados, um modelo simples de 2-GL é utilizado. Uma suspensão ativa é idealizada a partir da suspensão passiva otimizada através da adição de um atuador dinâmico. A Teoria do Controle Ótimo é novamente utilizada neste caso para se estabelecer uma comparação de desempenhos entre os dois sistemas.

O desenvolvimento do trabalho compreende os tópicos relacionados a seguir.

No capítulo II é apresentada a modelagem do sistema a ser utilizada para as simulações juntamente com os dados do veículo específico do estudo. São também apresentados nesse capítulo os modelos dos perfis de terreno empregados para a excitação da suspensão. Uma modelagem especial da roda é desenvolvida para a simulação da passagem por obstáculos e compararam-se os resultados obtidos através deste modelo com os resultados de um modelo seguidor.

No capítulo III o problema é formulado em termos da Teoria do Controle Ótimo. O Método do Gradiente de Primeira-Ordem

VIII.

da suspensão ativa encontram-se desenvolvidas nos apêndices VII e VIII. As matrizes do MGPO para os casos da suspensão passiva e

nos apêndices V e VI.

computacionais desenvolvidos para cada modelo de roda são dadas diagrama de blocos no apêndice IV. As listagens dos programas A implementação numérica é descrita em termos de

tratado é desenvolvida no apêndice III.

A formulação matemática do MGPO para o caso do problema

passagem por obstáculos semi-circulares.

relacionados com a modelagem da roda segmentada utilizada para a Os apêndices I e II contêm as listagens dos programas

apresentadas no capítulo VI.

As conclusões e sugestões para futuros trabalhos são

passiva otimizada.

ativa ideal e comparado aos resultados obtidos com a suspensão No capítulo V é apresentado o desempenho da suspensão

obtidas.

para avaliar a sua influência na forma das curvas de amortecedor capítulo II são estabelecidas duas ponderações distintas no IP terreno são mostradas. Para o estudo do modelo específico do semi-circulares espaçados regularmente e por perfil irregular de

através do método para as condições de passagem por obstáculos No capítulo IV as curvas de amortecedor otimizadas

resultados obtidos com o modelo específico do capítulo II.

diferentes ponderações no IP é conduzida através do estudo dos sua convergência. Uma análise de desempenho da suspensão para é empregado na implementação numérica a qual é testada quanto à

Um exemplo de listagem de saída do programa para
passagem por obstáculos regulares é dada no apêndice IX.
No apêndice X é dada a listagem de saída para um caso de
passagem por perfil irregular de terreno.

Estes dados foram obtidos a partir do banco de dados técnicos da partir dos quais são calculadas as massas do modelo da suspensão. A tabela 1 resume os principais dados do veículo, a

Indústria belica nacional.

comparação para os veículos desta categoria projetados pela Chrysler Defense (EVA) e bastante utilizado como um padrão de quatro rodas, do tipo visto na fig. 1 do capítulo I, desenvolvido (EMT). Trata-se de um veículo fora-de-estrada com tração nas do protótipo militar Chrysler 1 1/4-Ton Expanded Mobility Truck os estudos deste trabalho são obtidos das especificações técnicas Os dados de interesse do veículo que serve de base para

II.1 - Dados técnicos do veículo

obstáculos semi-circulares.

elásticos e introduzida para as simulações de passagem por Uma modelagem especial da roda discretizada em segmentos

geometria.

apresentados através de suas características de rugosidade e de Os modelos dos terrenos utilizados no estudo são

servirá de base para as análises descritas no texto.

apresentados os dados técnicos do veículo fora-de-estrada que suspensão passiva e ativa tratados no trabalho. Inicialmente são Neste capítulo é apresentada a modelagem dos sistemas de

MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA

CAPÍTULO II

Tabela 1. Dados técnicos do veículo.

Comprimento total	4,470 m
Largura	2,160 m
Entre-eixos	3,150 m
Peso total (incluindo 2 pessoas)	29714 N
Reações nos eixos:	
-Dianteiro	14857 N
-Traseiro	14857 N
Suspensão:	
-Dianteira	McPherson, independente
-Traseira	eixo rígido
-Amortecedores	4, hidráulicos
Pesos dos eixos (pesos não-suspensos):	
-Dianteiro	1932 N
-Traseiro	1932 N
Pneus:	
-Tipo	Radial, 4 lonas
-Tamaho	14 - 18
-Pressão, asfalto	1 bar
fora-de-estrada, areia	0,4 bar

Os valores dos pesos não-suspensos consideram os pesos das rodas e uma parcela das massas dos componentes da suspensão que são montados na carroceria do veículo.

II.2 - Modelagem dos sistemas de suspensão

O problema da otimização da suspensão veicular é tratado neste trabalho através de um modelo de 2-GL simplificado, representativo de um quarto do veículo. Como é possível se

verificar através da introdução deste trabalho, este tipo de modelo é muito utilizado na literatura. As hipóteses e implicações principais desse modelo são:

- os movimentos de "pitch" e "roll" não são considerados;
- os efeitos diretos da vibração sobre o sistema de direção do veículo não são considerados;
- o amortecimento do pneu é desprezado;
- facilita o entendimento dos resultados obtidos e das relações de causa-efeito entre parâmetros e desempenho da suspensão.

É também introduzido o modelo da suspensão ativa utilizado para estudo comparativo de desempenho. Esse modelo é obtido a partir do modelo de um quarto de veículo da suspensão passiva incorporando-se um atuador dinâmico ideal, ou seja, com largura infinita da banda de resposta.

As equações de movimento são obtidas em ambos os casos diretamente do equilíbrio dinâmico do sistema pela aplicação da segunda lei de Newton. Essas equações são então colocadas na forma de equações de estado, fazendo-se a distinção entre variáveis de estado e de controle para a aplicação direta da formulação desenvolvida no capítulo III.

A curva de mola não-linear é tratada de forma tabular na implementação numérica. Para a modelagem do pneu, são apresentadas duas abordagens distintas: modelo de ponto seguidor (PS) e de roda segmentada (RS). O primeiro, mais simples, é utilizado na simulação de passagem por perfil de terreno, sendo o segundo necessário para a simulação com obstáculos rígidos [23].

A Fig. 6 mostra o modelo da suspensão passiva constituída pelas massas m_1 e m_2 interligadas por um elemento elástico com curva característica $F_m(d)$ e por um de amortecimento, $F_a(d)$. A massa m_1 representa os agregados do veículo apoiados sobre a mola de suspensão, onde se alojam os seus ocupantes. A massa m_2 constitui o conjunto completo da roda e parte da estrutura do mecanismo de suspensão (massa não-suspensa).

O modelo de pneu considerado é o de PS, representado pela mola linear de rigidez K_p . A excitação do solo $Y(t)$ é dada pela passagem do veículo, à velocidade v , sobre um perfil descrito por uma sequência de pontos espaçados regularmente. As ordenadas de posição são relativas ao sistema referencial inercial.

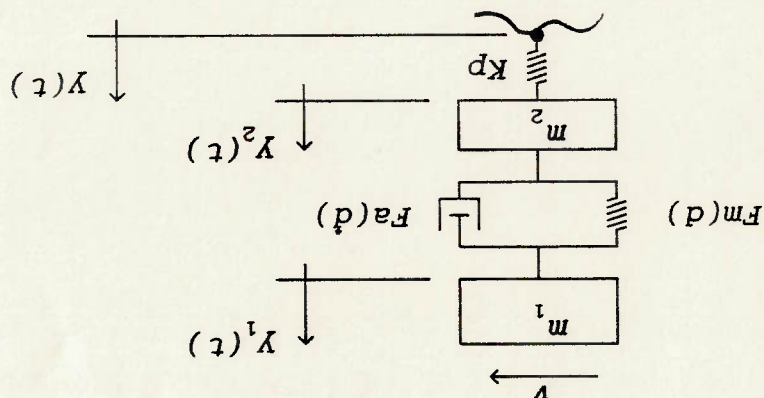


Figura 6. Modelo físico de 2-GL da suspensão veicular passiva sujeita à excitação de solo.

Para utilização da formulação do capítulo III é comparado quando $dp > 0$, sendo nulo nas demais situações. ocorrer o contato pneu-solo. Logo, na eq. (2) o termo $Kpdp$ só por uma função da sua deflexão elástica, sendo nula quando não Neste modelo, a força desenvolvida pelo pneu é descrita amortecimento A_i .

onde os u_i denotam as variações temporais dos parâmetros de

$$\begin{aligned} (4) \quad u_1 &= dA_1/dt \\ (5) \quad u_2 &= dA_2/dt \\ (6) \quad u_3 &= dA_3/dt \end{aligned}$$

introduzidas:

função do tempo. As seguintes variáveis auxiliares são então trabalho, os parâmetros A_1 , A_2 e A_3 são admitidos como sendo Para a aplicação da formulação de otimização deste onde A_1 , A_2 e A_3 são parâmetros, a serem otimizados.

$$(3) \quad Fa(d) = A_1 d^4 + A_2 d^2 + A_3 d^3$$

forma vista na Fig. 4:

seguinte polinômio de 3º grau, capaz de aproximar uma curva da onde $dp = (Y-Y_2)$ é a deflexão do pneu e $Fa(d)$ é descrita pelo

$$\begin{aligned} (1) \quad m_1 \ddot{Y}_1 &= Fm(d) + Fa(d) - m_1 g \\ (2) \quad m_2 \ddot{Y}_2 &= Kpdp - Fm(d) - Fa(d) - m_2 g \end{aligned}$$

As equações dinâmicas de movimento são:

$$\begin{aligned}
 (9) \quad & \dot{x}_3 = u_1 \\
 (8) \quad & \dot{x}_2 = (Fm(d) + Fa(d) - m_1 g) / m_1 \\
 (7) \quad & \dot{x}_1 = x_2
 \end{aligned}$$

As equações de estado deste sistema são portanto:

para a formulação do IP a seguir.

quadráticos médios da aceleração vertical de m_1 e da variação da deflexão de pneu, respectivamente, no intervalo 0-1. Serão úteis As variáveis auxiliares x_6 e x_9 denotam os valores parâmetros de amortecimento que as Eqs. (4) a (6) representam. baseada na função de controle das derivadas temporais dos variáveis de controle. A justificativa para esta denominação é As variáveis u_1, u_2 e u_3 são classificadas como

$$\begin{aligned}
 x_6 &= \frac{1}{l} \int_0^1 dp \\
 x_8 &= \dot{Y}_2 \\
 x_7 &= Y_2 \\
 x_9 &= \frac{1}{l} \int_0^1 Y_2^2 dt \\
 x_5 &= A_3 \\
 x_4 &= A_2 \\
 x_3 &= A_1 \\
 x_2 &= \dot{Y}_1 \\
 x_1 &= Y_1
 \end{aligned}$$

São classificadas como variáveis de estado:

estado e variáveis de controle. conveniente classificar as variáveis do modelo em variáveis de

A grandeza representada na Eq. (19) é a potência mecânica dissipada pelo amortecedor que somente ocorre no primeiro e

$$\dot{x}_{10} = Fa(d) \cdot \dot{d} \geq 0 \quad (19)$$

Para se evitar que violações da lei constitutiva do amortecedor hidráulico ocorram durante o processo iterativo da otimização dos parâmetros, é considerada a seguinte restrição como extensão do estado do problema:

respectivamente. As demais condições iniciais são todas nulas neste problema.

$$x_5(0) = \dot{A}_3 \quad (18)$$

$$x_4(0) = \dot{A}_2 \quad (17)$$

$$x_3(0) = \dot{A}_1 \quad (16)$$

As condições iniciais das variáveis x_1 e x_7 são calculadas, respectivamente, a partir da curva de mola da Fig. 3 e da deflexão estática de pneu, dp^e . Baseado em alguma experiência de projeto, para as variáveis x_3 , x_4 e x_5 são estimados os parâmetros iniciais de amortecimento,

$$\dot{x}_9 = (dp - dp^e) / \tau \quad (15)$$

$$\dot{x}_8 = (Kpdp - Fm(d) - Fa(d) - m_2g) / m_2 \quad (14)$$

$$\dot{x}_7 = x_8 \quad (13)$$

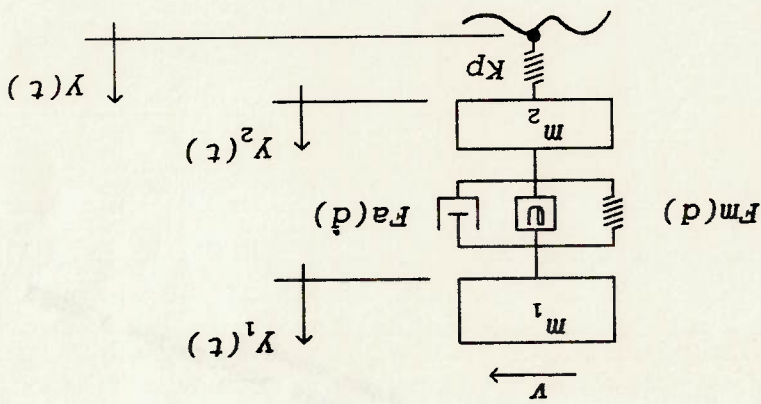
$$\dot{x}_6 = \dot{x}_2 / \tau \quad (12)$$

$$\dot{x}_5 = u_3 \quad (11)$$

$$\dot{x}_4 = u_2 \quad (10)$$

Neste problema é considerado um atuador ideal, isto é, a sua dinâmica própria não é relevante. As definições dos termos do modelo são as mesmas apresentadas no item II.2.1 sendo que o

Figura 7. Modelo físico de 2-GL da suspensão veicular ativa sujeita à excitação de solo.



[6,12].

Um modelo físico para uma suspensão veicular ativa frequentemente utilizado na literatura é apresentado na Fig. 7

que poderia ser obtida com o veículo nas mesmas condições. Conforme já mencionado, para se efetuar uma análise comparativa do sistema passivo de suspensão, é sugerido avaliar o desempenho de uma suspensão ativa correspondente que envolva os mesmos parâmetros físicos do modelo passivo. Ou seja, incorporando um atuador ao sistema, \square , na suspensão passiva otimizada descrita no item II.2.1, deseja-se avaliar a melhoria em desempenho que poderia ser obtida com o veículo nas mesmas condições.

II.2.2 - Modelo da suspensão ativa

terceiro quadrantes do plano $F_a \times d$ [14].

$$\begin{aligned}
 (27) \quad & \dot{x}_6 = x_2^* / \tau \\
 (26) \quad & \dot{x}_5 = (dp) - dp^e / \tau \\
 (25) \quad & \dot{x}_4 = (Kpdp - Fm(d) - Fa(d) - U - m_2g) / m_2 \\
 (24) \quad & \dot{x}_3 = x_4 \\
 (23) \quad & \dot{x}_2 = (Fm(d) + Fa(d) + U - m_1g) / m_1 \\
 (22) \quad & \dot{x}_1 = x_2
 \end{aligned}$$

As equações de estado são portanto:

atuador.

A variável de controle, neste caso, é a força U do

$$\begin{aligned}
 x_6 &= \frac{1}{\tau} \int_0^t Y_2^1 dt \\
 x_5 &= \frac{1}{\tau} \int_0^t (dp - dp^e) dt \\
 x_4 &= Y_2 \\
 x_3 &= Y_2 \\
 x_2 &= Y_1 \\
 x_1 &= Y_1
 \end{aligned}$$

São definidas as seguintes variáveis de estado:

$$\begin{aligned}
 (21) \quad & m_2 \ddot{Y}_2 = Kpdp - Fm(d) - Fa(d) - U - m_2g \\
 (20) \quad & m_1 \ddot{Y}_1 = Fm(d) + Fa(d) + U - m_1g
 \end{aligned}$$

As equações dinâmicas de movimento são:

de potência U .d.

elemento \square fornece um esforço dinâmico U às custas de um gasto

Esta curva proporciona $f_n = 1,24$ Hz para a posição de equilíbrio estático da massa m_1 . Apresenta também um grande curso de roda (típico para esta categoria de veículo) e incorpora os batentes de borracha superior e inferior (limitadores do curso).

$d \cdot 10^{-3}, m$	-25,4	0	18,8	38,1	304,8	330,2	355,6	381,0
F_m, N	-89044	-5797	-686	1536	12270	18735	36410	89044

Tabela 2. Curva de mola da suspensão.

b) Curva de mola da suspensão, conforme a tabela 2.

$$m_1 = 659,0 \text{ Kg} \quad m_2 = 98,5 \text{ Kg}$$

a) Massas suspensa e não-suspensa:

Para as simulações numéricas feitas neste trabalho, os seguintes valores dos parâmetros de ambos os modelos de suspensão são admitidos dados de entrada fixos, os quais são referentes ao veículo apresentado pela tabela 1.

II.2.3 - Parâmetros fixos dos modelos de suspensão

As condições iniciais são determinadas da mesma forma feita no item II.2.1, sendo que para a variável U a condição inicial nula é admitida.

Dois tipos básicos de terrenos são utilizados: um perfil irregular e uma seqüência de obstáculos semi-circulares espaçados regularmente.

O primeiro serve para a simulação da passagem por um trecho típico de terreno fora-de-estrada, cuja rugosidade eficaz calculada é de $\mu = 0,043$ m. Este terreno é descrito por um conjunto de cotas de pontos espaçados regularmente de 0,3048 m, medido ao longo de 91,14 m de uma pista real de teste (Aberdeen Proving Ground, Track 12 - EUA), conforme visto na Fig. 8.

A seqüência de obstáculos foi construída para a análise do sistema sob ressonância. Consiste em 5 obstáculos semi-circulares de 0,203 m de altura e espaçados de 5,89 m, conforme representado na Fig. 9. A altura do obstáculo foi selecionada previamente com base na velocidade máxima de passagem especificada para o veículo de estudo, a qual é limitada pela aceleração máxima sofrida pela massa suspensa (critério de segurança da tripulação, da ordem de 2,5 g). O espaçamento é então calculado a partir dessa velocidade, obtida por simulação (7,33 m/s), e da freqüência natural de ressonância da massa suspensa, a qual é calculada a partir da rigidez elástica local da posição estática de equilíbrio da suspensão (1,24 Hz). A excitação promovida na suspensão resulta em oscilação com amplitude igual ao curso de roda total disponível, podendo evidenciar os efeitos dos batentes de suspensão no comportamento dinâmico do sistema.

Figura 9. Sequência de 5 obstáculos semi-circulares.

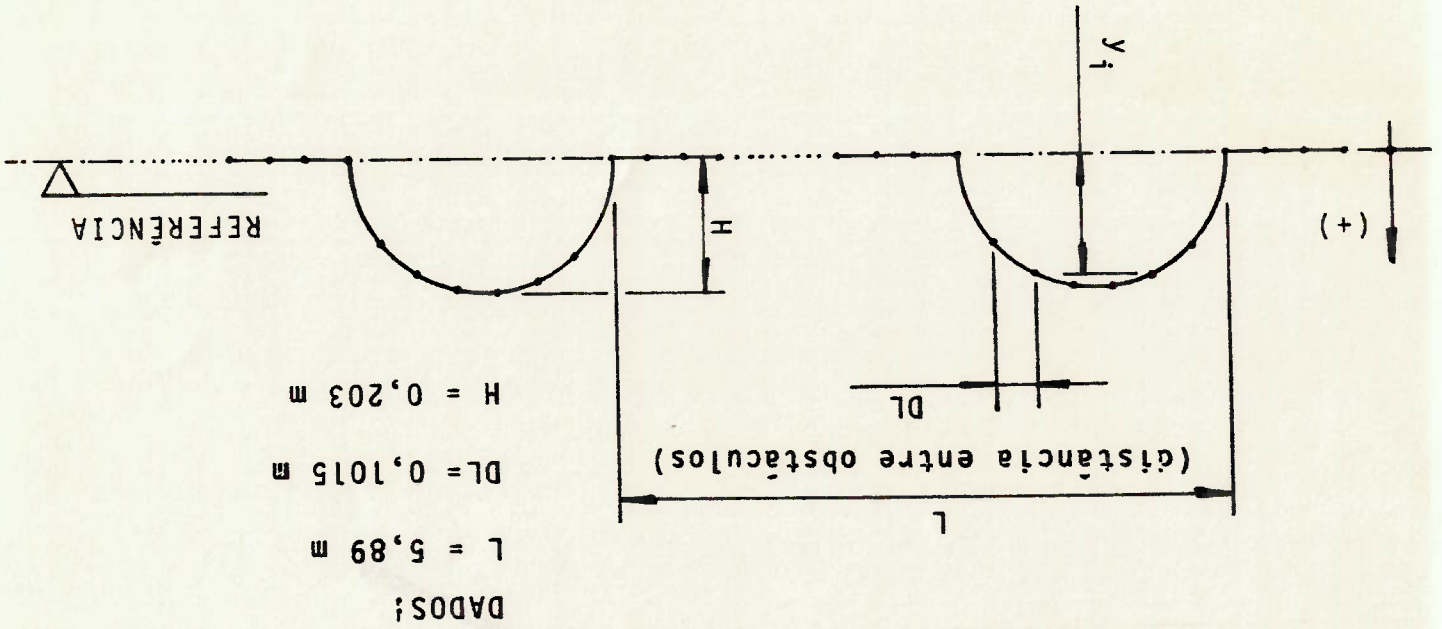
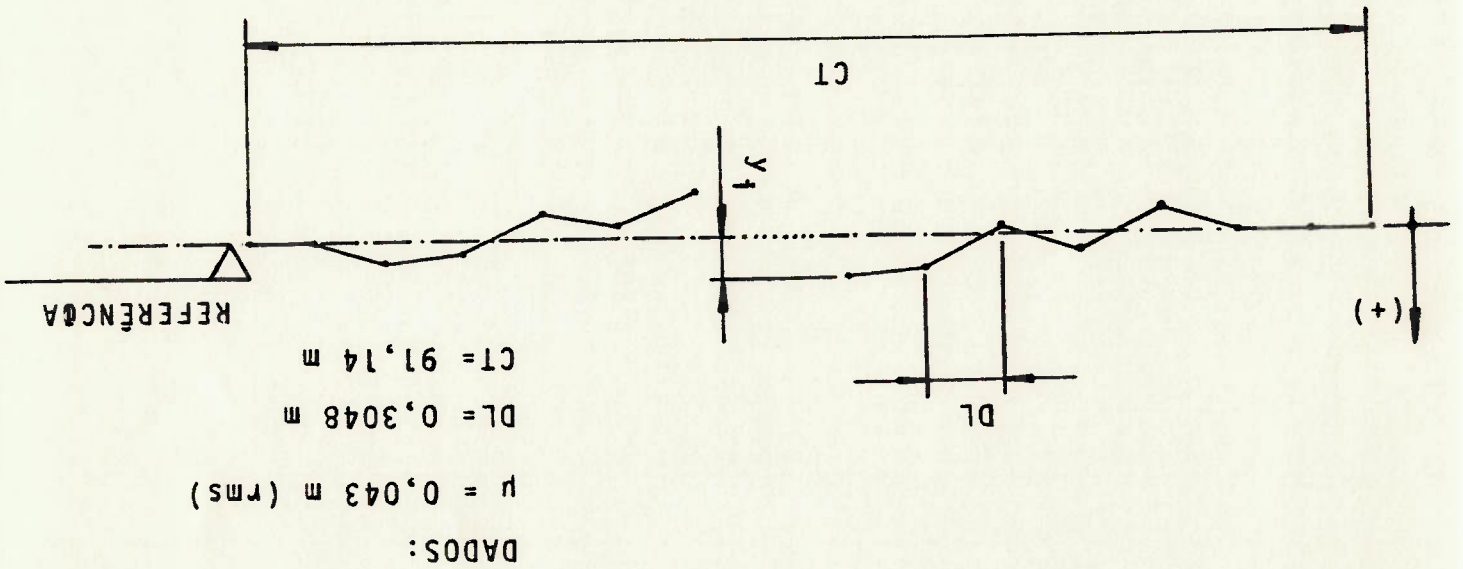
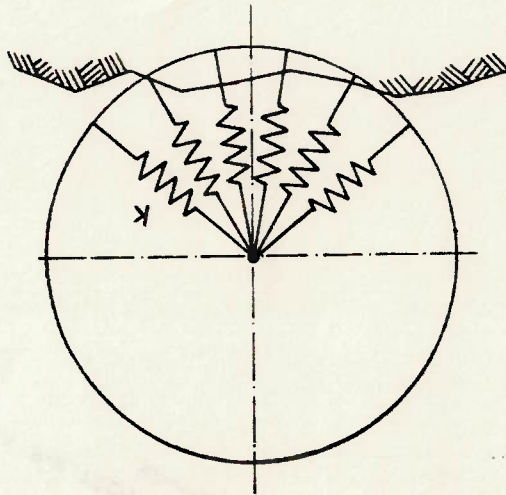


Figura 8. Perfil irregular de terreno.



Para a implementação digital do modelo de roda segmentada, basicamente dois procedimentos são requeridos: (a)

Figura 10. Modelo de roda segmentada (RS).



modelo PS visto na Fig. 6. modelagem do sistema de suspensão passiva em substituição ao algoritmo desenvolvido na referência [24] é acrescentado na desse modelo no comportamento dinâmico da suspensão veicular, o obstáculos semi-circulares [23]. Para investigar a influência para a previsão da resposta dinâmica da roda na passagem por conforme o esquema da Fig. 10, confirmam a validade desse modelo segmentado, isto é, formado por um arranjo de molas radiais Estudos de simulação feitos com um modelo de pneu pelos obstáculos regularmente espaçados do tipo da Fig. 9. introduziu-se um modelo mais adequado para a simulação de passagem mais fielmente a dinâmica da interação pneu-obstáculo, Devido às limitações do modelo seguidor em reproduzir

$$K = \frac{2 \sum_{i=1}^n \Delta_i \cos \phi_i}{F}$$

através da relação

de rigidez elástica K do segmento de pneu é então determinado influenciado por uma deflexão vertical central dada. O coeficiente coletadas as magnitudes de deflexão Δ_i para cada segmento i são

A partir dos resultados obtidos pelo programa, são malha de incrementos sucessivos na deflexão central do programa. por 10 para assegurar um valor inteiro, o qual é utilizado na altura da secção do pneu. A deflexão máxima real é multiplicada número é um limite de programa e não deve ser maior do que a deflexão vertical central desejada multiplicada por 10. Este número de segmentos para 180° (limite máximo = 60), e a máxima apêndice I. São dados de entrada do programa: raio do pneu (cm), resultados são úteis no programa de otimização deste trabalho) no procedimento é apresentado juntamente com uma saída típica (cujos programa fonte elaborado em linguagem FORTRAN IV para este média de cada segmento dada uma deflexão vertical central. O Este programa é utilizado para calcular a deflexão

II.4.1 - Programa para cálculo da deflexão por segmento

Portanto, dois programas computacionais são apresentados. força resultante transmitida para a roda ou massa não-suspensa. partir da curva força-deformação real do pneu, e (b) cálculo da determinação do coeficiente de rigidez elástica do segmento a

situação de passagem sobre obstáculos discretos, onde o seu efeito Este modelo é utilizado neste trabalho apenas para a positivo na direção anti-horária.

centro de segmento é medido a partir da vertical e é considerado configurações de terreno e obstáculos. O ângulo para cada linha de suficientes para descrever a flexibilidade do pneu na maioria das doze segmentos de 10° , seis de cada lado da vertical, são obtida da referência [24] (na qual é baseada esta implementação) respeito ao eixo vertical central da roda. Segundo a experiência terreno e até 24 segmentos de pneu igualmente divididos com O programa atual manipula até 100 pontos do perfil de ilustrado na Fig. 11.

roda orientadas segundo um sistema referencial fixo, conforme é m^2 em termos das coordenadas espaciais do terreno e do centro da geométrica que trata cada intervalo discreto do movimento da massa O cálculo é baseado em uma abordagem puramente de otimização descrito mais adiante.

detalhes no apêndice II, constitui uma das subrotinas do programa resposta dinâmica vertical do veículo. Este programa, descrito em não-suspensa, a qual é de maior interesse para a simulação da vertical da força resultante transmitida para a massa O segundo programa é usado para calcular a componente

II.4.2 - Programa para cálculo da força vertical transmitida

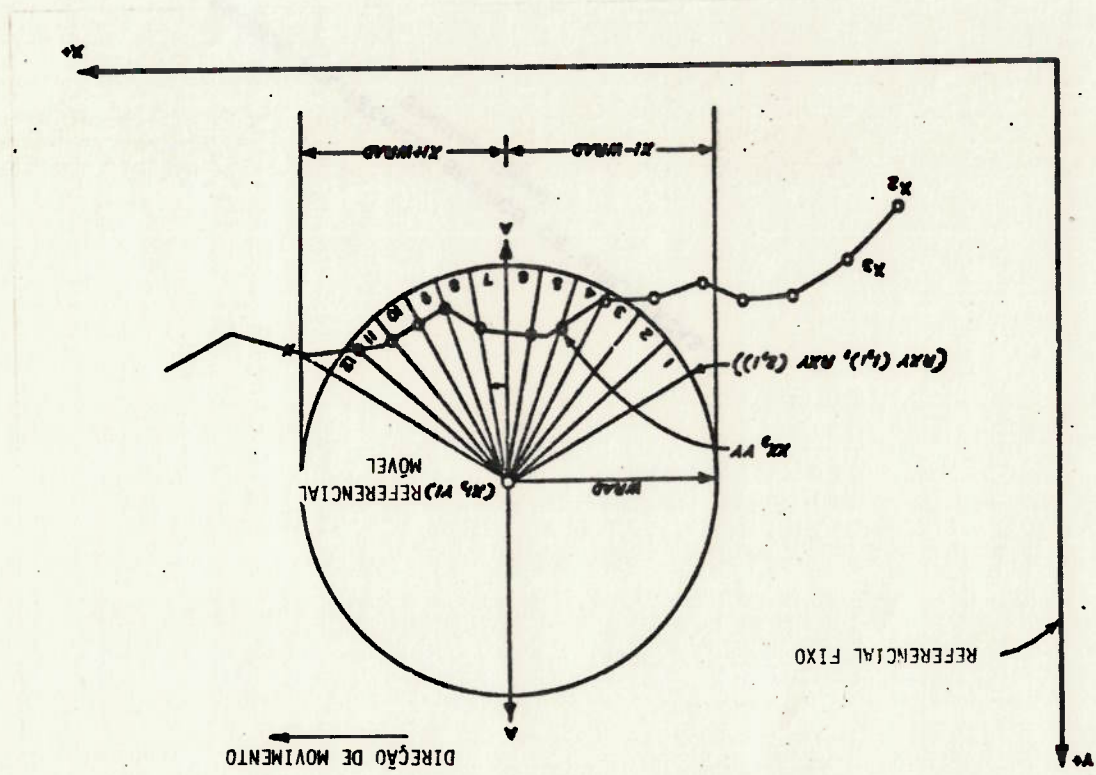
de centro do segmento e vertical da roda. influenciados dividido por 2 e ϕ_1 é o ângulo formado pelas linhas onde F é a força vertical sobre o pneu, n é o número de segmentos

casos.

Para avaliar a influência do tipo de modelo de pneu utilizado na dinâmica do sistema de suspensão, são feitas simulações de passagem pela sequência de 5 obstáculos nos dois

II.4.3 - Comparação da dinâmica do sistema com os modelos PS e RS

Figura 11. Diagrama esquemático mostrando as coordenadas espaciais do programa digital do pneu segmentado



[23].

A descrição detalhada da formulação deste modelo está além do escopo deste trabalho, podendo ser vista na referência

importante.

na resposta dinâmica é mais evidente e, portanto, de maior

No apêndice I encontram-se as deflexões médias calculadas para o pneu da tabela 1, cujo raio externo não defletido é de 0,497 m. Para a mesma deflexão central Δ anterior, o coeficiente K do segmento de pneu neste modelo é calculado a partir da deflexão média Δ_1 de cada segmento influenciado pela deflexão central $\Delta = 0,025$ m:

-Modelo RS:

$$K_p = \frac{0,11 \cdot 0,231}{(659,0 + 98,5) \cdot 9,807} = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}$$

obtem-se:

Substituindo-se os valores, e com $\Delta = 11\%$ de H_p ,

$$K_p = \frac{\Delta}{(m_1 + m_2) \cdot g}$$

-Modelo PS:

Conforme o caso estudado, para os modelos PS e RS o admitindo-se uma deflexão estática central do pneu, Δ , típica de operação no terreno considerado, expressa como uma porcentagem da altura total da sua secção, H_p . O pneu da tabela 1 possui $H_p = 0,231$ m. Para os dois modelos têm-se respectivamente:

II.4.3.1 - Elasticidade do pneu

Inicialmente, deve ser determinada a rigidez elástica de cada modelo específico.

curva de amortecedor precisa ser expressa em termos dos parâmetros suspensa m_1 determina-se $Cc = 10300 \text{ N.s/m}$. Para essa simulação, a elástica da mola (calculada a partir da tabela 2) e da massa declividade $C = 0,25 \text{ Cc}$. Utilizando-se os valores da rigidez assumido um amortecedor com característica linear, cuja curva do amortecedor. Para esta etapa do estudo, é

semi-circulares (Fig 9).

Terreno. É utilizada a seqüência de 5 obstáculos

dinâmica do modelo de suspensão de 2-GL.

diferenciais de segunda-ordem não-lineares, que considera a computacional de simulação dinâmica de um sistema de equações Para esta análise foi utilizado um programa

II.4.3.2 - Resultados das simulações

$$= 1,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}$$

$$K = \frac{2 \cdot 10^{-2} (2,258 \cdot \cos 5^\circ + 0,806 \cdot \cos 15^\circ)}{(659,0 + 98,5) \cdot 9,81}$$

0,025 m,

Substituindo-se os valores correspondentes para $\Delta =$

$$K = \frac{2 \sum_{i=1}^2 \Delta_i \cos \phi_i}{(m_1 + m_2) \cdot g}$$

Do gráfico 1, a velocidade v em que ocorre o pico de ressonância do sistema com o modelo PS é igual a 7,33 m/s, correspondendo à frequência $f_n = 1,24$ Hz. Com o modelo RS, o máximo de A_{rms} ocorre para uma velocidade $v = 10$ m/s (36 % maior). Esta diferença pode estar associada à não-linearidade da mola e do

gráficos 1 e 3.

a m_1) é evidenciado pelos dois modelos de roda através dos da ressonância do primeiro modo de vibração do sistema (associado para as passagens em diferentes velocidades do veículo. O fenômeno Os gráficos 1, 2, 3 e 4 mostram os resultados obtidos trabalho.

grandeza é também utilizada para comparações posteriores feitas no sistemas físicos possuem as mesmas massas e geometria. Esta massas. Portanto, a sua utilização somente faz sentido quando os partir dos históricos temporais da aceleração e velocidade das conceito da potência absorvida e cujo cálculo seja possível a para comparação de desempenho que possa ser relacionado com o é introduzida aqui com o intuito único de estabelecer um termo uma das massas componentes. Deve ser ressaltado que esta grandeza taxa de transferência de energia de vibração do sistema para cada são associadas respectivamente às massas m_1 e m_2 e expressam a utilizadas também para a comparação entre modelos. $P1_{rms}$ e $P2_{rms}$ introduzido no capítulo I, as grandezas $P1_{rms}$ e $P2_{rms}$ são Em analogia com o conceito da potência absorvida

$$A_1 = 2575 \text{ N.s/m} \quad A_2 = 0 \text{ N.s}^2/\text{m}^2 \quad A_3 = 0 \text{ N.s}^3/\text{m}^3$$

da equação (3) da equação II. Portanto:

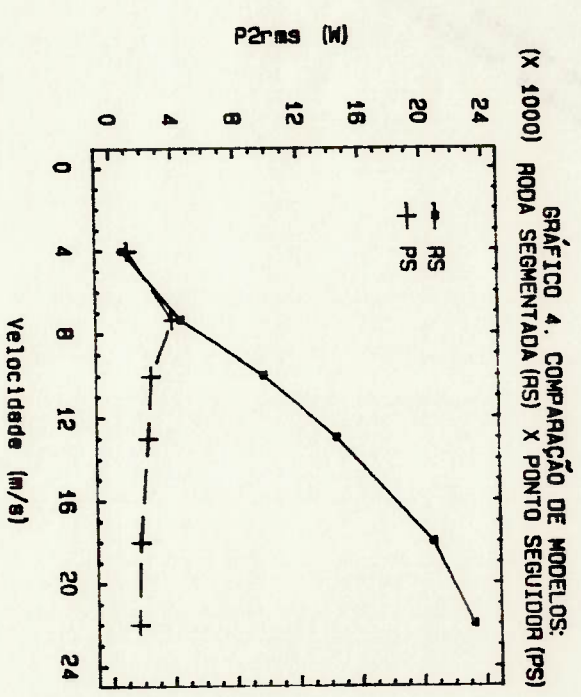
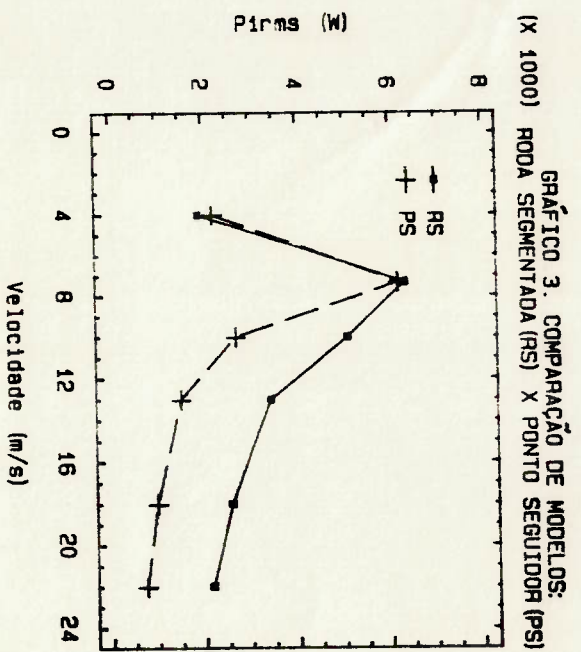
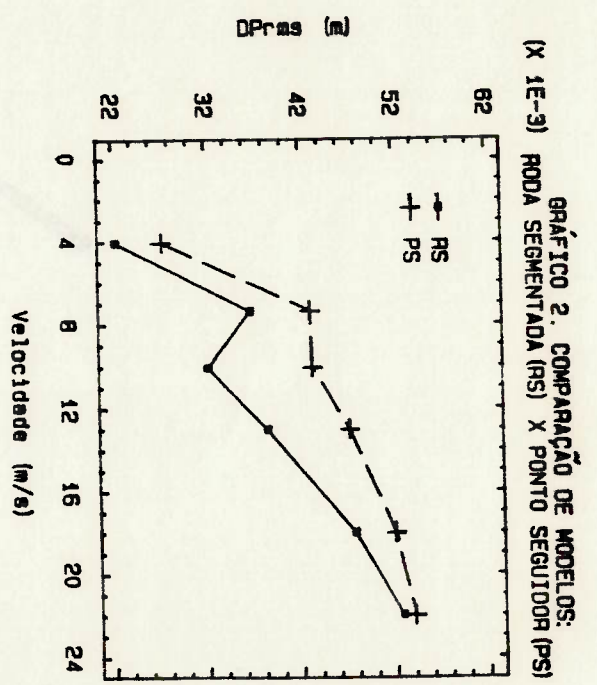
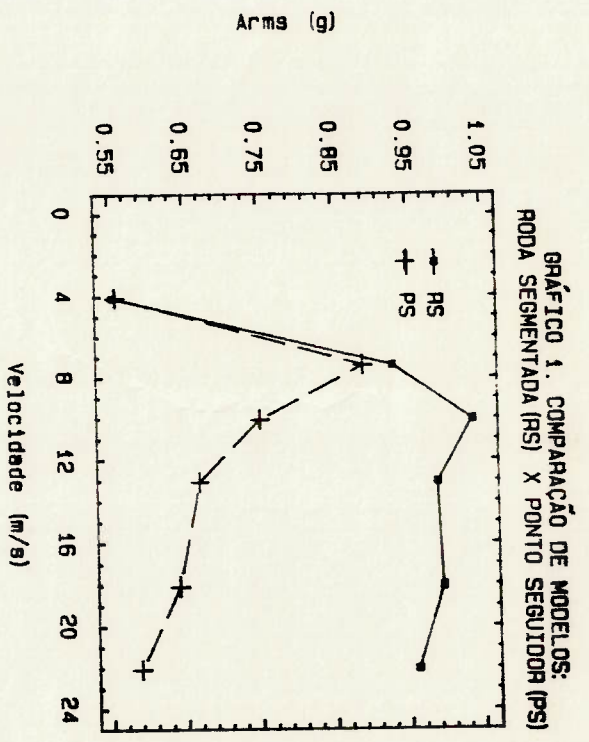
na referência [23] através de comparações de respostas dinâmicas obstáculo, gerando forças de contato realistas, segundo é mostrado devido a sua capacidade de deformação progressiva ao passar pelo simulações de passagem pela seqüência de obstáculos regulares Neste trabalho, o modelo RS é utilizado para as o efeito desta relação.

para as discrepâncias de comportamento vistas nos gráficos 1 e 4 e modelos PS e RS sejam mais próximas. Uma provável justificativa relação assume valores maiores, as respostas obtidas por meio dos suspensão através do modelo RS. É possível que a medida que esta pneu)/(altura do obstáculo) sobre o comportamento dinâmico da Não foi investigada a influência da relação (raio do devido à "flutuação" ou descolamento frequente da roda neste caso. modelo RS; comportamento oposto é verificado através do modelo PS m_1 . O gráfico 4 indica uma acentuada vibração de m_2 através do nos dois casos de modelos, correlacionando-se com a ressonância de O gráfico 3 mostra que P_{rms} é máximo para $v = 7,33$ m/s modelo RS.

de terreno, somente possível através dos segmentos elásticos do reduzida devido à atuação de toda a região de contato com o perfil RS. Por causa desta propriedade do pneu, a sua deflexão central é maior capacidade de "envolver" o obstáculo oferecida pelo modelo velocidade $v = 7,33$ m/s (ver gráfico 2). Isto pode ser atribuído à em comparação com aquela dada pela simulação com o modelo PS na A deflexão dinâmica do pneu com o modelo RS é 16 % menor suspensão, no caso da mola), alterando o valor do pico.

rigidez (devido à atuação mais frequente dos batentes de pneu que, sob a forte excitação do terreno, se comportam com maior

obtidas via simulação computacional e teste de laboratório. Portanto, somente para estes casos é que este modelo será utilizado neste trabalho. Para o caso do perfil irregular de terreno, o modelo PS pode ser considerado adequado, o que permite uma economia significativa no tempo de processamento.



Afirma-se que um dado sistema de suspensão veicular está otimizado quando as características de dirigibilidade e conforto do veículo encontram-se balanceadas. Embora muitos outros critérios possam ser especificados, estas características parecem ser as mais importantes e são, de fato, as mais utilizadas nos trabalhos dessa área [11-14, 17-22, 25-35]. Cabe ao projetista a tarefa de estabelecer a ponderação desejada entre ambas como também as condições de operação sob as quais se otimiza o

III.1 - Formulação do índice de desempenho da suspensão

Este capítulo apresenta o problema da síntese da curva de amortecimento de uma suspensão veicular passiva segundo a abordagem feita por Teoria do Controle Ótimo. Basicamente é procurado o conjunto de parâmetros constantes que definem a curva de amortecimento ideal segundo um dado critério de desempenho. É apresentada também uma formulação análoga para o caso de uma suspensão ativa equivalente. Neste caso, parte-se com a curva otimizada para a suspensão passiva de mesmas características físicas, porém com o auxílio de um atuador ideal agindo em paralelo no sistema. É procurada, portanto, uma função de controle que minimize um funcional equivalente ao caso passivo, possibilitando dessa maneira uma comparação entre ambos.

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA EM TERMOS DE CONTROLE ÓTIMO

CAPÍTULO III

onde são calculados os valores quadráticos médios das respectivas grandezas para o intervalo de simulação (0 - τ). De acordo com a abordagem adotada, além das relações (28) e (29), deve ser estabelecida uma penalização sobre o valor das derivadas temporais dos parâmetros a serem otimizados. Como estes

$$(29) \quad DPMq = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} (dp - dp_e)_2 dt = x_9(\tau)$$

$$(28) \quad AMq = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \dot{x}_2^2 dt = x_9(\tau)$$

das seguintes expressões:

capítulo II, estes requisitos são quantificados pela minimização Referenciando-se ao sistema passivo apresentado no dirigibilidade (segurança).

com a manutenção do contato pneu-solo e, portanto, com a deflexão de pneu eficaz (rms), que está relacionada

1) aceleração eficaz (rms) da massa suspensa, que está relacionada com a característica de conforto;

2) deflexão de pneu eficaz (rms), que está relacionada com a característica de conforto;

minimização das seguintes grandezas básicas:

conforto e segurança. Neste trabalho isto é feito através da de amortecimento passivo de modo a atender aos requisitos de amortecedor hidráulico [15]. Portanto, procura-se projetar a curva de vibração do sistema dentro de limites aceitáveis pelo emprego do Tratando-se de suspensão passiva, deve-se manter a desempenho global.

Com referência às variáveis de estado do modelo ativo de suspensão introduzido no capítulo II, expressões análogas às equações (28) e (29) são formadas para este caso. Com o intuito de comparação com um atuador ativo, neste trabalho é utilizado o componente ideal U (capítulo II), isto é, capaz de produzir o esforço de controle $U(t)$ necessário,

III.2 - Problema da otimização de uma suspensão ativa

onde as grandezas A_{mq} e D_{pmq} serão multiplicadas por fatores de ponderação convenientes para acerto das diferentes magnitudes envolvidas.

$$J_1 = A_{mq} + D_{pmq} + L \quad (31)$$

O problema de controle consiste, portanto, em se determinar os parâmetros A_1 de amortecimento minimizando o funcional J_1 onde K_1 , K_2 e K_3 são pesos convenientes atribuídos a cada componente de $u(t)$, necessários para o acerto das magnitudes das grandezas envolvidas, como é visto posteriormente.

$$L = \int_0^T (K_1 u_1^2(t) + K_2 u_2^2(t) + K_3 u_3^2(t)) dt \quad (30)$$

optou-se por minimizar a expressão quadrática: devem ser na verdade constantes no caso de uma suspensão passiva,

Para utilização da Teoria do Controle Ótimo é conveniente classificar as variáveis dos modelos matemáticos que

capítulo II. O comportamento dinâmico das suspensões passiva e ativa sob a ação da excitação de solo é descrito por um sistema de equações diferenciais não-lineares, conforme é descrito no

III.3 - Formulação do problema em termos de Controle Ótimo

sendo que cada parcela de (33) será multiplicada por um fator de ponderação adequado.

$$J_1 = \lambda m \dot{q} + D P m \dot{q} + J_u \quad (33)$$

No problema de controle tratado, o objetivo seria, portanto, minimizar o funcional J_1

$$J_u = \int_{\tau}^0 U^2 dt \quad (32)$$

Uma restrição extra deve ser feita sobre a magnitude do esforço produzido pelo atuador U , de maneira que se possa avaliar o ganho de desempenho em função da potência exigida pelo veículo considerado. O seguinte termo é então introduzido para considerar o esforço desenvolvido pelo atuador U :

independentemente de uma particular dinâmica própria.

Qualquer solução que leve a uma violação da restrição

O funcional que se quer minimizar contém os termos relacionados com o conforto e dirigibilidade apresentados neste capítulo. Também devem comparecer na sua expressão os termos correspondentes às variáveis de controle (equações (30) e (32)).

III.3.1 - Índice de desempenho proposto

No capítulo II encontram-se definidas as variáveis x e u para ambos os casos de suspensão tratados neste trabalho.

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \text{variáveis de estado} \\ \mathbf{u} &= \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} \quad \text{variáveis de controle} \end{aligned}$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad (34)$$

Nos dois casos, as variáveis de estado devem ser tais a reduzir o sistema de equações diferenciais original em um sistema de equações diferenciais de primeira-ordem (equações (7) a (15) e (19) para o sistema passivo, e equações (22) a (27) para o sistema ativo):

variáveis de controle, conforme descrito no capítulo II.

caracterizam a dinâmica das suspensões em variáveis de estado e

$$J = K^a \cdot \Delta m q + K^p \cdot D P m q + K^u J^u \quad (37)$$

ii) suspensão ativa

$$J = K^a \cdot \Delta m q + K^p \cdot D P m q + L + K^{10} \cdot x^{10}(\tau) \quad (36)$$

i) suspensão passiva

desempenho para cada caso de suspensão são definidos abaixo:
Resumindo, os funcionais que representam os índices de
de J elevado.

alta, dada pelo valor atribuído a K^s , e portanto, a um valor final
da variável de estado da fronteira leva a uma derivada bastante
Como se pode observar da expressão (35), qualquer fuga
termo de penalização $K^{10} x^{10}(\tau)$.

No funcional deste caso, optou-se por acrescentar o

K^s = valor positivo a ser definido

$$H_1 = \begin{cases} 0 & \text{se } F_a(d) \cdot d \geq 0 \\ K^s & \text{se } F_a(d) \cdot d < 0 \end{cases}$$

com $x^{10}(0) = 0$, e

$$x^{10} = [F_a(d) \cdot d] H_1 \quad (35)$$

imposta pela equação (19) (caso passivo apenas) não é aceitável.
Para levar em conta esta restrição, usa-se o artifício apresentado
na referência [37] exposto a seguir:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1 &= x_2 \\
 \dot{x}_2 &= (Fm(d) + Fa(d) - m_1g) / m_1 \\
 \dot{x}_3 &= u_1 \\
 \dot{x}_4 &= u_2 \\
 \dot{x}_5 &= u_3 \\
 \dot{x}_6 &= x_7^2 / \tau \\
 \dot{x}_7 &= x_8 \\
 \dot{x}_8 &= (Kpdp - Fm(d) - Fa(d) - m_2g) / m_2 \\
 \dot{x}_9 &= (dp - dp_e) / \tau \\
 \dot{x}_{10} &= [Fa(d) \cdot d]_{H_1} \\
 H_1 &= \begin{cases} K_s & \text{se } Fa(d) \cdot d < 0 \\ 0 & \text{se } Fa(d) \cdot d \geq 0 \end{cases} \quad \text{onde,}
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

1) suspensão passiva

Os sistemas de equações diferenciais relativos aos modelos das suspensões passiva e ativa, reescritos a partir do capítulo II em termos de variáveis de estado e de controle na forma $\dot{x} = f(x,u)$ (com modelo de roda PS), são:

III.3.2 - Vínculos dinâmicos e condições iniciais especificadas

onde os pesos K_a, K_p, K_{10} e K_u serão definidos posteriormente.

modelo de roda PS ou RS)

$$\begin{aligned}
 x_7(0) &= \text{deformação estática do pneu (calculada segundo o} \\
 x_6(0) &= 0 \\
 x_5(0) &= A_{(0)}^3 \text{ (parâmetro estimado)} \\
 x(0) &= A_{(0)}^2 \text{ (parâmetro estimado)} \\
 x_3(0) &= A_{(0)}^1 \text{ (parâmetro estimado)} \\
 x_2(0) &= 0 \\
 x_1(0) &= -F_{m1}^1(m_1g) - x_7(0)
 \end{aligned}$$

i) suspensão passiva

variáveis de estado no instante $t = 0$:

Dessa forma, são admitidas conhecidas as seguintes

convergente do método de otimização é realizada neste capítulo. condições iniciais especificadas. Uma análise da influência das estimativas iniciais para os parâmetros de amortecimento sobre a Nos dois casos, o problema será equacionado para

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_6 &= x_2^2 / \tau \\
 \dot{x}_5 &= (dp - dp^e) / \tau \\
 \dot{x}_4 &= (Kpdp - Fm(d) - Fa(d) - U - m_2g) / m_2 \\
 \dot{x}_3 &= x_4 \\
 \dot{x}_2 &= (Fm(d) + Fa(d) + U - m_1g) / m_1 \\
 \dot{x}_1 &= x_2
 \end{aligned}$$

ii) suspensão ativa

(39)

No caso passivo, o problema que é resolvido neste trabalho pode ser colocado como a determinação das condições iniciais livres (parâmetros A_i) e das funções de controle $u(t)$ que especificam a variação temporal dos parâmetros de amortecimento A_i de modo a minimizar o funcional (36), obedecendo aos vínculos

III.3.3 - Problema de controle ótimo

diretamente a partir do próprio equacionamento do modelo RS. expressões de \dot{x}_8 (caso passivo) e \dot{x}_4 (caso ativo) é calculada 2) com o modelo RS, a força de pneu da

mola calculada para o peso $m_1 g$ da massa suspensa;

Notas: 1) $F_{m_1}^{-1}(m_1 g)$ denota a função inversa da curva de

$$x_6(0) = 0$$

$$x_5(0) = 0$$

$$x_4(0) = 0$$

modelo de roda PS ou RS)

$x_3(0)$ = deformação estática do pneu (calculada segundo o

$$x_2(0) = 0$$

$$x_1(0) = -F_{m_1}^{-1}(m_1 g) - x_3(0)$$

ii) suspensão ativa

$$x_{10}(0) = 0$$

$$x_9(0) = 0$$

$$x_8(0) = 0$$

(41)

(40)

ser considerado satisfatório. refinada. Portanto, para o problema deste trabalho, o MGPO pode métodos indiretos acima, o que leva a uma solução final mais este método é especialmente interessante quando associado a um dos a um valor mínimo (ou máximo) bem preciso. É citado também que de computador, sendo relativamente inferior em termos de conduzir (MMQ). Por outro lado, o MGPO requer maior capacidade de memória de Perturbação (MFP) e ao Método Modificado da Quasi-linearização simplicidade de formulação quando comparado ao Método das Funções referência [5], o MGPO apresenta vantagens do ponto de vista da torno da trajetória do passo anterior. Conforme pode ser visto na conceitualmente é um processo de linearização local em

utilizando-se a sua direção de máxima variação ou gradiente. sucessivos tenta melhorar $u(t)$ e minimizar o funcional J estimado inicial para o vetor de controle $u(t)$, e em passos ou da máxima variação [4]. Esta técnica parte com um valor computador usando o Método do Gradiente de Primeira-Ordem (MGPO) anterior pode ser resolvido sistematica e rapidamente em um O problema de programação ótima estabelecido na seção

III.4 - Solução numérica do problema

iniciais especificadas (41). funcional (37), segundo os vínculos dinâmicos (39), com condições determinar a função de controle $U(t)$ de modo a minimizar o No caso ativo, o problema é colocado da seguinte forma: dinâmicos (38), com condições iniciais especificadas (40).

situação, os passos (i) e (ii) se repetem. a considerar a solução obtida como satisfatória. Até atingir essa exemplo, sobre o valor da variação do IP entre iterações) de forma (iii) Um critério de parada deve ser estabelecido (por

direção otimizante (direção do gradiente do IP). variáveis anteriores de maneira a aproveitar melhor o passo na IP) na iteração seguinte pois o método faz as correções sobre as Tais perturbações devem levar a uma diminuição do funcional J (ou

$$\delta x_0^o = x_0^o - x_0^*$$

$$\delta u = u(t) - u^*(t)$$

onde $u^*(t)$ e x_0^* são calculadas, onde parâmetros iniciais estimados) sobre as estimativas anteriores último, somente no caso passivo, referente às correções sobre os (ii) Pequenas perturbações de correção δu e δx_0^o (este

não proporcionará um índice de desempenho mínimo. $x^*(t)$ até o instante final t . Em geral, esta "trajetória" nominal calcular, numericamente, os históricos das variáveis de estado as condições iniciais e as equações dos vínculos dinâmicos para variáveis de controle do problema. Utilizar estas estimativas com (i) Estimar um valor inicial nominal $u^*(t)$ para as

O método se desenvolve como descrito a seguir.

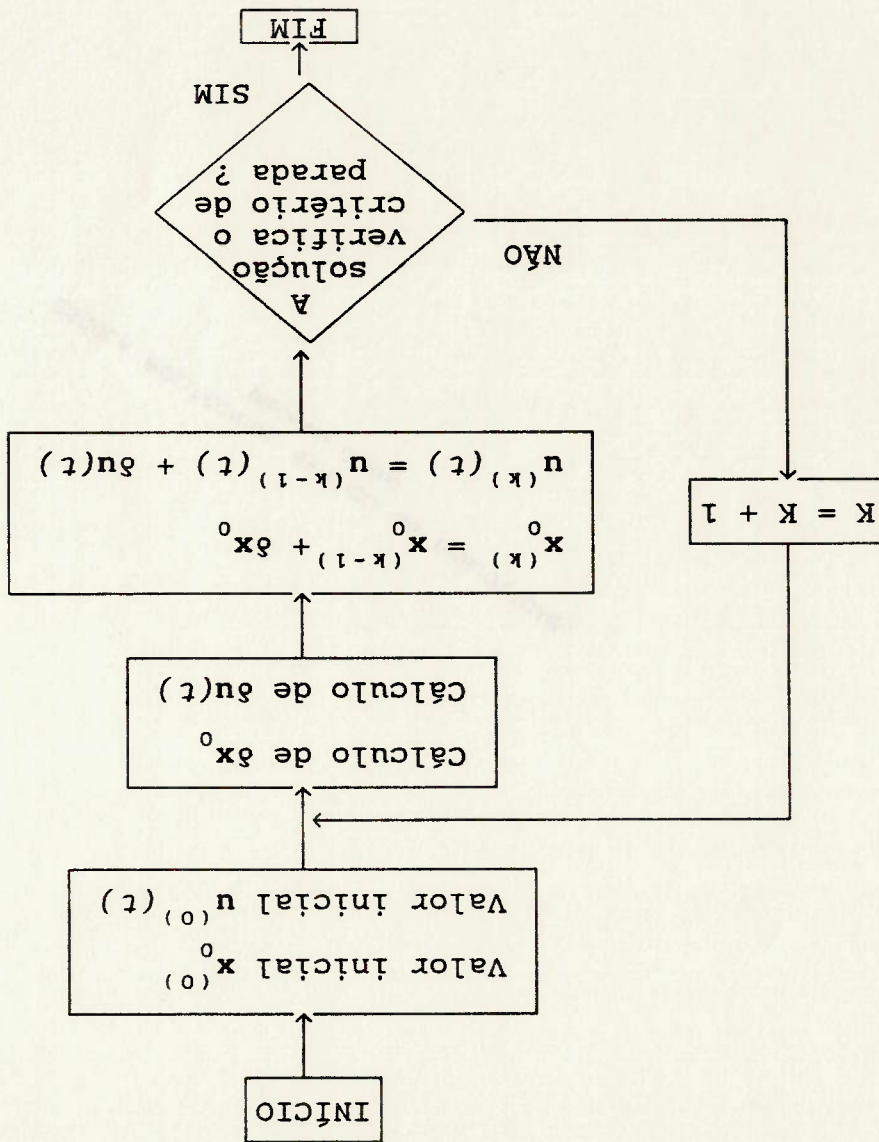
referências [1] e [37]. condições do problema tratado. O desenvolvimento é baseado nas O MGPO está desenvolvido no apêndice III para as

1) suspensão passiva - Programa AMTPASS

caso de suspensão considerada:

Foi desenvolvido um programa de computador para cada

Figura 12. Diagrama de blocos simplificado do MGPO.



Um diagrama de blocos simplificado para a estrutura do programa computacional desse método é apresentado na Fig. 12.

O MGPO pressupõe pequenas variações de correção em torno da posição de linearização local. Conforme é visto no apêndice III, as matrizes M e W ponderam as correções δx_0 e $\delta u(t)$ ajustando o tamanho do passo total s .

III.4.2 - Estimativas de s^2 e das matrizes M e W do MGPO

Fig. 9).

No capítulo IV são apresentados resultados e análises para algumas simulações utilizando-se o perfil irregular de terreno e a sequência de 5 de obstáculos semi-circulares (Fig. 8 e

suspensão ativa.

referente ao caso da suspensão passiva e o segundo, ao da apêndice III encontram-se nos apêndices VII e VIII. O primeiro é As matrizes definidas no desenvolvimento do MGPO do

o modelo de roda RS.

incorpora o modelo de roda PS, e o apêndice VI contém AMTPASS com O apêndice V mostra a listagem referente ao AMTPASS que

detalhado do algoritmo numérico.

principais. No mesmo apêndice é apresentado um diagrama de blocos apêndice IV é apresentada a descrição de suas subrotinas

Os dois programas têm estruturas semelhantes e no

passagem por obstáculos regulares discretos).

de roda tipo PS (utilizado para perfil de terreno) e tipo RS (para Forma a simplificar o seu uso nos casos de simulação com o modelo

Atualmente, cada programa está desmembrado em dois, de

ii) suspensão ativa - Programa SUSATI

Para que não ocorra violação da hipótese de pequenas perturbações implícita no MGP, é necessário estabelecer o valor de s^2 (ou, equivalentemente, s) baseando-se nos valores nominais iniciais dos parâmetros de decisão do problema (parâmetros de amortecimento a serem variados). Da equação (13) do apêndice III, admite-se que $\| \delta x_0 \|$ seja igual a 10% de $\| x_0 \|$, isto é, $s = 0,1 \cdot A_1$.

Conforme descrito no apêndice IV, o programa estabelece uma estratégia de variação desse passo. A medida que as iterações são geradas a melhor delas é armazenada na memória. Se após um número NMX as iterações não melhoram em relação àquela armazenada, o programa divide por dois o passo s inicial e executa a iteração seguinte com aquela armazenada (a melhor).

O processo se repete até que a condição de parada seja satisfeita. O término do programa ocorre quando um número máximo especificado de iterações é atingido ($L4^{max}$), ou quando a razão de decréscimo do índice de desempenho (RATE) em iterações sucessivas passe a ser menor do que um valor pré-estabelecido.

Resta estimar as matrizes M^{-1} e W^{-1} (ou, equivalentemente, M e W , ver apêndice III).

As matrizes M e W são diagonais, positivas-definidas. Os seus elementos ponderam as variações sobre cada coeficiente da curva do amortecedor e sobre cada derivada temporal desses coeficientes, respectivamente.

No caso da suspensão passiva, as derivadas temporais de cada coeficiente da curva de amortecimento devem ser muito próximas de zero, o que implica em $W \approx \bar{0}$ (matriz nula). Numericamente esta condição pode ser expressa por:

conhecimento físico do problema. alterar convenientemente alguns de seus elementos baseando-se no primeira tentativa, utilizar a matriz identidade. Pode-se então dessa matriz. Para estudos futuros é recomendável, como uma essas. O MGPO admite, contudo, flexibilidade no estabelecimento razões entre os coeficientes otimizados finais sejam iguais a não implícita, como é verificado em simulações preliminares, que as Isto significa que a razão $\frac{A_1}{A_2} = 0,1$ e $\frac{A_1}{A_3} = 0,5$. Porém,

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0,1 & 0 \\ 0 & 0,5 \end{bmatrix}$$

utilizada: Os elementos da matriz M podem ser estimados a partir da razão entre coeficientes da curva de amortecimento. Através de simulações preliminares verificou-se que esta matriz afeta, para algumas situações de condições iniciais, a convergência numérica do problema. Do exposto acima, a seguinte matriz pode ser

$$W = \begin{bmatrix} 1.10^{-7} & 0 \\ 1.10^{-7} & 1.10^{-7} \\ 0 & 1.10^{-7} \end{bmatrix}$$

O programa AMTPASS é utilizado neste item para testar a capacidade do algoritmo de otimização em obter respostas dinâmicas semelhantes entre si partindo-se de diferentes parâmetros iniciais de amortecimento. Esta análise é conduzida para a passagem por perfil irregular de terreno à 15 m/s (54 Km/h).

Para que o resultado da otimização tenha significado, as quatro parcelas do IP da equação (36) devem possuir magnitudes compatíveis com o objetivo desejado. Isto pode ser conseguido pelo ajuste dos pesos. Entretanto, a seleção apropriada desses valores impõe dificuldades. Aqui $K_{10} = 1.E6$ e $K_1 = K_2 = K_3 = 1$ são escolhidos empiricamente, enquanto que K_a e K_p requerem uma pesquisa bidimensional baseada em respostas calculadas.

São considerados dois casos:

- a) minimização do IP com maior peso sobre a variação da força de contato pneu-solo ($K_a \cdot Amq/K_p \cdot Dpmq = 3 E-4$): gráficos 5, 6, 7 e 8
- b) minimização do IP com maior peso sobre a aceleração eficaz (rms) da massa suspensa ($K_a \cdot Amq/K_p \cdot Dpmq = 3 E5$): gráficos 9, 10, 11 e 12.

São definidas as três curvas seguintes de amortecimento linear como condição inicial do problema e identificadas conforme a tabela 3.

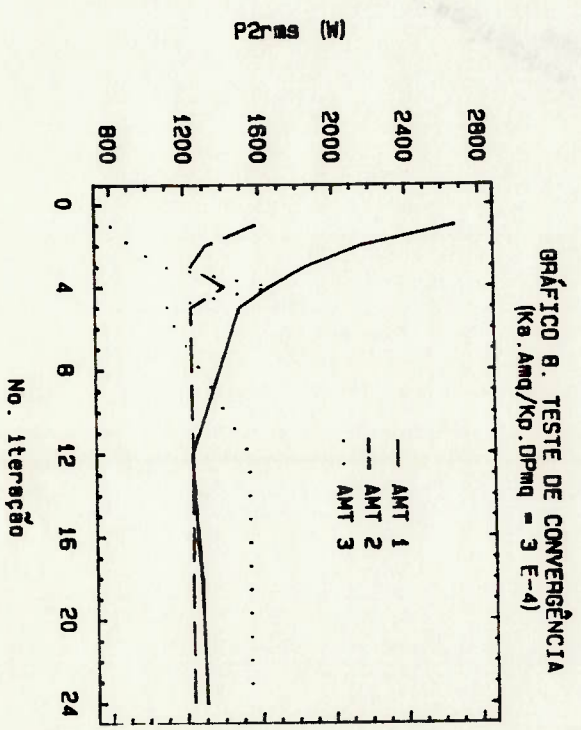
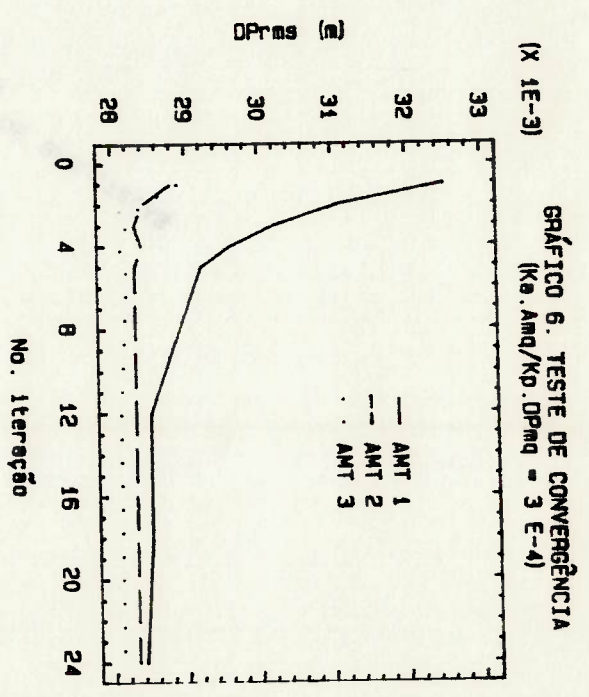
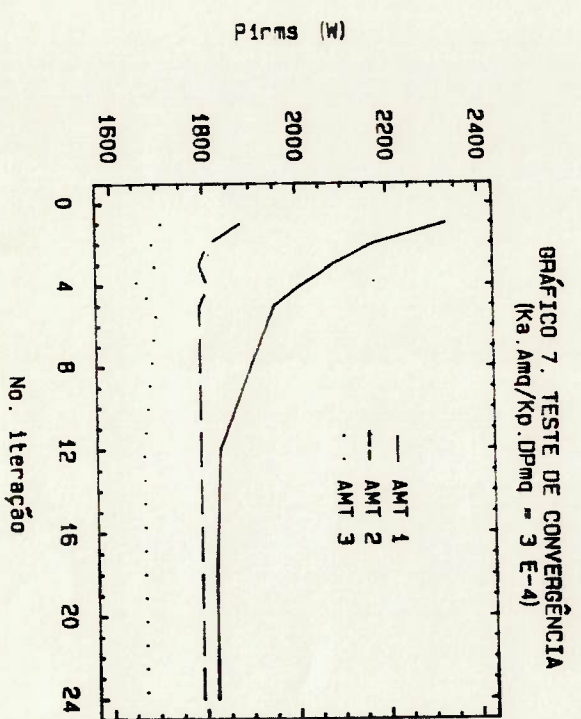
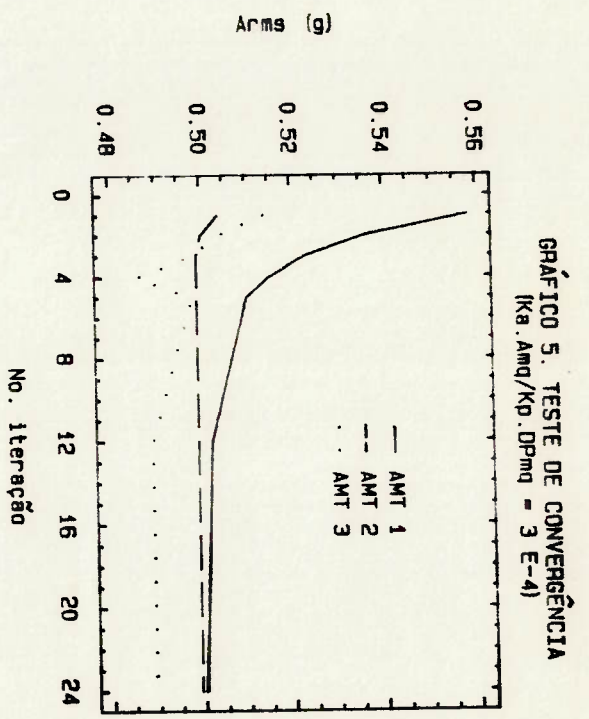
A limitação do MGPO em convergir para a solução ótima, a medida que a solução final é aproximada, pode ser notada também através desses gráficos. Para o caso do amortecedor AMT 3, o programa busca a solução final oscilando em torno do ponto de mínimo como é visto nessas curvas. Embora o resultado final é satisfatório do ponto de vista de engenharia, uma possível melhoria poderia ser conseguida aplicando-se a solução final obtida pelo MGPO como condição inicial para um outro algoritmo, conforme mencionado anteriormente no item III.4.

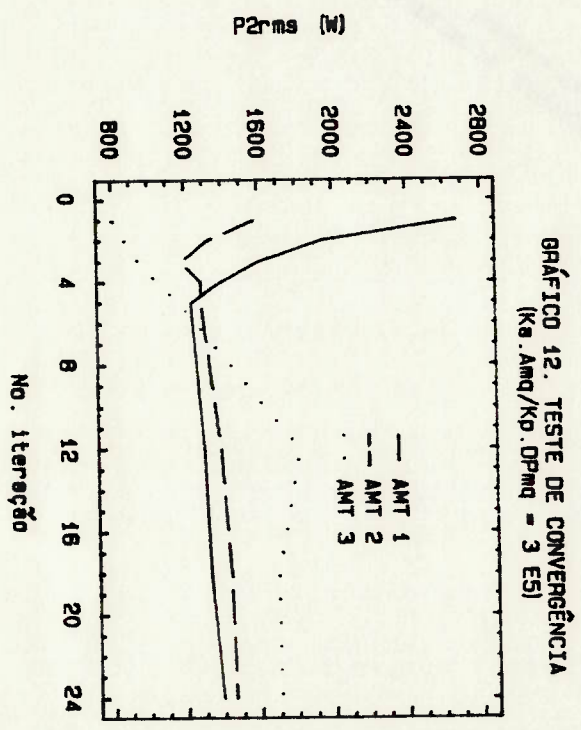
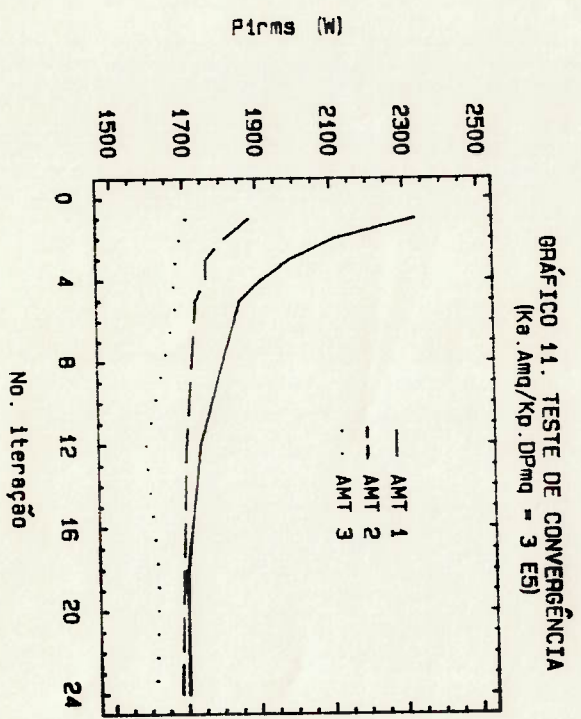
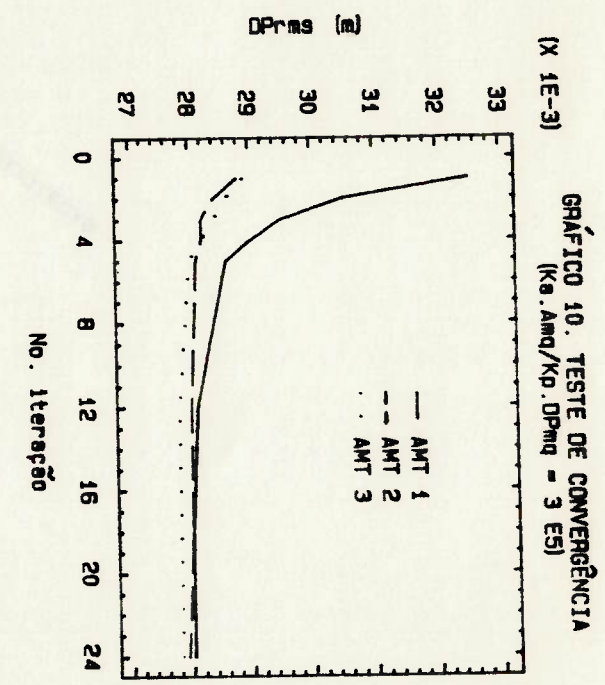
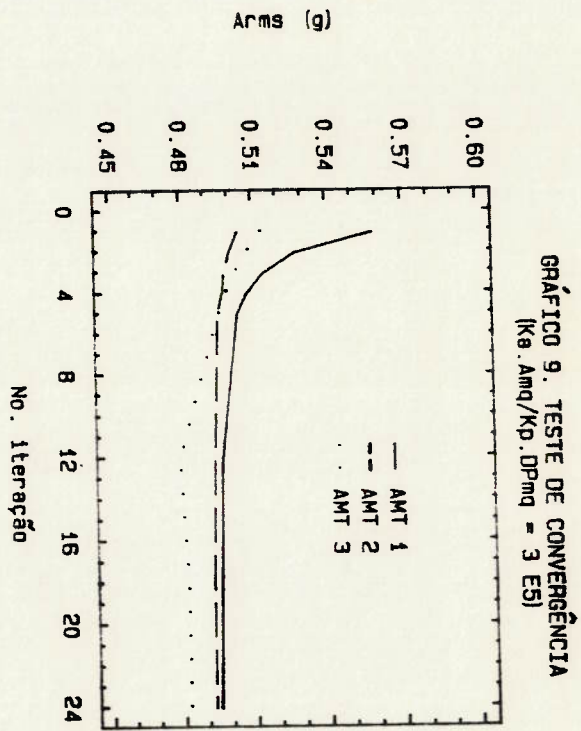
Os gráficos 5-12 apresentam as curvas A_1^{rms} , DP^{rms} , PI^{rms} e P_2^{rms} vs. o número da iteração, a partir dos amortecedores da tabela 3. Para os dois casos de ponderação analisados nota-se que o comportamento dessas grandezas são semelhantes, mostrando uma rápida convergência nas primeiras 5 iterações.

III.5.1 - Resultados

Identificação	ζ	A_1	A_2	A_3
AMT 1	0,15	1545	0	0
AMT 2	0,25	2575	0	0
AMT 3	0,45	4635	0	0

Tabela 3. Curvas de amortecimento iniciais.





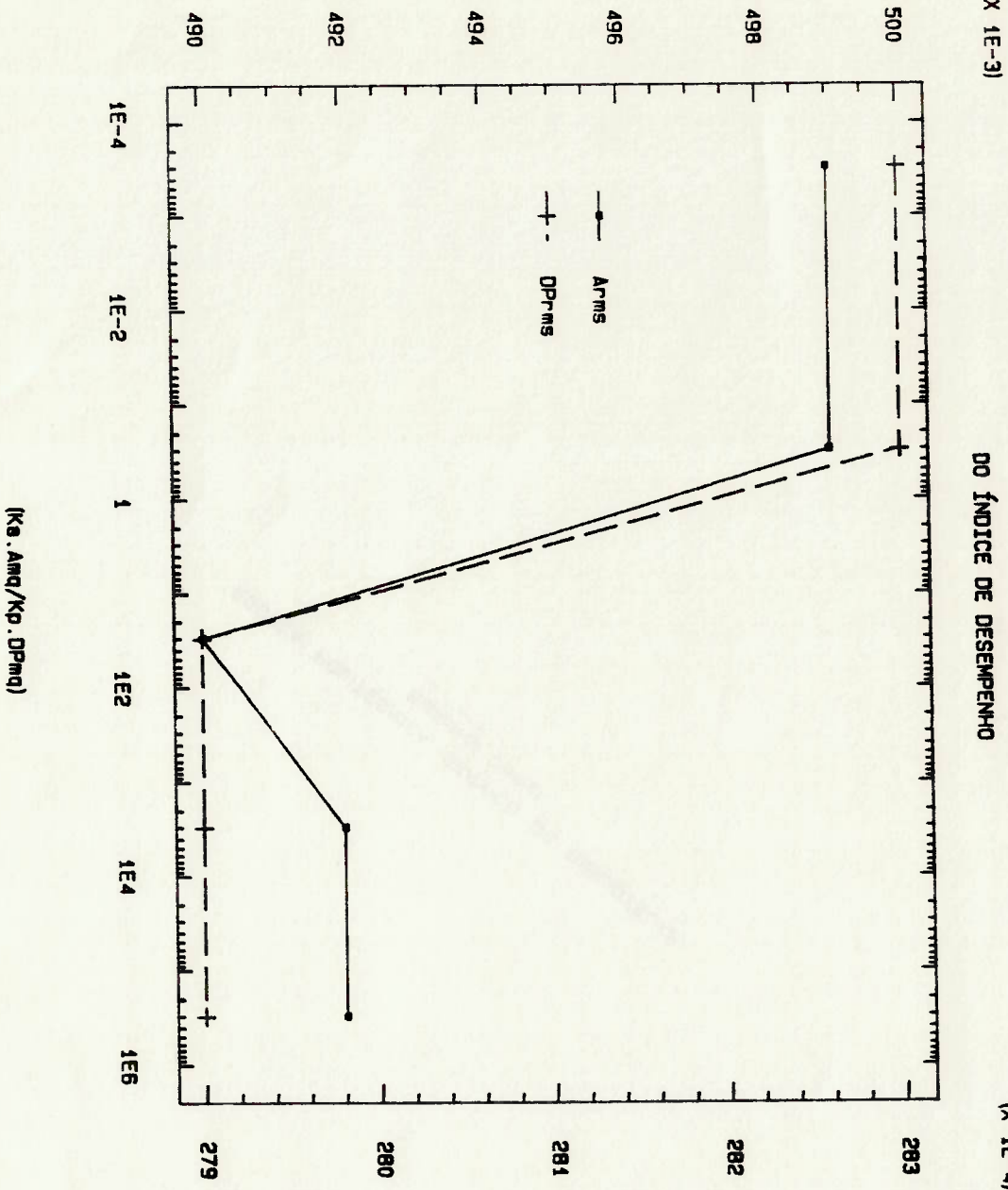
III.6 - Influência da ponderação no IP

A ponderação no IP afeta a solução final obtida pois a mesma altera a forma espacial do funcional J . A partir do funcional definido no capítulo III (Eq. (36)), diversas relações $K_a \cdot \text{Amq}/K_p \cdot \text{DPmq}$ foram testadas. As demais parcelas que comparecem nesta expressão do J não influem significativamente. A parcela L é pequena devido à escolha feita acima para a matriz W . Os pesos K_1 , K_2 e K_3 são admitidos iguais a 1. O termo $K_{10} \cdot X^{10}(t)$, por sua vez, é efetivo apenas quando ocorre a violação expressa pela Eq. (19). Nesse caso, a ponderação dada a este termo é forte, resultado do produto de pesos $K_s \cdot K_{10}$, e igual a $10^{12} \cdot 10^6 = 10^{18}$, conforme se admite neste trabalho.

Os resultados obtidos estão resumidos nos gráficos 13 e 14 através das grandezas A^{rms} , DP^{rms} , $P1^{rms}$ e $P2^{rms}$ em função da razão de ponderação $K_a \cdot \text{Amq}/K_p \cdot \text{DPmq}$.

Nota-se no gráfico 13 que a dependência de A^{rms} e DP^{rms} com a razão de ponderação tem basicamente o mesmo comportamento. Este fato indica, neste caso particular analisado, que o amortecimento passivo capaz de proporcionar melhor conforto também é capaz de manter o melhor contato pneu-solo. Este resultado, aparentemente contraditório em relação à noção do compromisso conforto-dirigibilidade, é também verificado em pelo menos duas referências da literatura ([16] e [18]).

Arms (g)



OPrms (g)

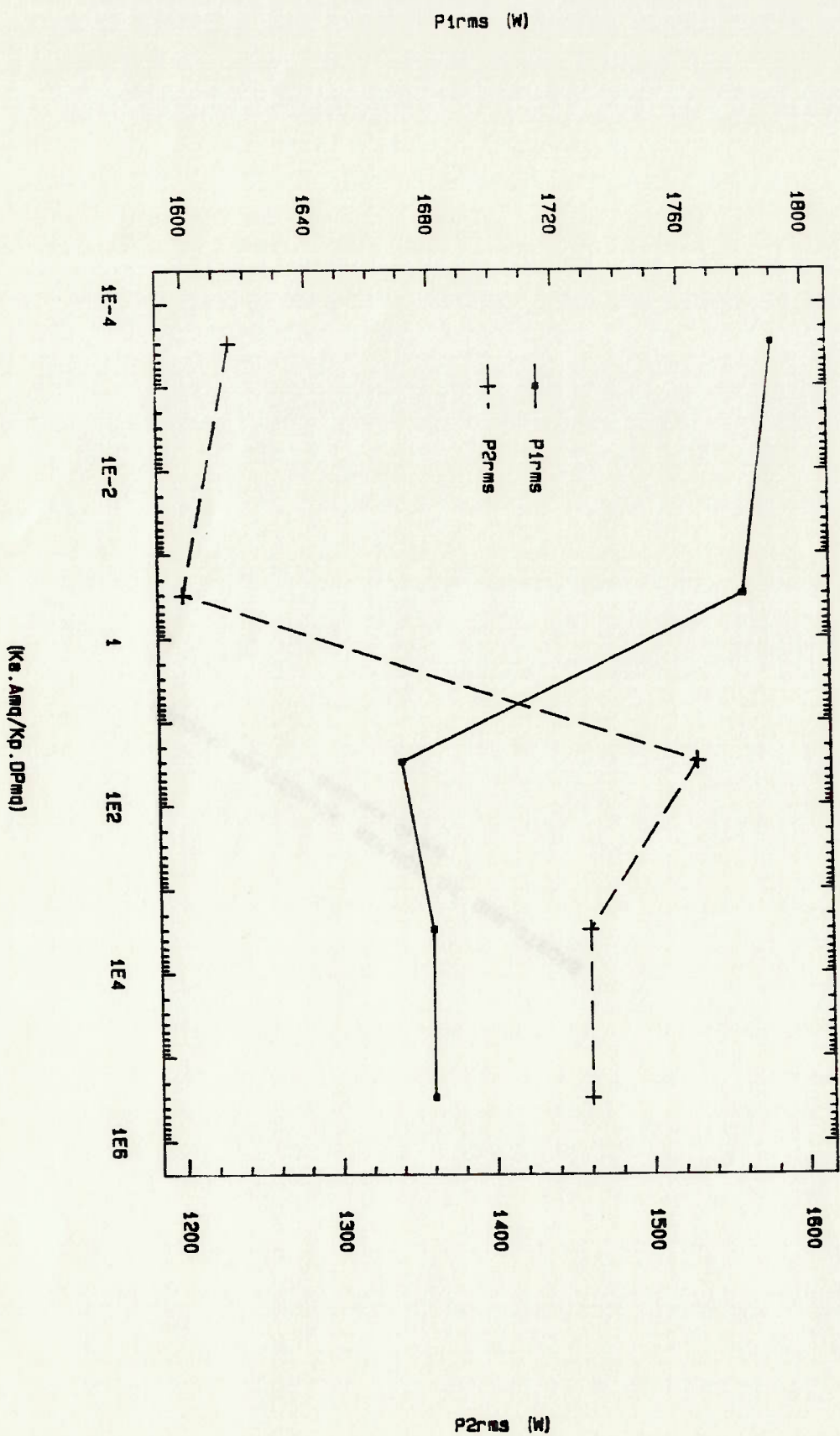
Uma possível explicação para este fato seria a influência da não-linearidade sobre o comportamento da suspensão. Em terreno fora-de-estrada a suspensão trabalha utilizando o seu curso total, interagindo diversas vezes com os batentes de fim-de-curso. Isto significa, na prática, um aumento efetivo da rigidez elástica do sistema, o que beneficia o controle direcional do veículo, traduzido no melhor contato do pneu com o solo.

Por outro lado, o gráfico 14 mostra que para uma razão de ponderação maior do que 10^2 obtém-se maior isolamento da vibração de ponderação da massa m_1 em detrimento da maior vibração de m_2 . O comportamento oposto é verificado para razões de ponderação inferiores a 1.

Nota-se também que as diferenças máximas obtidas variando-se a ponderação para cada uma dessas grandezas são mais significativas para $P1^{rms}$ e $P2^{rms}$ (6,5 % e 27,5%, respectivamente). As variações em A^{rms} e DP^{rms} , por sua vez, são da ordem de 2%. Isto comprova a limitação do amortecimento passivo em contribuir significativamente para a minimização destas grandezas em particular.

Entretanto, para se obter um parecer mais conclusivo, esta análise poderia ser estendida considerando-se outras curvas de mola, com rigidez elástica menor, ou otimizando-se um IP que considerasse $P1^{rms}$ e $P2^{rms}$ ao invés de A^{rms} e DP^{rms} .

GRÁFICO 14. PARAMETRIZAÇÃO DA PONDERAÇÃO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO



Nos dois casos é utilizado o AMT 2 como curva de amortecedor inicial e uma razão de ponderação $K^a \cdot Amq/K^p \cdot Dpmq$ da ordem de 10^4 . A velocidade do veículo é $v = 7,33$ m/s. As tabelas 4 e 5 apresentam os valores de ζ resultantes, calculados a partir das curvas de amortecedor ótimo, em tração e compressão.

Os gráficos 15 e 16 mostram as curvas otimizadas obtidas pelo programa AMTPASS para passagem pela seqüência de 5 obstáculos semi-circulares. No primeiro caso, o modelo PS é utilizado apenas a título de comparação da curva resultante em relação a modelagem com a RS. A diferença entre ambas pode ser justificada em razão dos comentários feitos no item II.4.

IV.1 - Curva de amortecedor otimizada para passagem por obstáculos

Este capítulo apresenta as curvas de amortecimento passivo otimizadas para duas classes distintas de operação do veículo fora-de-estrada da tabela 1, sintetizadas segundo o objetivo de máximo conforto ou o de melhor dirigibilidade. O programa 'AMTPASS' foi processado em um computador CDC - CYBER 180/830 em precisão simples (14 algarismos significativos).

CURVAS DE AMORTECEDOR OTIMIZADAS PELO PROGRAMA 'AMTPASS'

CAPÍTULO IV

GRÁFICO 15. PASSAGEM POR OBSTÁCULOS
(MODELO DE RODA: PSI)

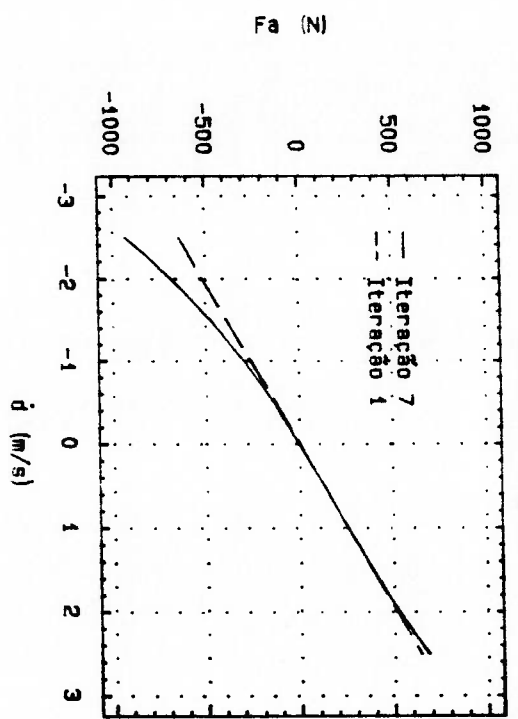


GRÁFICO 16. PASSAGEM POR OBSTÁCULOS
(MODELO DE RODA: RS)

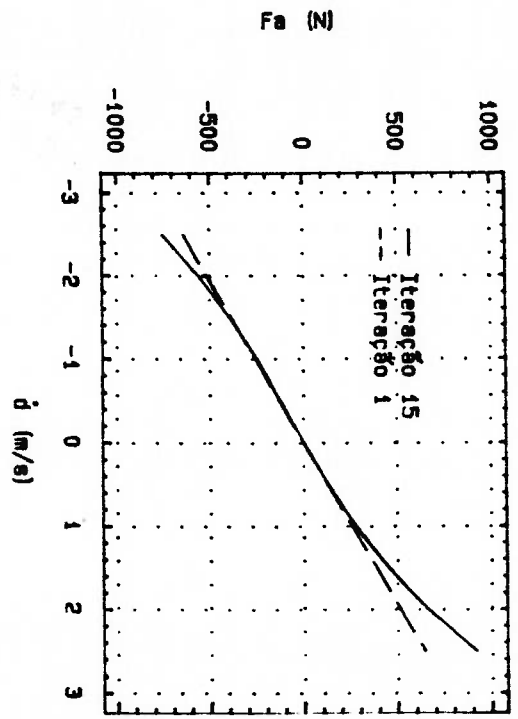


GRÁFICO 17. PASSAGEM POR PERFIL IRREGULAR
(Ka. Amq/Kp. DPmq = 3 E3)

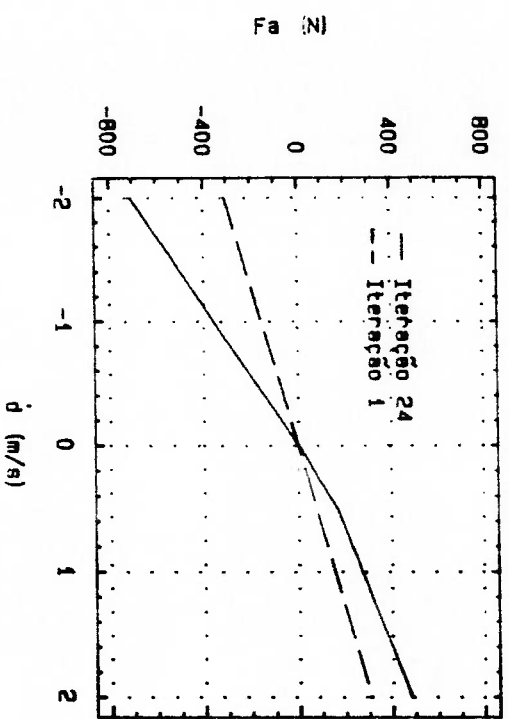
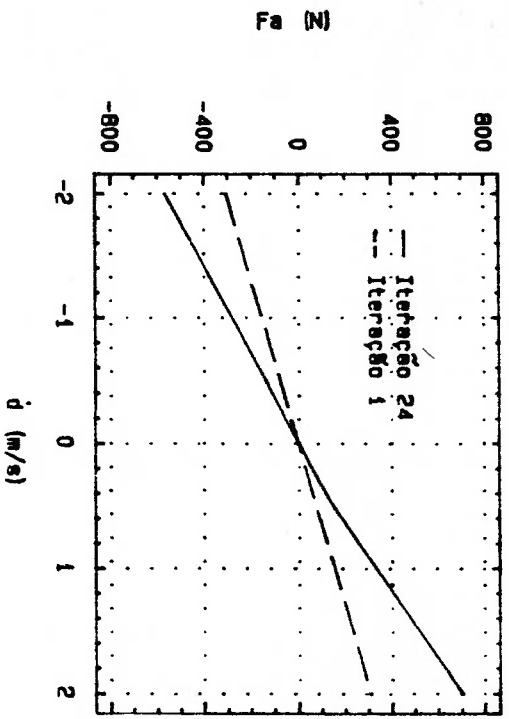


GRÁFICO 18. PASSAGEM POR PERFIL IRREGULAR
(Ka. Amq/Kp. DPmq = 3 E-4)



Os gráficos 17 e 18 mostram as curvas otimizadas para a passagem pelo perfil de terreno de $\mu = 0,043$ m, considerando duas

IV.2 - Curvas de amortecedor otimizadas para perfil irregular

VMIN = velocidade mínima do amortecedor (máxima tração)
 VMAX = velocidade máxima do amortecedor (máxima compressão)
 ACMIN = aceleração mínima de m_1
 ACMAX = aceleração máxima de m_1

O apêndice IX contém a saída do programa para a simulação com modelo RS. Comparando-se os valores do IP da 1ª e 15ª iterações calcula-se que a otimização atingida é de 29%. A nomenclatura utilizada é definida conforme abaixo:

Interv. de velocidade, d (m/s)	Tração	Compressão
0 - 1	0,244	0,268
1 - 2	0,299	0,371

Tabela 5. Razão de amortecimento ζ calculada a partir do gráfico 16 (modelo RS).

Interv. de velocidade, d (m/s)	Tração	Compressão
0 - 1	0,287	0,248
1 - 2	0,377	0,262

Tabela 4. Razão de amortecimento ζ calculada a partir do gráfico 15 (modelo PS).

Os gráficos evidenciam que máximo conforto pode ser conseguido através de amortecimento passivo com relativamente maior força de tração do que compressão. O oposto ocorre quando se objetiva maximizar a dirigibilidade (ver gráfico 18).

Intervalo de velocidade, d (m/s)	Tração	Compressão
0 - 0,5	0,270	0,286
0,5 - 2	0,280	0,360

Tabela 7. Razão de amortecimento ζ calculada a partir do gráfico 18.

Intervalo de velocidade, d (m/s)	Tração	Compressão
0 - 0,5	0,349	0,321
0,5 - 2	0,344	0,206

Tabela 6. Razão de amortecimento ζ calculada a partir do gráfico 17.

razões $K_a \cdot A_m q / K_p \cdot D P m q$ distintas. O amortecedor da primeira iteração é o AMT 1 e $v = 15$ m/s. As curvas são plotadas a partir dos parâmetros de amortecimento otimizados obtidos, calculando-se a força do amortecedor, F_a , para cinco valores característicos da velocidade relativa, d : $d = \pm 0,5$ m/s e $d = \pm 2,0$ m/s. Esta informação seria suficiente para que um fabricante desenvolvesse o componente com a curva característica desejada.

As tabelas 6 e 7 apresentam as razões de amortecimento ζ calculadas para a tração e compressão em ambos os casos.

Com a curva do gráfico 17 a melhoria alcançada no IP é de 22 % em relação ao desempenho inicial. Correspondentemente, A^{rms} diminui de 12 %, DP^{rms} de 14 %, $P1^{rms}$ de 27 % e $P2^{rms}$ de 48 %.

Para as condições do gráfico 18, o IP diminui de 23 %, A^{rms} de 11 %, DP^{rms} de 13 %, $P1^{rms}$ de 22 % e $P2^{rms}$ de 51 %.

Observa-se, portanto, que as grandezas $P1^{rms}$ e $P2^{rms}$ são as mais significativamente melhoradas.

O apêndice X contém a saída do programa referente ao amortecedor do gráfico 17.

Comparando-se os gráficos 19 e 21 verifica-se que a melhoria do desempenho é maior quando a ponderação é mais favorável à otimização do conforto. Do gráfico 21, a redução

Este valor é utilizado como um limite para a análise seguinte. máximo da potência eficaz do atuador seria então igual a 520 W. determina o esforço do atuador é um processo gaussiano, o valor porte da suspensão. Assumindo que a função de controle $U(t)$ que com potência nominal máxima de 736 W (1 CV) seja compatível com o Neste caso particular, é razoável admitir que um atuador

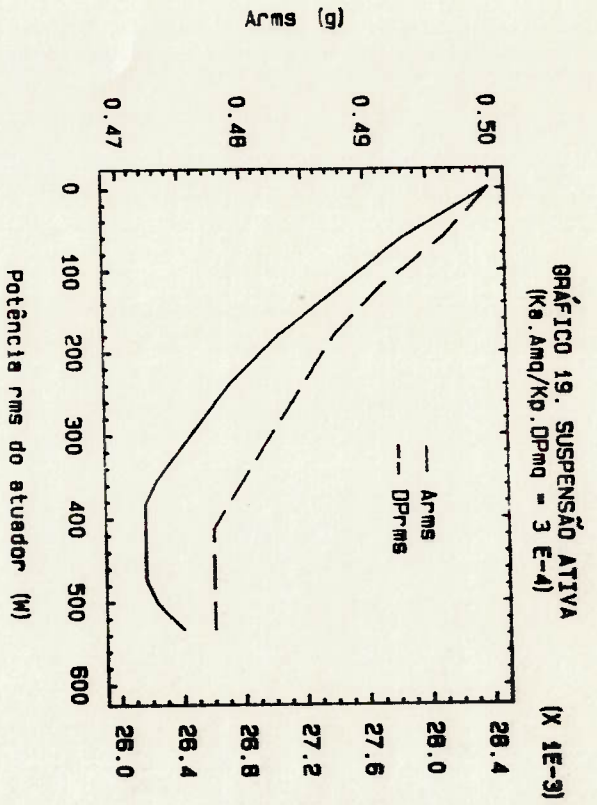
porte da suspensão do veículo. potência eficaz máxima do atuador fosse ainda compatível com o mostrou-se adequado para que, em 24 iterações do programa, a $K_a \cdot \Delta m q / K_p \cdot D p m q$. Este valor, como foi verificado posteriormente, pelo atuador não altere significativamente a razão de ponderação forma que a parcela deste índice relativa ao esforço produzido No IP deste caso (Eq. (37), capítulo III) $K_u = 10^{-8}$, de

programa 'SUSATI', rodado no computador CDC-CYBER 180/830. Os resultados deste capítulo foram obtidos através do atuador dinâmico e a melhoria de desempenho obtida.

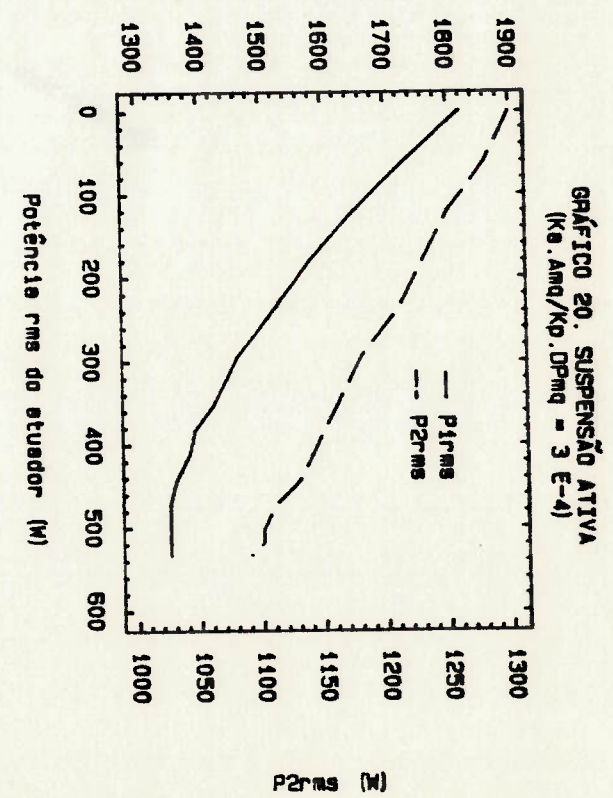
basicamente, qual é a relação entre a potência eficaz (rms) do perfil de terreno de rugosidade $\mu = 0,043$ m. Avalia-se, de contorno e ponderações dos casos anteriores, na passagem pelo confrontada com a do sistema ativo ideal sob as mesmas condições o desempenho do sistema de suspensão passivo otimizado é

SUSPENSÃO ATIVA

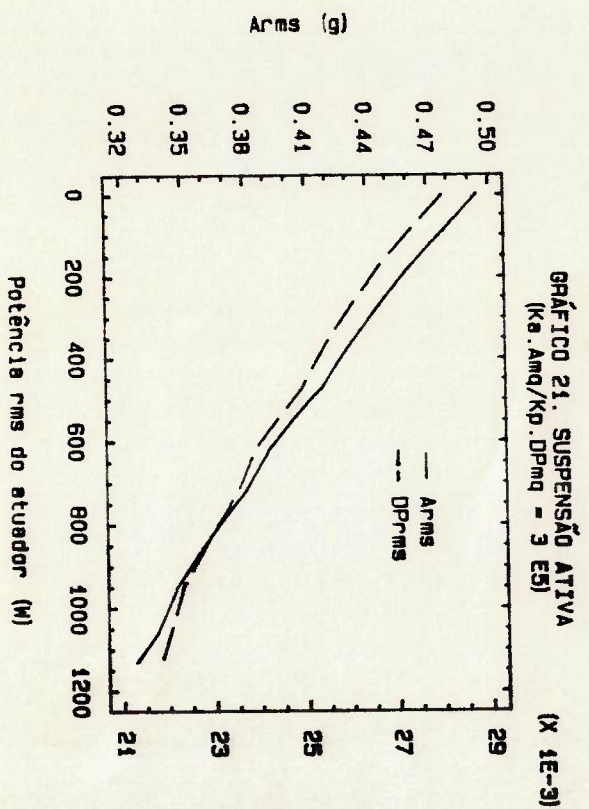
CAPÍTULO V



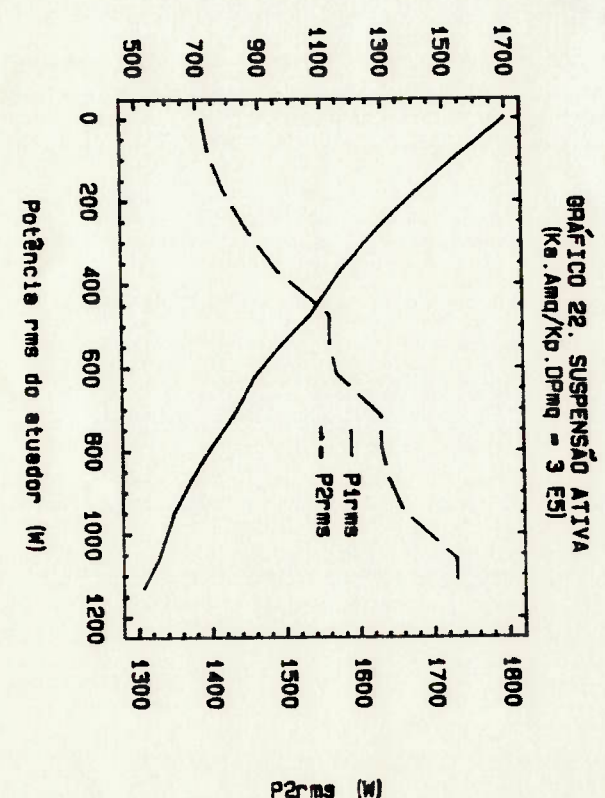
DPrms (g)
Pirms (W)



P2rms (W)



DPrms (g)
Pirms (W)



P2rms (W)

Nos dois casos de ponderação, ocorre redução simultânea da aceleração eficaz (rms) da massa suspensa e da deflexão dinâmica de pneu. Este fato pode indicar que estas grandezas não possuem comportamentos competitivos entre si, ou seja, não é possível afirmar que, nas condições particulares do modelo analisado, os requisitos de conforto e dirigibilidade sejam necessariamente antagônicos.

provável aumento da rigidez global da suspensão. Vibração de ambas as massas é igualmente reduzida, indicando um estar sobre a dirigibilidade. Neste caso (ver gráfico 20), a Este efeito já não é notado no caso da maior ponderação

através do comportamento das curvas do gráfico 22. massa suspensa para a massa não-suspensa, como se pode verificar trabalha no sentido de transferir parte da energia de vibração da Quando o conforto é mais importante, a suspensão ativa

DP_{rms} .

tão bom quanto o da ativa, pelo menos a nível das grandezas A_{rms} e é preponderante, uma suspensão passiva otimizada tem desempenho Conclui-se que, quando o requisito do contato pneu-solo

obtida do gráfico 20. Analogamente, $P2_{rms}$ aumenta de 12 %, contra uma redução de 18 % diminui de 70 % no gráfico 22, contra 34 % no gráfico 20. 14 %, contra 7 % no gráfico 19. Também verifica-se que $P1_{rms}$ obtida em A_{rms} é de 22 %, contra 6 % no gráfico 19; em DP_{rms} é de

Para um conjunto particular de parâmetros da suspensão de um veículo fora-de-estrada típico, ajustada para uma frequência natural não amortecida de 1,24 Hz, é mostrado que o melhor amortecimento para conforto é dado por curvas não-lineares sintetizadas pela metodologia de projeto proposta. Verifica-se que essas curvas são mais efetivas em tração do que na compressão, indicando uma tendência à saturação neste sentido. Quando o

mostrou satisfatório.

Um modelo especial de roda segmentada foi utilizado para tratar o problema da passagem por obstáculos regulares, para o qual o modelo simples de uma mola linear (ponto seguidor) não se

da curva de amortecedor.

A Teoria do Controle Ótimo foi utilizada na formulação de um programa computacional, o qual mostrou-se capaz em determinar a melhor curva de amortecimento passivo da suspensão segundo um critério de desempenho que pondera os requisitos de conforto e dirigibilidade. O Método do Gradiente de Primeira-Ordem, utilizado para a implementação numérica, pode ser considerado satisfatório em termos da convergência dos resultados da simulação dinâmica a partir de diferentes estimativas iniciais

util no projeto de suspensão de veículo fora-de-estrada.

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia para a síntese da curva ótima de amortecimento passivo para um modelo não-linear simples de suspensão veicular com 2-GL, podendo ser

CONCLUSÕES

CAPÍTULO VI

ser melhor avaliado em termos da sua expressão matemática. A trabalho através do índice de desempenho padrão utilizado, deve o requisito de dirigibilidade, conforme expresso neste veículo adotado.

uma forma de garantir a hipótese da linearidade do modelo de suspensão. Este termo comparece normalmente naqueles casos como introduzida a penalização extra sobre o curso-de-roda da desempenho aqui utilizado é essencialmente mais simples pois não é Em comparação com os trabalhos pesquisados, o índice de

passiva com amortecimento otimizado pode ser mais compensatória. requisito for o mais importante, a utilização de uma suspensão ativa no caso da otimização de dirigibilidade. Quando este suspensão passiva é essencialmente tão bom quanto o da suspensão comparação com o sistema passivo. Entretanto o desempenho da veículo, apesar do maior custo envolvido e complexidade em um atuador ativo é interessante para a melhoria da isolamento do Do ponto de vista da engenharia de projeto, a adição de suspensão desejada.

orientação na escolha da ponderação adequada à característica de projetista pode utilizar os resultados aqui obtidos como para o caso aqui analisado. Logo, para um caso mais geral, o modelo de veículo completo, mas devem ser consideradas apenas sejam válidas para um caso geral (especialmente ao se considerar o Entretanto, não se pode afirmar que estas conclusões conforto.

vibração da massa suspensa, proporcionando simultaneamente melhor (dirigibilidade), o amortecimento resultante também reduz a objetivo é o de melhorar o controle da força de contato pneu-solo

quantificação do conforto humano conforme foi inferido a partir mais especificamente, o seu valor quadrático médio) com a

d) Investigar a relação entre a grandeza $P1_{rms}$ (ou

grandeza e $P2_{rms}$ para o objetivo deste trabalho.

Numa segunda etapa, investigar a relação, caso exista, entre esta (E), a velocidade rms da vibração da massa poderia ser este termo.

não-suspensa. Segundo a definição dada pela norma ISO 3945-1985 capaz de quantificar a severidade da vibração da massa

c) Considerar no IP, numa primeira etapa, um termo

hidráulico).

variação dos orifícios de restrição à passagem do fluido pré-estabelecida (amortecedor semi-ativo com possibilidade de parâmetros de amortecimento λ_1 variem segundo alguma estratégia possível melhoria de desempenho obtida permitindo-se que os

b) Através das variáveis de controle u avaliar a

seus elementos que melhore esta convergência.

convergência do método, bem como uma estratégia de variação dos

a) Analisar a influência das matrizes M e W sobre a

abordagem deste tema segundo os tópicos abaixo:

Possibilidades para um futuro trabalho incluem a

consideração no desempenho de uma suspensão não-linear.

padrão aqui utilizada ou mesmo sobre as implicações desta concluir com segurança sobre a validade da expressão matemática uma investigação mais abrangente deveria ser feita para se através do estudo do caso específico deste trabalho. Entretanto, dos requisitos de dirigibilidade e conforto não ficou evidenciada para medir este requisito na medida em que a natureza antagônica deflexão dinâmica de pneu aparentemente não é muito satisfatória

dos estudos da referência [36], a qual introduziu o conceito da potência absorvida. Verificar a validade da sua utilização no IP para o efeito da otimização pretendida. Posteriormente, introduzir neste índice um termo que pondere a derivada da aceleração da massa suspensa ("jerk") que, conforme notado na referência [38], constitui fator potencial na qualidade de isolação de vibração da suspensão, e é bastante influente no julgamento subjetivo do motorista sobre esta qualidade da suspensão do veículo [36].

e) Ampliar o modelo da suspensão de forma a tratar a dinâmica de meio veículo (4-GL), através do qual o efeito do acoplamento dos movimentos de rotação ("pitch") e translação ("bounce") da massa suspensa sobre as curvas de amortecedor dianteiro e traseiro poderá ser analisado.

f) As curvas obtidas poderiam ser avaliadas através de um protótipo implementado com sensores de aceleração presos às massas e a excitação de base produzida, por exemplo, por um tambor giratório com a irregularidade desejada montada sobre a sua superfície. Um circuito eletrônico adequado registraria os sinais de aceleração e os processaria de forma a permitir comparações com os resultados das simulações computacionais.

REFERÊNCIAS

- [1] Bryson, A. E.; Ho, Y. C.: "Applied Optimal Control", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1975.
- [2] Haug, E. J.; Arora, J. S.: "Applied Optimal Design", John Wiley & Sons, New York, 1979.
- [3] Karnopp, D. C.: "Two Contrasting Versions of the Optimal Active Vehicle Suspension", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 108, pp. 264-268, September 1986.
- [4] Bryson, A. E.; Denham, W. F.: "A Steepest-Ascent Method for Solving Optimum Programming Problems", ASME Journal of Applied Mechanics, pp. 247-257, June 1962.
- [5] Tapley, B. D.; Lewallen, J. M.: "Comparison of Several Numerical Optimization Methods", Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 1, No. 1, 1967. Plenum Publishing Corporation, New York, pp. 1-31.
- [6] Hac, A.: "Suspension Optimization of 2-DOF Vehicle Model Using a Stochastic Optimal Control Technique", Journal of Sound and Vibration, Vol. 100(3), pp. 343-357, 1985.
- [7] Dahlberg, T.: "Ride Comfort and Road Holding of a 2-DOF Vehicle Travelling on a Randomly Profiled Road", Journal of Sound and Vibration, Vol. 58(2), pp. 179-187, 1978.
- [8] Young, J. W.; Wormley, D. N.: "Optimization of Linear Vehicle Suspensions Subjected to Simultaneous Guideway and External Force Disturbances", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, pp. 213-219, June 1973.
- [9] Hrovat, D.: "Optimal Active Suspension Structures for Quarter-Car Vehicle Models", Automatica, Vol. 26, No. 5, pp.

- [10] Thompson, A. G.: "The Effect of Tyre Damping on the Performance of Vibration Absorbers in an Active Suspension", Journal of Sound and Vibration (1989), 133(3), p. 457-465.
- [11] Cheok, K. C.; et al.: "Optimal Model-Following Suspension with Microcomputerized Damping", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-32, No. 4, pp. 364-371, November 1985.
- [12] Redfield, R. C.; Karnopp, D. C.: "Performance Sensitivity of an Actively Damped Vehicle Suspension to Feedback Variation", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 111, pp. 51-60, March 1989.
- [13] van Vliet, M.; Sankar, S.: "Optimal Design of an Off-Road Motorcycle Suspension", ASME Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, Vol. 106, pp. 298-304, April 1984.
- [14] Karnopp, D.: "Design Principles for Vibration Control Using Semi-Active Dampers", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 112, pp. 448-455, September 1990.
- [15] U. S. Army Materiel Command: "The Automotive Assembly", Engineering Design Handbook, Automotive Series, AMCP 706-355, February 1965.
- [16] Lin, Y.; Zhang, Y.: "Suspension Optimization by a Frequency Domain Equivalent Optimal Control Algorithm", Journal of Sound and Vibration (1989) 133(2), pp. 239-249.
- [17] Rodi, P. A.: "O Conforto Humano Como Critério de Otimização em Projetos Veiculares", Trabalho de Formatura, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Dep^{to} Engenharia Mecânica, 1983.
- [18] Sharp, R. S.; Hassan, S. A.: "An Evaluation of Passive

- Automotive Suspension Systems with Variable Stiffness and Damping Parameters", Vehicle System Dynamics, 15 (1986), pp. 335-350.
- [19] Hedrick, J. K.; Billington, G. F.; Dreesbach, D. A.: "Analysis, Design, and Optimization of High Speed Vehicle Suspensions Using State Variable Techniques", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, pp. 193-203, June 1974.
- [20] Hall, B. B.; Gill, K. F.: "Performance of a Telescopic Dual-Tube Automotive Damper and the Implications for Vehicle Ride Prediction", Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Vol. 200, No. D2, pp. 115-123, 1986.
- [21] Garrett, K.: "Hydraulically Damped Vehicle Suspension Is automatically controlled", Engineering Materials and Design, pp. 45-46, October 1988.
- [22] Redfield, R. C.; Karnopp, D. C.: "Optimal Performance of Variable Component Suspensions", Vehicle System Dynamics, 17 (1988), pp. 231-253.
- [23] Lessem, A.S.: "A Mathematical Model for the Traversal of Rigid Obstacles by a Pneumatic Tire", U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, May 1968.
- [24] Murphy Jr., N. R.: "A Mathematical Model for the Traversal of Rigid Obstacles by a Pneumatic Tire: Digital Implementation of Segmented Tire Model", U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, August 1969.
- [25] Hrovat, D.; Margolis, D. L.; Hubbard, M.: "Suboptimal Semi-Active Vehicle Suspensions", 1980 Joint Automatic Control Conference, San Francisco, pp. WA10-H, 1980.
- [26] Karnopp, D.: "Theoretical Limitations in Active Vehicle

- Suspensions", Vehicle System Dynamics, 15 (1986), pp. 41-54.
- [27] Horton, D. N. L.; Crolla, D. A.: "Theoretical Analysis of a Semi-Active Suspension Fitted to an Off-Road Vehicle", Vehicle System Dynamics, 13 (1984), pp. 61-72.
- [29] Crolla, D. A.; Pitcher, R. H.; Lines, J. A.: "Active Suspension Control for an Off-Road Vehicle", Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Vol. 201, No. D1, 1987.
- [30] Davis, B. R.; Thompson, A. G.: "Optimal Linear Active Suspensions with Integral Constraints", Vehicle System Dynamics, 17 (1988), pp. 357-366.
- [31] Elmadany, M. M., Abduljabbar, Z.: "On the Statistical Performance of Active and Semi-Active Car Suspension Systems", Computers & Structures, Vol. 33, No. 3, pp. 785-790, 1989.
- [32] Elmadany, M. M.: "Stochastic Optimal Control of Highway Tractors with Active Suspensions", Vehicle System Dynamics, 17 (1988), pp. 193-210.
- [33] Elmadany, M. M.: "Design of an Active Suspension for a Heavy Duty Truck Using Optimal Control Theory", Computers & Structures, Vol. 31, No. 3, pp. 385-393, 1989.
- [34] Barak, P.; Sachs, K. H.: "On the Optimal Ride Control of a Dynamic Model for an Automotive Vehicle System", Vehicle System Dynamics, 14 (1985), pp. 196-200.
- [35] Hady, M. B. A. A.; Crolla, D. A.: "Theoretical Analysis of Active Suspension Performance Using a Four-Wheel Vehicle Model", Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Vol. 203, pp.

- 125-135, 1989.
- [36] Pradko, R. A.; Lee, R. A.: "Vibration Comfort Criteria", SAE Transactions, Paper 660139, 1966.
- [37] Sotelo Jr., J.: "Aplicação de controle ótimo na Modelagem do Timoneiro", Dissertação de Mestrado - Dept. Eng. Naval-EPUSP, 1976.
- [38] Hrovat, D.; Hubbard, M.: "Optimum Vehicle Suspensions Minimizing RMS Rattlespace, Sprung-Mass Acceleration and Jerk", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, pp. 228-236, September 1981.
- [39] Lee, R. A.; Pradko, R. A.: "Analytical Analysis of Human Vibration", SAE Transactions, Vol. 77, Paper 680091, 1968.
- [40] Murphy Jr., N. R.: "Further Development in Ride Quality Assessment", U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Relatório Técnico ENGESA RT 3277, 1985.

NO MODELO DE RODA SEGMENTADA. SAÍDA DO PROGRAMA.

PROGRAMA PARA CÁLCULO DE DEFLLEXÕES MÉDIAS

APÊNDICE I


```

14 WRITE(6,185)
   WRITE(6,186)
   WRITE(6,187) DELTA, N, THETA, (AVGDEL(1), I=1,M)
GO TO 15
17 GO TO 15
   WRITE(6,185)
   WRITE(6,186)
   WRITE(6,188) DELTA, N, THETA, (AVGDEL(1), I=1,14)
   WRITE(6,189)
   WRITE(6,190) (AVGDEL(1), I=15,M)
CONTINUE
   WRITE(6,200)R
   FORMAT(1X, //, T50, 'RAIO DO PNEU = ', F6.1, ' CM. )
STOP
C GO TO 1
C 10 FORMAT (F10.2, Z15)
155 FORMAT(1H1)
160 FORMAT(41X, Z8HCALCULO DAS DEFLEXOES MEDIAS//)
185 FORMAT(3X, Z1LC, 3X, Z1ND, 3X, Z1THETA, 18X, Z1DEFLEXAD, 2X,
15MEDIA, 2X, Z1SEGMENTO, 1X, Z1ZCM)
186 FORMAT(2X, Z1HDEF, 2X, Z1HSEG, 2X, Z1HGRAUS, 2X, Z1HSEG1, 3X, Z1HSEG2,
13X, Z1HSEG3, 3X, Z1HSEG4, 3X, Z1HSEG5, 3X, Z1HSEG6, 3X, Z1HSEG7,
23X, Z1HSEG8, 3X, Z1HSEG9, 2X, Z1HSEG10, 2X, Z1HSEG11, 2X, Z1HSEG12,
32X, Z1HSEG13, 2X, Z1HSEG14)
187 FORMAT(F6.2, I5, F6.2, Z14F7.3/)
188 FORMAT(F6.2, I5, F6.2, Z14F7.3/)
189 FORMAT(19X, Z1HSEG15, 2X, Z1HSEG16, 2X, Z1HSEG17, 2X, Z1HSEG18,
12X, Z1HSEG19, 2X, Z1HSEG20, 2X, Z1HSEG21, 2X, Z1HSEG22, 2X, Z1HSEG23,
22X, Z1HSEG24, 2X, Z1HSEG25, 2X, Z1HSEG26, 2X, Z1HSEG27, 2X, Z1HSEG28)
190 FORMAT(17X, Z14F7.3/)
STOP
END
#EOF

```


PROGRAMA PARA CÁLCULO DA FORÇA VERTICAL TRANSMITIDA

NO MODELO DE RODA SEGMENTADA

O programa é usado para calcular a componente vertical da força de contato pneu-solo transmitida para a massa não-suspensa. Escrito em linguagem FORTRAN IV, este programa foi adaptado como uma das subrotinas (SUBROUTINE FPNEU) do programa de otimização principal. Esta subrotina é chamada para calcular a deflexão inicial do pneu (no plano) e posteriormente, a cada intervalo de tempo, para determinar a magnitude da força vertical transmitida para a massa m_2 .
 A seguinte rotina de cálculos é utilizada neste programa:

a) São lidas as seguintes variáveis: coordenadas do centro da roda ($X1, Y1$), raio do pneu (WRAD), número de segmentos de pneu (NSEG), ordenadas dos pontos do perfil de terreno, ângulos de segmento e os coeficientes de rigidez elástica de cada segmento (SECK).

b) São determinadas as máximas projeções do pneu, isto é, $XREF = X1 - WRAD$, $XFEET = X1 + WRAD$.

c) Os ângulos de posicionamento dos segmentos são convertidos para radiano.

d) As coordenadas de cada segmento i (não deletido) são determinadas com relação ao centro da roda:

(7) As inclinações desse segmento de terreno e do calculada.

(6) A inclinação deste segmento de terreno é ponto adjacente, X_3 , Y_3 são, então, chamadas.

(5) Neste ponto, as coordenadas X_2 , Y_2 do primeiro ponto do segmento de terreno são conhecidas. As coordenadas do

começa em $X = 0$.

(4) $X_2 = 0$, isto é, o primeiro ponto de terreno de terreno.

(3) $KTR = ITR$. Este é um contador para os trechos $SM = CY(I)/CX(I)$.

(2) Calcule a inclinação do segmento de pneu (I), seguramente maior do que o raio do pneu.

(1) Faça $DMIN = 1.E10$, isto é, algum número pneu:

f) Neste ponto, são calculadas as intersecções de cada centro de segmento de pneu com o terreno. Para cada segmento de

$$RXY(2,I) = Y1 + CY(I)$$

$$RXY(1,I) = X1 + CX(I)$$

relação ao referencial fixo,

e) As coordenadas de cada segmento são determinadas em

(estes valores permanecem constantes durante toda a simulação)

$$CY(I) = -\cos(DSEG(I)) * WRAD)$$

$$CX(I) = \sin(DSEG(I)) * WRAD)$$

- i-ésimo segmento de pneu são comparadas.
- (8) Se as inclinações não forem iguais, há intersecção de linhas; as coordenadas do ponto de intersecção, XX e YY , são determinadas para esse segmento de pneu (estas são as coordenadas do segmento de pneu defletido com respeito ao sistema de referencial fixo).
- (9) Determine se estas coordenadas caem dentro da circunferência do pneu.
- (10) Se não, então incremente o segmento de terreno e verifique como antes até que uma coordenada seja determinada, a qual estaria contida na região interna da circunferência do pneu.
- (11) Calcule a distância radial desta intersecção ao centro da roda e armazene este valor na variável $DMIN$. Isto representa um novo comprimento "mínimo".
- (12) Compare este valor com o último valor mínimo.
- (13) Se for menor, faça as coordenadas deste segmento de pneu defletido serem iguais a: $RXY(1,i) = XX$; $RXY(2,i) = YY$.
- (14) Se, entretanto, for maior, verifique se a borda dianteira do pneu está afrente do trecho de terreno.
- (15) Se for assim, então avance de um trecho de terreno. Volte ao passo (1).
- (16) Se não, tome o próximo segmento de pneu e repita os procedimentos acima até que todas as intersecções de centros de segmentos de pneu com segmentos de terreno sejam calculadas.
- Esta operação deve localizar as posições (com

componente vertical é utilizada), ou seja:
vetor de força resultante (para o programa principal somente a
1) Calcule as componentes vertical e horizontal do

$$\text{onde } \delta = \text{WRAD} - \text{TMAG}(i).$$

$$\text{TMAG}(i) = (\text{WRAD} - \text{TMAG}(i)) * \text{SEK}(i) = K \delta$$

k) Calcule a força radial de cada segmento, isto é:

$$\begin{aligned} \text{RXY}(1,i) &= \text{AA}(1)/\text{TMAG}(i) = \text{seno do ângulo do segmento} \\ \text{RXY}(2,i) &= \text{AA}(2)/\text{TMAG}(i) = \text{cosseno do ângulo do segmento} \end{aligned}$$

j) Calcule o seno e cosseno de cada segmento:

(pelo Teorema de Pitágoras) $\text{TMAG}(i)$.

i) Calcule a distância radial de cada segmento

$$\text{AA}(1), \text{AA}(2).$$

h) Armazene estes valores em variáveis temporárias

comprimento do segmento.

Estas são as componentes vertical e horizontal do novo

$$\text{RXY}(2,i) = Y1 - \text{RXY}(2,i)$$

$$\text{RXY}(1,i) = X1 - \text{RXY}(1,i)$$

pneu começando como segue:

g) Agora calcule a deflexão real de cada segmento de

defletido.

relação aos referenciais fixo e móvel) de cada segmento de pneu

ST	Inclinação do trecho de terreno (pode ser variável)
SEGC	Coefficiente de rigidez elástica do segmento com a circunferência não defletida do pneu intersecção das linhas de centro de segmento referencial fixo X-Y) dos pontos de Coordenadas absolutas (com respeito ao
RXY	Número de segmentos de pneu
NSEG	Elevação do terreno
HGT	Fator de conversão grau-radiano
DTR	segmento (sentido positivo = anti-horário) centro da roda até a linha de centro do a partir de uma linha vertical através do Angulo do segmento em graus! o ângulo é medido
DSEG	defletida do pneu intersecçionam-se com a circunferência não pontos onde as linhas de centro de segmento Coordenadas (com relação ao eixo da roda) de

abaixo:

As variáveis utilizadas nesta rotina são definidas

procedimentos.

m) Incrementalmente a posição do centro da roda e repita os

$$VV(1) = ZTMAG(I) * RXY(1, I) \rightarrow \text{componente horizontal}$$

$$VV(2) = ZTMAG(I) * RXY(2, I) \rightarrow \text{componente vertical}$$

Força radial do segmento	TMAG
Componentes do vetor força resultante	VVV
Raio da roda	WRAD
Coordenadas absolutas dos pontos de intersecção do segmento de pneu com o terreno	XX, YV
Coordenadas do centro da roda	X1, Y1
Coordenadas absolutas do ponto traseiro do trecho de terreno	X2, Y2
Coordenadas absolutas do ponto adjacente dianteiro do trecho de terreno	X3, Y3
Extremos dianteiro e traseiro do pneu (na direção horizontal)	XFEI, XRET

DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO GRADIENTE DE PRIMEIRA-ORDEM

Para um sistema dinâmico genérico, descrito por meio de variáveis de estado, os vínculos são descritos por equações diferenciais de primeira-ordem da forma

$$\dot{x} = f(x, u, t), \quad 0 \leq t \leq \tau \quad (01)$$

onde:

t é a variável independente tempo;

$x = (x^1(t), \dots, x^n(t))^T$ é o vetor de variáveis de estado de

dimensão n ;

$\dot{x} = (\dot{x}^1(t), \dots, \dot{x}^n(t))^T$ é o vetor das derivadas temporais das

variáveis de estado x ;

$u = (u^1(t), \dots, u^m(t))^T$ é o vetor de variáveis de controle

de dimensão m ;

$f = (f^1, \dots, f^n)^T$ é o vetor de funções conhecidas de $x(t)$,

$u(t)$ e t , de dimensão n ;

τ é o instante final do intervalo de tempo de simulação.

É admitido que algumas das condições iniciais do

problema sejam livres, isto é:

$$x(0) = x_0 \quad \left\{ \begin{array}{l} k \text{ termos livres e} \\ (n - k) \text{ termos fixos.} \end{array} \right. \quad (02)$$

Para o problema que será tratado neste trabalho, é interessante definir-se o funcional a ser minimizado da seguinte

$$J = \phi(x(t)) + \int_t^0 L(x,u,t)dt \quad (03)$$

Na equação (03), J representa a "função custo", ou

índice de desempenho do problema, e é uma função conhecida de $x(t)$, $u(t)$ e t . Notar que, embora o índice de desempenho contém um termo integral, poderia ser expresso apenas como função de $x(t)$ e t . Isto é possível através da introdução de uma variável de estado adicional x^L e de uma equação diferencial adicional $\dot{x}^L = L(x,u,t)$ onde L é o integrando da integral. $x^L(t)$ é então

$$\text{minimizada impondo } x^L(0) = 0.$$

Para se determinar a variação de J devido às pequenas

perturbações δx_0 em x_0 (das k condições iniciais livres) e δu em

$u(t)$ em torno de valores nominais x_0^* e u^* , define-se a

Hamiltoniana generalizada $H = H(x(t), u(t), t)$ (escalar) como sendo

$$H \equiv L + \lambda^T f \quad (04)$$

na qual $\lambda^T = \lambda(t) = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ é o vetor de dimensão n de

multiplicadores de Lagrange (variáveis adjuntas) a serem

determinados apropriadamente.

Podem-se, então, considerar inicialmente a quantidade

$$\bar{J} = \phi(x(t)) + \int_t^0 [L(x,u,t) + \lambda^T (f(x,u,t) - \dot{x})] dt \quad (05)$$

como um funcional modificado que essencialmente é o mesmo da equação (03), visto que o termo entre parênteses no integrando é

onde apenas os termos de primeira ordem foram considerados em vista da hipótese de pequenas perturbações. Determina-se, então, que os multiplicadores $\lambda(t)$ serão dados através da solução do seguinte sistema de equações diferenciais adjuntas:

$$\frac{\delta \bar{J}}{\delta u} = \left[\frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{x}} - \lambda^T \left(\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right) \right]_{t=1} + \int_{t=1}^0 \left[\lambda^T \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right]_{t=1} + \lambda^T \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} + H \frac{\delta u}{\delta t} \quad (10)$$

Logo

$$\frac{\delta \bar{J}}{\delta u} \equiv \frac{\partial \phi}{\partial u} \quad (9)$$

$$\frac{\delta \bar{J}}{\delta \mathbf{x}} \equiv \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{x}} \quad (8)$$

Para se avaliar a variação $\delta \bar{J}$ devido à δu em torno de u^* , é conveniente definir a seguinte notação:

$$\bar{J} = \phi(\mathbf{x}(t)) - \lambda^T(\mathbf{x}(t)) \left[\mathbf{f}(\mathbf{x}(t)) + \lambda^T(\mathbf{x}(t)) \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right]_{t=1} + \int_{t=1}^0 [H(\mathbf{x}, u, t) + \lambda^T \dot{\mathbf{x}}] dt \quad (7)$$

obtem-se:

Integrando-se por partes o segundo termo do integrando

$$\bar{J} = \phi(\mathbf{x}(t)) + \int_{t=1}^0 [H(\mathbf{x}, u, t) - \lambda^T \dot{\mathbf{x}}] dt \quad (6)$$

por (04) pode-se escrever que
nulo em razão de (01). Considerando-se, portanto, a definição dada

A variação total de J em relação a δx^0 e δu é, então,

onde η é um multiplicador a ser determinado.

$$J = \int_1^0 H^n \delta u dt + \lambda^T(0) \delta x^0 + \eta \left[\int_1^0 \delta x^0 M^{-1} \delta x^0 + \int_1^0 \delta u W^{-1} \delta u dt - s_2^2 \right] \quad (14)$$

(escalar),

Forma-se, assim, o novo funcional estendido, J

$x(m)$.

Normalmente M e W são matrizes diagonais cujos elementos ponderam a amplitude de variação das componentes de x^0 e u , respectivamente. A ordem da matriz M é $(k \times k)$ e a da matriz W , $(m \times m)$. São matrizes de ponderação simétricas, positivas-definidas. de forma a se respeitar a hipótese de pequenas perturbações. M e W onde s_2^2 representa a limitação nas variações em torno de x^0 e u *

$$s_2^2 = \delta x^0 M^{-1} \delta x^0 + \int_1^0 \delta u W^{-1} \delta u dt \quad (13)$$

matematicamente através da equação abaixo:

Uma restrição que surge neste problema, e que deve ser levada em consideração, consiste na limitação dos valores das perturbações δx^0 e δu . Esta restrição pode ser expressa

$$\therefore \delta J = \lambda^T(0) \delta x(0) + \int_1^0 H^n \delta u dt \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \lambda^T(1) &= \partial \phi / \partial x(1) \\ \lambda^T_1 &= - \frac{\partial H}{\partial x} - \lambda^T \frac{\partial J}{\partial x} \end{aligned} \right. \quad (11)$$

$$(20) \quad \frac{dJ}{dt} = \int_1^0 \left[\frac{\partial H}{\partial u} W^{-1} \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \left(\frac{\partial H}{\partial x} + 2\eta \frac{\partial x}{\partial u} \right) M^{-1} \frac{\partial x}{\partial u} \right] dx$$

Substituindo (18) e (19) em (13) obtêm-se:

$$(19) \quad \frac{\partial x}{\partial u} = - \frac{\partial H}{\partial x} M^{-1} \frac{\partial x}{\partial u}$$

$$(18) \quad \frac{\partial u}{\partial x} = - \frac{\partial H}{\partial u} W^{-1} \frac{\partial u}{\partial x}$$

Logo,

$$(17) \quad \lambda \left(\frac{\partial H}{\partial x} + 2\eta \frac{\partial x}{\partial u} \right) M^{-1} \frac{\partial x}{\partial u} = 0$$

$$(16) \quad H + 2\eta \frac{\partial u}{\partial x} W^{-1} \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

(dJ = 0), têm-se:

Portanto, agrupando os termos em $\frac{\partial u}{\partial x}$ e $\frac{\partial x}{\partial u}$ e igualando-os a zero. Para que J seja minimizado é necessário que dJ = 0.

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{\partial H}{\partial u} W^{-1} \frac{\partial u}{\partial x} \right) = 2 \frac{\partial u}{\partial x} W^{-1} \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\lambda \left(\frac{\partial H}{\partial x} + 2\eta \frac{\partial x}{\partial u} \right) M^{-1} \frac{\partial x}{\partial u} \right) = 2 \frac{\partial x}{\partial u} M^{-1} \frac{\partial x}{\partial u}$$

W^{-1} são matrizes simétricas, donde [2]:

Nesta última passagem utilizou-se do fato de que M^{-1} e

$$(15) \quad dJ = \int_1^0 \left[\frac{\partial H}{\partial u} W^{-1} \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \left(\frac{\partial H}{\partial x} + 2\eta \frac{\partial x}{\partial u} \right) M^{-1} \frac{\partial x}{\partial u} \right] dx + \int_1^0 \left[\frac{\partial H}{\partial u} W^{-1} \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \left(\frac{\partial H}{\partial x} + 2\eta \frac{\partial x}{\partial u} \right) M^{-1} \frac{\partial x}{\partial u} \right] dx$$

expressa por:

equação (12) torna-se, portanto

A variação prevista para o funcional J , δJ , dada pela

$$\delta x_0 = - \frac{\sqrt{I_{JJ}}}{s} M \lambda(0) \quad (25)$$

$$\delta u = - \frac{\sqrt{I_{JJ}}}{s} W H^n \quad (24)$$

expressões para as correções de x_0 e u :

Assim, substituindo-se (23) em (18) e (19) obtêm-se as

variação segunda de dJ , isto é, d^2J .

termo entre colchetes em (14) fosse colocado como $[s^2 - \int_1^0 \delta x_0^T M^{-1} \delta x_0 - \int_1^0 \delta u^T W^{-1} \delta u] dt$ para minimizar dJ , formando-se a

Demonstra-se que η deve ser positivo (negativo se o

$$2\eta = + \frac{\sqrt{I_{JJ}}}{s} \quad (23)$$

e substituindo em (21), tem-se:

$$I_{JJ} = \lambda^T(0) M \lambda(0) + \int_1^0 H^n W H^n dt \quad (22)$$

Definindo

$$s^2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2\eta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \lambda^T(0) M \lambda(0) + \int_1^0 H^n W H^n dt \quad (21)$$

$$(27) \quad \frac{d}{dt} \int_1^0 \sqrt{I} \, dt = \left[\int_1^0 \frac{d}{dt} \sqrt{I} \, dt + \lambda \int_1^0 \sqrt{I} \, dt \right] - \frac{d}{dt} \int_1^0 \sqrt{I} \, dt = \lambda \int_1^0 \sqrt{I} \, dt$$

$$(26) \quad \frac{d}{dt} \int_1^0 \sqrt{I} \, dt = \lambda \int_1^0 \sqrt{I} \, dt - \int_1^0 \frac{d}{dt} \sqrt{I} \, dt = \lambda \int_1^0 \sqrt{I} \, dt - \int_1^0 \frac{d}{dt} \sqrt{I} \, dt$$

APÊNDICE IV

SUBROTINAS DOS PROGRAMAS 'AMTPASS', E 'SUSATI',

DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA

Descrição das subrotinas e principais variáveis do programa computacional para o caso da suspensão passiva (AMTPASS). As subrotinas do programa SUSATI são essencialmente as mesmas, a menos daquelas onde aparecem termos referentes ao vetor x_0 , que neste caso é um dado fixo de entrada.

1) Subrotina ENTER1

Lê e imprime os dados de controle do problema tais como: massas, velocidade de passagem, passo de integração, estimativas iniciais para x_0 e $u(t)$, pesos do funcional a minimizar, etc. Armazena as informações em comandos COMMON.

2) Subrotina ENTER2

Lê e imprime os dados relativos à curva de mola da suspensão. Calcula e armazena na variável COMMON/AK/ as declividades de cada trecho da curva definido por dois pontos consecutivos.

3) Subrotina ENTER3

Lê a identificação do tipo de terreno e as cotas de cada ponto. Calcula e armazena na variável COMMON/R/ as declividades de cada trecho do terreno definido por dois pontos consecutivos.

Imprime a identificação do terreno.

4) Subrotina FMOLA

Calcula a força ou deflexão da suspensão (mola) a partir da tabela de pontos dada. Determina se a força ou deflexão está fora dos limites definidos pelos valores de entrada. Devolve o valor calculado através da variável HM (força) ou D (deflexão).

5) Subrotina ZZF

Calcula a cota $Y(t)$ do terreno para a posição do trajeto em que se encontra o veículo. Devolve o valor na variável Z.

6) Subrotina VINDIN

Comanda a integração do conjunto de equações diferenciais que constituem os vínculos dinâmicos do instante inicial até o instante final calculado pelo programa principal. Armazena as variáveis de estado no COMMON/VAREST/. Chama as subrotinas IU e FX, que contêm as matrizes de derivadas parciais $\frac{\partial L}{\partial t}$ e $\frac{\partial X}{\partial t}$, respectivamente. Chama as subrotinas KUTTA e DERIVD que fazem a integração numérica.

7) Subrotina KUTTA

Faz a integração numérica das variáveis de estado pelo Método de Runge-Kutta de 4ª ordem. Chamada pela VINDIN.

Calcula as expressões de λ . Juntamente com a KUTTA2

13) Subrotina DERI

pela LAMBDA.

de 4ª ordem das variáveis adjuntas com passo negativo. É chamada Executa a integração numérica pelo Método de Runge-Kutta

12) Subrotina KUTTA2

COMMON/LAMBDA/.

Chamada pelo programa principal, armazena os valores calculados no processo numérico, a partir do instante final t até $t = 0$. Comanda a integração das equações adjuntas λ , por

11) Subrotina LAMBDA

VINDIN.

$\frac{\partial F}{\partial x}$. Armazena os valores no COMMON/DFX1/. É chamada pela subrotina Calcula os valores correspondentes às derivadas parciais

10) Subrotina FX

$\frac{\partial L}{\partial u}$. Armazena os valores no COMMON/ULT/. Chamada pela VINDIN.

Calcula os valores correspondentes às derivadas parciais

9) Subrotina LU

integração do sistema de equações. Chamada pela VINDIN.

variáveis de estado. Juntamente com a KUTTA é responsável pela Calcula as expressões correspondentes às derivadas das

8) Subrotina DERIVD

efetua a integração numérica.

14) Subrotina MATRIZ

Calcula a integral I_{JJ} usando o Método de Simpson entre os instantes t e $t = 0$. É chamada pelo programa principal.

15) Subrotina DELU

Executa o cálculo da variação na variável de controle u .
Utiliza basicamente os valores calculados pela LAMBDA, MATRIZ, LU.
Armazena os valores no COMMON/ULT/.

16) Subrotina IPR

Calcula o índice de desempenho IP e as suas parcelas pelo processo de Simpson de $t = 0$ até t .

17) Subrotina DELXI

Executa o cálculo da variação nas condições iniciais x_0 .
Utiliza basicamente os valores calculados pela LAMBDA e MATRIZ.
Armazena os valores no COMMON/DELX0/.

18) Subrotina SAIDA

Imprime os históricos das variáveis de estado de interesse, das variáveis de controle, das forças de mola e amortecedor e das cotas de elevação do terreno. Imprime também valores característicos do desempenho do veículo bem como o IP e suas parcelas. Possui um sinalizador que distingue entre saída completa (final) ou parcial (intermediárias).

DS	passo inicial s	c/DS/
DT	passo de integração	c/DT/
VELOC	v do veículo	
MASSA1, MASSA2	velocidade de passagem	c/VEL/
	massas m_1 e m_2	R, C/M/
	1) Dados de controle:	

<u>Variação</u>	<u>Descrição</u>	<u>Tipo</u>
-----------------	------------------	-------------

PRINCIPAIS VARIÁVEIS DO PROGRAMA

amortecedor passivo.

Calcula o valor apropriado da função H_1 do modelo do

22) FUNCTION H1

Efetua a integração pelo Método de Simpson.

21) FUNCTION SIMPUN

(para o modelo de roda RS).

Calcula a força vertical resultante do contato pneu-solo

20) Subrotina FPNEU

Utilizada para o modelo de roda PS.

central do pneu. Quando não ocorre contato pneu-solo, $\Delta p = 0$.

Calcula o parâmetro Δp para a expressão da deflexão

19) FUNCTION DELTP

CHAR*72 = variável CHARACTER*72

I = variável INTEGER

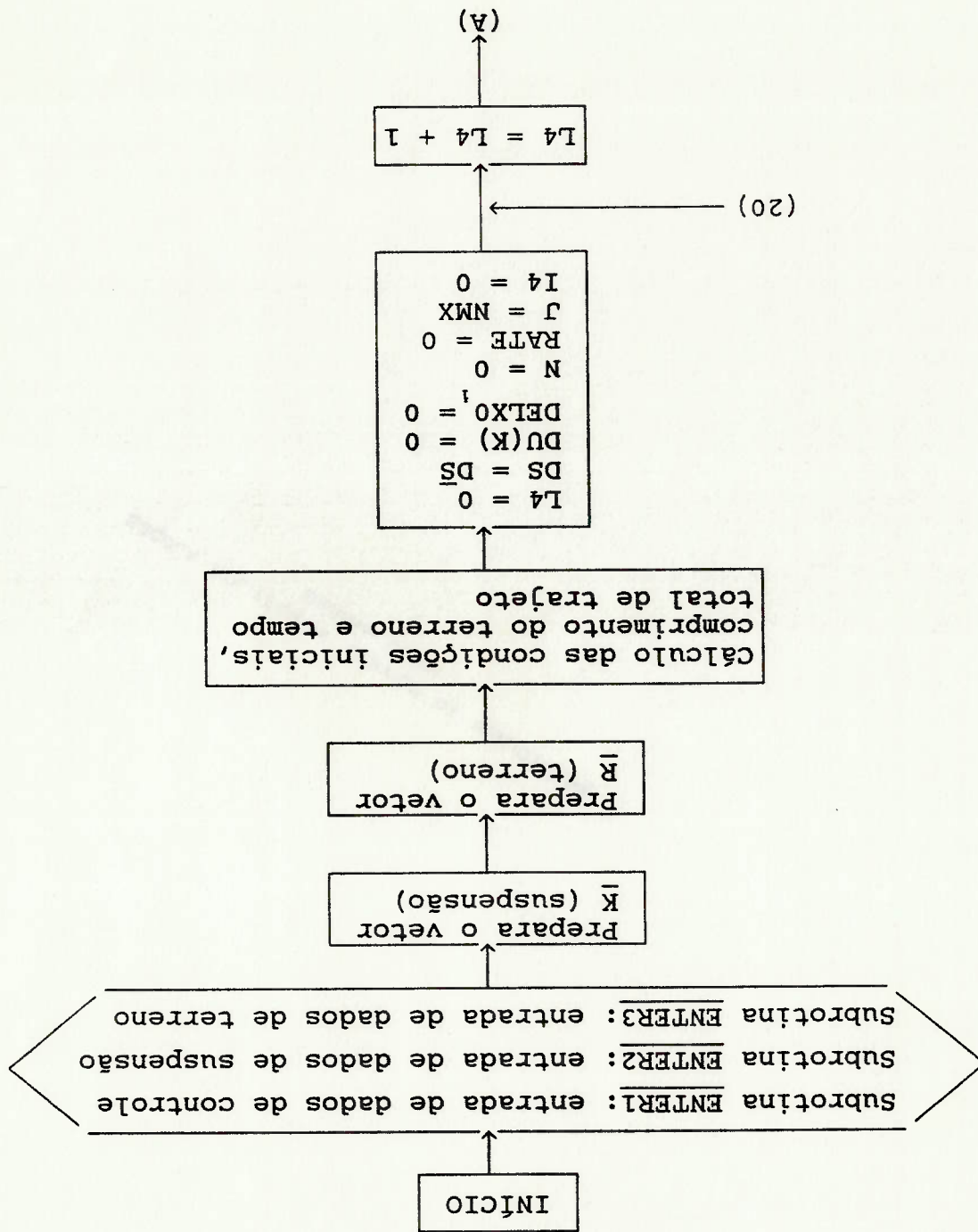
C = variável COMMON

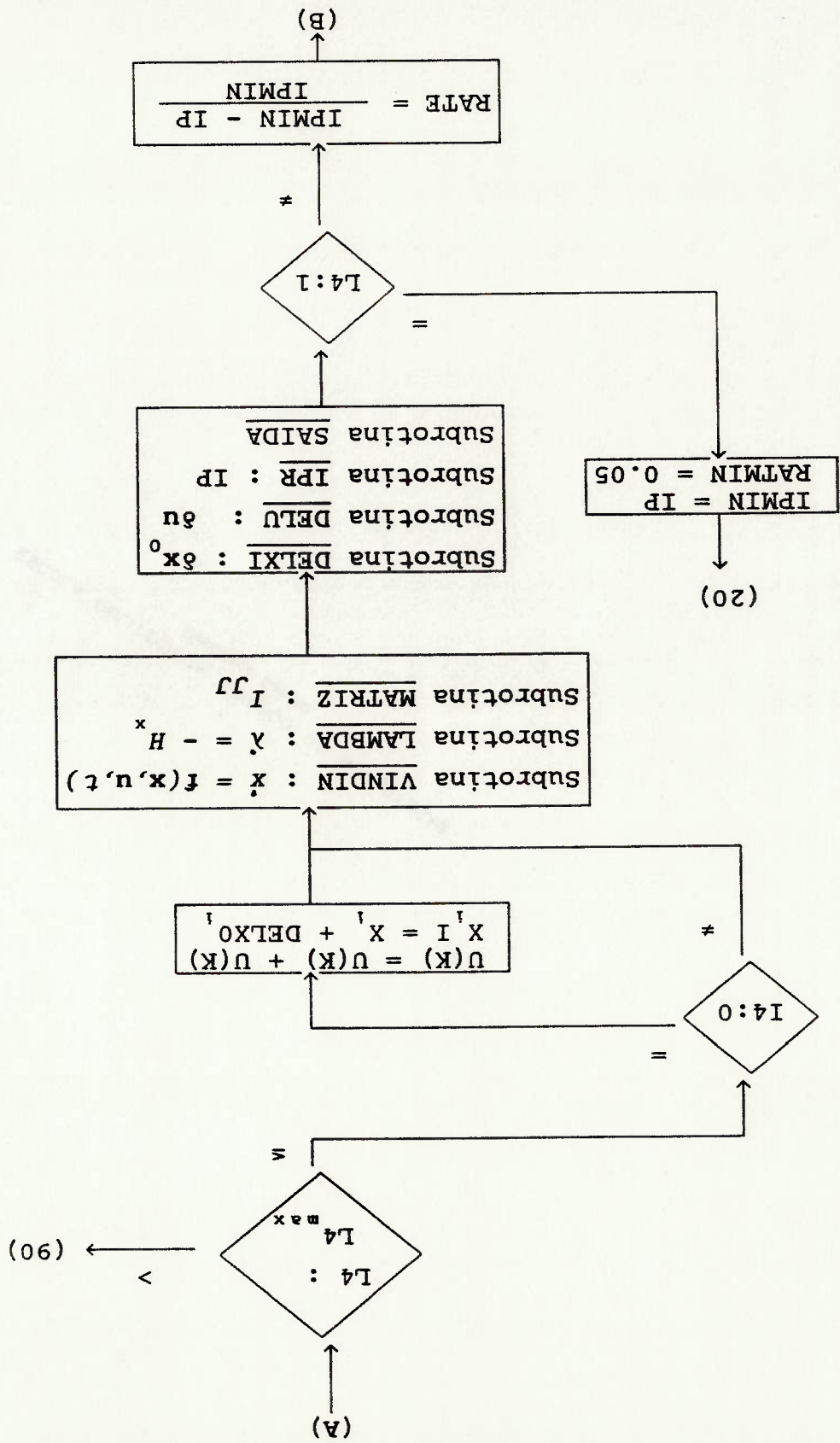
R = variável REAL

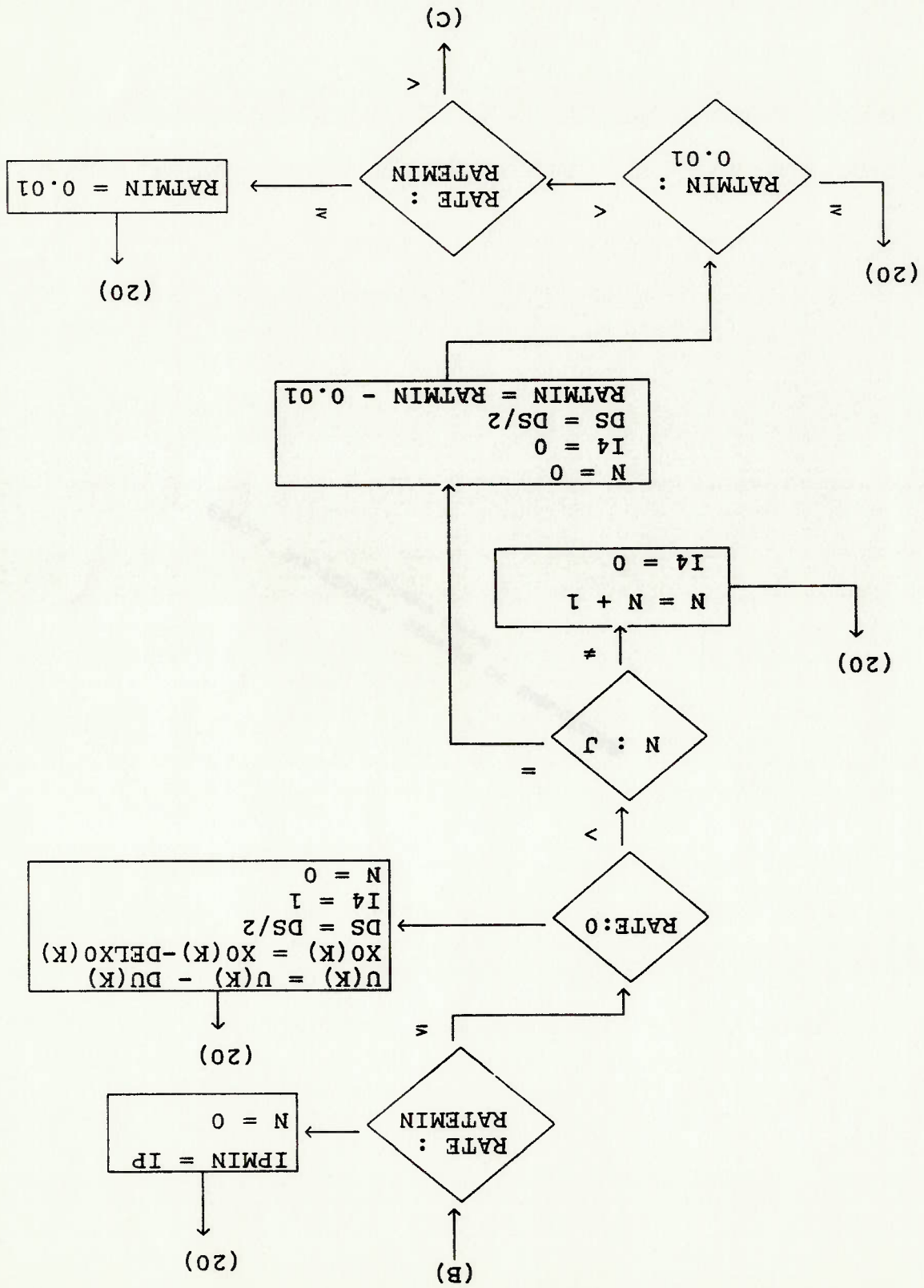
Notas:

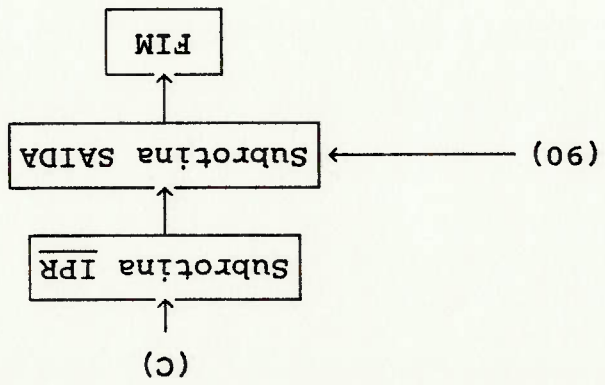
IP, IP1, IP2, IP3	IP e parcelas	R, C/ IPT/
U1, DU1, DLU1, U2,	u, ßu, al/ßu	C/ ULP/
... , U3, ... , DLU3	instantes t e t	C/ T/
T, TT		
DELX03, DELX04,	δx_0	C/ DELX0/
DELX05		
ALAMJ3, ALAMJ4,	$\lambda_1(t), i = 3, 4, 5$	C/ LAMB D/
ALAMJ5		
AK	vetor K de declividades dos	
	trechos da curva de mola	C/ AK/
R	vetor R de declividades dos	
	trechos do terreno	C/ R/
RATE	variação relativa de IP,	
	$\Delta IP/IP$	C/ RATE/

DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROGRAMA 'AMTPASS'









PROGRAMA FONTE "AMTPASS" COM MODELO PONTO SEGUIDOR

APÊNDICE V

COMMON/RMS/ARMS,ACMIN,ACMAX,DPRMS,PTRMS,P2RMS
COMMON/VMIN/VMIN,FAMMIN
COMMON/VMAX/VMAX,FAMMAX
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/DEFL/DEFLC(1500)
COMMON/TS/TS(1500),FST(1500),XPZ(1500),XPB(1500),HHP(1500),
1HHT(1500)

ENTRADA DE DADOS

CALL ENTER1(U1,U2,U3,M,NMX,KIMP)
CALL ENTER2
CALL ENTER3

DO 5 I=1,NP-1
J=I+1
AK(I)=(DXHM(J,Z)-DXHM(I,Z))/(DXHM(J,1)-DXHM(I,1))

DO 10 I=1,NS-1
J=I+1
R(I)=(YXL(J)-YXL(I))/DL

CALCULO DO COMPRIMENTO TOTAL CT DO TERRENO, TEMPO TOTAL DE TRAJE-
TO TI E POSICAO INICIAL DO SISTEMA M1-M2, X11,X71

CT=(NS-1)*DL

TT=CT/VELDC

P1=MASSA1*9.8066

P2=MASSA2*9.8066

CALL FMOLA(P1,D,1)

X71=-(P1+P2)/AKP

X11=-D+X71

X21=0.

X61=0.

X81=0.

X91=0.

X101=0.

WRITE(6,150)CT,TT,X11,X21,X61,X71,X81,X91,X101

FORMAT(1X,/,110,COMPRIMENTO DO TERRENO, M=,FB,2,/,1X,/,110,COND, INICIAIS X1, X2,
1 TOTAL DE TRAJETO, S=,FB,2,/,1X,/,110,(F7.4))
Z6, X7, X8, X9, X10: ,3X,7(F7.4))

T1=0.

L4=0

N=0

EPS=-1.E-6

RATE=0.

J=NMX

I4=0

DO 15 K=1,M

DU1(K)=0.

DU2(K)=0.

DU3(K)=0.

DELX03=0.

DELX04=0.

15

150

C
C
C
C
10
C
5
C
C
C

```

DELX05=0.
CONTINUE
L4=L4+1
IF(L4.EQ.25) GO TO 90
IF(L4.40.30.40
DO 35 K=1,M
U1(K)=U1(K)+DU1(K)
U2(K)=U2(K)+DU2(K)
U3(K)=U3(K)+DU3(K)
DU1A(K)=DU1(K)
DU2A(K)=DU2(K)
DU3A(K)=DU3(K)
X31=X31+DELX03
X41=X41+DELX04
X51=X51+DELX05
DLX03A=DELX03
DLX04A=DELX04
DLX05A=DELX05
CONTINUE
CALL VINDIN(T1,M)
CALL LAMBDA(M)
CALL MATRIZ(M)
C
CALL DELXI
CALL DELU(M)
IF(L4.NE.1) GO TO 50
CALL IPR(U1,U2,U3,M)
RIPM=IP
RATMIN=0.05
CALL SAIDA(M,L4,1,KIMP)
GO TO 20
50
CONTINUE
CALL IPR(U1,U2,U3,M)
RATE=(RIPM-IP)/RIPM
CALL SAIDA(M,L4,1,KIMP)
IF(RATE.LE.EPS.OR.RATE.LE.RATMIN) GO TO 60
RIPM=IP
N=0
GO TO 20
IF(RATE.GE.EPS) GO TO 70
DO 65 K=1,M
U1(K)=U1(K)-DU1A(K)
U2(K)=U2(K)-DU2A(K)
U3(K)=U3(K)-DU3A(K)
X31=X31-DLX03A
X41=X41-DLX04A
X51=X51-DLX05A
DS=DS/Z.
I4=1
N=0
WRITE(6,110)RATE,DS,L4
110
FORMAT(1X,13Z(.*),//,1X,120,RAZAO DE CONVERGENCIA NEGATIVA,10
I.RATE=,F10.3,/,1X,120,NOVO DS=,F10.3,10X,(ITERACAO NO,
Z.,),//,1X,13Z(.*),//)

```

```

70 GO TO 20
CONTINUE
IF(N.EQ.0) GO TO 80
N=N+1
I4=0
RIPM=IF
GO TO 20
CONTINUE
80 CONTINUE
N=0
I4=0
DS=DS/2.
RIPM=IF
DS=DS/2.
RIPM=IF
RATIM=RATIM-0.01
WRITE(6,200)DS,RATIM,L4
FORMAT(1X,132(.'*'),1X,120,RAZAO DE CONVERGENCIA MENOR DO QUE
1 DESEJADA,10X,NOVO DS=,F10.3,/,1X,120,NOVO RATIM=,F10.3,
20X,(ITERACAO NO.,13,.)/,1X,132(.'*'),/,/)
IF(RATIM.GE.0.01) GO TO 20
IF(RATE.LT.RATIM) GO TO 90
RATIM=0.01
GO TO 20
CALL SAIDA(M,L4,0,KIMP)
90 STOP
END
C
C
SUBROUTINE ENTER1(U1,U2,U3,M,NMX,KIMP)
REAL MASSA1,MASSA2,M3,M4,M5
COMMON/M/MASSA1,MASSA2,AKF
COMMON/VEL/VELOC
COMMON/DI/DI
COMMON/DS/DS
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/VALIN/X11,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91,X101
COMMON/KS/AKS
COMMON/MATM/M3,M4,M5
COMMON/MATW/W1,W2,W3
DIMENSION U1(1500),U2(1500),U3(1500)
READ(1,*)(MASSA1,MASSA2,AKF
READ(1,*)(VELOC
READ(1,*)(DI,DS
READ(1,*)(AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
READ(1,*)(AK5
READ(1,*)(X31,X41,X51
READ(1,*)(C1,C2,C3
READ(1,*)(M3,M4,M5
READ(1,*)(W1,W2,W3
READ(1,*)(NMX
READ(1,*)(M,KIMP)
DO 20 K=1,M
U1(K)=C1
U2(K)=C2
U3(K)=C3
WRITE(6,40)

```



```

10 READ(3,*)YXL(1)
30 WRITE(6,30)
   FORMAT(1X, '//', IDENTIFICACAO DO TERRENO: , //)
   WRITE(6,*)IDSOL
   RETURN
   END
C
SUBROUTINE FMOLA(HM,D,K)
COMMON/NP/NP
COMMON/DXHM/DXHM(15,2)
COMMON/AK/AK(14),AKK
LOGICAL LOGICA
LOGICA=.FALSE.
IF(K.EQ.2) GO TO 100
DO 10 I=1,NP-1
  IF(LOGICA) GO TO 200
  J=I+1
  IF(HM.GE.DXHM(I,2).AND.HM.LE.DXHM(J,2)) THEN
    AKK=AK(I)
    D=(HM-DXHM(I,2)+AKK*DXHM(I,1))/AKK
    LOGICA=.TRUE.
  END IF
  CONTINUE
  GO TO 200
WRITE(6,50)HM
  FORMAT(1X, '//', **FORCA MOLA FORA LIMITES DEFINICAO** ,FB.2)
  GO TO 200
C
DO 20 I=1,NP-1
  IF(LOGICA) GO TO 200
  J=I+1
  IF(D.GE.DXHM(I,1).AND.D.LE.DXHM(J,1)) THEN
    AKK=AK(I)
    HM=AKK*(D-DXHM(I,1))+DXHM(I,2)
    AKK=AK(1)
    WRITE(6,60)D
    FORMAT(1X, '//', **DEFLEXAO MOLA FORA LIMITES DEFINICAO** ,FB.3)
  END IF
  LOGICA=.TRUE.
  CONTINUE
  GO TO 200
C
IF(D.LT.DXHM(1,1)) THEN
  AKK=AK(1)
  HM=-AKK*(DXHM(1,1)-D)+DXHM(1,2)
  WRITE(6,60)D
  FORMAT(1X, '//', **DEFLEXAO MOLA FORA LIMITES DEFINICAO** ,FB.3)
END IF
LOGICA=.TRUE.
IF(LOGICA) GO TO 200
C
IF(D.GT.DXHM(NP,1)) THEN
  AKK=AK(NP-1)
  HM=AKK*(D-DXHM(NP,1))+DXHM(NP,2)
  WRITE(6,60)D
  END IF
  CONTINUE
200

```

RETURN
END

SUBROUTINE ZP(EF,Z,XI,I)

COMMON/R/R(400)

COMMON/NS/NS

COMMON/DL/DL,CT

COMMON/YXL/YXL(400)

IF(EF.GT.CT) GO TO 100

IF(EF.LT.O.) GO TO 200

Z=YXL(I)+R(I)*(EF-XI)

GO TO 300

Z=YXL(NS)

WRITE(6,50)EF

GO TO 300

Z=YXL(1)

WRITE(6,50)EF

FORMAT(1X,/,*,**EF (ESP.PERCORRIDO) FORA LIMITES TERRENOS**',FB,Z)

CONTINUE

RETURN

END

SUBROUTINE VINDIN(TI,M)

COMMON/UL/U1(1500),DU1(1500),DU2(1500),DU3(1500),DU4(1500),DU5(1500),DU6(1500),DU7(1500),DU8(1500),DU9(1500),DU10(1500),DU11(1500),DU12(1500),DU13(1500),DU14(1500),DU15(1500),DU16(1500),DU17(1500),DU18(1500),DU19(1500),DU20(1500),DU21(1500),DU22(1500),DU23(1500),DU24(1500),DU25(1500),DU26(1500),DU27(1500),DU28(1500),DU29(1500),DU30(1500),DU31(1500),DU32(1500),DU33(1500),DU34(1500),DU35(1500),DU36(1500),DU37(1500),DU38(1500),DU39(1500),DU40(1500),DU41(1500),DU42(1500),DU43(1500),DU44(1500),DU45(1500),DU46(1500),DU47(1500),DU48(1500),DU49(1500),DU50(1500),DU51(1500),DU52(1500),DU53(1500),DU54(1500),DU55(1500),DU56(1500),DU57(1500),DU58(1500),DU59(1500),DU60(1500),DU61(1500),DU62(1500),DU63(1500),DU64(1500),DU65(1500),DU66(1500),DU67(1500),DU68(1500),DU69(1500),DU70(1500),DU71(1500),DU72(1500),DU73(1500),DU74(1500),DU75(1500),DU76(1500),DU77(1500),DU78(1500),DU79(1500),DU80(1500),DU81(1500),DU82(1500),DU83(1500),DU84(1500),DU85(1500),DU86(1500),DU87(1500),DU88(1500),DU89(1500),DU90(1500),DU91(1500),DU92(1500),DU93(1500),DU94(1500),DU95(1500),DU96(1500),DU97(1500),DU98(1500),DU99(1500),DU100(1500)

COMMON/VAR/V1(1500),V2(1500),V3(1500),V4(1500),V5(1500),V6(1500),V7(1500),V8(1500),V9(1500),V10(1500),V11(1500),V12(1500),V13(1500),V14(1500),V15(1500),V16(1500),V17(1500),V18(1500),V19(1500),V20(1500),V21(1500),V22(1500),V23(1500),V24(1500),V25(1500),V26(1500),V27(1500),V28(1500),V29(1500),V30(1500),V31(1500),V32(1500),V33(1500),V34(1500),V35(1500),V36(1500),V37(1500),V38(1500),V39(1500),V40(1500),V41(1500),V42(1500),V43(1500),V44(1500),V45(1500),V46(1500),V47(1500),V48(1500),V49(1500),V50(1500),V51(1500),V52(1500),V53(1500),V54(1500),V55(1500),V56(1500),V57(1500),V58(1500),V59(1500),V60(1500),V61(1500),V62(1500),V63(1500),V64(1500),V65(1500),V66(1500),V67(1500),V68(1500),V69(1500),V70(1500),V71(1500),V72(1500),V73(1500),V74(1500),V75(1500),V76(1500),V77(1500),V78(1500),V79(1500),V80(1500),V81(1500),V82(1500),V83(1500),V84(1500),V85(1500),V86(1500),V87(1500),V88(1500),V89(1500),V90(1500),V91(1500),V92(1500),V93(1500),V94(1500),V95(1500),V96(1500),V97(1500),V98(1500),V99(1500),V100(1500)

COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10

COMMON/VAR/V1(1500),V2(1500),V3(1500),V4(1500),V5(1500),V6(1500),V7(1500),V8(1500),V9(1500),V10(1500),V11(1500),V12(1500),V13(1500),V14(1500),V15(1500),V16(1500),V17(1500),V18(1500),V19(1500),V20(1500),V21(1500),V22(1500),V23(1500),V24(1500),V25(1500),V26(1500),V27(1500),V28(1500),V29(1500),V30(1500),V31(1500),V32(1500),V33(1500),V34(1500),V35(1500),V36(1500),V37(1500),V38(1500),V39(1500),V40(1500),V41(1500),V42(1500),V43(1500),V44(1500),V45(1500),V46(1500),V47(1500),V48(1500),V49(1500),V50(1500),V51(1500),V52(1500),V53(1500),V54(1500),V55(1500),V56(1500),V57(1500),V58(1500),V59(1500),V60(1500),V61(1500),V62(1500),V63(1500),V64(1500),V65(1500),V66(1500),V67(1500),V68(1500),V69(1500),V70(1500),V71(1500),V72(1500),V73(1500),V74(1500),V75(1500),V76(1500),V77(1500),V78(1500),V79(1500),V80(1500),V81(1500),V82(1500),V83(1500),V84(1500),V85(1500),V86(1500),V87(1500),V88(1500),V89(1500),V90(1500),V91(1500),V92(1500),V93(1500),V94(1500),V95(1500),V96(1500),V97(1500),V98(1500),V99(1500),V100(1500)

COMMON/DFX1/DFX1(1500),DFX2(1500),DFX3(1500),DFX4(1500),DFX5(1500),DFX6(1500),DFX7(1500),DFX8(1500),DFX9(1500),DFX10(1500),DFX11(1500),DFX12(1500),DFX13(1500),DFX14(1500),DFX15(1500),DFX16(1500),DFX17(1500),DFX18(1500),DFX19(1500),DFX20(1500),DFX21(1500),DFX22(1500),DFX23(1500),DFX24(1500),DFX25(1500),DFX26(1500),DFX27(1500),DFX28(1500),DFX29(1500),DFX30(1500),DFX31(1500),DFX32(1500),DFX33(1500),DFX34(1500),DFX35(1500),DFX36(1500),DFX37(1500),DFX38(1500),DFX39(1500),DFX40(1500),DFX41(1500),DFX42(1500),DFX43(1500),DFX44(1500),DFX45(1500),DFX46(1500),DFX47(1500),DFX48(1500),DFX49(1500),DFX50(1500),DFX51(1500),DFX52(1500),DFX53(1500),DFX54(1500),DFX55(1500),DFX56(1500),DFX57(1500),DFX58(1500),DFX59(1500),DFX60(1500),DFX61(1500),DFX62(1500),DFX63(1500),DFX64(1500),DFX65(1500),DFX66(1500),DFX67(1500),DFX68(1500),DFX69(1500),DFX70(1500),DFX71(1500),DFX72(1500),DFX73(1500),DFX74(1500),DFX75(1500),DFX76(1500),DFX77(1500),DFX78(1500),DFX79(1500),DFX80(1500),DFX81(1500),DFX82(1500),DFX83(1500),DFX84(1500),DFX85(1500),DFX86(1500),DFX87(1500),DFX88(1500),DFX89(1500),DFX90(1500),DFX91(1500),DFX92(1500),DFX93(1500),DFX94(1500),DFX95(1500),DFX96(1500),DFX97(1500),DFX98(1500),DFX99(1500),DFX100(1500)

COMMON/PHI/YT(10),PHI(10)

COMMON/KS/AKS

DIMENSION Y(10),XP(10),XIN1(3),XIN2(3)

REAL MASSA1,MASSA2

COMMON/M/MASSA1,MASSA2,AKP

COMMON/VEL/VELDC

COMMON/NF/NF

COMMON/DXHM/DXHM(15,2)

COMMON/NS/NS

COMMON/YXL/YXL(400)

COMMON/EP/EP

COMMON/DL/DL,CT

COMMON/RMS/ARMS,ACMIN,ACMAX, DPRMS, PTRMS, PZRMS

COMMON/VMIN/VMIN,FAMMIN

COMMON/VMAX/VMAX,FAMMAX

COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)

COMMON/DEFL/DEFLC(1500)

COMMON/VR/VR,VRA,VRA2,VRA3

C
300
200
100
C

```

COMMON/T/1,TT
COMMON/VALFIN/X6F,X9F,X10F
COMMON/P/P1,P2
COMMON/AK/AK(14),AKK
COMMON/R/R(400)
COMMON/TS/TS1(1500),FST(1500),XP2(1500),XPB(1500),HHP(1500),
1HHT(1500)
T=TI
ACMIN=0.
ACMAX=0.
VMIN=0.
VMAX=0.
FAMIN=0.
FAMAX=0.
K=10
X1(1)=X1I
X2(1)=X2I
X3(1)=X3I
X4(1)=X4I
X5(1)=X5I
X6(1)=X6I
X7(1)=X7I
X8(1)=X8I
X9(1)=X9I
X10(1)=X10I
N=1
Y(1)=X1(1)
Y(2)=X2(1)
Y(3)=X3(1)
Y(4)=X4(1)
Y(5)=X5(1)
Y(6)=X6(1)
Y(7)=X7(1)
Y(8)=X8(1)
Y(9)=X9(1)
Y(10)=X10(1)
EP=T*VELDC
I=1
XI=0.
CALL ZZP(EP,Z,XI,I)
TST(N)=Z
VR=XB(1)-XZ(1)
VRA(N)=VR
DEFLEC(N)=X7(1)-X1(1)
CALL FMOA(HM,DEFLEC(N),Z)
FST(N)=HM
VRZ=VR*VR
VR3=VR2*VR
HA(N)=X3(N)*VR+X4(N)*VR2+X5(N)*VR3
HHP(N)=DELTF(TST(N)-X7(N))
ARG=HA(N)*VR
HHT(N)=H1(ARG)
XF(Z)=0.

```

C


```

XP2(N)=0.
XPB(N)=0.
CALL LU(N)
CALL FX(N,XP,Z)
70 N=N+1
L=N-1
T=T+L*DT
IF(TT-T) 90,60,60
EP=T*VELDC
J=0
CALL DERIVD(Y,XP,L)
CALL KUTTA(Y,XP,J,K)
J=J+1
IF(J.NE.4) GO TO 20
VMIN=AMINI(VR,VMIN)
VMAX=AMAXI(VR,VMAX)
ACMIN=AMINI(XP(Z),ACMIN)
ACMAX=AMAXI(XP(Z),ACMAX)
FAMMIN=AMINI(HA(N),FAMMIN)
FAMMAX=AMAXI(HA(N),FAMMAX)
X1(N)=Y(1)
X2(N)=Y(2)
X3(N)=Y(3)
X4(N)=Y(4)
X5(N)=Y(5)
X6(N)=Y(6)
X7(N)=Y(7)
X8(N)=Y(8)
X9(N)=Y(9)
X10(N)=Y(10)
CALL LU(N)
CALL FX(N,XP,Z)
GO TO 70
X6F=X6(L)
X9F=X9(L)
X10F=X10(L)
M=L
ARMS=SQRT(X6F)/9.8066
DPRMS=SQRT(X9F)
P1RMS=0.
P2RMS=0.
N=0
K=N
DO 110 K1=1,3
J=K+K1
XINI(K1)=XP2(J)*X2(J)*X2(J)
XINZ(K1)=XPB(J)*XB(J)*XB(J)
CONTINUE
P1RMS=SIMPUN(DT,XINI)+P1RMS
P2RMS=SIMPUN(DT,XINZ)+P2RMS
N=N+Z
IF(N-M) 100,120,120
CONTINUE
P1RMS=SQRT(P1RMS*MASSA1+MASSA1/TT)

```

120

110

100

90

20

60

70

PZRM=SQRT (PZRM*MASSAZ*MASSAZ/TT)

RETURN

END

SUBROUTINE LU(K)

COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10

COMMON/ULT/U1(1500),DUI(1500),U2(1500),DU2(1500),
DLU1(K)=Z.*AK1*U1(K)
DLU2(K)=Z.*AK2*U2(K)
DLU3(K)=Z.*AK3*U3(K)

RETURN

END

SUBROUTINE FX(K,XP,Z)

COMMON/VALIN/X1,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91,X101

DIMENSION XP(10)

COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10

COMMON/VAREST/X1(1500),X2(1500),X3(1500),X4(1500),X5(1500),
X6(1500),X7(1500),X8(1500),X9(1500),X10(1500)

COMMON/DFX1/DFX1(1500),DFX2(1500),DFX3(1500),DFX4(1500),
1DFX5(1500),DFX7(1500),DFX8(1500),DFX9(1500),DFX10(1500),
2DFX3(1500),DFX4(1500),DFX5(1500),DFX7(1500),DFX8(1500),
3DFX1(1500),DFX2(1500),DFX3(1500),DFX4(1500),DFX5(1500),
4DFX7(1500),DFX8(1500),DFX9(1500),DFX10(1500),DFX10X3(1500),
5DF10X4(1500),DF10X5(1500),DF10X8(1500)

COMMON/TS/TS1(1500),FST(1500),XP2(1500),XP8(1500),HHP(1500),
1HHT(1500)

REAL MASSAZ,MASSAZ

COMMON/M/MASSAZ,MASSAZ,AKP

COMMON/T/T,TT

COMMON/EP/EP

COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)

COMMON/DEFL/DEFLC(1500)

COMMON/VR/VR,VRA,VR2,VR3

COMMON/AK/AK(14),AKK

DHAVR=X3(K)+Z.*X4(K)*VR+Z.*X5(K)*VR2

DFX1(K)=-AKK/MASSAZ

DFX2(K)=-DHAVR/MASSAZ

DFX3(K)=VR/MASSAZ

DFX4(K)=VR2/MASSAZ

DFX5(K)=VR3/MASSAZ

DFX7(K)=-DFX1(K)

DFX8(K)=-DFX2(K)

CO1=Z.*XP(Z)/TT

DFX1(K)=CO1*DFX1(K)

DFX2(K)=CO1*DFX2(K)

DFX3(K)=CO1*DFX3(K)

DFX4(K)=CO1*DFX4(K)

DFX5(K)=CO1*DFX5(K)

DFX7(K)=CO1*DFX7(K)

DFX8(K)=CO1*DFX8(K)

COZ=-MASSAZ/MASSAZ

DFX1(K)=COZ*DFX1(K)

C

C

```

DFBX2(K)=CO2*DFZX2(K)
DFBX3(K)=CO2*DFZX3(K)
DFBX4(K)=CO2*DFZX4(K)
DFBX5(K)=CO2*DFZX5(K)
DFBX7(K)=CO2*DFZX7(K)-AKP*HHP(K)/MASSAZ
DFBX8(K)=CO2*DFZX8(K)
DF9X7(K)=Z*((X7(K)-Z)*HHP(K)-X7I)/TT
DF10X2(K)=(-DHAVR*VR-HA(K))*HHT(K)
DF10X3(K)=VRZ*HHT(K)
DF10X4(K)=VR3*HHT(K)
DF10X5(K)=VRZ*VRZ*HHT(K)
DF10X8(K)=(DHAVR*VR+HA(K))*HHT(K)
RETURN
END
SUBROUTINE DERIVD(X,XP,N)
COMMON/UL/UT(1500),DUT(1500),DUZ(1500),DUZ(1500)
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/DI/DT
COMMON/VALIN/X11,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91,X101
COMMON/VALIN/X11,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91,X101
COMMON/EP/EP
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/DEFL/DEFL/DEFLC(1500)
COMMON/T/T,TT
COMMON/P/P,P1,P2
COMMON/AK/AK(14),AKK
COMMON/R/R(400)
COMMON/M/MASSA1,MASSA2,AKP
COMMON/VEL/VELLOC
COMMON/DXHM/DXHM(15,2)
COMMON/NS/NS
COMMON/YXL/YXL(400)
COMMON/DL/DL,CT
COMMON/VR/VR,VRA2,VRA3
DIMENSION X(10),XP(10)
COMMON/TS/TST(1500),FST(1500),XP2(1500),XP8(1500),HHP(1500),
THT(1500)
I=INT(EP/DL)
J=I+1
XI=I*DL
CALL ZZP(EP,Z,XI,J)
VR=X(B)-X(Z)
K=N+1
VRA(K)=VR
TST(K)=Z
HHP(K)=DELTP(2-X(Z))
DEFLC(K)=X(Z)-X(1)
CALL FMOLA(HM,DEFLC(K),Z)
FST(K)=HM
VRZ=VR*VR

```

C

C

C

```

SUBROUTINE LAMBDA(K)
COMMON/UL/ U1 (1500) ,DU1 (1500) ,DU2 (1500) ,DU3 (1500) ,
COMMON/LAMB/ALAMJ3 (1500) ,ALAMJ4 (1500) ,ALAMJ5 (1500)
COMMON/ALAM/ALAMJ (10) ,ALAMJF (10)
COMMON/YT/YT (10) ,PHI (10)
COMMON/DI/DI
COMMON/CTE/AK1 ,AK2 ,AK3 ,AK4 ,AK9 ,AK10

```

C

```

END
RETURN
Y(J)=YT(J)+H*PHI(J)
PHI(J)=(PHI(J)+F(J))/6.
DO 50 J=1,N
RETURN
Y(J)=YT(J)+H*F(J)
PHI(J)=PHI(J)+2.*F(J)
DO 40 J=1,N
RETURN
Y(J)=YT(J)+0.5*H*F(J)
PHI(J)=PHI(J)+2.*F(J)
DO 30 J=1,N
RETURN
Y(J)=YT(J)+0.5*H*F(J)
PHI(J)=F(J)
YT(J)=Y(J)
DO 20 J=1,N
GO TO (2,3,4,5),K
K=M+1
H=DI
DIMENSION Y(10) ,F(10)
COMMON/DI/DI
COMMON/PHI/YT(10) ,PHI(10)

```

50

5

40

4

30

3

20

2

```

SUBROUTINE KUTTA(Y,F,M,N)
COMMON/PHI/YT(10) ,PHI(10)
COMMON/DI/DI

```

C

```

END
RETURN
XP(10)=ARG*HH1(K)
XP(9)=((X(7)-Z)*HHP(K)-X7I)**2)/TT
XP(8)(K)=XP(8)
XP(8)=(AKP*(Z-X(7))*HHP(K)-HM-HA(K)-PZ)/MASSAZ
XP(7)=X(8)
XP(6)=XP(2)*XP(2)/TT
XP(5)=U3(N)
XP(4)=U2(N)
XP(3)=U1(N)

```

C

```

XP2(K)=XP(2)
XP(2)=(HM+HA(K)-P1)/MASSA1
XP(1)=X(2)
HH1(K)=H1(ARG)
ARG=HA(K)*VR
HA(K)=X(3)*VR+X(4)*VR2+X(5)*VR3

```

30

Downloaded from ascelibrary.org by University of California, San Diego on 06/01/15. Copyright ASCE. For all rights reserved.

CALCULO DOS HISTORICOS LAMBDAJ3/4/5 PARA CALC. DE IJJ

C
C
C

J=K

ALAMJ3(J)=0.
ALAMJ4(J)=0.
ALAMJ5(J)=0.
DO 10 NI=1,10
ALAMJ(NI)=0.

10

C ALAMJ(6) = 1. * AK4 ALAMJ(9)=1. * AK9

ALAMJ(6)=AK4

ALAMJ(9)=AK9

ALAMJ(10)=AK10

20

M=0

CALL DERI(J)

21

CALL KUTTAZ(M)

M=M+1

GO TO (21,21,21,50),M

50

J=J-1

T=(J-1)*DT

ALAMJ3(J)=ALAMJ(3)

ALAMJ4(J)=ALAMJ(4)

ALAMJ5(J)=ALAMJ(5)

IF (1) 60,60,70

70

GO TO 20

60

RETURN

C

SUBROUTINE DERI(K)

COMMON/ALAM/ALAMJ(10),ALAMJF(10)

COMMON/DFX1/DFX1(1500),DFZX2(1500),DFZX3(1500),DFZX4(1500),

DFZX5(1500),DFZX7(1500),DFZX8(1500),DFZX9(1500),DFZX1(1500),

DFZX2(1500),DFZX3(1500),DFZX4(1500),DFZX5(1500),DFZX6(1500),

DFZX7(1500),DFZX8(1500),DFZX9(1500),DF10X2(1500),DF10X3(1500),

DF10X4(1500),DF10X5(1500),DF10X8(1500)

ALAMJF(1)=-DFZX1(K)*ALAMJ(6)-DFBX1(K)*ALAMJ(9)

ALAMJF(2)=-ALAMJ(1)-DFZX2(K)*ALAMJ(2)-DFBX2(K)*ALAMJ(6)-

1DFBX2(K)*ALAMJ(8)-DF10X2(K)*ALAMJ(10)

ALAMJF(3)=-DFZX3(K)*ALAMJ(2)-DFBX3(K)*ALAMJ(6)-DFBX3(K)*ALAMJ(8)

1-DF10X3(K)*ALAMJ(10)

ALAMJF(4)=-DFZX4(K)*ALAMJ(2)-DFBX4(K)*ALAMJ(6)-DFBX4(K)*ALAMJ(8)

1-DF10X4(K)*ALAMJ(10)

ALAMJF(5)=-DFZX5(K)*ALAMJ(2)-DFBX5(K)*ALAMJ(6)-DFBX5(K)*ALAMJ(8)

1-DF10X5(K)*ALAMJ(10)

ALAMJF(6)=0.

ALAMJF(7)=-DFZX7(K)*ALAMJ(2)-DFBX7(K)*ALAMJ(6)-DFBX7(K)*ALAMJ(8)

1-DF9X7(K)*ALAMJ(9)

ALAMJF(8)=-DFZX8(K)*ALAMJ(2)-DFBX8(K)*ALAMJ(6)-ALAMJ(7)-

1DFBX8(K)*ALAMJ(8)-DF10X8(K)*ALAMJ(10)

ALAMJF(9)=0.

ALAMJF(10)=0.

RETURN

```

SUBROUTINE KUTTAZ(M)
COMMON/DI/DT
COMMON/YT/YT(10),PHI(10)
COMMON/ALAM/ALAMJ(10),ALAMJP(10)
DTN=-DT
H=DTN
K=M+1
GO TO (2,3,4,5),K
DO 20 J=1,10
YT(J)=ALAMJ(J)
PHI(J)=ALAMJP(J)
ALAMJ(J)=YT(J)+0.5*K*ALAMJP(J)
CONTINUE
RETURN
DO 30 J=1,10
PHI(J)=PHI(J)+2.*ALAMJP(J)
ALAMJ(J)=YT(J)+0.5*K*ALAMJP(J)
CONTINUE
RETURN
DO 40 J=1,10
PHI(J)=PHI(J)+2.*ALAMJP(J)
ALAMJ(J)=YT(J)+H*ALAMJP(J)
CONTINUE
RETURN
DO 50 J=1,10
PHI(J)=(PHI(J)+ALAMJP(J))/6.
ALAMJ(J)=YT(J)+H*PHI(J)
CONTINUE
RETURN
END

SUBROUTINE MATRIX(M)
REAL IJJ,BETA1,BETA2,BETA3,M3,M4,M5
COMMON/MATM/M3,M4,M5
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/IPP/IJJ
COMMON/DI/DT
COMMON/LAMB/LAMB1(1500),ALAMJ3(1500),ALAMJ4(1500),ALAMJ5(1500)
COMMON/ULT/UL1(1500),DLU1(1500),UL2(1500),DLU2(1500),
COMMON/LAMB/LAMB1(1500),DLU1(1500),DLU2(1500),DLU3(1500)
DIMENSION E(3)
IJJ=0.
N=0
K=N
DO 30 K1=1,3
J=K+K1
BETA1=ALAMJ3(J)+Z.*AK1*UL1(J)
BETA2=ALAMJ4(J)+Z.*AK2*UL2(J)
BETA3=ALAMJ5(J)+Z.*AK3*UL3(J)
E(K1)=BETA1*BETA1*BETA1+BETA2*BETA2*BETA2+BETA3*BETA3*BETA3
CONTINUE

```

C

2

20

3

30

4

40

5

50

C

10

30

END

```

100 IJJ=SIMPUN(DT,E)+IJJ
N=N+Z
IF(N-M) 10,50,50
CONTINUE
IJJ=IJJ+ALAMJ3(1)*ALAMJ3(1)*M3+ALAMJ4(1)*M4+
ALAMJ5(1)*ALAMJ5(1)*M5
RETURN
END
FUNCTION SIMPUN(DT,Y)
DIMENSION Y(3)
SIMPUN=DT*(Y(1)+4.*Y(2)+Y(3))/3.
RETURN
END
SUBROUTINE DELU(M)
REAL IJJ
COMMON/IFP/IJJ
COMMON/ULT/UT(1500),DLU1(1500),DLU2(1500),DLU3(1500),
COMMON/LAMB/ALAMJ3(1500),ALAMJ4(1500),ALAMJ5(1500)
COMMON/DS/DS
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/MATW/W1,W2,W3
FATOR=-DS/SQRT(IJJ)
DO 50 J=1,M
DU1(J)=FATOR*(ALAMJ3(J)+2.*AK1*U1(J))*W1
DU2(J)=FATOR*(ALAMJ4(J)+2.*AK2*U2(J))*W2
DU3(J)=FATOR*(ALAMJ5(J)+2.*AK3*U3(J))*W3
CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE IPR(U1,U2,U3,NFIN)
REAL IP,IP1,IP2,IP3
COMMON/IFP/IP,IP1,IP2,IP3
COMMON/VALFIN/X6F,X9F,X10F
COMMON/DT/DT
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
DIMENSION U1(500),U2(500),U3(500),SIG(3),FIN(3),GIN(3)
IP=0.
IP1=0.
IP2=0.
IP3=0.
N=0
K=N
DO 10 K1=1,3
J=K+K1
SIG(K1)=AK1*U1(J)*U1(J)
FIN(K1)=AK2*U2(J)*U2(J)
GIN(K1)=AK3*U3(J)*U3(J)
CONTINUE
IP1=SIMPUN(DT,SIG)+IP1

```

```

IPZ=SIMPUN(DT,FIN)+IPZ
IP3=SIMPUN(DT,GIN)+IP3
N=N+Z
IF(N-NFIN)5,30,30
IF=IP1+IP2+IP3+AK4*X6F+AK9*X9F+AK10*X10F
RETURN
END

```

30

```

SUBROUTINE SAIDA(M,L4,LIMP,KIMP)
REAL IP,IP1,IP2,IP3,IP4,IP9,IP10
COMMON/IP1/IP,IP1,IP2,IP3
COMMON/VAREST/X1(1500),X2(1500),X3(1500),X4(1500),X5(1500),
X6(1500),X7(1500),X8(1500),X9(1500),X10(1500)
COMMON/UL1/UI(1500),DLU1(1500),DLU2(1500),DU2(1500),
DLU3(1500),DU3(1500),DLU3(1500)
COMMON/DI/DI
COMMON/VALFIN/X6F,X9F,X10F
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/VMIN/VMIN,FAMMIN
COMMON/VMAX/VMAX,VMAX,FAMMAX
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/RMS/ARMS,ACMIN,ACMAX,DPRMS,PT RMS,PZRMS
COMMON/DEFL/DEFL/DEFLEC(1500)
COMMON/VXL/VXL/VXL(400)
COMMON/RATE/RATE
COMMON/TS/TS(1500),FST(1500),XP2(1500),XP8(1500),HHP(1500),
THH1(1500)

```

C

```

COMMON/DI/DI
DO 10 I=1,M,IMP
END IF
IMP=10
ELSE
IMP=KIMP
IF(LIMP.EQ.1) THEN
WRITE(6,100)L4

```

C

```

WRITE(6,200)T,X1(1),X2(1),X3(1),X4(1),X5(1),U1(1),U2(1),U3(1),
DEFLEC(1),FST(1),TST(1)
WRITE(6,300)RATE
WRITE(6,310)VMIN,VMAX
WRITE(6,320)ACMIN,ACMAX,ARMS,DPRMS,PT RMS,PZRMS
WRITE(6,400)FAMMIN,FAMMAX

```

C

```

WRITE(6,60)IF
WRITE(6,50)IP1,IP2,IP3,IP4,IP9,IP10
IF10=X10F*AK10
IF9=AK9*X9F
IF4=AK4*X6F
WRITE(6,60)IF
FORMAT(1X,/,INDICE DE PERFORMANCE: IF=,G15.9,/)
FORMAT(1X,/,Z(3(G14.8,4X),/))

```

60

50

100

```

FORMAT(1HT,/,/,13Z(*),/,1X,13Z(*),/,/,10X,SOLUCAO COM ,13.,
TERACES ,/,/,1X,14,T,114,X1,T24,X2,134,X3,144,X4,154,
Z,164,U1,174,U2,184,US,191,DEF.MOLA,1103,FO.MOLA,1117,

```


PROGRAMA FONTE "AMTPASS" COM MODELO DE RODA SEGMENTADA

APÊNDICE VI


```

COMMON/RMS/ARMS,ACMIN,ACMAX,DPRMS,P1RMS,P2RMS
COMMON/VMIN/VMIN,FAMMIN
COMMON/VMAX/VMAX,FAMMAX
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/DEFL/DEFLEC(1500)
COMMON/TS/TS(1500),FST(1500),XPZ(1500),XPB(1500),HHP(1500),
THT(1500)
COMMON/RODA/WRAD,SH,NSEG,DSEG(24),SEGG(24),CX(Z4),CY(Z4)
ENTRADA DE DADOS
CALL ENTER1(U1,U2,U3,M,NMX,KIMP)
CALL ENTER2
CALL ENTER3
DO 5 I=1,NP-1
  J=I+1
  AK(I)=(DXHM(J,2)-(DXHM(I,2))/(DXHM(J,1)-DXHM(I,1)))
DO 10 I=1,NS-1
  J=I+1
  R(I)=(YXL(J)-YXL(I))/DL
CALCULO DO COMPRIMENTO TOTAL CT DO TERRENO, TEMPO TOTAL DE TRAJE-
TO TI E POSICAO INICIAL DO SISTEMA M1-M2, X11,X71
CT=(NS-1)*DL
TT=(CT-2.*WRAD)/VELOC
P1=MASSA1*9.8066
P2=MASSA2*9.8066
FTY=P1+P2
CALL FPNEU(WRAD,Y71,FTY,1)
CALL FMOLA(P1,D,1)
X71=Y71
X11=-D+X71
X21=0.
X61=0.
X81=0.
X91=0.
X101=0.
WRITE(6,150)CT,TT,X11,X21,X61,X71,X81,X91,X101
FORMAT(1X,/,T10,COMPRIMENTO DO TERRENO,M=,FB.2/,1X,T10,TEMPO
1 TOTAL DE TRAJETO,S=,FB.2/,1X,/,110,CONDOS,INICIAIS X1,X2,X
26,X7,X8,X9,X10:,3X,7(F7.4))
TI=0.
L4=0
N=0
EPS=-1.E-6
RATE=0.
J=NMX
I4=0
DO 15 K=1,M
  DUT(K)=0.
  DUZ(K)=0.

```

150

C
C
C
C
10
C
5
C
C
C
C

```

15  DU3(K)=0.
    DELX03=0.
    DELX04=0.
    DELX05=0.
    CONTINUE
20  L4=L4+1
    IF(L4.EQ.16) GO TO 90
    IF(I4)40,30,40
    DD 35 K=1,M
    U1(K)=U1(K)+DU1(K)
    U2(K)=U2(K)+DU2(K)
    U3(K)=U3(K)+DU3(K)
    DU1A(K)=DU1(K)
    DU2A(K)=DU2(K)
    DU3A(K)=DU3(K)
    X3I=X3I+DELX03
    X4I=X4I+DELX04
    X5I=X5I+DELX05
    DLX03A=DELX03
    DLX04A=DELX04
    DLX05A=DELX05
    CONTINUE
40  CALL VINDIN(TI,M)
    CALL LAMBDA(M)
    CALL MATRIX(M)
    C
    CALL DELXI
    CALL DELU(M)
    IF(L4.NE.1) GO TO 50
    CALL IPR(U1,U2,U3,M)
    RIPM=IP
    RATMIN=0.05
    CALL SAIDA(M,L4,1,KIMP)
    GO TO 20
50  CONTINUE
    CALL IPR(U1,U2,U3,M)
    RATE=(RIPM-IP)/RIPM
    CALL SAIDA(M,L4,1,KIMP)
    IF(RATE.LE.EPS.OR.RATE.LE.RATMIN) GO TO 60
    RIPM=IP
    N=0
    GO TO 20
60  IF(RATE.GE.EPS) GO TO 70
    DD 65 K=1,M
    U1(K)=U1(K)-DU1A(K)
    U2(K)=U2(K)-DU2A(K)
    U3(K)=U3(K)-DU3A(K)
    X3I=X3I-DLX03A
    X4I=X4I-DLX04A
    X5I=X5I-DLX05A
    DS=DS/Z.
    I4=I
    N=0
    WRITE(6,110)RATE,DS,L4

```

```

110  FORMAT(1X,13Z(' '),//,1X,120, 'RAZAO DE CONVERGENCIA NEGATIVA',10X,
      1 RATE= ,F10.3,//,1X,120, 'NOVO DS= ,F10.3,10X, ((ITERACAO NO. ,13
      2, ),//,1X,13Z(' '),//)
      GO TO 20
      CONTINUE
      IF(N.EQ.0) GO TO 80
      N=N+1
      I4=0
      R1PM=IF
      GO TO 20
      CONTINUE
      GO TO 20
      N=0
      I4=0
      DS=DS/2.
      R1PM=IF
      RATIM=RATIM-0.01
      WRITE(6,200)DS,RATIM,L4
      FORMAT(1X,13Z(' '),//,1X,120, 'RAZAO DE CONVERGENCIA MENOR DO QUE A
      1 DESEJADA',10X, 'NOVO DS= ,F10.3,//,1X,120, 'NOVO RATIM= ,F10.3,1
      20X, ((ITERACAO NO. ,13, ),//,1X,13Z(' '),//)
      IF(RATIM.GE.0.01) GO TO 20
      IF(RATE.LT.RATIM) GO TO 90
      RATIM=0.01
      GO TO 20
      CALL SAIDA(M,L4,0,KIMP)
      STOP
      END
C
C
SUBROUTINE ENTER1(U1,U2,U3,M,NMX,KIMP)
      REAL MASSA1,MASSA2,M3,M4,M5
      COMMON/RODA/WRAD,SH,NSEG,DSEG(24),SEGK(24),CX(24),CY(24)
      COMMON/M/MASSA1,MASSA2,AKP
      COMMON/VEL/VELOC
      COMMON/D1/D1
      COMMON/DS/DS
      COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
      COMMON/VALIN/X11,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91,X101
      COMMON/KS/AKS
      COMMON/MATM/M3,M4,M5
      COMMON/MATW/W1,W2,W3
      DIMENSION U1(1500),U2(1500),U3(1500)
      READ(1,*)MASSA1,MASSA2
      READ(1,*)VELOC
      READ(1,*)DT,DS
      READ(1,*)AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
      READ(1,*)AK5
      READ(1,*)X31,X41,X51
      READ(1,*)C1,C2,C3
      READ(1,*)M3,M4,M5
      READ(1,*)W1,W2,W3
      READ(1,*)NMX
      READ(1,*)M,KIMP
      READ(1,*)WRAD,SH,NSEG,DSEG,SEGK

```



```

WRITE(6,70)(DXHM(I,J),J=1,2)
70 FORMAT(1X,T10,F7.4,6X,FB.1)
CONTINUE
RETURN
END
C
SUBROUTINE ENTER3
CHARACTER*72 IDSOL
COMMON/NS/NS
COMMON/DL/DL,CT
COMMON/YXL/YXL(400)
READ(3,*)IDSOL
READ(3,*)NS
READ(3,*)DL
DO 10 I=1,NS
  READ(3,*)YXL(I)
  WRITE(6,30)
  FORMAT(1X,/,/,IDENTIFICACAO DO TERRENO:.,/)
  RETURN
END
C
SUBROUTINE FMOLA(HM,D,K)
COMMON/NP/NP
COMMON/DXHM/DXHM(15,2)
COMMON/AK/AK(14),AKK
LOGICAL LOGICA
LOGICA=.FALSE.
IF(K.EQ.2) GO TO 100
DO 10 I=1,NP-1
  IF(LOGICA) GO TO 200
  AKK=AK(I)
  D=(HM-DXHM(I,2)+AKK*DXHM(I,1))/AKK
  LOGICA=.TRUE.
END IF
CONTINUE
IF(LOGICA) GO TO 200
  J=I+1
  IF(HM*GE.DXHM(I,2).AND.HM.LE.DXHM(J,2)) THEN
    AKK=AK(I)
    D=(HM-DXHM(I,2)+AKK*DXHM(I,1))/AKK
    LOGICA=.TRUE.
  END IF
CONTINUE
  IF(LOGICA) GO TO 200
  J=I+1
  IF(D*GE.DXHM(I,1).AND.D.LE.DXHM(J,1)) THEN
    AKK=AK(I)
    HM=AKK*(D-DXHM(I,1))+DXHM(I,2)
    LOGICA=.TRUE.
  END IF
CONTINUE
  IF(LOGICA) GO TO 200
C
DO 20 I=1,NP-1
  IF(LOGICA) GO TO 200
  FMOLA(1X,/,/,**FORCA MOLA FORA LIMITES DEFINICAO**.,FB.2)
  GO TO 200
C
END

```



```

IF(D.LT.DXHM(1.1)) THEN
  AKK=AK(1)
HM=-AKK*(DXHM(1.1)-D)+DXHM(1.2)
WRITE(6,60)D
FORMAT(1X,/,/,**DEFLEXAO MOLA FORA LIMITES DEFINICAO**,'F8.3)
END IF
LOGICA=.TRUE.
IF(LOGICA)GO TO 200
IF(D.GT.DXHM(NP,1)) THEN
  AKK=AK(NP-1)
HM=AKK*(D-DXHM(NP,1))+DXHM(NP,2)
WRITE(6,60)D
END IF
CONTINUE
RETURN
END
C
SUBROUTINE ZP(EP,Z,XI,1)
COMMON/R/R(400)
COMMON/NS/NS
COMMON/DL/DL,CT
COMMON/YXL/YXL(400)
IF(EP.GT.CT) GO TO 100
IF(EP.LT.O.) GO TO 200
Z=YXL(1)+R(1)*(EP-XI)
GO TO 300
Z=YXL(NS)
WRITE(6,50)EP
GO TO 300
Z=YXL(1)
WRITE(6,50)EP
FORMAT(1X,/,/,**EP (ESP.PERCORRIDO) FORA LIMITES TERREND**,'F8.2)
CONTINUE
RETURN
END
C
SUBROUTINE VINDIN(TI,M)
COMMON/ULT/UT(1500),DU1(1500),DU2(1500),DU3(1500)
COMMON/VALIN/XI1,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91,X101
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK5,AK10
COMMON/VAREST/X1(1500),X2(1500),X3(1500),X4(1500),X5(1500),
X6(1500),X7(1500),X8(1500),X9(1500),X10(1500)
COMMON/DFX1/DFX1(1500),DFZX1(1500),DFZX2(1500),DFZX3(1500),
DFZX4(1500),DFZX5(1500),DFZX7(1500),DFZX8(1500),DFZX9(1500),
DFZX10(1500),DFZX11(1500),DFZX12(1500),DFZX13(1500),
DFZX14(1500),DFZX15(1500),DFZX16(1500),DFZX17(1500),
DFZX18(1500),DFZX19(1500),DFZX20(1500),DFZX21(1500),
DFZX22(1500),DFZX23(1500),DFZX24(1500),DFZX25(1500),
DFZX26(1500),DFZX27(1500),DFZX28(1500),DFZX29(1500),
DFZX30(1500),DFZX31(1500),DFZX32(1500),DFZX33(1500),
DFZX34(1500),DFZX35(1500),DFZX36(1500),DFZX37(1500),
DFZX38(1500),DFZX39(1500),DFZX40(1500),DFZX41(1500),
DFZX42(1500),DFZX43(1500),DFZX44(1500),DFZX45(1500),
DFZX46(1500),DFZX47(1500),DFZX48(1500),DFZX49(1500),
DFZX50(1500),DFZX51(1500),DFZX52(1500),DFZX53(1500),
DFZX54(1500),DFZX55(1500),DFZX56(1500),DFZX57(1500),
DFZX58(1500),DFZX59(1500),DFZX60(1500)
COMMON/PHI/YT(10),PHI(10)
COMMON/KS/AKS
DIMENSION Y(10),XF(10),XIN1(3),XIN2(3)

```

C

```

REAL MASSA1,MASSA2
COMMON/M/MASSA1,MASSA2,AKF
COMMON/VEL/VELOC
COMMON/NP/NP
COMMON/DXHM/DXHM(15,2)
COMMON/NS/NS
COMMON/YXL/YXL(400)
COMMON/EP/EP
COMMON/DL/DL,CT
COMMON/RMS/ARMS,ACMIN,ACMAX,DPRMS,P1RMS,P2RMS
COMMON/VMIN/VMIN,FAMMIN
COMMON/VMAX/VMAX,FAMMAX
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/DEFL/DEFLC(1500)
COMMON/VR/VR,VR2,VR3
COMMON/T/T,TT
COMMON/VALFIN/X6F,X9F,X10F
COMMON/P/P1,P2
COMMON/AK/AK(14),AKK
COMMON/R/R(400)
COMMON/RODA/WRAD,SH,NSEG,DSEG(24),SE6K(24),CX(24),CY(24)
COMMON/TS/TS(1500),FST(1500),XP2(1500),XP8(1500),HHP(1500),
1HHT(1500)
T=11
ACMIN=0.
ACMAX=0.
VMIN=0.
VMAX=0.
FAMMIN=0.
FAMMAX=0.
K=10
X1(1)=X11
X2(1)=X21
X3(1)=X31
X4(1)=X41
X5(1)=X51
X6(1)=X61
X7(1)=X71
X8(1)=X81
X9(1)=X91
X10(1)=X101
N=1
Y(1)=X1(1)
Y(2)=X2(1)
Y(3)=X3(1)
Y(4)=X4(1)
Y(5)=X5(1)
Y(6)=X6(1)
Y(7)=X7(1)
Y(8)=X8(1)
Y(9)=X9(1)
Y(10)=X10(1)
X1=WRAD

```

```

EP=XI + T*VELDC
I=INT(EP/DL)
CALL ZP(EP,Z,XI,I)
TST(N)=Z
VR=XB(1)-XZ(1)
VRA(N)=VR
DEFLEC(N)=X7(1)-X1(1)
CALL FMOLA(HM,DEFLEC(N),Z)
FST(N)=HM
VRZ=VR*VR
VR3=VRZ*VR
HA(N)=X3(N)*VR+X4(N)*VR2+X5(N)*VR3
HHP(N)=DELT(1-TST(N))-X7(N)
ARG=HA(N)*VR
HH1(N)=H1(ARG)
XP(Z)=0.
XP2(N)=0.
XP8(N)=0.
CALL LU(N)
FTY=P1+P2
VRA=WRAD+X7(1)-0.01
CALL FPNEU(EP,VRA,FTY1,Z)
DFY=- (FTY1-FTY)/0.01
CALL FX(N,XP,Z,DFY)
N=N+1
L=N-1
T=T1+L*DT
IF(TT-T) 90,60,60
EP=T*VELDC+XI
J=0
CALL DERIVD(Y,XP,L,DFY)
CALL KUTTA(Y,XP,J,K)
J=J+1
IF(J.NE.4) GO TO 20
VMIN=AMINI(VR,VMIN)
VMAX=AMAXI(VR,VMAX)
ACMIN=AMINI(XP(Z),ACMIN)
ACMAX=AMAXI(XP(Z),ACMAX)
FAMMIN=AMINI(HA(N),FAMMIN)
FAMMAX=AMAXI(HA(N),FAMMAX)
X1(N)=Y(1)
X2(N)=Y(2)
X3(N)=Y(3)
X4(N)=Y(4)
X5(N)=Y(5)
X6(N)=Y(6)
X7(N)=Y(7)
X8(N)=Y(8)
X9(N)=Y(9)
X10(N)=Y(10)
CALL LU(N)
CALL FX(N,XP,Z,DFY)
GO TO 70
X6F=X6(L)

```

90

20

60

70

```

X9F=X9(L)
X10F=X10(L)
M=L
ARMS=SQRT(X6F)/9.8066
DPRMS=SQRT(X9F)
P1RMS=0.
P2RMS=0.
N=0
K=N
DO 110 K1=1,3
J=K+K1
X1N1(K1)=XP2(J)*XP2(J)*XZ(J)*XZ(J)
X1N2(K1)=XP8(J)*XP8(J)*XB(J)*XB(J)
CONTINUE
P1RMS=SIMPUN(DI,X1N1)+P1RMS
P2RMS=SIMPUN(DI,X1N2)+P2RMS
N=N+Z
IF(N-M) 100,120,120
CONTINUE
P1RMS=MASSA1*SQRT(P1RMS/TT)
P2RMS=MASSA2*SQRT(P2RMS/TT)
RETURN
END
SUBROUTINE LU(K)
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/ULT/U1(1500),U2(1500),U3(1500),DU1(1500),DU2(1500),DU3(1500),DUZ(1500),DUZ2(1500),DUZ3(1500)
DLU1(K)=2.*AK1*U1(K)
DLU2(K)=2.*AK2*U2(K)
DLU3(K)=2.*AK3*U3(K)
RETURN
END
SUBROUTINE FX(K,XP,Z,DVY)
COMMON/VALIN/X11,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91,X101
DIMENSION XP(10)
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/VAREST/X1(1500),X2(1500),X3(1500),X4(1500),X5(1500),X6(1500),X7(1500),X8(1500),X9(1500),X10(1500)
COMMON/DFX1/DFX1(1500),DFX2(1500),DFX3(1500),DFX4(1500),DFX5(1500),DFX6(1500),DFX7(1500),DFX8(1500),DFX9(1500),DFX10(1500)
COMMON/DFX11/DFX11(1500),DFX12(1500),DFX13(1500),DFX14(1500),DFX15(1500),DFX16(1500),DFX17(1500),DFX18(1500),DFX19(1500),DFX20(1500)
COMMON/TE/T1(1500),T2(1500),T3(1500),T4(1500),T5(1500),T6(1500),T7(1500),T8(1500),T9(1500),T10(1500)
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/DEF/DEF(1500)
COMMON/DEFLEC/DEFLEC(1500)

```

C

C

120

110

100

```

COMMON/VR/VR,VR2,VR3
COMMON/AK/AK(14),AKK
DHAVR=X3(K)+2.*X4(K)*VR+3.*X5(K)*VR2
DF2X1(K)=-AKK/MASSA1
DF2X2(K)=-DHAVR/MASSA1
DF2X3(K)=VR/MASSA1
DF2X4(K)=VR2/MASSA1
DF2X5(K)=VR3/MASSA1
DF2X7(K)=-DF2X1(K)
DF2X8(K)=-DF2X2(K)
CO1=2.*XP(Z)/TT
DF6X1(K)=CO1*DF2X1(K)
DF6X2(K)=CO1*DF2X2(K)
DF6X3(K)=CO1*DF2X3(K)
DF6X4(K)=CO1*DF2X4(K)
DF6X5(K)=CO1*DF2X5(K)
DF6X7(K)=CO1*DF2X7(K)
DF6X8(K)=CO1*DF2X8(K)
CO2=-MASSA1/MASSA2
DF8X1(K)=CO2*DF2X1(K)
DF8X2(K)=CO2*DF2X2(K)
DF8X3(K)=CO2*DF2X3(K)
DF8X4(K)=CO2*DF2X4(K)
DF8X5(K)=CO2*DF2X5(K)
DF8X7(K)=CO2*DF2X7(K)+DFY/MASSA2
DF8X8(K)=CO2*DF2X8(K)
DF9X7(K)=2.*((X7(K)-Z)*HHP(K)-X71)/TT
DF10X2(K)=-DHAVR*VR-HA(K))*HHT(K)
DF10X3(K)=VR2*HHT(K)
DF10X4(K)=VR3*HHT(K)
DF10X5(K)=VR2*VR2*HHT(K)
DF10X8(K)=(DHAVR*VR+HA(K))*HHT(K)
RETURN
END
SUBROUTINE DERIVD(X,XP,N,DFY)
COMMON/UL/UL(1500),DLU1(1500),DLU2(1500),DLU3(1500),
COMMON/UL/UL(1500),DLU1(1500),DLU2(1500),DLU3(1500),
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/DT/DT
COMMON/VALIN/X11,X21,X31,X41,X51,X61,X71,X81,X91,X101
REAL MASSA1,MASSA2
COMMON/EP/EP
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/DFL/DFLEC(1500)
COMMON/T/T,TT
COMMON/F/F,FT,PZ
COMMON/AK/AK(14),AKK
COMMON/R/R(400)
COMMON/M/MASSA1,MASSA2,AKF
COMMON/VEL/VELLOC
COMMON/DXHM/DXHM(15,2)
COMMON/NS/NS
COMMON/YXL/YXL(400)

```

C

```
COMMON/DL/DL,CT
COMMON/VR/VR,VR2,VR3
DIMENSION X(10),XP(10)
COMMON/TS/TST(1500),FST(1500),XP2(1500),XPB(1500),HHP(1500),
1HHT(1500)
COMMON/RODA/WRAD,SH,NSEG,DSEG(24),SEGK(24),CX(24),CY(24)
```

```
I=INT(EP/DL)
J=I+1
XI=I*DL
CALL ZFP(EP,Z,XI,J)
VR=X(8)-X(2)
K=N+1
VRA(K)=VR
TST(K)=Z
VRA=WRAD+X(7)
CALL FPNEU(EP,VRA,FTY,2)
VRA=VRA-0.01
CALL FPNEU(EP,VRA,FTY1,2)
DFY=- (FTY1-FTY)/0.01
HHP(K)=DELTP(Z-X(7))
DEFLEC(K)=X(7)-X(1)
CALL FMOLA(HM,DEFLEC(K),2)
FST(K)=HM
VR2=VR*VR
VR3=VR2*VR
HA(K)=X(3)*VR+X(4)*VR2+X(5)*VR3
ARG=HA(K)*VR
HHT(K)=HT(ARG)
XP(1)=X(2)
XP(2)=(HM+HA(K)-P1)/MASSA1
XP2(K)=XP(2)
XP(3)=U1(N)
XP(4)=U2(N)
XP(5)=U3(N)
XP(6)=XP(2)*XP(2)/TT
XP(7)=X(8)
XP(8)=(FTY-HM-HA(K)-P2)/MASSA2
XPB(K)=XP(8)
XF(9)=((X(7)-Z)*HHP(K)-X71)**2)/TT
XP(10)=ARG*HHT(K)
RETURN
END
SUBROUTINE KUTTA(Y,F,M,N)
COMMON/PHI/VT(10),PHI(10)
COMMON/DI/DI
DIMENSION Y(10),F(10)
H=DI
K=M+1
GO TO (2,3,4,5),K
DO 20 J=1,N
```

```

20  Y(J)=Y(J)
    PHI(J)=F(J)
    Y(J)=YT(J)+0.5*H*F(J)
    RETURN
DO 30 J=1,N
    PHI(J)=PHI(J)+2.*F(J)
    Y(J)=YT(J)+0.5*H*F(J)
    RETURN
DO 40 J=1,N
    PHI(J)=PHI(J)+2.*F(J)
    Y(J)=YT(J)+H*F(J)
    RETURN
DO 50 J=1,N
    PHI(J)=(PHI(J)+F(J))/6.
    Y(J)=YT(J)+H*PHI(J)
    RETURN
END
SUBROUTINE LAMBDA(K)
    COMMON/UL/UT(1500),DLUT(1500),DU1(1500),DU2(1500),DU3(1500),
    COMMON/LAMB/ALAMJ3(1500),ALAMJ4(1500),ALAMJ5(1500)
    COMMON/ALAM/ALAMJ(10),ALAMJP(10)
    COMMON/YT/YT(10),PHI(10)
    COMMON/DI/DI
    COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
    J=K
    C C C C
    CALCULO DOS HISTORICOS LAMBDAJ3/4/5 PARA CALC. DE IJJ
    ALAMJ3(J)=0.
    ALAMJ4(J)=0.
    ALAMJ5(J)=0.
    DO 10 NI=1,10
    ALAMJ(NI)=0.
    CONTINUE
    C ALAMJ(6) = 1. * AK4
    ALAMJ(6)=AK4
    ALAMJ(9)=AK9
    ALAMJ(10)=AK10
    M=0
    20  CALL DERI(J)
    CALL KUTTA2(M)
    M=M+1
    GO TO (21,21,21,50),M
    50  J=J-1
    T=(J-1)*DT
    ALAMJ3(J)=ALAMJ(3)
    ALAMJ4(J)=ALAMJ(4)
    ALAMJ5(J)=ALAMJ(5)
    IF(T) 60,60,70
    70  GO TO 20
    RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DERI(K)
COMMON/ALAM/ALAMJ(10),ALAMP(10)
COMMON/DFX1/DFX1(1500),DFX2(1500),DFX3(1500),DFX4(1500),
2DFX5(1500),DFX7(1500),DFX8(1500),DFX9(1500),DFX10(1500),
3DFX11(1500),DFX12(1500),DFX13(1500),DFX14(1500),DFX15(1500),
4DFX17(1500),DFX18(1500),DFX19(1500),DFX20(1500),
5DFX21(1500),DFX22(1500),DFX23(1500),DFX24(1500),
6DFX25(1500),DFX27(1500),DFX28(1500),DFX29(1500),
7DFX30(1500),DFX31(1500),DFX32(1500),DFX33(1500),
8DFX34(1500),DFX35(1500),DFX36(1500),DFX37(1500),
9DFX38(1500),DFX39(1500),DFX40(1500),DFX41(1500),
10DFX42(1500),DFX43(1500),DFX44(1500),DFX45(1500),
11DFX46(1500),DFX47(1500),DFX48(1500),DFX49(1500),
12DFX50(1500),DFX51(1500),DFX52(1500),DFX53(1500),
13DFX54(1500),DFX55(1500),DFX56(1500),DFX57(1500),
14DFX58(1500),DFX59(1500),DFX60(1500),DFX61(1500),
15DFX62(1500),DFX63(1500),DFX64(1500),DFX65(1500),
16DFX66(1500),DFX67(1500),DFX68(1500),DFX69(1500),
17DFX70(1500),DFX71(1500),DFX72(1500),DFX73(1500),
18DFX74(1500),DFX75(1500),DFX76(1500),DFX77(1500),
19DFX78(1500),DFX79(1500),DFX80(1500),DFX81(1500),
20DFX82(1500),DFX83(1500),DFX84(1500),DFX85(1500),
21DFX86(1500),DFX87(1500),DFX88(1500),DFX89(1500),
22DFX90(1500),DFX91(1500),DFX92(1500),DFX93(1500),
23DFX94(1500),DFX95(1500),DFX96(1500),DFX97(1500),
24DFX98(1500),DFX99(1500),DFX100(1500),
25ALAMP(1) = -DFX1(K)*ALAMJ(2) - DF6X1(K)*ALAMJ(6) - DF8X1(K)*ALAMJ(8)
ALAMPJ(2) = -ALAMJ(1) - DF2X2(K)*ALAMJ(2) - DF6X2(K)*ALAMJ(6) -
1DFX2(K)*ALAMJ(8) - DF10X2(K)*ALAMJ(10)
ALAMPJ(3) = -DF2X3(K)*ALAMJ(2) - DF6X3(K)*ALAMJ(6) - DF8X3(K)*ALAMJ(8)
2DFX3(K)*ALAMJ(10)
ALAMPJ(4) = -DF2X4(K)*ALAMJ(2) - DF6X4(K)*ALAMJ(6) - DF8X4(K)*ALAMJ(8)
3DFX4(K)*ALAMJ(10)
ALAMPJ(5) = -DF2X5(K)*ALAMJ(2) - DF6X5(K)*ALAMJ(6) - DF8X5(K)*ALAMJ(8)
4DFX5(K)*ALAMJ(10)
ALAMPJ(6) = 0.
5ALAMPJ(7) = -DF2X7(K)*ALAMJ(2) - DF6X7(K)*ALAMJ(6) - DF8X7(K)*ALAMJ(8)
6DFX7(K)*ALAMJ(10)
ALAMPJ(8) = -DF2X8(K)*ALAMJ(2) - DF6X8(K)*ALAMJ(6) - DF8X8(K)*ALAMJ(8)
7DFX8(K)*ALAMJ(10)
ALAMPJ(9) = 0.
8ALAMPJ(10) = 0.
RETURN
END
SUBROUTINE KUTAZ(M)
COMMON/DT/DT
COMMON/YT/YT(10),PHI(10)
COMMON/ALAM/ALAMJ(10),ALAMP(10)
DTN=-DT
H=DTN
K=M+1
GO TO (2,3,4,5),K
DO 20 J=1,10
YT(J)=ALAMJ(J)
PHI(J)=ALAMP(J)
ALAMJ(J)=YT(J)+0.5*H*ALAMP(J)
CONTINUE
RETURN
DO 30 J=1,10
PHI(J)=PHI(J)+Z.*ALAMP(J)
ALAMJ(J)=YT(J)+0.5*H*ALAMP(J)
CONTINUE
RETURN
DO 40 J=1,10
PHI(J)=PHI(J)+Z.*ALAMP(J)
ALAMJ(J)=YT(J)+H*ALAMP(J)
CONTINUE
RETURN
DO 50 J=1,10
PHI(J)=(PHI(J)+ALAMP(J))/6.

```

C
2
3
4
5


```

ALAMJ(J)=YI(J)+H*PHI(J)
CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE MATRIX(M)
  REAL IJ,BETA1,BETA2,BETA3,M3,M4,M5
  COMMON/MATM/W1,W2,W3
  COMMON/MATM/M3,M4,M5
  COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
  COMMON/PP/IJJ
  COMMON/DI/DT
  COMMON/LAMBDA/ALAMJ3(1500),ALAMJ4(1500),ALAMJ5(1500)
  COMMON/UL/UL1(1500),UL2(1500),UL3(1500)
  COMMON/UT/UT1(1500),UT2(1500),UT3(1500)
  DIMENSION E(3)
  IJJ=0.
  N=0
  K=N
  DO 30 K1=1,3
    J=K+K1
    BETA1=ALAMJ3(J)+2.*AK1*UL1(J)
    BETA2=ALAMJ4(J)+2.*AK2*U2(J)
    BETA3=ALAMJ5(J)+2.*AK3*U3(J)
    E(K1)=BETA1*BETA1*BETA1+W1+BETA2*BETA2+W2+BETA3*BETA3*W3
  CONTINUE
  IJJ=SIMFUN(DT,E)+IJJ
  N=N+2
  IF(N-M) 10,50,50
  CONTINUE
  IJJ=IJJ+ALAMJ3(1)*ALAMJ3(1)+ALAMJ4(1)*ALAMJ4(1)+M4+
  ALAMJ5(1)*ALAMJ5(1)*M5
  RETURN
END
FUNCTION SIMFUN(DT,Y)
  DIMENSION Y(3)
  SIMFUN=DT*(Y(1)+4.*Y(2)+Y(3))/3.
RETURN
END
SUBROUTINE DELU(M)
  REAL IJJ
  COMMON/PP/IJJ
  COMMON/UL/UL1(1500),UL2(1500),UL3(1500)
  COMMON/UT/UT1(1500),UT2(1500),UT3(1500)
  COMMON/LAMBDA/ALAMJ3(1500),ALAMJ4(1500),ALAMJ5(1500)
  COMMON/DS/DS
  COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
  COMMON/MATM/W1,W2,W3
  FATOR=-DS/SQRT(IJJ)
  DO 50 J=1,M
    DL1(J)=FATOR*(ALAMJ3(J)+2.*AK1*UL1(J))*W1
    DL2(J)=FATOR*(ALAMJ4(J)+2.*AK2*U2(J))*W2
  END

```

C
C
50
30
10
C
50

```

DU3(J)=FATOR*(ALAM05(J)+2.*AK3*U3(J))*W3
CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE IPR(U1,U2,U3,NFIN)
REAL IP,IP1,IP2,IP3
COMMON/IP1/IP,IP1,IP2,IP3
COMMON/VALFIN/X6F,X9F,X10F
COMMON/DI/DI
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
DIMENSION U1(500),U2(500),U3(500),SIG(3),FIN(3),GIN(3)
IP=0.
IP1=0.
IP2=0.
IP3=0.
N=0
K=N
DO 10 K1=1,3
  DD 10 K1=1,3
  J=K+K1
  SIG(K1)=AK1*U1(J)*U1(J)
  FIN(K1)=AK2*U2(J)*U2(J)
  GIN(K1)=AK3*U3(J)*U3(J)
CONTINUE
  IP1=SIMPUN(DI,SIG)+IP1
  IP2=SIMPUN(DI,FIN)+IP2
  IP3=SIMPUN(DI,GIN)+IP3
  N=N+2
  IF(N-NFIN)5,30,30
  IP=IP1+IP2+IP3+X6F*AK4+AK9*X9F+AK10*X10F
RETURN
END
SUBROUTINE SAIDA(M,L4,LIMP,KIMP)
REAL IP,IP1,IP2,IP3,IP4,IP9,IP10
COMMON/IP1/IP,IP1,IP2,IP3
COMMON/VAREST/X1(1500),X2(1500),X3(1500),X4(1500),X5(1500),
COMMON/VAREST/X1(1500),X2(1500),X3(1500),X4(1500),X5(1500),
COMMON/UL1/U1(1500),DU1(1500),DU2(1500),DU3(1500),
COMMON/UL1/U1(1500),DU1(1500),DU2(1500),DU3(1500),
COMMON/DI/DI
COMMON/VALFIN/X6F,X9F,X10F
COMMON/CTE/AK1,AK2,AK3,AK4,AK9,AK10
COMMON/VMIN/VMIN,FAMIN
COMMON/VMAX/VMAX,FAMAX
COMMON/HA/HA(1500),VRA(1500)
COMMON/RMS/ARMS,ACMIN,ACMAX,DPRMS,P1RMS,P2RMS
COMMON/DEFL/DEFLC(1500)
COMMON/YXL/YXL(400)
COMMON/RATE/RATE
COMMON/TS/TS1(1500),FST(1500),XPZ(1500),XPB(1500),HHP(1500),
THT(1500)

```

C

C

30

10

5

C

50

```

WRITE(6,100)L4
IF(LIMP.EQ.1) THEN
  IMP=KIMP
ELSE
  IMP=10
END IF
DO 10 I=1,M,IMP
  T=(I-1)*DT
  WRITE(6,200)T,X1(I),X2(I),X3(I),X4(I),X5(I),U1(I),U2(I),U3(I),
  IDEFLEC(I),FST(I),TST(I)
C
WRITE(6,300)RATE
WRITE(6,310)VMIN,VMAX
WRITE(6,320)ACMIN,ACMAX,ARMS,DPRMS,PTRMS,FAMMAX
WRITE(6,400)FAMMIN,FAMMAX
C
IP4=X6F #AK4
IP9=X9F #AK9
IP10=X10F #AK10
WRITE(6,50)IP
WRITE(6,60)IP
FORMAT(1X, //2(3G14.8,4X), //)
FORMAT(1H1, //,132(*), //,1X,132(*), //,10X, SOLUCAO COM ,13, IT
TERACOES, //,1X,14, T,114, X1,124, X2,134, X3,144, X4,154, X5
2,164, U1,174, U2,184, U3,191, DEF.MOLA,1103, FO.MOLA,1117, Z
3, //,1X,13, (S),113, (M),1123, (M/S),1132,
4 (KG/S),1142, (KG/M),1151, (KG.S/M2),1162, (KG/S2),1171, (KG/M.S),
5,182, (KG/M2),1194, (M),1106, (N),1116, (M), //)
FORMAT(1X,12(9.3,1X))
I=INT(M/2)
WRITE(6,55) L4,L4,L4
FORMAT(1X, //,14, A1( //,12, //,122, A2( //,12, //,140, A3( //,12, //))
WRITE(6,50)X3(I),X4(I),X5(I),X3(M),X4(M),X5(M)
C
FORMAT(1X, //,110, RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): ,E9.3)
FORMAT(1X, //,110, VMIN (M/S) = ,F9.3,5X, VMAX (M/S) = ,F9.3)
FORMAT(1X, //,110, ACPMIN (M/S2) = ,F9.3,3X, ACPMAX (M/S2) = ,F9.3, /,
110, ARMS (G) = ,F9.3,3X, DPRMS (M) = ,F9.4, //,110, PTRMS (M) = ,
ZET0.3,3X, PTRMS (M) = ,E10.3)
FORMAT(1X, //,110, FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = ,F9.1, //,110, FORCA M
AX. AMORTECEDOR (N) = ,F9.1)
RETURN
END
SUBROUTINE DELX1
REAL IJ3,M3,M4,M5
COMMON/MATM/M3,M4,M5
COMMON/PP/IJJ
COMMON/DELX0/DELX03,DELX04,DELX05
COMMON/LAMB0/LAMB03(1500),LAMB04(1500),LAMB05(1500)
COMMON/DS/DE
FATOR=-DS/SORT(IJJ)

```

```

DELX03=FATOR*ALAMJ3(1)*M3
DELX04=FATOR*ALAMJ4(1)*M4
DELX05=FATOR*ALAMJ5(1)*M5
RETURN
END
FUNCTION DELTP(DP)
IF(DP.GT.0.) THEN
DELTP=1.
ELSE
DELTP=0.
END IF
RETURN
END
FUNCTION H1(ARG)
COMMON/KS/AKS
COMMON/VAREST/X1(1500),X2(1500),X3(1500),X4(1500),X5(1500),
X6(1500),X7(1500),X8(1500),X9(1500),X10(1500)
IF(ARG.GE.0.) THEN
H1=0.
ELSE
H1=-AKS
END IF
RETURN
END
SUBROUTINE FPNEU(X1,Y1,FTY,IFLAG)
COMMON/R/R(400)
COMMON/R0DA/WRAD,SH,NSEG,DSEG(24),SEGK(24),CX(24),CY(24)
COMMON/NS/NS
COMMON/DL/DL,CT
COMMON/YXL/YXL(400)
DIMENSION VVV(2),AA(2),Y11(2),TMAG(24),RXY(2,24)
DTR=3.141592653/180.
GO TO (1,2),IFLAG
CONTINUE
DO 1065 I=1,NSG
DSEG(I)=DSEG(I)*DTR
CX(I)=SIN(DSEG(I))*WRAD
CY(I)=-COS(DSEG(I))*WRAD
CONTINUE
1065
CALCULO DA DEFLEXAO INICIAL DO PNEU
NNN=NSG
XRET=X1-WRAD
XFET=X1+WRAD
ITR=2
IDF=SH/20.
N=0
Y11(1)=0.
ERRD=0.5
CONTINUE
40

```

40

C
C
C

1065

1

C

C

C

```

N=N+1
Y11(Z)=N*DF
CONTINUE
Y11(Z)=WRAD-Y11(Z)
VVV(1)=0.
VVV(2)=0.
DO 5325 I=1,NNN
RXY(1,I)=X1+CX(I)
RXY(2,I)=Y1+CY(I)
CONTINUE
DO 5350 I=1,NNN
DMIN=1.E10
SM=CY(I)/CX(I)
KTR=1TR
XZ=0.
Y2=YXL(KTR-1)
CONTINUE
X3=XZ+DL
Y3=YXL(KTR)
ST=(Y2-Y3)/(X2-X3)
IF (SM-ST) 5331,5330,5331
XX=1.E35
GO TO 5333
XX=(Y2-Y1+SM*X1-ST*X2)/(SM-ST)
YY=ST*(X-X2)+Y2
KERR=KBTWN(X2,XX,X3)
GO TO (5332,5336),KERR
KERS=KBTWN(Y2,YY,Y3)
GO TO (5334,5336),KERS
KERT=KBTWN(X1,XX,RXY(1,I))
GO TO (5335,5336),KERT
KERU=KBTWN(Y1,YY,RXY(2,I))
GO TO (5340,5336),KERU
IF (XFET-X3) 5350,5350,5338
KTR=KTR+1
XZ=X3
Y2=Y3
GO TO 5329
DMIN=SQRT((XX-X1)**2+(YY-Y1)**2)
IF (DMIN-DMIN) 5341,5341,5336
DMIN=DMIN1
RXY(1,I)=XX
RXY(2,I)=YY
GO TO 5336
CONTINUE
5350
CONTINUE
DO 5356 I=1,NNN
RXY(1,I)=X1-RXY(1,I)
RXY(2,I)=Y1-RXY(2,I)
CONTINUE
DO 5357 I=1,NNN
AA(1)=RXY(1,I)
AA(2)=RXY(2,I)
TMAG(I)=SQRT(AA(1)**2+AA(2)**2)

```

```

5432 KERS=KBTWN(YZ,YY,Y3)
5431 GO TO (5432,5436),KERR
5430 KERR=KBTWN(X2,XX,X3)
5429 YY=ST*(XX-X2)+YZ
5428 XX=(YZ-Y1+SM*X1-ST*X2)/(SM-ST)
5427 GO TO 5433
5426 XX=1.E35
5425 IF (SM-ST) 5431,5430,5431
5424 ST=(YZ-Y3)/(X2-X3)
5423 Y3=YXL(KTR)
5422 X3=X2+DL
5421 CONTINUE
5420 Y2=YXL(KTR-1)
5419 X2=(KTR-2)*DL
5418 KTR=1TR
5417 SM=CY(I)/CX(I)
5416 DMIN=1.E10
5415 DO 5450 I=1,NNN
5414 CONTINUE
5413 RXY(2,I)=Y1+CY(I)
5412 RXY(1,I)=X1+CX(I)
5411 DO 5425 I=1,NNN
5410 VVV(2)=0.
5409 VVV(1)=0.
5408 ITR=2+INT(XRET/DL)
5407 XRET=X1-WRAD
5406 XFET=X1+WRAD
5405 NNN=NSEG
5404 CONTINUE
5403 Z
5402 C
5401 GO TO 45
5400 END IF
5399 Y11(2)=(Y11(1)+Y11(2))/2.
5398 ELSE
5397 RETURN
5396 Y1=-Y11(2)
5395 IF ((VVV(2)-FTV).LE.ERROR) THEN
5394 C
5393 RETURN
5392 FORMAT(1X,/,2(F10.2,3X),/)
5391 Y1=-Y11(2)
5390 GO TO 40
5389 Y11(1)=Y11(2)
5388 IF (VVV(2)-FTV) 50,60,70
5387 CONTINUE
5386 DO 5359 I=1,NNN
5385 VVV(2)=VVV(2)+TMAG(I)*RXY(2,I)
5384 VVV(1)=VVV(1)+TMAG(I)*RXY(1,I)
5383 DO 5358 I=1,NNN
5382 TMAG(I)=(WRAD-TMAG(I))*SEGK(I)
5381 CONTINUE
5380 DO 5357 I=1,NNN
5379 RXY(2,I)=AA(2)/TMAG(I)
5378 RXY(1,I)=AA(1)/TMAG(I)

```

```

5434 GO TO (5434,5436),KERS
      KERT=KBTWN(X1,XX,RXY(1,1))
      GO TO (5435,5436),KERT
      KERU=KBTWN(Y1,YY,RXY(2,1))
      GO TO (5440,5436),KERU
      IF (XFET-X3) 5450,5450,5438
      KTR=KTR+1
      XZ=X3
      YZ=Y3
      GO TO 5429
      DMINT=SQRT((XX-X1)**2+(YY-Y1)**2)
      IF (DMINT-DMIN) 5441,5441,5436
      DMIN=DMINI
      RXY(1,1)=XX
      RXY(2,1)=YY
      GO TO 5436
      5450 CONTINUE
      5455 CONTINUE
      DO 5456 I=1,NNN
        RXY(1,I)=X1-RXY(1,I)
        RXY(2,I)=Y1-RXY(2,I)
      CONTINUE
      5456 DO 5457 I=1,NNN
        AA(1)=RXY(1,I)
        AA(2)=RXY(2,I)
        TMAG(I)=SQRT(AA(1)*AA(1)+AA(2)*AA(2))
        RXY(1,I)=AA(1)/TMAG(I)
        RXY(2,I)=AA(2)/TMAG(I)
      CONTINUE
      5457 DO 5458 I=1,NNN
        TMAG(I)=(WRAD-TMAG(I))*SEK(I)
      CONTINUE
      5458 DO 5459 I=1,NNN
        VVV(1)=VVV(1)+TMAG(I)*RXY(1,I)
        VVV(2)=VVV(2)+TMAG(I)*RXY(2,I)
      CONTINUE
      5459 FTY=VVV(2)
      RETURN
      END
C
FUNCTION KBTWN(A,P,B)
      IF (A-P)30,40,20
      IF (B-P)40,40,50
      IF (A < B ?
      IF (B-P)50,40,40
      RETURN VALIDO
      KBTWN=1
      RETURN
      C
      RETURN INVALIDO
      KBTWN=Z
      RETURN
      END
#EOF

```

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_1} = 0$$

(38) do capítulo III e (K) é referente à iteração K.

As funções f_1, \dots, f_n correspondem às relações

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (n \times n) \quad (K)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial u_1} &= 2 K_1 u_1 \\ \frac{\partial L}{\partial u_2} &= 2 K_2 u_2 \\ \frac{\partial L}{\partial u_3} &= 2 K_3 u_3 \end{aligned}$$

$$L = K_1 u_1^2 + K_2 u_2^2 + K_3 u_3^2$$

$$\frac{\partial L}{\partial u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial L}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial L}{\partial u_m} \end{bmatrix} \quad (1 \times m)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

DESENVOLVIMENTO DAS MATRIZES NECESSÁRIAS PARA A APLICAÇÃO DO
 MGO NO CASO DO MODELO DE SUSPENSÃO PASSIVA

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = -$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f}{\partial a} \frac{\partial a}{\partial x_2} = \left(x_3 + 2x_4 + 3x_5 + d_2 \right) \frac{1}{m_1}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f}{\partial m} = - \frac{\partial f}{\partial x_1}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} d_3 = \frac{\partial f}{\partial x_2} (x_8 - x_2)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} d_2 = \frac{\partial f}{\partial x_2} (x_8 - x_2)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f}{\partial a} = \frac{1}{m_1} d_1 = \frac{\partial f}{\partial x_2} (x_8 - x_2)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f}{\partial a} \frac{\partial a}{\partial x_2} = \left(x_3 + 2x_4 + 3x_5 + d_2 \right) \frac{1}{m_1}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial x_2} = - \frac{\partial f}{\partial x_1}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = \frac{\partial f}{\partial x_4} = \frac{\partial f}{\partial x_5} = \frac{\partial f}{\partial x_6} = \frac{\partial f}{\partial x_7} = \frac{\partial f}{\partial x_8} = \frac{\partial f}{\partial x_9} = \frac{\partial f}{\partial x_{10}} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = 1$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = \frac{\partial f}{\partial x_4} = \frac{\partial f}{\partial x_5} = 0, \quad i = 1, \dots, 10$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_1} = 2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{1}{\partial x_1}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_2} = 2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{1}{\partial x_2}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_3} = \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_3} = 2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{1}{\partial x_3}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_4} = \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_4} = 2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{1}{\partial x_4}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_5} = \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_5} = 2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{1}{\partial x_5}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_6} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_7} = \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_7} = 2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{1}{\partial x_7}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_8} = \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_8} = 2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{1}{\partial x_8}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_9} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_{10}} = 0$$

numericamente por meio de diferença finita.

No caso do modelo de roda RS, $\frac{\partial f_p}{\partial p}$ é calculada

$$f_p = \begin{cases} 0 & \text{quando } dp = 0 \\ Kp \cdot dp & \text{quando } dp > 0 \end{cases}$$

modelo de roda PS,

pois $dp = y - x_7$, e f_p é a força do contato pneu-solo. No caso do

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_7} = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_7} + \frac{1}{m_2} \frac{\partial f_p}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial x_7} = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_7} - \frac{1}{m_2} \frac{\partial f_p}{\partial p}$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_6} = 0$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_5} = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_5}$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_4} = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_4}$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_3} = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_3}$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_2} = \frac{1}{m_2} \left(x_3 + 2x_4 + 3x_5 + d_2^2 \right) = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_2}$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_1} = \frac{1}{m_2} \frac{\partial f_m}{\partial d} = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_1}$$

$$\frac{\partial f_7}{\partial x_8} = 1$$

$$\frac{\partial f_7}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1, \dots, 10 \quad \text{e } i \neq 8$$

$$\frac{\partial f_{10}}{\partial x_8} = \left(\frac{\partial f_a}{\partial \dot{x}_8} \frac{\partial \dot{x}_8}{\partial d} + f_a(d) \right) \frac{\partial d}{\partial x_8} = {}_1 H_1$$

$$\frac{\partial f_{10}}{\partial x_5} = d^4 {}_1 H_1$$

$$\frac{\partial f_{10}}{\partial x_4} = d^3 {}_1 H_1$$

$$\frac{\partial f_{10}}{\partial x_3} = d^2 {}_1 H_1$$

$$= [- (x_3 + 2x_4 + 3x_5 + d^2 x^5 + d^3 x^3 + d^4 x^4 + d^5 x^5)] {}_1 H_1$$

$$\frac{\partial f_{10}}{\partial x_2} = \left(\frac{\partial f_a}{\partial \dot{x}_2} \frac{\partial \dot{x}_2}{\partial d} + f_a(d) \right) \frac{\partial d}{\partial x_2} = {}_1 H_1$$

$$\frac{\partial f_{10}}{\partial x_1} = \frac{\partial f_{10}}{\partial x_6} = \frac{\partial f_{10}}{\partial x_7} = \frac{\partial f_{10}}{\partial x_9} = 0$$

$$\frac{\partial f_9}{\partial x_7} = -\frac{1}{2} (dp - dp^2)$$

$$\frac{\partial f_9}{\partial x_1} = 0, \quad i = 1, \dots, 10 \quad \text{e} \quad i \neq 7$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_{10}} = 0$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_9} = 0$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_8} = -\frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_8}$$

$$\begin{array}{l}
 \frac{\partial f_1}{\partial x_1} = \frac{\partial f_1}{\partial x_2} = \frac{\partial f_1}{\partial x_3} = 0 \\
 \frac{\partial f_2}{\partial x_1} = \frac{\partial f_2}{\partial x_2} = \frac{\partial f_2}{\partial x_3} = 0 \\
 \frac{\partial f_3}{\partial x_1} = \frac{\partial f_3}{\partial x_2} = \frac{\partial f_3}{\partial x_3} = 1 \\
 \frac{\partial f_4}{\partial x_1} = \frac{\partial f_4}{\partial x_2} = \frac{\partial f_4}{\partial x_3} = 0 \\
 \frac{\partial f_5}{\partial x_1} = \frac{\partial f_5}{\partial x_2} = \frac{\partial f_5}{\partial x_3} = 0 \\
 \frac{\partial f_6}{\partial x_1} = \frac{\partial f_6}{\partial x_2} = \frac{\partial f_6}{\partial x_3} = 0 \\
 \frac{\partial f_7}{\partial x_1} = \frac{\partial f_7}{\partial x_2} = \frac{\partial f_7}{\partial x_3} = 0 \\
 \frac{\partial f_8}{\partial x_1} = \frac{\partial f_8}{\partial x_2} = \frac{\partial f_8}{\partial x_3} = 0 \\
 \frac{\partial f_9}{\partial x_1} = \frac{\partial f_9}{\partial x_2} = \frac{\partial f_9}{\partial x_3} = 0
 \end{array}$$

$$\frac{\partial f}{\partial u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial u_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial u_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial u_n} \end{bmatrix} \quad (K)$$

4)

$$= [(x_3 + 2x_2 + \epsilon x^s p_2) + p_3 x + p_4 x + p_5 x + p_6 x] H$$

para $j = 1, \dots, n$.

$$\lambda_j^{-1} = - \frac{\partial L}{\partial x_j} - \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{\partial x_i}{\partial f_j} = - \left(\frac{\partial x}{\partial f} \right)^T \lambda, \text{ pois } \frac{\partial L}{\partial x_j} = 0$$

Vínculos dinâmicos. Portanto:

calculados e armazenados no processo de solução numérica dos partir das condições finais $\lambda_j^f(t)$. Os valores de $\frac{\partial x}{\partial L}$ e de $\frac{\partial x}{\partial f}$ são Runge-Kutta de 4ª ordem, com passo de integração negativo, a A integração numérica é realizada pelo Método de de modo a se ter λ_j^f .

As equações diferenciais adjuntas devem ser resolvidas

$j = 1, \dots, n$

$$\lambda_j^f(t) = \left[\begin{array}{c} \frac{\partial x}{\partial \phi} \\ \frac{\partial x}{\partial f_j} \end{array} \right]^T$$

$$\lambda_j^{-1} = - \frac{\partial L}{\partial x_j} - \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{\partial x_i}{\partial f_j}$$

$$\lambda_j^{-1} = - \frac{\partial L}{\partial x_j} - \lambda_j^T \frac{\partial x}{\partial f}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} \quad (n \times 1)$$

5) λ

$$\frac{\partial f_{10}}{\partial u_1} = \frac{\partial f_{10}}{\partial u_2} = \frac{\partial f_{10}}{\partial u_3} = 0$$

onde $K^6 = K^a \in K^9 = K^d$.

$$\lambda^{10}(1) = \lambda^6(1) = \lambda^9(1) = \lambda^d(1)$$

$$0 = \lambda^8(1) =$$

$$= \lambda^1(1) = \lambda^2(1) = \lambda^3(1) = \lambda^4(1) = \lambda^5(1) = \lambda^7(1)$$

$$\lambda(1)$$

$$0 = \lambda^{10}$$

$$0 = \lambda^6$$

$$\lambda^8 = - \left(\lambda^2 \frac{\partial^8 x}{\partial f^2} + \lambda^6 \frac{\partial^8 x}{\partial f^6} + \lambda^7 + \lambda^8 \frac{\partial^8 x}{\partial f^8} + \lambda^{10} \frac{\partial^8 x}{\partial f^{10}} \right)$$

$$\lambda^7 = - \left(\lambda^2 \frac{\partial^7 x}{\partial f^2} + \lambda^6 \frac{\partial^7 x}{\partial f^6} + \lambda^8 \frac{\partial^7 x}{\partial f^8} + \lambda^9 \frac{\partial^7 x}{\partial f^9} \right)$$

$$\lambda^6 = 0$$

$$\lambda^5 = - \left(\lambda^2 \frac{\partial^5 x}{\partial f^2} + \lambda^6 \frac{\partial^5 x}{\partial f^6} + \lambda^8 \frac{\partial^5 x}{\partial f^8} + \lambda^{10} \frac{\partial^5 x}{\partial f^{10}} \right)$$

$$\lambda^4 = - \left(\lambda^2 \frac{\partial^4 x}{\partial f^2} + \lambda^6 \frac{\partial^4 x}{\partial f^6} + \lambda^8 \frac{\partial^4 x}{\partial f^8} + \lambda^{10} \frac{\partial^4 x}{\partial f^{10}} \right)$$

$$\lambda^3 = - \left(\lambda^2 \frac{\partial^3 x}{\partial f^2} + \lambda^6 \frac{\partial^3 x}{\partial f^6} + \lambda^8 \frac{\partial^3 x}{\partial f^8} + \lambda^{10} \frac{\partial^3 x}{\partial f^{10}} \right)$$

$$\lambda^2 = - \left(\lambda^1 + \lambda^2 \frac{\partial^2 x}{\partial f^2} + \lambda^6 \frac{\partial^2 x}{\partial f^6} + \lambda^8 \frac{\partial^2 x}{\partial f^8} + \lambda^{10} \frac{\partial^2 x}{\partial f^{10}} \right)$$

$$\lambda^1 = - \left(\lambda^2 \frac{\partial^1 x}{\partial f^2} + \lambda^6 \frac{\partial^1 x}{\partial f^6} + \lambda^8 \frac{\partial^1 x}{\partial f^8} \right)$$

$$I_{JJ} = \int_0^1 [W^1 (2K^1 u^1 + \lambda^3) + W^2 (2K^2 u^2 + \lambda^4) + W^3 (2K^3 u^3 + \lambda^5)] dt + M^3 \lambda^3 (0) + M^4 \lambda^4 (0) + M^5 \lambda^5 (0)$$

Portanto,

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W^1 & W^2 & W^3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ M^3 & M^4 & M^5 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Para o caso em questão, as matrizes M e W são definidas como

$$I_{JJ} = \int_0^1 H^u W^T H^u dt + M \lambda (0)$$

7) Determinação da integral I_{JJ}

(1 x m), m = 3

$$H^u = [(2K^1 u^1 + \lambda^3) (2K^2 u^2 + \lambda^4) (2K^3 u^3 + \lambda^5)]$$

6) $H^u = \frac{\partial L}{\partial t} + \lambda^1 \frac{\partial L}{\partial t}$

DESENVOLVIMENTO DAS MATRIZES NECESSÁRIAS PARA A APLICAÇÃO

DO MGPO NO CASO DO MODELO DE SUSPENSÃO ATIVA

1) $\frac{\partial L}{\partial x} = 0$

2) $\frac{\partial L}{\partial u}$

$\frac{\partial L}{\partial U} = 2 K U$

3) $\frac{\partial f}{\partial x}$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (K) \quad (n \times n)$$

As funções f_i , $i = 1, \dots, n$ correspondem às relações

(39) do capítulo III.

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_1} = 0$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_2} = 1$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_3} = \frac{\partial f_1}{\partial x_4} = \frac{\partial f_1}{\partial x_5} = \frac{\partial f_1}{\partial x_6} = 0$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_1} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f_m}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial x_1} = - \frac{1}{m_1} \frac{\partial f_m}{\partial d}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_2} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial x_2} = - \frac{1}{m_1} \left(A_1 + 2 A_2 d + 3 A_3 d^2 \right)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_3} = \frac{1}{m_1} \frac{\partial f_m}{\partial x_3} = - \frac{\partial f_2}{\partial x_1}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_4} = - \frac{\partial f_2}{\partial x_2}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_5} = 0$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_6} = 0$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial x_1} = \frac{\partial f_3}{\partial x_2} = \frac{\partial f_3}{\partial x_3} = \frac{\partial f_3}{\partial x_4} = \frac{\partial f_3}{\partial x_5} = \frac{\partial f_3}{\partial x_6} = 0$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial x_4} = 0$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial x_1} = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_1}$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial x_2} = - \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial f_2}{\partial x_2}$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial x_6} = 0$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial u} = 0$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial u} = \frac{1}{m_1}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial u} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial u} \\ \frac{\partial f}{\partial u} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial u} \\ \frac{\partial f}{\partial u} \end{bmatrix} \quad (n \times 1) \quad (K)$$

4)

$$\frac{\partial f}{\partial u}$$

$$\frac{\partial f_5}{\partial x_3} = -\frac{1}{2} (dp - dp^*)$$

$$\frac{\partial f_5}{\partial x_1} = \frac{\partial f_5}{\partial x_2} = \frac{\partial f_5}{\partial x_4} = \frac{\partial f_5}{\partial x_5} = \frac{\partial f_5}{\partial x_6} = 0$$

$$\frac{\partial f_8}{\partial x_5} = \frac{m_1}{m_2}$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial x_5} = 0$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial x_4} = \frac{m_1}{m_2}$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial x_3} = \frac{m_1}{m_2} \frac{\partial x_3}{\partial x_2} - \frac{1}{m_2} kp \quad (\text{para o modelo PS})$$

onde $K^5 = K^6 = K^a$.

$$\lambda^5(1) = K^5 \quad \lambda^6(1) = K^6$$

$$\lambda^1(1) = \lambda^2(1) = \lambda^3(1) = \lambda^4(1) = 0$$

$$\lambda(1)$$

$$\lambda^6 = 0$$

$$\lambda^5 = 0$$

$$\begin{aligned} \lambda^4 = - & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2} \lambda^2 + \lambda^3 + \lambda^4 \frac{\partial f_4}{\partial x_4} \lambda^4 + \lambda^6 \frac{\partial f_6}{\partial x_4} \lambda^6 \right) \\ \lambda^3 = - & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2} \lambda^2 + \lambda^4 \frac{\partial f_4}{\partial x_3} \lambda^4 + \lambda^5 \frac{\partial f_5}{\partial x_3} \lambda^5 + \lambda^6 \frac{\partial f_6}{\partial x_3} \lambda^6 \right) \\ \lambda^2 = - & \left(\lambda^1 + \lambda^2 \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \lambda^2 + \lambda^4 \frac{\partial f_4}{\partial x_2} \lambda^4 + \lambda^6 \frac{\partial f_6}{\partial x_2} \lambda^6 \right) \\ \lambda^1 = - & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2} \lambda^2 + \lambda^4 \frac{\partial f_4}{\partial x_1} \lambda^4 + \lambda^6 \frac{\partial f_6}{\partial x_1} \lambda^6 \right) \end{aligned}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda^1 \\ \lambda^2 \\ \lambda^3 \\ \lambda^4 \\ \lambda^5 \\ \lambda^6 \end{bmatrix} \quad (n \times 1)$$

5) λ

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_6}{\partial u} &= \frac{\partial f_6}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial u} = \frac{2x_2}{1} \frac{1}{m_1} \\ \frac{\partial f_5}{\partial u} &= 0 \\ \frac{\partial f_4}{\partial u} &= \frac{\partial f_4}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial u} = \frac{1}{m_2} \end{aligned}$$

$$I_{JJ} = W \int_1^0 \left(2K^U + \frac{1}{\lambda^2} \frac{m^1}{1} + \frac{2}{\lambda^4} \frac{m^2}{2x_2} + \frac{1}{\lambda^6} \frac{m^1}{1} \right) dt$$

$$\therefore \int_1^0 W^H dt = I_{JJ}$$

$$I_{JJ} = \int_1^0 W^H dt \quad ; \quad W = \text{escalar}$$

7) Determinação da integral I_{JJ}

(escalar)

$$H^n = 2K^U + \frac{1}{\lambda^2} \frac{m^1}{1} - \frac{1}{\lambda^4} \frac{m^2}{2x_2} + \frac{1}{\lambda^6} \frac{m^1}{1}$$

$$6) \quad H^n = \frac{\partial H}{\partial t} + \lambda^1 \frac{\partial H}{\partial \lambda}$$

SAÍDA DO PROGRAMA "AMTPASS" PARA PASSAGEM POR OBSTÁCULOS

APÊNDICE IX

PROGRAMA AMORTECEDOR

R001

DADOS DE ENTRADA: PARAMETROS DO SISTEMA E CONTROLE DO PROGRAMA

MASSAS, KG M1= 659.0
M2= 98.5
VELOCIDADE, M/S= 7.3

DT, S= .005
DS = 25R.

K1= .1000E+01
K2= .1000E+01
K3= .1000E+01
K4= .1000E+04
K9= .1000E+05
K10= .1000E+07

DADOS DO PNEU:

RAIO, M = .497
ALTURA DA SECCAO, M = .231

N. SEGMENTOS= 12
ANG. SEGMENTO, GRAUS = 10.0
RIG. ELASTICA SEGMENTO, N/M = .120E+06

X31= 2575.00
X41= .00
X51= .00

M3= 1.00 M1= .100E-06
M4= 1.00 M2= .100E-06
M5= .100 M3= .100E-06

1 DADOS DA SUSPENSÃO: NMX= 4 M= 1500

CURVA NA SUSPENSÃO: RIG.MOLA = 40247 N/M (FREQ.NAT. = 1.24 HZ)

NP= 9

DEFLEXÃO, M FORÇA, N

-4.0254 -R9044.0
.0000 -5797.0
.0188 -686.0
.0381 1536.0
.3048 12270.0
.3102 18735.0
.3556 16410.0

TRIC R9044.C

IDENTIFICACION DO TERRENO:

SEQUENCIA DE 5 PASTAJULOS DE H = 0.203 M, ESP = 5.89 M

COMPRIMENTO DO TERRENO, M = 30.55
TEMPO TOTAL DE TRAJETO, S = 4.03

CPNDS. INICIAIS X1, X2, X6, X7, X8, X9, X10: -1.854 .0000 -0.0249 .0000 .0000 .0000

1

SOLUCAO COM 1 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
0.500	-1.185	0.	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.161	.646E+04 0.	0.
1.00	-.181	-.911	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.152	.611E+04 0.	0.
1.50	-.379F-01	1.49	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.156	.627E+04 0.	0.
2.00	-.304	-.241	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.269	.108E+05 0.	0.
2.50	.122	-.271	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.292E-01	509.	0.
3.00	-.313	1.03	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.338	.245E+05 0.	.285E-01
3.50	.371	-1.03	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.250E-01	24.3	0.
4.00	.199	2.64	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.232E-01	-179.	0.
	.209	-2.43	.258E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.248E-01	2.04	0.

PAZAO DE CONVERGENCIA (PATEL): .000E+00

VMIN (M/S) = -3.359 VMAX (M/S) = 5.792

ACMIN (M/S2) = -17.037 ACPMAX (M/S2) = 133.857

APRMS (G) = 1.668 OPRMS (M) = .0230

P1RMS (M) = .181E+05 P2RMS (M) = .120E+05

FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -8650.0

FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 14810.6

C. 267500.85 0. 5.3013107 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP = 267506.152

A11 1) A21 1) A31 1)

2575.0000 0. 0. 0.
2575.0000 0. 0. 0.

1

SOLUCAO COM 2 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FO.MOLA (N)	Z (M)
0.	-1.1R5	0.	.266E+04	71.8	74.0	.819E-05	.718E-05	.740E-04	.161	.646E+04	0.
.500	-1.1H0	.976	.266E+04	71.8	74.0	.729E-05	.687E-05	.641E-04	.150	.604E+04	0.
1.00	-1.127E-01	1.49	.266E+04	71.8	74.0	.493E-05	.837E-05	.483E-04	.166	.670E+04	0.
1.50	-1.300	-.266	.266E+04	71.8	74.0	.336E-05	.700E-05	.464E-04	.205	.107E+05	0.
2.00	.120	-.295	.266E+04	71.8	74.0	.272E-05	.778E-05	.399E-04	.288E-01	470.	0.
2.50	-.306	.940	.266E+04	71.8	74.0	.275E-05	.797E-05	.404E-04	.332	.201E+05	.285E-01
3.00	.309	-1.17	.266E+04	71.8	74.0	.250E-05	.825E-05	.394E-04	.250E-01	25.9	0.
3.50	.259	2.84	.266E+04	71.8	74.0	.334E-08	-.228E-09	.182E-08	.345E-01	.112E+04	0.
4.00	.377	-2.22	.266E+04	71.8	74.0	-.436E-11	.213E-14	-.104E-17	.248E-01	1.40	0.

PAZAD DF (CONVERGENCIA (RATE)): .063E-01

VMIN (M/S) = -3.022 VMAX (M/S) = 4.291

ACMIN (M/S2) = -14.822 ACMAX (M/S2) = 111.141

ARMS (G) = 1.594 DPRMS (M) = .0226

PIRMS (M) = .179E+05 P2RMS (M) = .921E+04

FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -.9412.6

FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 10202.8

.72496254E-10 .18695509E-09 .81743931E-08

244467.37 5.1098784 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 244412.478

A1(?) A2(2) A3(2)

2656.91R1 71.8117258 73.954387

2656.02R1 71.8117268 73.954437

1

SOLUCAO COM 3 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FO.MOLA (N)	Z (M)
0.	-1.1R5	0.	.284E+04	145.	128.	.261E-04	.145E-04	.128E-03	.161	.646E+04	0.
.500	-1.164	-1.09	.284E+04	145.	128.	.261E-04	.226E-04	.138E-03	.134	.539E+04	0.
1.00	-1.300E-01	1.58	.284E+04	145.	128.	.226E-04	.339E-04	.136E-03	.176	.709E+04	0.
1.50	-.293	-.393	.284E+04	145.	128.	.156E-04	.276E-04	.128E-03	.257	.104E+05	0.
2.00	.147	-1.177	.284E+04	145.	128.	.143E-04	.314E-04	.115E-03	.273E-01	291.	0.
2.50	-.313	.866	.284E+04	145.	128.	.122E-04	.295E-04	.110E-03	.336	.228E+05	.289E-01
3.00	.350	-1.06	.284E+04	145.	128.	.115E-04	.291E-04	.107E-03	.249E-01	11.8	0.
3.50	.144	2.04	.284E+04	145.	128.	.194E-07	-.982E-08	.132E-07	.480E-01	.194E+04	0.
4.00	-.137	-2.60	.284E+04	145.	128.	-.145E-10	.470E-10	-.170E-17	.844E-01	.340E+04	0.

PAZAD DF (CONVERGENCIA (RATE)): .647E-01

VMIN (M/S) = -2.892 VMAX (M/S) = 4.279

ACMIN (M/S2) = -13.636 ACMAX (M/S2) = 102.396

APMS (G) = 1.542 DPRMS (M) = .0224
 P1RMS (M) = .155E+05 P2RMS (M) = .822E+04
 FCPCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -10085.3
 FCPCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 24825.1

*11500482F-08 *25138131E-08 *50102282E-07
 *228593.59 5.00452296 0.

INDICIF DE PERFORMANCE: IP= 228598.591

A11 (3) A2 (3) A3 (3)
 2835.6766 145.03041 128.04353
 2835.6766 145.03045 128.04367

SOLUCION CON 4 ITERACIONES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
0.	-.185	0.	.267E+04	270.	175.	.909E-05	.270E-04	.175E-03	.161	.646E+04 0.	
.500	-.151	-1.17	.267E+04	270.	175.	.665E-05	.247E-04	.152E-03	.123	.495E+04 0.	
1.00	-.267E-01	1.69	.267E+04	270.	175.	.423E-05	.228E-04	.123E-03	.174	.699E+04 0.	
1.50	-.290	-5.35	.267E+04	270.	175.	.727E-05	.269E-04	.128E-03	.254	.102E+05 0.	
2.00	.187	.208E-01	.267E+04	270.	175.	.737E-05	.260E-04	.120E-03	.289E-01	477.	
2.50	-.331	.785	.267E+04	270.	175.	.153E-04	.371E-04	.138E-03	.348	.311E+05 0.	.285E-01
3.00	.488	-.731	.267E+04	270.	175.	.150E-04	.374E-04	.135E-03	.250E-01	25.2	
3.50	-.926E-01	.188E-01	.267E+04	270.	175.	-.116E-06	-.412E-06	-.108E-05	.612E-01	.247E+04 0.	
4.00	-.224	.119	.267E+04	270.	175.	-.905E-07	-.247E-06	-.687E-06	.197	.793E+04 0.	

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): .935E-01

VMIN (M/S) = -3.008 VMAX (M/S) = 5.297

ACMIN (M/S2) = -14.803 ACMAX (M/S2) = 75.812

APMS (G) = 1.468 DPRMS (M) = .0200

P1RMS (M) = .162E+05 P2RMS (M) = .740E+04

FCPCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -10338.5

FCPCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 47710.7

*31813333F-09 *27400473E-08 *60396118E-07
 *207229.91 4.0182150 0.

INDICIF DE PERFORMANCE: IP= 207233.929

A11 (4) A2 (4) A3 (4)

2665.8413 270.21997 179.00596

2665.8r13 270.27002 175.00573

1

SMUCAD COM 5 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
0.	-185	0.	.279E+04	112.	124.	.219E-04	.112E-04	.124E-03	.161	.646E+04	0.
.500	-168	-1.07	.279E+04	112.	124.	.241E-04	.267E-04	.148E-03	.138	.554E+04	0.
1.00	-305E-01	1.56	.279E+04	112.	124.	.179E-04	.296E-04	.126E-03	.176	.707E+04	0.
1.50	-.295	-1.370	.279E+04	112.	124.	.132E-04	.254E-04	.107E-03	.259	.104E+05	0.
2.00	.142	-1.198	.279E+04	112.	124.	.117E-04	.274E-04	.107E-03	.274E-01	310.	0.
2.50	-.313	.485	.279E+04	112.	124.	.147E-04	.312E-04	.112E-03	.336	.231E+05	.289E-01
3.00	.352	-1.06	.279E+04	112.	124.	.140E-04	.320E-04	.108E-03	.340E-01	13.6	0.
3.50	.148	2.09	.279E+04	112.	124.	-.667E-07	-.387E-06	-.107E-05	.490E-01	.198E+04	0.
4.00	-.113	-2.78	.279E+04	112.	124.	-.696E-07	-.248E-06	-.687E-06	.569E-01	.229E+04	0.

PAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): -.108E+00

VMIN (M/S)= -2.870 VMAX (M/S)= 4.349

ACMIN (M/S2)= -13.659 ACMAX (M/S2)= 103.737

APMS (G)= 1.545 DPRMS (M)= .0224

PIRMS (M)= .156E+05 PRMS (M)= .847E+04

FORCA MIN. AMORTECEDOR (N)= -10006.8

FORCA MAX. AMORTECEDOR (N)= 24426.5

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 229645.352

A1(5) A2(5) A3(5)

2789.5252 112.19958 123.72127

2789.5252 112.19961 123.72141

RAZAO DE CONVERGENCIA NEGATIVA RATE= -.108

NOVO DS= 129.000 ITERACAO NO. 5)

1

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FO.MOLA (M)	Z (M)
0.	-0.185	0.	.267E+04	270.	175.	.909E-05	.270E-04	.175E-03	.161	.646E+04	0.
0.500	-0.151	-1.17	.267E+04	270.	175.	.665E-05	.247E-04	.152E-03	.123	.495E+04	0.
1.000	-0.267E-01	1.69	.267E+04	270.	175.	.423E-05	.225E-04	.123E-03	.174	.699E+04	0.
1.500	-0.290	-0.535	.267E+04	270.	175.	.727E-05	.269E-04	.128E-03	.254	.102E+05	0.
2.000	.187	.200E-01	.267E+04	270.	175.	.737E-05	.260E-04	.120E-03	.289E-01	.477	0.
2.500	-0.331	.785	.267E+04	270.	175.	.153E-04	.371E-04	.138E-03	.348	.311E+05	.289E-01
3.000	.488	-0.731	.267E+04	270.	175.	.150E-04	.374E-04	.135E-03	.250E-01	25.2	0.
3.500	-0.926E-01	.188E-01	.267E+04	270.	175.	-0.116E-06	-0.412E-06	-0.108E-05	.612E-01	.247E+04	0.
4.000	-0.274	.119	.267E+04	270.	175.	-0.909E-07	-0.247E-06	-0.687E-06	.197	.793E+04	0.

PAZAD DE CONVERGENCIA (RATE): -.315E-13

VMIN (M/S) = -3.008 VMAX (M/S) = 5.297

ACMIN (M/S2) = -14.803 ACMAX (M/S2) = 75.012

APMS (G) = 1.468 DPMS (M) = .0700

P1RMS (M) = .162E+05 P2RMS (M) = .790E+04

FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -10338.5

FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 47710.7

.3181333E-09 .77400473E-08 .60396118E-07

207229.91 4.0182150 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP = 207233.929

A1(6) A2(6) A3(6)

2665.6413 270.21997 175.00556

2665.6413 270.27002 175.00573

1

SOLUCAO COM 7 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FO.MOLA (M)	Z (M)
0.	-0.185	0.	.273E+04	191.	149.	.153E-04	.191E-04	.149E-03	.161	.646E+04	0.
0.500	-0.159	-1.12	.273E+04	191.	149.	.153E-04	.257E-04	.150E-03	.130	.525E+04	0.
1.000	-0.283E-01	1.63	.273E+04	191.	149.	.111E-04	.261E-04	.125E-03	.175	.703E+04	0.
1.500	-0.293	-0.455	.273E+04	191.	149.	.102E-04	.262E-04	.124E-03	.257	.103E+05	0.
2.000	.166	-0.839E-01	.273E+04	191.	149.	.952E-05	.267E-04	.114E-03	.282E-01	.399	0.
2.500	-0.324	.847	.273E+04	191.	149.	.150E-04	.341E-04	.125E-03	.344	.282E+05	.289E-01
3.000	.431	-0.865	.273E+04	191.	149.	.145E-04	.347E-04	.121E-03	.249E-01	19.8	0.
3.500	-0.173E-01	.804	.273E+04	191.	149.	-0.913E-07	-0.399E-06	-0.107E-05	.594E-01	.239E+04	0.
4.000	-0.274	.128	.273E+04	191.	149.	-0.900E-07	-0.248E-06	-0.687E-06	.242	.976E+04	0.

PAZAD DE CONVERGENCIA (RATE): .174E-01

VMIN (M/S) = -2.944 VMAX (M/S) = 4.666

ACMIN (M/S2) = -14.219 ACMAX (M/S2) = 77.262

APRS (G) = 1.455 DPRMS (M) = .0207
 PIRMS (M) = .14E+05 PZ RMS (M) = .760E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -10184.5
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 32061.8

.54801435F-09 .26105369E-08 .54799107E-07
 203619.8R 4.2784632 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 203624.161

A1 (7) A2 (7) A3 (7)

2727.6932 191.20978 149.36342
 2727.6933 191.20982 149.36357

SOLUCION CNP 8 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
C.	-.185	0.	.260E+04	204.	158.	.272E-05	.204E-04	.158E-03	.161	.646E+04	0.
.500	-.160	-1.13	.260E+04	204.	158.	.100E-05	.197E-04	.137E-03	.131	.528E+04	0.
1.00	-.273E-01	1.64	.260E+04	204.	158.	-.204E-05	.134E-04	.995E-04	.172	.694E+04	0.
1.50	-.295	-4.79	.260E+04	204.	158.	.306E-05	.200E-04	.107E-03	.259	.104E+05	0.
2.00	.177	-.299E-01	.260E+04	204.	158.	.335E-05	.181E-04	.998E-04	.291E-01	905.	0.
2.50	-.332	.858	.260E+04	204.	158.	.152E-04	.349E-04	.127E-03	.349	.317E+05	.285E-01
3.00	.497	-.717	.260E+04	204.	158.	.149E-04	.353E-04	.123E-03	.250E-01	28.4	0.
3.50	-.113	-.129E-01	.260E+04	204.	158.	-.479E-07	-.367E-06	-.102E-05	.817E-01	.329E+04	0.
4.00	-.217	.103	.260E+04	204.	158.	-.891E-07	-.248E-06	-.1687E-06	.190	.764E+04	0.

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): .196E-01
 VMIN (M/S) = -3.014 VMAX (M/S) = 5.527

ACMIN (M/S2) = -14.826 ACMAX (M/S2) = 76.553
 ARMS (G) = 1.441 DPRMS (M) = .0198
 PIRMS (M) = .161E+05 PZ RMS (M) = .772E+04

.2272658AF-09 .19273270E-08 .46983003E-07
 199427.77 3.0042767 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 199626.669

A1 (8) A2 (8) A3 (8)

2602.2432 204.06016 157.95489

2.50 -3.25 .996 .249E+04 78.3 122. 150E-04 .306E-04 .105E-03 .347 .302E+05 .285E-01
 3.00 .453 -.832 .249E+04 78.3 122. 147E-04 .311E-04 .101E-03 .291E-01 35.5 0.
 3.50 .590 .590 .249E+04 78.3 122. 257E-07 -.315E-06 -.101E-05 .578E-01 .233E+04 0.
 4.00 -.256 .756E-01 .249E+04 78.3 122. -6879E-07 -.248E-06 -.687E-06 .225 .907E+04 0.

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE) = -.114E-01

VMIN (M/S) = -3.001 VMAX (M/S) = 5.072

ACMIN (M/S²) = -14.889 ACMAX (M/S²) = 79.959

APMS (G) = 1.413 DPRMS (M) = .0199

RIRMS (M) = .143E+05 P2RMS (M) = .821E+04

FURCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -10056.1

FURCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 30549.5

.78617985E-09 .98962564E-09 .24687773E-07
 192017.87 3.9551644 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 192021.824

A1(14) A2(14) A3(14)
 2487.2481 78.262643 121.98531
 2487.2481 78.262673 121.98543

RAZAO DE CONVERGENCIA NEGATIVA RATE = -.011
 NOV0 DS= 32.250 ITERACAO NO. 14)

SOLUCAO COM 15 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M ²)	U1 (KG/S ²)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M ²)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (M)	Z (M)
0.	-1.85	0.	.250E+04	125.	135.	-720E-05	.125E-04	.135E-03	.161	.646E+04	0.
.500	-1.172	-1.07	.250E+04	125.	135.	-906E-05	.106E-04	.110E-03	.141	.569E+04	0.
1.00	-.283E-01	1.57	.250E+04	125.	135.	-116E-04	.478E-06	.649E-04	.170	.683E+04	0.
1.50	-.403	-1.02	.250E+04	125.	135.	-.301E-05	.110E-04	.769E-04	.265	.107E+05	0.
2.00	.161	.970	.250E+04	125.	135.	-.221E-05	.747E-05	.716E-04	.349	.319E+05	.285E-01
2.50	-.330	-.752	.250E+04	125.	135.	.151E-04	.321E-04	.112E-03	.349	.319E+05	0.
3.00	.486	.112	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.251E-01	.34.5	0.
3.50	-.108	.745E-01	.250E+04	125.	135.	.127E-07	-.322E-06	-.101E-05	.744E-01	.300E+04	0.
4.00	-.223	.250E+04	.250E+04	125.	135.	-.881E-07	-.248E-06	-.687E-06	.196	.788E+04	0.

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE) = .245E-13
 VMIN (M/S) = -3.025 VMAX (M/S) = 5.614

ACMIN (M/S2) = -14.989 ACMAX (M/S2) = 74.709
 APRMS (G) = 1.405 DPRMS (M) = .0194
 PLRMS (M) = .154E+05 PZRMS (M) = .809E+04
 FCRCA MIN. AMPLTECEDOR (N) = -10172.9
 FCRCA MAX. AMPLTECEDOR (N) = 41899.2

-34425075E-09 .11724510E-08 .30213391E-07
 1R9R45.10 3.7606980 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 189848.860

A1(15) A2(15) A3(15)
 2502.9049 124.86404 135.17849
 2502.9050 124.86407 135.17861

SOLUCAO COM 16 ITERACOES

T	X1	X2	X3	X4	X5	U1	U2	U3	DEF.MOLA	FO.MOLA	Z
(S)	(M)	(M/S)	(KG/S)	(KG/M)	(KG.S/M2)	(KG/S2)	(KG/M.S)	(KG/M2)	(M)	(N)	(M)
0.											
500F-01	-1.185	0.	.250E+04	125.	135.	-720E-05	1.25E-04	1.35E-03	.161	.646E+04	0.
100	-1.179	.277E-05	.250E+04	125.	135.	-852E-05	1.25E-04	1.35E-03	.161	.646E+04	0.
150	-1.179	.604	.50E+04	125.	135.	-994E-05	8.73E-05	1.23E-03	.246	.989E+04	.750E-01
200	-4.74E-01	1.57	.250E+04	125.	135.	-104E-04	8.19E-05	1.12E-03	.306	1.25E+05	.194
250	-4.09E-02	1.17	.250E+04	125.	135.	-109E-04	8.35E-05	1.09E-03	.172	.692E+04	0.
300	7.78E-02	.553	.250E+04	125.	135.	-108E-04	8.70E-05	1.08E-03	.635E-01	.256E+04	0.
350	-1.42E-01	.119	.250E+04	125.	135.	-107E-04	8.77E-05	1.08E-03	.246E-01	-17.6	0.
400	-1.16	-1.09	.250E+04	125.	135.	-105E-04	8.89E-05	1.08E-03	.353E-01	.121E+04	0.
450	-1.172	-1.07	.250E+04	125.	135.	-982E-05	9.80E-05	1.09E-03	.932E-01	.375E+04	0.
500	-1.172	-1.14	.250E+04	125.	135.	-906E-05	1.06E-04	1.10E-03	.141	.569E+04	0.
550	-2.21	-1.854	.250E+04	125.	135.	-810E-05	1.16E-04	1.11E-03	.189	.762E+04	0.
600	-2.57	-5.77	.250E+04	125.	135.	-762E-05	1.21E-04	1.12E-03	.223	.897E+04	0.
650	-2.78	-2.66	.250E+04	125.	135.	-727E-05	1.23E-04	1.12E-03	.244	.983E+04	0.
700	-2.83	.275	.250E+04	125.	135.	-716E-05	1.23E-04	1.12E-03	.251	1.01E+05	0.
750	-2.76	.449	.250E+04	125.	135.	-657E-05	1.23E-04	1.12E-03	.245	.985E+04	0.
800	-2.57	.538	.250E+04	125.	135.	-579E-05	1.21E-04	1.12E-03	.229	.920E+04	0.
850	-2.32	.449	.250E+04	125.	135.	-768E-05	1.18E-04	1.12E-03	.206	.829E+04	0.
900	-2.00	1.01	.250E+04	125.	135.	-111E-04	1.120E-05	1.06E-05	.604E-04	.963E-04	.901E-01
950	-1.19	1.99	.250E+04	125.	135.	-118E-04	4.78E-06	6.42E-04	.307	.128E+05	.197
1.00	-2.83E-01	1.57	.250E+04	125.	135.	-118E-04	7.78E-06	6.42E-04	.619E-01	.683E+04	0.
1.05	.347E-01	.945	.250E+04	125.	135.	-119E-04	8.70E-06	6.41E-04	.110E-01	.249E+04	0.
1.10	.657E-01	.271	.250E+04	125.	135.	-119E-04	8.66E-06	6.41E-04	.249E-01	16.8	0.
1.15	.618E-01	.286	.250E+04	125.	135.	-119E-04	8.67E-06	6.41E-04	.290E-01	49.1	0.
1.20	.386E-01	-1.727	.250E+04	125.	135.	-119E-04	8.66E-06	6.41E-04	.249E-01	16.8	0.
1.25	-.991E-02	-1.22	.250E+04	125.	135.	-119E-04	8.67E-06	6.41E-04	.290E-01	49.1	0.
1.30	-.822E-01	-1.58	.250E+04	125.	135.	-119E-04	8.66E-06	6.41E-04	.243E-01	-57.3	0.
1.35	-.157	-1.40	.250E+04	125.	135.	-966E-05	4.89E-06	6.32E-04	.430	.194E+04	0.
1.40	-.222	-1.17	.250E+04	125.	135.	-749E-05	4.75E-05	7.09E-04	.187	.753E+04	0.
1.45	-.271	-1.79	.250E+04	125.	135.	-474E-05	7.04E-05	7.32E-04	.236	.950E+04	0.
1.50	-.302	-1.403	.250E+04	125.	135.	-301E-05	9.98E-05	7.63E-04	.265	1.07E+05	0.
1.55	-.312	-1.59E-01	.250E+04	125.	135.	-221E-05	1.12E-04	7.70E-04	.277	.111E+05	0.

1.60	-.304	.314	.250E+04	125.	135.	-.226E-05	.112E-04	.770E-04	.271	.109E+05	0.
1.65	-.282	.553	.250E+04	125.	135.	-.234E-05	.112E-04	.770E-04	.252	.101E+05	0.
1.70	-.247	1.06	.250E+04	125.	135.	-.270E-05	.101E-04	.744E-04	.289	.116E+05	.433E-01
1.75	-.153	2.43	.250E+04	125.	135.	-.199E-05	.691E-05	.732E-04	.210	.135E+05	.199
1.80	-.349E-01	2.20	.250E+04	125.	135.	-.185E-05	.682E-05	.729E-04	.194	.782E+04	.768E-02
1.85	.666E-01	1.60	.250E+04	125.	135.	-.200E-05	.726E-05	.719E-04	.154E-01	.320E+04	0.
1.90	.125	.954	.250E+04	125.	135.	-.220E-05	.747E-05	.716E-04	.154E-01	.160E+04	0.
1.95	.156	.334	.250E+04	125.	135.	-.221E-05	.747E-05	.716E-04	.296E-01	.597	0.
2.00	.161	.102	.250E+04	125.	135.	-.221E-05	.747E-05	.716E-04	.236E-01	.133	0.
2.05	.144	-.586	.250E+04	125.	135.	-.220E-05	.747E-05	.716E-04	.248E-01	.6.96	0.
2.10	.102	-1.09	.250E+04	125.	135.	-.172E-05	.776E-05	.716E-04	.273E-01	.297	0.
2.15	.357E-01	-1.58	.250E+04	125.	135.	.449E-05	.211E-04	.101E-03	.125	.502E+04	0.
2.20	-.555E-01	-2.06	.250E+04	125.	135.	.960E-05	.328E-04	.110E-03	.201	.809E+04	0.
2.25	-.157	-1.84	.250E+04	125.	135.	.137E-04	.328E-04	.110E-03	.263	.106E+05	0.
2.30	-.239	-1.47	.250E+04	125.	135.	.156E-04	.339E-04	.116E-03	.298	.120E+05	0.
2.35	-.301	-.980	.250E+04	125.	135.	.159E-04	.339E-04	.116E-03	.309	.132E+05	0.
2.40	-.337	-.467	.250E+04	125.	135.	.151E-04	.321E-04	.112E-03	.349	.319E+05	.285E-01
2.45	-.348	.523E-01	.250E+04	125.	135.	.152E-04	.318E-04	.110E-03	.219	.803E+05	.225E-01
2.50	-.330	.970	.250E+04	125.	135.	.150E-04	.318E-04	.108E-03	.347	.833E+05	0.
2.55	-.209	3.54	.250E+04	125.	135.	.152E-04	.318E-04	.110E-03	.219	.376E+04	0.
2.60	-.230E-01	3.55	.250E+04	125.	135.	.150E-04	.322E-04	.108E-03	.934E-01	.511	0.
2.65	.140	2.94	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.203E-01	.748	0.
2.70	.271	2.30	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.186E-01	.576	0.
2.75	.368	1.64	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.203E-01	.748	0.
2.80	.460	1.21	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.256E-01	.101	0.
2.85	.488	.731	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.235E-01	.145	0.
2.90	.512	.227	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.247E-01	.8.12	0.
2.95	.511	-.265	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.247E-01	.34.5	0.
3.00	.486	-.752	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.247E-01	.1.78	0.
3.05	.436	-1.24	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.247E-01	.7.83	0.
3.10	.362	-1.73	.250E+04	125.	135.	.148E-04	.325E-04	.108E-03	.248E-01	1.24	0.
3.15	.263	-2.22	.250E+04	125.	135.	.132E-04	.325E-04	.108E-03	.248E-01	1.69	0.
3.20	.139	-2.71	.250E+04	125.	135.	.503E-05	.481E-05	.227E-04	.248E-01	.467	0.
3.25	-.845E-02	-3.20	.250E+04	125.	135.	.198E-05	.481E-05	.227E-04	.152	.613E+04	.136E-01
3.30	-.167	-2.37	.250E+04	125.	135.	.964E-06	.229E-05	.779E-05	.356	.410E+05	.201
3.35	-.213	.386	.250E+04	125.	135.	.203E-06	.819E-06	.332E-05	.281	.113E+05	.374E-01
3.40	.169	1.02	.250E+04	125.	135.	.585E-07	.401E-06	.862E-06	.257	.631E+04	0.
3.45	-.126	.635	.250E+04	125.	135.	.127E-07	.322E-06	.101E-05	.744E-01	.971E-01	0.
3.50	-.108	.112	.250E+04	125.	135.	-.170E-07	.308E-06	.103E-05	.882E-01	.391E+04	0.
3.55	-.106	-.179E-01	.250E+04	125.	135.	-.225E-07	.312E-06	.103E-05	.882E-01	.355E+04	0.
3.60	-.113	-.265	.250E+04	125.	135.	-.271E-07	.323E-06	.104E-05	.109	.339E+04	0.
3.65	-.129	-.370	.250E+04	125.	135.	-.882E-07	.349E-06	.106E-05	.125	.503E+04	0.
3.70	-.150	-.445	.250E+04	125.	135.	-.127E-06	.380E-06	.109E-05	.146	.589E+04	0.
3.75	-.172	-.435	.250E+04	125.	135.	-.148E-06	.395E-06	.110E-05	.165	.666E+04	0.
3.80	-.193	-.375	.250E+04	125.	135.	-.152E-06	.397E-06	.110E-05	.181	.728E+04	0.
3.85	-.209	-.275	.250E+04	125.	135.	-.147E-06	.395E-06	.110E-05	.191	.771E+04	0.
3.90	-.220	-.155	.250E+04	125.	135.	-.142E-06	.394E-06	.110E-05	.196	.790E+04	0.
3.95	-.224	-.334E-01	.250E+04	125.	135.	-.801E-07	.248E-06	.687E-06	.196	.788E+04	0.
4.00	-.223	.745E-01	.250E+04	125.	135.						

RAZANO DE CONVERGENCIA (RATE): .245E-13

VMIN (M/S) = -3.025 VMAX (M/S) = 5.614

ACMIN (M/S^2) = -14.989 ACMAX (M/S^2) = 74.709

ARMS (G) = 1.405 DPRMS (N) = .0194

PIRMS (M) = .154E+05 PZRMS (M) = .809E+04

FIRCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -10172.9

FIRCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 41899.2

INDICE DE PERFORMANCE : IP= 189848.860

A1(17)	A2(16)	A3(16)
2502.9049	124.86404	135.17849
2502.9950	124.86407	135.17861

14.03.35.UCLP, AA, AACJ,

0.983KLN5.

** END OF LISTING **

SAÍDA DO PROGRAMA "AMTPASS" PARA PASSAGEM
POR PERFIL DE TERRENO

APÊNDICE X

PROGRAMA AMORTECEDOR

RODII

DADOS DE ENTRADA: PARAMETROS DO SISTEMA E CONTROLE DO PROGRAMA

MASSAS, KG M1= 659.0
 M2= 98.5
 RIG. PNEU, N/M= 130472.
 VELOCIDADE, M/S= 15.0

DT, S= .010
 DS = 295.

K1= .100E+01
 K2= .100E+01
 K3= .100E+01
 K4= .100E+05
 K9= .100E+04
 K10= .100E+07

X31= 1545.00
 X41= .00
 X51= .00

M3= 1.00 M1= .100E-06
 M4= .100 M2= .100E-06
 M5= .500 M3= .100E-06

1 DADOS DA SUSPENSÃO: NHX= 4 M= 1500

CURVA DA SUSPENSÃO: PIC.MOLA = 40247 N/M (FREQ.NAT. = 1.24 HZ)

NP= P

DEFLEXÃO, M FURCA, N

-.0254 -R9044.0
 .0000 -5797.0
 .0188 -686.0
 .0381 1536.0
 .3048 12270.0
 .3302 18735.0
 .3556 36410.0
 .3810 R9044.0

IDENTIFICACAO DO TERRENO:

TERRENO 3: RMS = 0.0432 M (1.70" - APG 12)

COMPRIMENTO DO TERRENO, M= 92.05
 TEMPO TOTAL DE TRAJETO, S= 6.14
 COND. INICIAIS X1, X2, X6, X7, X8, X9, X101 -2174 .0000 -1.0569 .0000 .0000 .0000

SOLUCAO COM 1 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FO.MOLA (N)	Z (M)
1.00	-217	0.	.155E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.161	.646E+04 0.	
2.00	-291	.213	.155E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.184	.741E+04 -.314E-01	
3.00	-319	1.12	.155E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.240	.968E+04 -.755E-02	
4.00	-247	.699	.155E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.182	.733E+04 -.118E-02	
5.00	-227	.222	.155E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.199	.801E+04 -.830E-02	
6.00	-234	.559E-02	.155E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.114	.458E+04 -.598E-01	
	-440	-.173	.155E+04 0.	0.	0.	0.	0.	0.	.323	.170E+05 .320E-01	

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): .000E+00
 VMIN (M/S) = -2.561 VMAX (M/S) = 2.741
 ACMIN (M/S2) = -11.486 ACMAX (M/S2) = 31.943
 ARMS (G) = .558 DRMS (M) = .0325
 P1RMS (M) = .233E+04 P2RMS (M) = .267E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -3956.5
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 4234.2

C. 0.
 209941.79 1.0556844 0.
 INDICE DE PERFORMANCE: IP= 299942.841

A11 (1)	A21 (1)	A31 (1)
1545.0000	0.	0.
1545.0000	0.	0.

SOLUCAO COM 2 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FO.MOLA (N)	Z (M)
1.00	-217	0.	.165E+04 .916	163.	.108E-04 .918E-06	.326E-04	.161	.646E+04 0.	.734E+04 -.314E-01		
2.00	-287	.167	.165E+04 .916	163.	.103E-04 -.366E-05	.309E-04	.182	.734E+04 -.314E-01	.952E+04 -.755E-02		
3.00	-314	1.18	.165E+04 .916	163.	.981E-05 .914E-07	.243E-04	.236	.952E+04 -.755E-02	.765E+04 -.118E-02		
4.00	-257	.505	.165E+04 .916	163.	.450E-05 .722E-06	.223E-04	.190	.765E+04 -.118E-02	.818E+04 -.830E-02		
5.00	-276	.184	.165E+04 .916	163.	.475E-05 .217E-06	.223E-04	.203	.818E+04 -.830E-02			

5.00 -2.739 -1.154E-01 .165E+04 .916 163. .557E-05 -.252E-06 .250E-04 .124 .499E+04 -.598E-01
 6.00 -1.475 -1.298E-01 .165E+04 .916 163. .189E-06 -.203E-06 .275E-06 .314 .146E+05 .320E-01

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE) : .109E+00

VMIN (M/S) = -2.234 VMAX (M/S) = 2.307
 ACMIN (M/S²) = -10.679 ACMAX (M/S²) = 24.418
 APRMS (G) = .527 DPRMS (M) = .0305
 P1RMS (M) = .211E+04 P2RMS (M) = .194E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -5510.6
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 5824.2

.28117622F-09 .40266607E-10 .38155454E-08
 267275.78 .92944799 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 267276.706

A1(2) A2(2) A3(2)

1653.3231 .91632980 163.22182
 1653.3231 .91633484 163.22188

1

 SOLUCAO COM 2 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
C.	-2.217	0.	.181E+04	-3.84	305.	.266E-04	-.384E-05	.609E-04	.161	.646E+04	0.
1.00	-.285	.140	.181E+04	-3.84	305.	.262E-04	-.164E-04	.631E-04	.183	.737E+04	-.314E-01
2.00	-.305	1.09	.181E+04	-3.84	305.	.125E-04	.716E-06	.451E-04	.231	.931E+04	-.755E-02
3.00	-.256	.502	.181E+04	-3.84	305.	.669E-05	.230E-05	.403E-04	.190	.765E+04	-.118E-02
4.00	-.239	.146	.181E+04	-3.84	305.	.913E-05	.106E-05	.401E-04	.203	.816E+04	-.830E-02
5.00	-.239	-.381E-01	.181E+04	-3.84	305.	.115E-04	-.706E-06	.467E-04	.129	.519E+04	-.598E-01
6.00	-.415	.691E-01	.181E+04	-3.84	305.	.780E-06	-.495E-06	.873E-06	.307	.129E+05	.320E-01

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE) : .504E-01

VMIN (M/S) = -2.036 VMAX (M/S) = 2.100
 ACMIN (M/S²) = -10.972 ACMAX (M/S²) = 19.462
 APRMS (G) = .514 DPRMS (M) = .0295
 P1RMS (M) = .109E+04 P2RMS (M) = .160E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -6276.6
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 6605.4

.15086685F-08 .27184878E-09 .13644280E-07
 253818.17 .87065210 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 253819.045

A1(2) A2(3) A3(3)

1R10.6971 -1.8410997 304.69993

1R1C.6971 -1.8410873 304.70004

1

SOLUCAO CNM 4 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
C.	-217	0.	.200E+04	-15.0	419.	.460E-04	-.150E-04	.838E-04	.161	.646E+04	0.
1.00	-.285	.122	.200E+04	-15.0	419.	.476E-04	-.389E-04	.975E-04	.184	.741E+04	-.314E-01
2.00	-.294	1.03	.200E+04	-15.0	419.	.199E-04	-.613E-07	.645E-04	.224	.903E+04	-.755E-02
3.00	-.253	.431	.200E+04	-15.0	419.	.120E-04	.254E-05	.567E-04	.188	.757E+04	-.118E-02
4.00	-.240	.114	.200E+04	-15.0	419.	.127E-04	.194E-06	.561E-04	.201	.811E+04	-.830E-02
5.00	-.238	-.557E-01	.200E+04	-15.0	419.	.181E-04	-.411E-05	.692E-04	.132	.531E+04	-.598E-01
6.00	-.407	.145	.200E+04	-15.0	419.	.166E-05	-.134E-05	.138E-05	.302	.122E+05	.320E-01

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): .256E-01

VMIN (M/S)=- 1.907 VMAX (M/S)= 1.963

ACMIN (M/S2)=- 10.917 ACMAX (M/S2)= 17.740

ADMS (G)=- .507 DPRMS (M)=- .0290

PIRMS (M)=- .191E+04 PZRMS (M)=- .139E+04

FORCA MIN. AMORTECEDOR (N)=- 6782.4

FORCA MAX. AMORTECEDOR (N)= 7048.4

.4345124E-08 .10553793E-08 .28957909E-07

247337.35 .83902913 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 247333.106

A1(4) A2(4) A3(4)

2004.9015 -15.003604 410.85697

2004.9015 -15.003588 418.85712

1

SOLUCAO CNM 5 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
C.	-.217	0.	.222E+04	-31.0	510.	.674E-04	-.310E-04	.102E-03	.161	.646E+04	0.
1.00	-.284	.111	.222E+04	-31.0	510.	.732E-04	-.701E-04	.135E-03	.185	.744E+04	-.314E-01
2.00	-.285	.968	.222E+04	-31.0	510.	.262E-04	.247E-06	.858E-04	.218	.879E+04	-.759E-02

3.00 -.251 .375 .222E+04 -31.0 510.
 4.00 -.241 .928E-01 .222E+04 -31.0 510.
 5.00 -.237 -.674E-01 .222E+04 -31.0 510.
 6.00 -.402 .208 .222E+04 -31.0 510.

PAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): .145E-01

VMIN (M/S) = -1.835 VMAX (M/S) = 1.868

ACMIN (M/S²) = -10.861 ACMAX (M/S²) = 16.406
 APRMS (G) = .503 DPRMS (M) = .0286
 P1RMS (M) = .185E+04 P2RMS (M) = .123E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -7328.3
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 7361.7

.95326299E-08 .31548719E-08 .52737365E-07
 243734.51 .82030444 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 243735.330

A1(5) A2(5) A3(5)
 2219.4724 -31.010902 509.53072
 2215.4724 -31.010882 509.53093

1

SNLUCAN COM 6 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FO.MOLA (N)	Z (M)
0.	-.217	0.	.245E+04	-57.8	558.	.905E-04	-.578E-04	.112E-03	.161	.646E+04	0.
1.00	-.284	.103	.245E+04	-57.8	558.	.105E-03	-.119E-03	.177E-03	.185	.746E+04	-.314E-01
2.00	-.278	.919	.245E+04	-57.8	558.	.301E-04	.184E-05	.109E-03	.214	.860E+04	-.755E-02
3.00	-.250	.333	.245E+04	-57.8	558.	.160E-04	.488E-05	.978E-04	.186	.747E+04	-.118E-02
4.00	-.241	.792E-01	.245E+04	-57.8	558.	.179E-04	-.109E-05	.963E-04	.199	.802E+04	-.830E-02
5.00	-.235	-.746E-01	.245E+04	-57.8	558.	.380E-04	-.170E-04	.134E-03	.136	.546E+04	-.598E-01
6.00	-.397	.256	.245E+04	-57.8	558.	.474E-05	-.438E-05	.281E-05	.295	.119E+05	.320E-01

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): .677E-02

VMIN (M/S) = -1.777 VMAX (M/S) = 1.804

ACMIN (M/S²) = -10.920 ACMAX (M/S²) = 15.277
 APRMS (G) = .502 DPRMS (M) = .0285
 P1RMS (M) = .181E+04 P2RMS (M) = .113E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -7666.0
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 7905.7

.17969609E-07 .88328785E-08 .88913067E-07
 742683.87 .81027519 0.

VMIN (P/S) = -1.026 VMAX (M/S) = 2.094
 ACMIN (P/S?) = -11.124 ACMAX (M/S2) = 10.206
 ARMS (G) = .496 DPRMS (M) = .0281
 PIRMS (M) = .174E+04 P2RMS (M) = .130E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -6809.3
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 5910.8

.11405697E-06 .16546475E-06 .74723116E-06
 236485.54 .79007005 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 236486.334

A1(12) A2(12) A3(12)

2094.9182 -246.13062 55.383041
 2094.9184 -246.13047 55.383958

1

 SOLUCAO CDM 13 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FO.MOLA (N)	Z (M)
0.	-.217	0.	.318E+04	-263.	1.65	.164E-03	-.763E-03	.326E-06	.161	.646E+04	0.
1.00	-.289	.171	.318E+04	-263.	1.65	.277E-03	-.566E-03	.404E-03	.190	.767E+04	-.314E-01
2.00	-.276	.894	.318E+04	-263.	1.65	.297E-04	.689E-04	.359E-03	.214	.862E+04	-.755E-02
3.00	-.249	.287	.318E+04	-263.	1.65	.147E-04	.620E-04	.354E-03	.185	.746E+04	-.118E-02
4.00	-.242	.588E-01	.318E+04	-263.	1.65	.230E-04	.363E-04	.346E-03	.200	.804E+04	-.830E-02
5.00	-.233	-.626E-01	.318E+04	-263.	1.65	.179E-03	-.768E-04	.560E-03	.136	.547E+04	-.596E-01
6.00	-.410	.210	.318E+04	-263.	1.65	.209E-04	-.222E-04	.877E-05	.302	.121E+05	.320E-01

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): .219E-02

VMIN (M/S) = -1.027 VMAX (M/S) = 2.138

ACMIN (P/S?) = -11.144 ACMAX (M/S2) = 10.063
 ARMS (G) = .495 DPRMS (M) = .0281
 PIRMS (M) = .173E+04 P2RMS (M) = .134E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N) = -6701.7
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N) = 5618.3

.14186652E-06 .20837575E-06 .10021259E-05
 235967.14 .78047438 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 235968.141

A1(13) A2(13) A3(13)

31R2.5753 -262.85705 1.6499635
31R2.5755 -262.85686 1.6510414

PAZAN DE CONVERGENCIA MENOR DO QUE A DESEJADA NOVO DS= 63.750

NOVO RATIM= .030 (ITERAÇÃO NO. 13)

SOLUCAO COM 14 ITERACOES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG.S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
1.00	-.217	0.	.329E+04	-277.	-40.6	.174E-03	-.277E-03	-.012E-05	.161	.646E+04	0.
2.00	-.290	.178	.329E+04	-277.	-40.6	.303E-03	-.634E-03	.441E-03	.191	.770E+04	-.314E-01
3.00	-.274	.886	.329E+04	-277.	-40.6	.402E-04	.961E-04	.439E-03	.213	.859E+04	-.759E-02
4.00	-.248	.278	.329E+04	-277.	-40.6	.269E-04	.871E-04	.435E-03	.185	.745E+04	-.118E-02
5.00	-.233	.577E-01	.329E+04	-277.	-40.6	.297E-04	.581E-04	.425E-03	.199	.803E+04	-.830E-02
6.00	-.212	.329E+04	.329E+04	-277.	-40.6	.209E-03	-.757E-04	.672E-03	.136	.547E+04	-.590E-01
7.00	-.410	.212	.329E+04	-277.	-40.6	.230E-04	-.259E-04	.951E-05	.302	.122E+05	.320E-01

RAZAO DE CONVERGENCIA (RATE): .170E-02

VMIN (M/S) = -1.824 VMAX (M/S) = 2.161
 ACMIN (M/S2) = -11.147 ACMAX (M/S2) = 10.825
 ARMS (G) = .495 DPRMS (M) = .0281
 PIRMS (M) = .172E+04 P2RMS (M) = .135E+04
 ERROA MIN. AMPLIFICADOR (N) = -6668.9
 ERROA MAX. AMPLIFICADOR (N) = 5397.5

.18480762E-06 .27387819E-06 .14424784E-05
.235566.73 .78683953 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 235567.516

A1(14) A2(14) A3(14)

3285.8850 -277.04949 -40.590854
3285.8853 -277.04923 -40.589536

SOLUCAD COM 25 ITERACIONES

T (S)	X1 (M)	X2 (M/S)	X3 (KG/S)	X4 (KG/M)	X5 (KG/S/M2)	U1 (KG/S2)	U2 (KG/M.S)	U3 (KG/M2)	DEF.MOLA (M)	FD.MOLA (N)	Z (M)
0.											
1.00	-217	0.	348E+04	-284	-123	194E-03	-284E-03	-246E-04	161	646E+04	0.
2.00	-216	117	348E+04	-284	-123	226E-03	-261E-03	-743E-05	181	727E+04	399E-01
3.00	-188	353	348E+04	-284	-123	225E-03	-242E-03	-416E-05	188	758E+04	493E-01
4.00	-157	255	348E+04	-284	-123	185E-03	-228E-03	-954E-05	158	638E+04	454E-01
5.00	-160	312	348E+04	-284	-123	175E-03	-206E-03	-194E-04	998E-01	402E+04	-110E-01
6.00	-201	478	348E+04	-284	-123	172E-03	-207E-03	-196E-04	125	505E+04	-208E-01
7.00	-254	648	348E+04	-284	-123	155E-03	-211E-03	-201E-04	127	509E+04	-703E-01
8.00	-299	818	348E+04	-284	-123	135E-03	-305E-03	-178E-03	264	106E+05	417E-01
9.00	-299	992	348E+04	-284	-123	371E-03	-747E-03	501E-03	171	686E+04	-807E-01
1.00	-299	1192	348E+04	-284	-123	376E-03	-804E-03	556E-03	192	690E+04	-535E-01
1.10	-271	213	348E+04	-284	-123	377E-03	-809E-03	598E-03	176	774E+04	-314E-01
1.20	-200	1.10	348E+04	-284	-123	820E-03	-163E-03	203E-02	271	109E+05	103
1.30	-102	775	348E+04	-284	-123	526E-03	532E-03	155E-02	156	626E+04	459E-01
1.40	-721E-01	908E-01	348E+04	-284	-123	470E-03	615E-03	142E-02	685E-01	276E+04	341E-02
1.50	-121	984	348E+04	-284	-123	511E-03	602E-03	143E-02	432E-01	174E+04	-695E-01
1.60	-242	1.29	348E+04	-284	-123	391E-03	364E-03	110E-02	103	416E+04	-577E-01
1.70	-347	813	348E+04	-284	-123	105E-03	182E-03	849E-03	203	816E+04	-492E-01
1.80	-388	159E-01	348E+04	-284	-123	100E-03	174E-03	841E-03	272	109E+05	-207E-01
1.90	-353	636	348E+04	-284	-123	168E-03	177E-03	841E-03	262	106E+05	-291E-02
2.00	-271	870	348E+04	-284	-123	870E-04	232E-03	799E-03	212	833E+04	-755E-02
2.10	-185	285	348E+04	-284	-123	499E-04	252E-03	787E-03	179	721E+04	329E-01
2.20	-127	285	348E+04	-284	-123	939E-04	234E-03	796E-03	998E-01	386E+04	-131E-01
2.30	-157	195	348E+04	-284	-123	792E-04	241E-03	801E-03	847E-01	341E+04	-234E-02
2.40	-185	401	348E+04	-284	-123	777E-04	230E-03	797E-03	159	639E+04	557E-01
2.50	-222	401	348E+04	-284	-123	893E-04	218E-03	803E-03	136	548E+04	119E-01
2.60	-248	305	348E+04	-284	-123	799E-04	204E-03	800E-03	172	691E+04	186E-01
2.70	-248	105	348E+04	-284	-123	743E-04	202E-03	798E-03	170	637E+04	-122E-01
2.80	-268	173	348E+04	-284	-123	887E-04	213E-03	805E-03	209	686E+04	-300E-01
2.90	-270	199	348E+04	-284	-123	850E-04	215E-03	804E-03	185	843E+04	-437E-02
3.00	-247	744	348E+04	-284	-123	873E-04	214E-03	804E-03	174	743E+04	-118E-02
3.10	-196	723	348E+04	-284	-123	104E-03	205E-03	809E-03	143	700E+04	515E-02
3.20	-191	113	348E+04	-284	-123	108E-03	206E-03	810E-03	148	575E+04	151E-02
3.30	-191	201E-01	348E+04	-284	-123	116E-03	207E-03	810E-03	162	594E+04	200E-01
3.40	-185	847E-01	348E+04	-284	-123	111E-03	207E-03	810E-03	158	654E+04	243E-01
3.50	-184	409E-01	348E+04	-284	-123	110E-03	210E-03	810E-03	150	635E+04	183E-01
3.60	-184	332E-01	348E+04	-284	-123	116E-03	211E-03	810E-03	158	602E+04	241E-01
3.70	-193	356E-01	348E+04	-284	-123	116E-03	212E-03	810E-03	135	651E+04	227E-01
3.80	-205	252	348E+04	-284	-123	128E-03	207E-03	812E-03	135	542E+04	-172E-01
3.90	-230	178	348E+04	-284	-123	115E-03	201E-03	809E-03	165	664E+04	-351E-01
4.00	-242	574E-01	348E+04	-284	-123	955E-04	173E-03	789E-03	199	800E+04	-830E-02
4.10	-243	469E-01	348E+04	-284	-123	141E-03	141E-03	815E-03	164	659E+04	-328E-01
4.20	-250	4.20	348E+04	-284	-123	168E-03	141E-03	815E-03	175	705E+04	-189E-01
4.30	-241	163E-01	348E+04	-284	-123	166E-03	152E-03	821E-03	192	775E+04	349E-01
4.40	-238	243	348E+04	-284	-123	117E-03	217E-03	774E-03	162	654E+04	-475E-02
4.50	-188	308	348E+04	-284	-123	181E-03	263E-03	799E-03	178	718E+04	233E-01
4.60	-178	308	348E+04	-284	-123	137E-03	278E-03	785E-03	116	469E+04	-124E-01
4.70	-207	470	348E+04	-284	-123	142E-03	276E-03	785E-03	108	494E+04	-149E-01
4.80	-251	379	348E+04	-284	-123	130E-03	269E-03	779E-03	1175	705E+04	641E-02
4.90	-252	265	348E+04	-284	-123	106E-03	263E-03	780E-03	229	922E+04	483E-01
5.00	-231	599E-01	348E+04	-284	-123	365E-03	-473E-04	117E-02	136	546E+04	-598E-01
5.10	-257	214	348E+04	-284	-123	358E-03	-130E-03	114E-02	155	623E+04	-350E-01
5.20	-264	839E-01	348E+04	-284	-123	403E-03	-105E-03	116E-02	196	788E+04	250E-01
5.30	-218	725	348E+04	-284	-123	403E-03	-105E-03	117E-02	238	960E+04	103E-01
5.40	-144	845	348E+04	-284	-123	455E-03	348E-03	103E-02	204	823E+04	838E-01

5.50	-.903E-01	.800E-01	.348E+04	-284.	-123.	.296E-03	.549E-03	.774E-03	.877E-01	.333E+04	-.710E-02
5.60	-.112	-.280	.348E+04	-284.	-123.	.266E-03	.535E-03	.749E-03	.114	.459E+04	.371E-01
5.70	-.166	-.844	.348E+04	-284.	-123.	.348E-03	.436E-03	.803E-03	.820E-01	.330E+04	-.346E-01
5.80	-.271	-1.28	.348E+04	-284.	-123.	.324E-03	.432E-03	.799E-03	.862E-01	.347E+04	-.119
5.90	-.380	-.717	.348E+04	-284.	-123.	.371E-04	-.196E-04	.441E-04	.231	.931E+04	-.571E-01
6.00	-.411	.216	.348E+04	-284.	-123.	.320E-04	-.376E-04	.118E-04	.302	.122E+05	.320E-01
6.10	-.123	1.26	.348E+04	-284.	-123.	.678E-05	-.734E-05	.617E-05	.285	.115E+05	.366E-01

PAZAN DE CONVERGENCIA (PATE): .000E+00
 VMIN (M/S)=- 1.830 VMAX (M/S)= 2.198

ACMIN (M/S2)=- 11.162 ACMAX (M/S2)= 19.093
 ARMS (G)=- .494 DPRMS (M)=- .0280
 PIRMS (M)=- .170E+04 P2RMS (M)=- .139E+04
 FORCA MIN. AMORTECEDOR (N)=- 6567.0
 FORCA MAX. AMORTECEDOR (N)= 4973.7

.41786PROF-06 .68047132E-06 .43848341E-05
 235128.20 .78587649 0.

INDICE DE PERFORMANCE: IP= 235128.988

A1(25)	A2(25)	A3(25)
3481.6045	-283.89464	-123.10468
3481.6050	-283.89464	-123.10227

15.1R.40.UCLIP, AA, AACD, 18.113KLS. **END OF LISTING**