

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

10.0
Ab.

PROJETO DE DISPOSITIVO PARA MANOBRABILIDADE E SEGURANÇA

DE ÔNIBUS ARTICULADO

AUTOR: *Geraldo Accetturi de Araujo*

ORIENTADOR: *Prof. Omar Moore de Madureira*

1984

new 158

ÍNDICE

ÍNDICE	i
SUMÁRIO	iii
PREFÁCIO	iv
 A. ESTUDO DE VIABILIDADE	 1
A.1. Estudo da Necessidade	2
A.2. Formulação do Projeto	12
A.3. Síntese de Soluções	20
A.4. Viabilidade Física das Soluções	27
A.5. Viabilidade Econômica das Soluções	35
 B. PROJETO BÁSICO	 47
B.1. Determinação da Melhor Solução	48
B.2. Modelagem Matemática	49
B.3. Análise de Sensibilidade	72
B.4. Análise de Compatibilidade	81
B.5. Análise de Estabilidade	86
B.6. Otimização	88
B.7. Previsões para o Futuro	91
B.8. Previsão de Tempo de Funcionamento	92
B.9. Ensaios e Testes de Protótipos	93

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anexo 1 - Direcionamento e Propriedades Mecânicas dos Pneus
- Anexo 2 - Relações Geométricas para o Direcionamento de Veículos
- Anexo 3 - Listagens de Computador
- Anexo 4 - Listagens de Computador
- Anexo 5 - Listagens de Computador
- Anexo 6 - Listagens de Computador - Tabela de Calibração para
o Comparador de Ângulos

SUMÁRIO

Neste trabalho são executados o Estudo de Viabilidade e o Projeto Básico de um dispositivo que garante a estabilidade de um ônibus articulado com tração no reboque em situações de curvas. O dispositivo atua no plano paralelo ao solo e são desprezados efeitos da suspensão. A solução, uma estrutura dotada de hastes, cilindros hidráulicos e um circuito de controle eletrônico dispostos na articulação e na direção do veículo, é simulada em um modelo matemático do ônibus articulado, o qual também se aplica a outros veículos articulados como cavalo-mecânico/semi-reboque, automóvel/reboque de passeio, etc. Conjuntamente são executados estudos econômicos sobre o dispositivo e o ônibus articulado dentro da realidade brasileira.

PREFÁCIO

Neste término de uma etapa de vida, firmado através deste projeto, é o instante para alguns justos agradecimentos.

Inicialmente, e com o maior carinho, aos meus pais, os quais me possibilitaram ter o sonho de tornar-me engenheiro e alcançá-lo, dando-me apoio material e espiritual. A eles, o meu muito obrigado, esperando retribuir sempre o amor que têm por mim.

Pela minha formação acadêmica, ao Prof. Omar, orientador deste trabalho, o qual cedeu-me a maior parte da bibliografia utilizada e fez cumprir plenamente todas as suas atribuições acompanhando o projeto desde o início em reuniões semanais e mostrando-me como se desenvolve uma boa engenharia de produto. O seu resultado como professor, muito mais que estas palavras possam exprimir, está na sequência de dois anos como professor homenageado ao final do curso. Muito obrigado por sua orientação e cuidado.

Mas, em oito meses de trabalho, muitas outras pessoas colaboraram da mesma forma para que o projeto se desenvolvesse, sanando as minhas deficiências devido ainda à falta de experiência em muitos campos.

Agradeço aos amigos da Du Pont do Brasil e da Ultratec Engenharia os quais passaram-me muito da sua vivência industrial e forneceram elementos e idéias que tornaram o trabalho mais completo e próximo da realidade. Aproveito, também, para lhes agradecer o conhecimento e apoio obtidos durante o estágio, o qual (sem dúvida!) jamais será esquecido.

Ao primo Jaime, agradeço a consultoria financeira do projeto.

to contida no final da Análise de Viabilidade Econômica.

Aos professores da Politécnica, agradeço por todos estes anos, assim como aos amigos que opinaram no trabalho e àqueles que colaboraram nele de forma indireta ou até mesmo anônima.

O projeto industrial tem, ao meu ver, dois pontos fortes. Um está na análise econômica, com a aplicação do método de Delphi. Outro está na modelagem matemática, na qual não foi possível representar a dedução das fórmulas por problemas de escopo. No entanto possui tudo minuciosamente detalhado e pronto a fornecer a quem desejar.

Espero que as autoridades governamentais possam, no decorrer dos próximos anos, desenvolver soluções para o transporte público. O ônibus articulado é específico a alguns problemas, mas outras soluções existem para muitos outros casos. O objetivo final, em todos os aspectos, é o conforto e segurança do passageiro aliados aos baixos custos de aquisição, operação e manutenção.

Segue, pois, o desenvolvimento do projeto.

Geraldo A. Araujo

São Paulo, 08/11/84

A. ESTUDO DE VIABILIDADE DO PROJETO DE DISPOSITIVO PARA MANOBRABILIDADE E SEGURANÇA DE ÔNIBUS ARTICULADO

A.1 - ESTUDO DA NECESSIDADE

1. A Necessidade do Transporte Coletivo

1.1. O Crescimento dos Centros Urbanos e o Problema Demográfico

A formação do sistema urbano brasileiro está intimamente ligada ao caráter primário exportador de sua economia e aos sucessivos ciclos por que passou essa economia no período colonial. Até princípios do século considera-se não um sistema urbano brasileiro, mas um conjunto de subsistemas precariamente ligados entre si.

Com a nova etapa de crescimento econômico brasileiro, marcada pela industrialização, há uma radical mudança em relação à fase anterior com a ampliação considerável do setor urbano. O fenômeno mostrou-se claramente com o acelerado aumento da produção urbana entre 1940 e 1970, crescendo quatro vezes enquanto a população total duplicava. O quadro nº 1 ilustra a situação, como se analisa a seguir:

DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA POR CLASSES DE TAMANHO DE CIDADES

CLASSES DE TAMANHO POR 1000 HABITANTES	1950/60/70 n.º Cidades			1950/60/70 %			1950/60/70 % Pop. Urbana			1950/60/70 % s/Pop. Brasil		
mais de 1000	2	2	5	3,9	6,6	13,4	20,5	20,4	25,7	7,4	9,2	14,4
de 500 a 1000	1	4	7	9,5	2,7	4,7	2,8	8,5	9,1	1,0	2,8	5,1
de 200 a 500	6	7	16	1,5	2,2	4,8	7,8	6,8	9,3	2,8	3,1	5,2
de 100 a 200	7	21	41	0,9	2,9	5,5	4,8	9,2	10,5	1,8	4,1	5,9
de 50 a 100	16	40	49	1,2	2,6	3,6	7,9	9,8	7,7	2,8	4,4	4,3
de 20 a 50	76	118	202	2,1	3,6	6,3	11,5	11,3	12,0	4,2	5,1	6,7
SUB TOTAL	113	198	329	10,4	21,1	38,7	55,3	66,0	74,3	20,2	29,7	41,6
Cidades com menos de 20	1777	2569	3523	8,4	10,9	13,4	44,7	34,0	25,7	19,2	15,4	14,3
TOTAL	1890	2767	3852	18,8	32,0	52,1	100,0	100,0	100,0	39,4	45,1	55,9
Pop. Rural	—	—	—	33,1	39,0	41,0	—	—	—	60,6	54,9	44,1
TOTAL BRASIL	—	—	—	51,9	71,0	93,1	—	—	—	100,0	100,0	100,0

Fonte: FIBGE — Censos Demográficos

- mais de 30% da população brasileira viviam, em 1970, em cidades, com mais de 100.000 hab.;
- considerada apenas a população urbana, esta parcela ascenderia a quase 55%, também como marcada tendência de aumento das classes superiores (cidades com maior número de habitantes) em detrimento das inferiores;
- as cidades com mais de um milhão de habitantes vêm crescendo em ritmo superior ao das demais classes, enquanto as cidades de menos de 20.000 habitantes perderam posição relativa ao período considerado.

Observa-se, por outro lado, que 22 milhões de habitantes, isto é, 43% da população urbana, estão concentrados em nove regiões Metropolitanas (Censo Demográfico de 1970). São Paulo e Rio de Janeiro tiveram, na década 60/70, um aumento anual da população da ordem de 350 e 210 mil habitantes, respectivamente, significando que aumentaram, a cada ano, o equivalente a uma cidade de porte médio.

O aumento da população urbana em grandes centros liga-se diretamente à necessidade de locomoção diária de grandes efetivos humanos que necessitam e se desenvolvem com o trabalho diário remunerado. Além da atividade básica "trabalho", há também a necessidade humana "LAZER" e a garantia da convivência social, elementos que requerem, da mesma forma, o transporte de pessoas para a sua existência.

1.2. O Transporte Coletivo

Estabelecida a existência de uma necessidade de locomoção pa

ra um grande número de pessoas nos maiores centros urbanos, resta observar as soluções propostas para o problema.

São Paulo, por exemplo, é uma cidade com 7,9 milhões de habitantes, os quais se deslocam na média de 13,3 milhões de viagens por dia. A distribuição das viagens nos diferentes tipos de transportes é assim resumida:

Milhões de Viagens/Pessoas/Dia				
Transporte Individual	Automóvel	5,32	40%	} 40%
Transporte Coletivo (ou de massa)	Ônibus	6,92	52%	} 60%
	Metrô	0,56	4,2%	
	Trens Suburbanos	0,50	3,8%	
TOTAIS		13,3	100%	} 100%

A opção entre o transporte individual (por automóvel) e o coletivo faz-se da observação das vantagens e desvantagens entre um e outro, analisando-se em termos da situação atual:

* Transporte Individual

● Desvantagens

- a. grandes quantidades de veículos nas ruas, criando problemas de estacionamento e ocupando ociosamente áreas viárias, o que restringe a superfície de tráfego, prejudicando os transportes coletivos por ônibus e o próprio transporte individual (1.400.000 automóveis X 10.000 ônibus, em São Paulo);
- b. custo inicial de aquisição do veículo e de sua manutenção posterior bem mais elevados que o imposto aos utilitários do

transporte coletivo;

- c. progressivo crescimento do problema de combustíveis a serem empregados;
- d. baixa eficiência no transporte de pessoas (capacidade total de transporte X baixo aproveitamento dessa capacidade);
- e. problemas graves de poluição ocasionados pelos automóveis;
- f. não é possível o acesso da maior parte da população (trabalhadores) ao transporte por automóvel por razões econômicas (custos elevados) e mesmo por tornar as vias não trafegáveis devido à grande quantidade de veículos.

- Vantagens

- a. maior conforto e rapidez nas viagens;
- b. acesso a quaisquer pontos desejados, desde que supridos por vias trafegáveis;
- c. progressos na determinação de novos combustíveis em substituição aos derivados de petróleo, promovendo baixa nos custos de manutenção (se bem que sempre maiores aos do transporte coletivo)

- * Transporte Coletivo

- Desvantagens

- a. índice de ocupação nas horas de pico chega a 180% da capacidade ofertada, provocando grande desconforto aos passageiros;
- b. problemas de planejamento do sistema advindos de má gerência que ocorre no controle dos transportes coletivos;

- c. viagens com tempo de duração sempre superiores ao dobro do tempo gasto pelo automóvel.

- Desvantagens

- a. elevada eficiência do transporte de pessoas com relação ao volume (grandes quantidades em pequenas áreas);
- b. menor custo para o usuário do transporte (seis vezes menor, em média, que o do transporte individual);
- c. utilização de outras formas de energia para propulsão, em substituição à dos derivados de petróleo. A energia elétrica movimenta trens, metrô e tróleibus;
- d. taxas de poluição menores que a dos veículos individuais (o passageiro de um ônibus contribui, no mínimo, trinta vezes menos que o automobilista para a poluição atmosférica).

Da comparação entre vantagens e desvantagens mostradas e do quadro da atual distribuição de viagens para São Paulo, conclui-se que grande importância deve ser dada ao transporte coletivo por ser o responsável pela movimentação da maior parte da população .. (60%), em geral de menor poder aquisitivo, apesar de problemas como o desconforto e a demora, que devem ser eliminados tornando o transporte coletivo ainda mais viável.

1.3. O Ônibus como Solução

Dentro dos grandes centros urbanos o ônibus é a tecnologia básica utilizada para o transporte dos usuários. Só na cidade de São Paulo, colabora com 52% das viagens de transporte de pessoas diariamente.

É um equipamento de custo baixo em relação a outros equipamen

tos (trêm, metrô, etc.) propiciando uma versatilidade maior no atendimento do usuário, chegando mais próximo ao seu local de origem ou destino.

Analisando-se a evolução dos transportes coletivos, observa-se como ponto comum a tendência da especialização do veículo às características da operação, qualquer que seja a tecnologia adotada.

Para a cidade de São Paulo há uma tendência na implantação de corredores de transporte diametrais de grande capacidade, alimentados por linhas radiais e transversais de menor capacidade. Para os corredores prevê-se a operação com ônibus normais (com incentivo ao tróleibus) de 105 passageiros (1/3 sentado e 2/3 de pé) de lotação. Além disso entrarão em funcionamento, também, um sistema de "ÔNIBUS ARTICULADOS" com grande capacidade de lotação e apontado como solução para grandes corredores com significativa demanda de meios de transporte coletivo.

2. O Ônibus Articulado

2.1. O Ônibus Articulado como Opção em Transporte

De acordo com a norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) identificada por TB-152 - Veículos Rodoviários Automotores, seus rebocados e combinados - um ônibus articulado é definido por: "ônibus constituído de 2 secções rígidas acopladas por uma junta articulada. Os espaços de acomodação dos passageiros situados em cada secção rígida comunicam-se entre si, possibilitando circulação livre dos passageiros de uma secção rígida para a outra que é obtida através da junta articulada".

Conforme o item 1.2 observa-se a necessidade em se ter duas vezes a capacidade atual dos ônibus para atender à demanda do tráfego leve de passageiros nas horas de pico. Uma das formas encontradas para aumentar a capacidade de transporte coletivo é usar veículos maiores, o que parece ser uma boa solução, especificamente durante as horas de pico. Desta forma é que o ônibus articulado fornece uma solução prática. Com um aumento na área útil e quase o mesmo custo operacional que o ônibus padrão de dois eixos, os ônibus articulados podem suprir a demanda de transporte público com 50 a 75% de passageiros a mais que o convencional. Um ônibus articulado pode transportar até 180 passageiros (60 sentados e 120 de pé) contra os 105 passageiros de um ônibus moderno convencional (35 sentados e 70 de pé). Neste caso a taxa de ocupação é de 7 pessoas em pé/m^2 .

Até recentemente os ônibus articulados não eram encontrados de forma frequente na Europa: até 1979 havia apenas cerca de 2600 ônibus circulando. No entanto este número tem crescido nos últimos anos devido às vantagens citadas, sendo, atualmente, tendência também a ser implantada no Brasil, no transporte público dos grandes centros, particularmente na cidade de São Paulo. Em plano do final da década de 70 decidiu-se implantar uma moderna e ampla rede de transportes por tróleibus na cidade de São Paulo, utilizando 1280 veículos, dos quais 450 seriam de modelo articulado (35%).

Além do mais, o ônibus articulado utiliza um considerável número de partes do ônibus padrão de 2 eixos, reduzindo o custo de construção e manutenção do mesmo. Resta o estudo e determinação de soluções para problemas específicos como o da articulação, o da manobrabilidade, segurança e conforto em curvas, o da localização do motor e do eixo de tração, redução de ruídos, etc.

2.2. Os Tipos de Ônibus Articulado e os Problemas Apresentados

No Brasil, desde que o ônibus articulado foi lançado, produziu-se dois tipos:

- o VOLVO B-58, com motor horizontal entre 1º e 2º eixos, sob o piso, e tração no segundo eixo (configuração (a) na figura 1);
- o SCANIA B-111, com motor na frente, em cima do 1º eixo, e tração no segundo eixo (configuração (c) na figura 1);

Os tipos (c) e (f) apresentam a desvantagem de não se ter possibilidade da instalação de uma porta na frente do 1º eixo, ocupando, com isso, grande espaço com a porta de saída que seria útil para o transporte de passageiros. Os tipos (d) e (e) requeririam medidas custosas para manterem o nível de ruído interno baixo assim como facilitar o serviço e manutenção do motor, transmissão e direção.

As necessidades de conforto e de alta capacidade de transporte com o melhor aproveitamento do espaço interno nos leva à escolha do ônibus articulado com motor traseiro (tipos (i), (j), (k) e (l), versão nova que contrasta com as tradicionais, de acionamento dianteiro. Para esta versão é possível o uso de acionamento elétrico, desde que o motor se situe no semi-reboque (seção rígida traseira).

Pela nova disposição de vários elementos dos novos tipos construtivos, necessidades de estabilidade direcional e segurança em manobras devem ser asseguradas. Problemas graves poderão ocorrer em transitórios de poucos segundos mas que podem conduzir o ônibus a uma instabilidade permanente, colocando em perigo a vida dos seus ocupantes e os veículos na sua proximidade. Por exemplo:

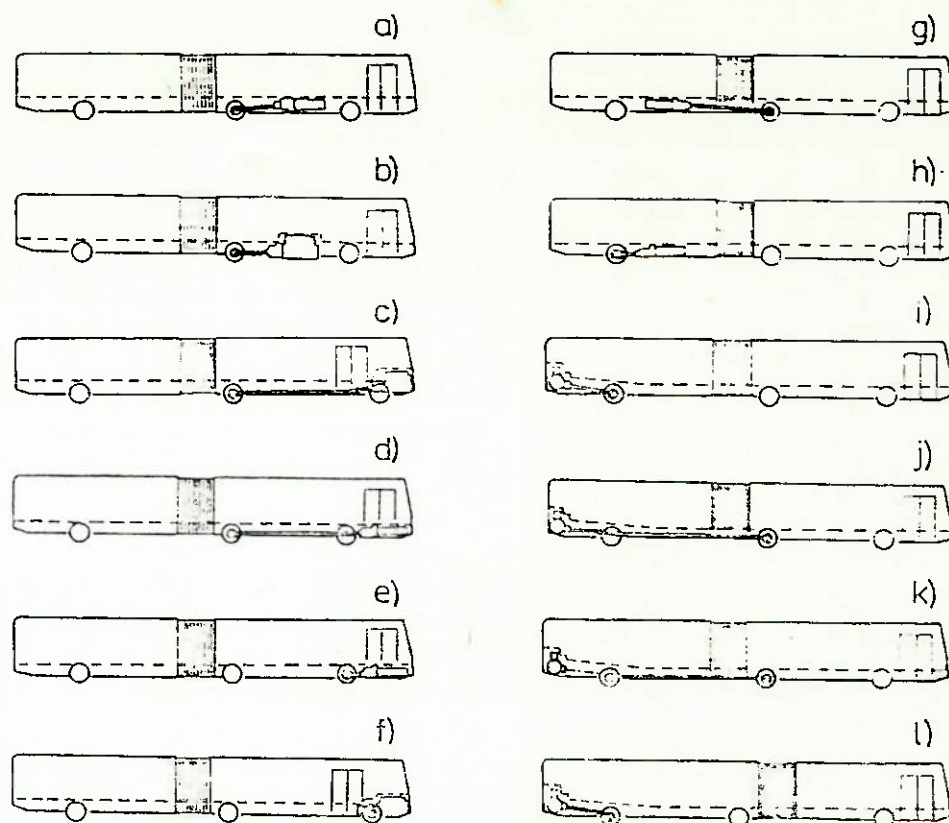


Figura 1 - Tipos de Ônibus Articulado

- (a) motor horizontal e sob o piso do veículo principal, com tração intermediária;
- (b) motor vertical de montagem lateral, com tração intermediária;
- (c) motor vertical e frontal, com tração intermediária;
- (d) motor horizontal e frontal, com tração intermediária;
- (e) motor horizontal e frontal, com tração dianteira;
- (f) motor vertical e frontal, com tração dianteira;
- (g) motor horizontal e axial sob o piso de reboque, com tração intermediária;
- (h) motor horizontal e axial sob o piso do reboque, com tração intermediária;
- (i) motor traseiro, com tração no reboque;
- (j) motor traseiro, com tração intermediária;
- (k) motor traseiro, com transmissão elétrica ou hidrostática;
- (l) motor traseiro, com tração no 3º eixo e veículo frontal de um único eixo.

- canivetamento ("JACKKNIFING"): dobramento do ônibus articulado acima de certo ângulo limite provocando uma condição de instabilidade permanente;
- derrapagem traseira do reboque ("SPINOUT"): relacionada com a situação de deslocamento da parte traseira do veículo para o exterior da curva, em situação de curva;
- derrapagem dianteira ("PLOWOUT"): relacionada com a situação de deslocamento da parte dianteira do veículo para o exterior da curva, tendendo a manter a direção retilínea quando em situação de curva.

A figura 2 ilustra as configurações das três instabilidades relatadas.

A necessidade de estudo e proposição de soluções para que tais problemas sejam eliminados ou reduzidos é de grande importância, quer seja pela grande quantidade de passageiros em segurança que deverá transportar, quer pela versatilidade necessária para o tráfego num grande centro urbano.

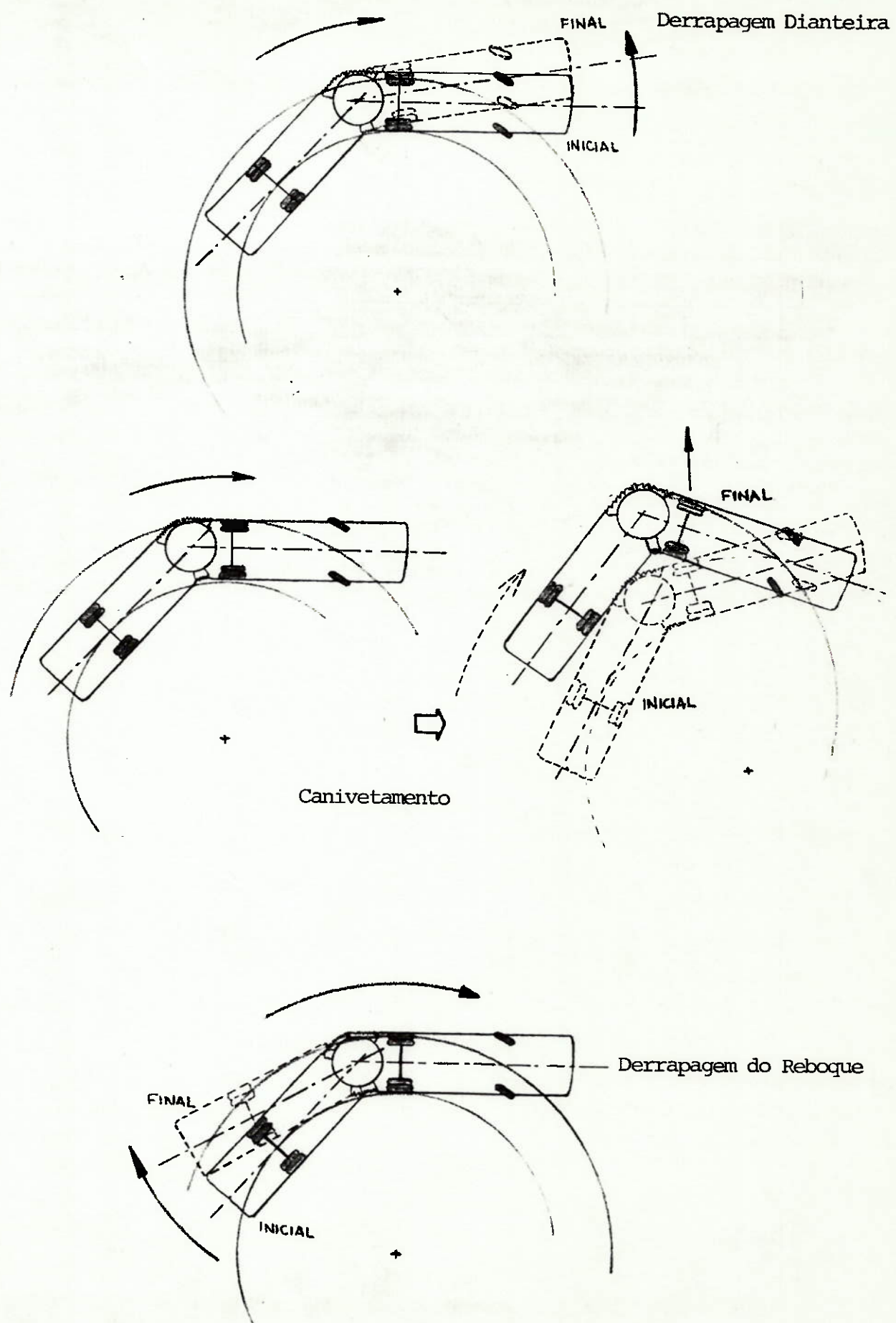


Figura 2 - Os 3 Tipos de Instabilidades em um Ônibus Articulado

A.2 - FORMULAÇÃO DO PROJETO - ESPECIFICAÇÃO DO VEÍCULO
- ESPECIFICAÇÃO DO DISPOSITIVO

1. Terminologia

A seguir são definidos alguns termos e convenções adotados no projeto.

- . ângulos:
- . horizontal: ângulo relativo formado entre os eixos longitudinais centrais dos veículos principal e reboque, projetado no plano horizontal de um dos eixos (γ) (vide figura 3, detalhe a);
- . vertical: ângulo relativo formado entre os eixos longitudinais centrais dos veículos principal e reboque, projetado no plano vertical de um dos eixos (β) (vide figura 3, detalhe b);
- . de desvio ("YAW"): ângulo de desvio da rota para veículo principal ou para o reboque, individualmente (ψ) (vide figura 3);
- . de galope ("PITCH"): ângulo de inclinação do eixo longitudinal no plano vertical para o veículo principal ou para o reboque, individualmente (ϕ) (vide figura 3);
- . de balanço ("ROLL"): ângulo de inclinação do eixo vertical no plano vertical para o veículo principal ou para o reboque, individualmente (θ) (vide figura 3);
- . articulação: mecanismo dos veículos principal e reboque, que permite a movimentação relativa entre ambos, unindo-os;
- . eixo intermediário: refere-se ao eixo traseiro do veículo principal;
- . eixo do reboque: é aquele localizado no veículo reboque;
- . eixo trator: é o eixo responsável pela transferência dos esfor

Figura 3 - Ângulos e Eixos para um Ônibus Articulado

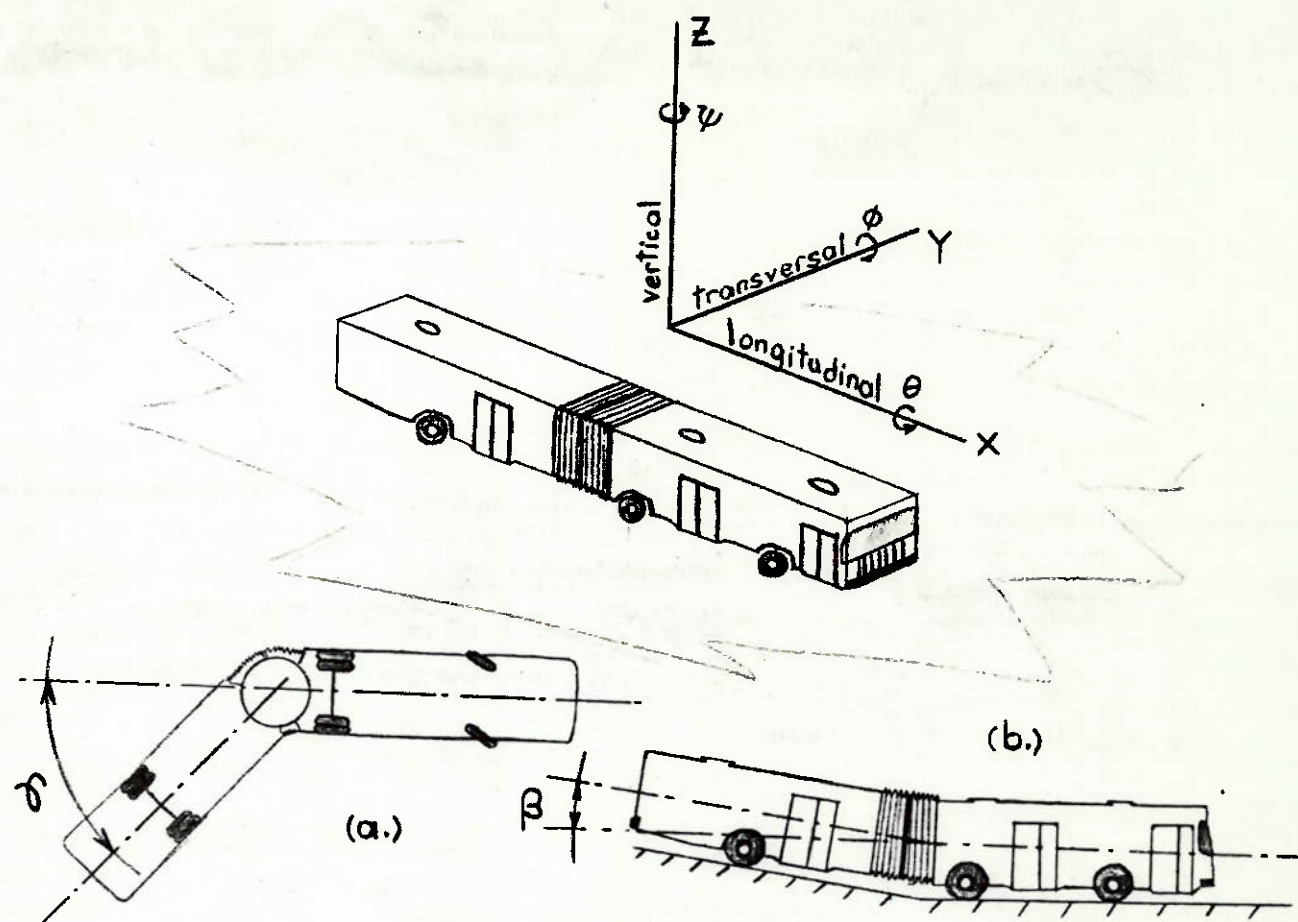
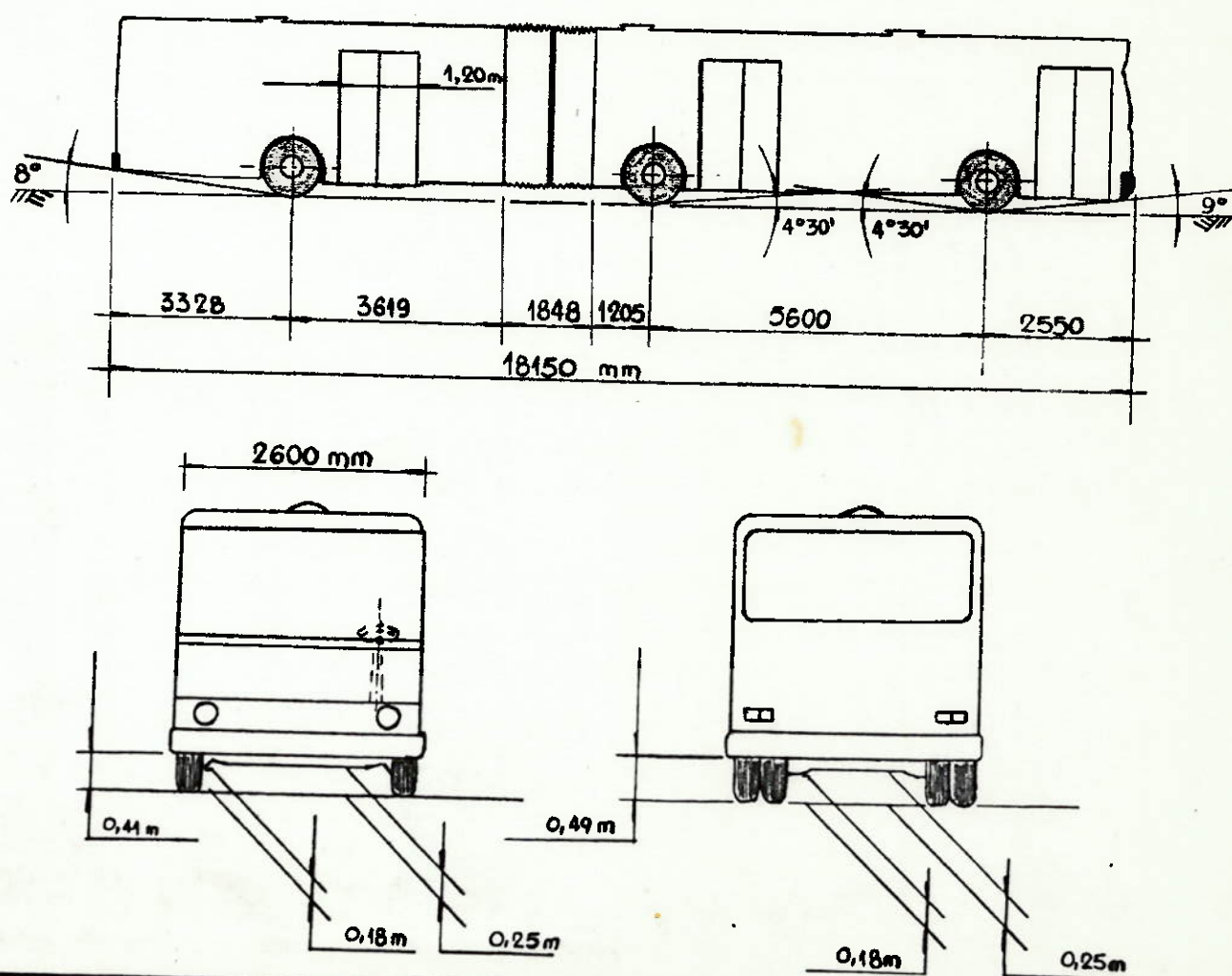


Figura 4 - Dimensões Externas para o Ônibus Articulado



ços de tração ao solo. Esta determinação independe de sua localização no veículo;

- . sanfona: é o elemento flexível, envolvendo a área da articulação, ligando as carrocerias do veículo principal e reboque;
- . veículo principal: é aquele ocupado pelo motorista, localizado à frente da articulação;
- . veículo reboque: é aquele localizado à ré da articulação;
- . peso bruto nominal: é o peso total do veículo completo, abastecido e carregado com sua capacidade nominal de passageiros.

2. Especificações Gerais do Veículo

2.1. Especificações Construtivas (ref. [19/20])

2.1.1) Geral

O projeto do veículo, e portanto de suas partes componentes, deverá proporcionar o menor peso próprio possível.

O dimensionamento deve considerar uma carga estática equivalente ao veículo lotado, com taxa de ocupação de 10 passageiros em pé por m^2 de área útil.

2.1.2) Dimensões Físicas

- comprimento total do veículo18,15m
- largura do veículo 2,60m
- altura do veículo 3,40m
- altura máxima do piso na região das portas (condição de PBN) . 0,80m
- vão livre das portas 1,20m
- área utilizável interna38,6 m^2 ^{+5%}
- área não utilizável interna 8,62 m^2

Para visualização de algumas dimensões, vide figura 4.

O motor está localizado na parte traseira do veículo reboque e o acionamento (eixo trator) poderá ocorrer pelo eixo do reboque ("PUSHER ARTICULATED BUS") ou pelo eixo intermediário.

2.1.3) Dimensões Funcionais

- a. manobrabilidade (vide detalhamento adiante);
- b. movimentação relativa: Valores mínimos (ângulos máximos) para movimentação relativa entre veículos principal e reboque (vide figura 5)
 - ângulo horizontal (γ) 45°
 - ângulo vertical (β) 7°
- c. folgas em relação ao solo: As especificações a seguir referem-se à condição de veículo estacionário, com Peso Bruto Nominal (vide figura 4):
 - ângulo mínimo de entrada 9°
 - ângulo mínimo de saída 8°
 - ângulo livre mínimo entre eixos (veículo principal)... $4^{\circ}30'$
 - altura livre mínima de componentes:
 - próximos à rodas 0,18m
 - demais áreas 0,25m
 - altura máxima da face inferior do para-choque:
 - dianteiro 0,41m
 - traseiro 0,49m

2.2. Especificações Funcionais (ref. [19/20])

2.2.1) Capacidades

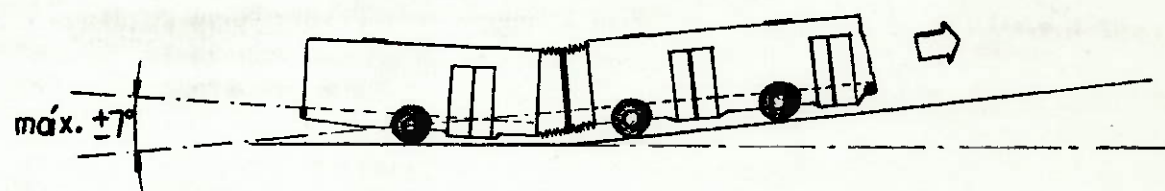
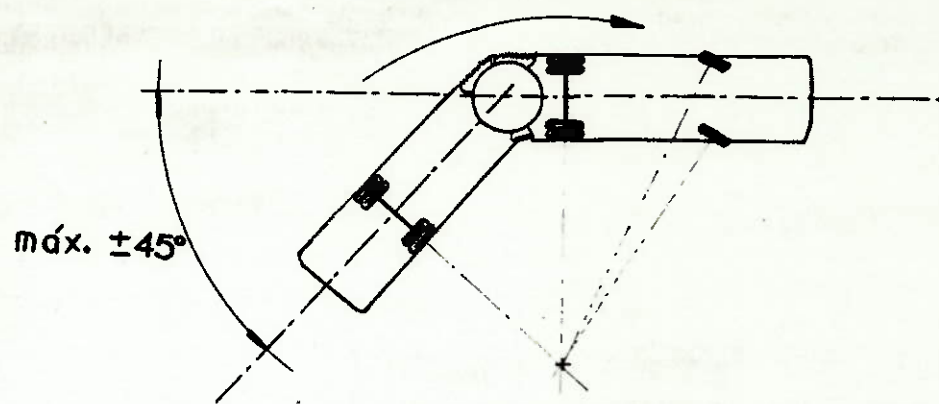


Figura 5 - Ângulos Máximos para Movimentação Relativa entre os dois Veículos do Ônibus Articulado.

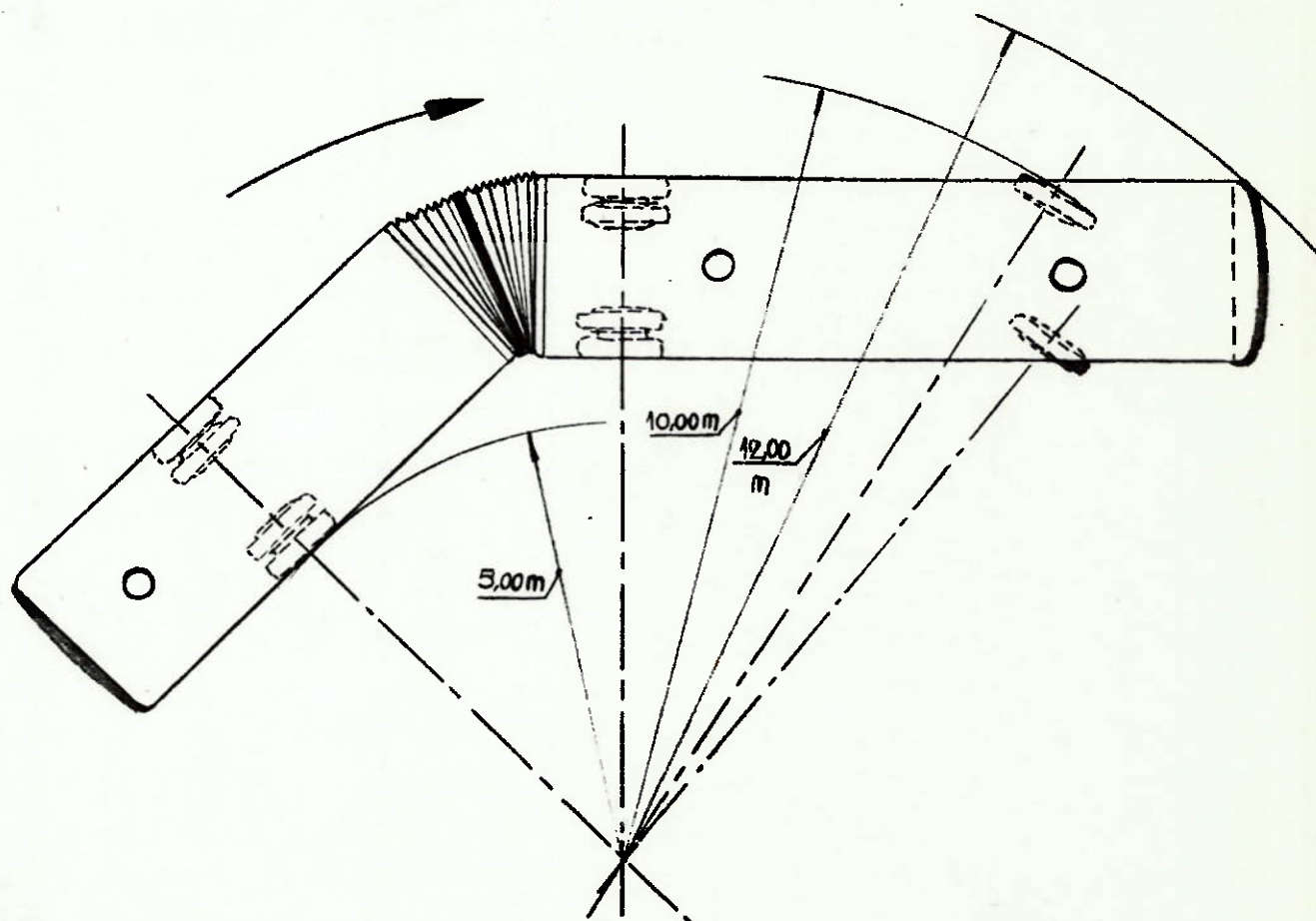


Figura 6 - Raios de Máximo Esterçamento para o Giro do Veículo.

a. de passageiros

Adotando-se a taxa ideal de ocupação de 5 passageiros em pé por m^2 de área útil, têm-se:

PASSAGEIROS	CAPACIDADE NOMINAL
Sentados	57
Em pé	97
TOTAL	154

Peso médio por passageiro 65kg

b. de carga

Obedecendo os limites legais vigentes por eixo, deve-se ter o peso bruto nominal do ônibus correspondente à sua capacidade nominal igual a 25.000 kgf (máximo), de acordo com a tabela abaixo:

C A R R E G A M E N T O		CARGA MÁXIMA (kgf)
EIXO DIANTEIRO		5.000,
Eixo Intermediário	Simples Rodagem	5.000,
	Dupla Rodagem	10.000,
Eixo Traseiro	Simples Rodagem	5.000,
	Dupla Rodagem	10.000,
PESO BRUTO NOMINAL		25.000, (máx)

Permite-se alterações nas cargas limites dos eixos intermediário e traseiro pela adoção de simples ou dupla rodagem, desde que se respeite uma variação de peso bruto nominal entre 20.000, e 25.000, kgf.

2.2.2) Desempenho

As características de desempenho a seguir são especificadas para o ônibus articulado em condição de peso bruto nominal.

a. aceleração

Em pavimento plano horizontal deve-se ter:

VARIAÇÃO DE VELOCIDADE	TEMPO	ACELERAÇÃO MÉDIA
0 a 40 km/h	10 a 12s	1,1 a 0,93 m/s ²
20 a 60 km/h	15 a 18s	0,74 a 0,62 m/s ²

aceleração mínima na partida em aclive de 15% com utilização de sobretorque0,2 m/s²

b. velocidades

As características de segurança a seguir são especificadas para o ônibus articulado em condições de peso bruto nominal e em pavimento plano horizontal.

O projeto dos sistemas de direção, suspensão e articulação deverá prover o veículo de condições mínimas de manobrabilidade após a travessia de um obstáculo indeformável equivalente a uma ilha divisória de via pública.

Dimensões mínimas do obstáculo:

- altura0,2m
- largura1,5m
- comprimento10,0m

O veículo deverá atingi-lo com inclinação de 45°, velocidade de deslocamento estabilizada de 50 km/h e desaceleração de 5,5m/s² pela aplicação de sua capacidade máxima de frenagem quando a parte dianteira do veículo estiver a 2,0m do obstáculo.

Para o desenho dos freios adota-se uma desaceleração média, de 60km/h ao repouso, entre 5,0 e 5,5m/s². Este valor é adotado como máximo para a especificação de resistência a choque.

2.2.4) Conforto

aceleração longitudinal máxima 1,3m/s²

tranco longitudinal máximo 1,3m/s²

3. Especificações Funcionais de Manobrabilidade e Segurança (ref.[19/20])

O sistema integrado "ônibus articulado", composto dos sistemas de direção, suspensão e articulação, deverá ter suas características mecânicas geométricas otimizadas, de modo a permitir valores mínimos de giro e alta estabilidade direcional.

Para o giro do veículo os volumes especificados são relativos a uma curva de 360°, com máximo esterçamento, como mostra a figura 6.

raio externo máximo entre paredes 12,0m

raio externo máximo entre guias 10,0m

raio interno mínimo entre guias 5,0m

A alta estabilidade direcional implica, além das características de segurança do item 2.2.3, e não ocorrência de:

- canivetação ("jackknifing") em situações de curvas. Deve-se respeitar o ângulo horizontal máximo de 45°, evitando-se condições que levem a instabilidades súbitas em ângulos menores a esse limite;
- derrapagens traseiras ("spinout") com veículo reboque, em situações de curvas;
- derrapagens dianteiras ("Plowout") com o veículo principal, em situações de curvas;

Atendendo às condições de conforto dos passageiros a aceleração transversal deverá ser de, no máximo 1.3 m/s^2 nas curvas. Com isso a relação entre velocidade e raio da curva é definida:

$$a_{\text{transv}} = \frac{v^2}{R} \Rightarrow \boxed{V(\text{km/h}) = 4,1 \sqrt{R(\text{m})}}$$

A relação definida é mostrada no gráfico 1.

A força transversal atuante no veículo em condição de peso bruto é nominal é:

$$F = m \cdot \frac{v^2}{R} \Rightarrow F = 25.000, \times 1,3 = 32.500,0 \text{ kgf} = 318.825,0 \text{ N}$$

Pela distribuição de massas, o veículo principal sofre a ação de 19.500 kgf (191.295 N) transversalmente, enquanto que o veículo reboque $13.000, \text{ kgf}$ ($127.530, \text{ N}$) da mesma forma. Os valores devem ser considerados máximos permissíveis.

As forças transversais deverão serem suportados pelo contato entre pneus e pavimento. Este apresenta várias condições e vários coeficientes de atrito dinâmico específico a cada situação (coeficiente de adesão roda/pista):

asfalto ou concreto seco	0,75
concreto molhado	0,70
asfalto molhado	0,45 a 0,60
cascalho	0,55
terra seca	0,65
terra molhada	0,40 a 0,50

Em condições urbanas ocorrem os quatro primeiros casos, sendo mais comum o asfalto seco e molhado.

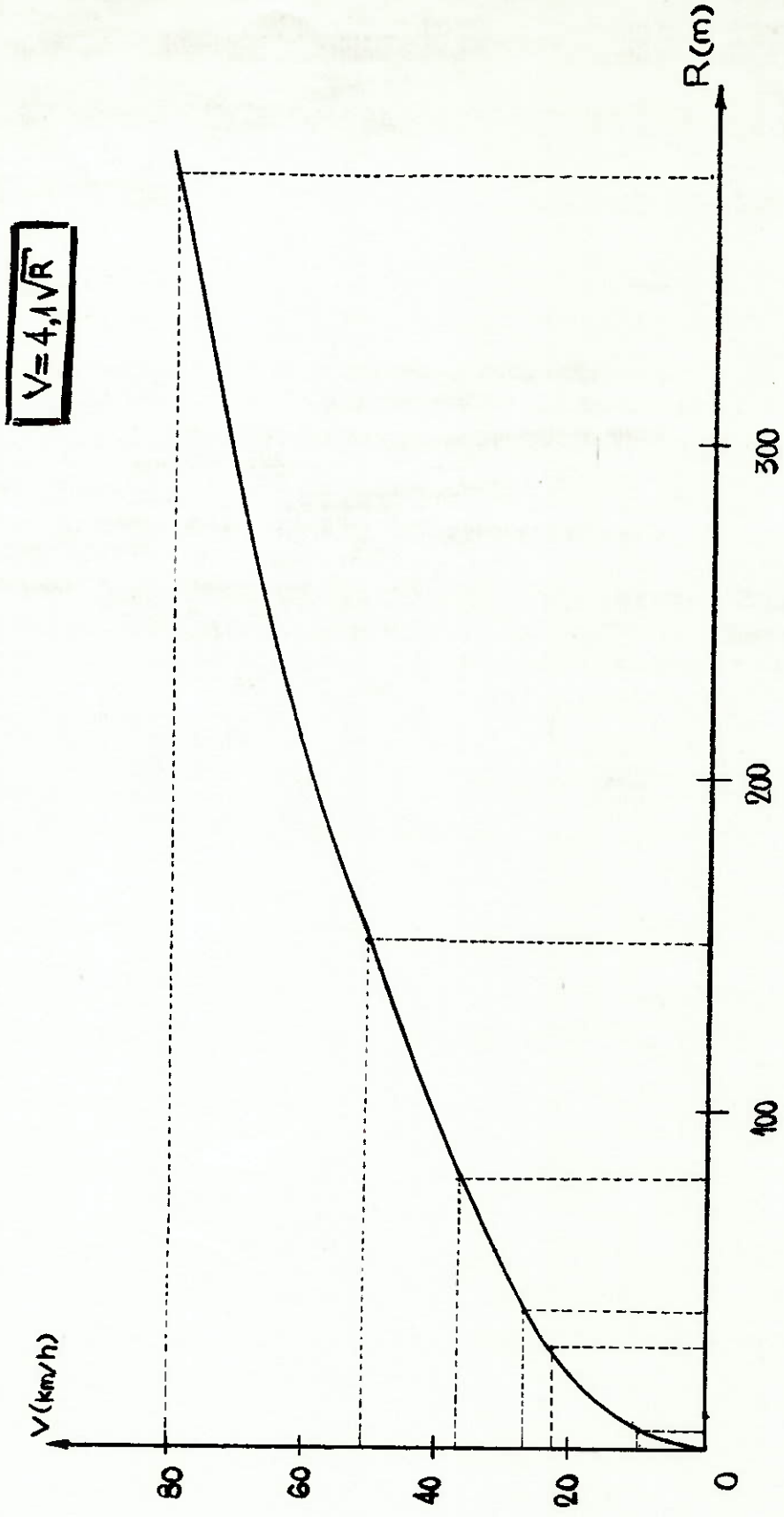


Gráfico 1 - Relação entre Velocidade Máxima do Ônibus Articulado e Raio da Curva Descrita pelo mesmo com a Aceleração Centrípeta de $1,3 \text{ m/s}^2$ (situação de conforto humana)

O ônibus deverá executar uma conversão de 90° entre ruas permanecendo o máximo de seu corpo dentro da área trafegável no seu fluxo de direção:

largura trafegável da 1a. via (inicial) 4m

largura trafegável da 2a. via (final) 8m

A.3 - SÍNTESE DE SOLUÇÕES

O problema "estabilidade direcional" decompõe-se em três exigências a serem observadas: não ocorrência de canivetamento, derrapagem traseira do veículo reboque e derrapagem dianteira do veículo principal. As soluções, no entanto, atendem dificilmente às três exigências simultaneamente, devendo-se listá-las e proceder à sua composição, se necessária.

Soluções

1. Aumento da banda de rodagem no eixo intermediário

Objetivo: canivetamento

Com o aumento de um pneu em cada lado do eixo intermediário passa-se de uma configuração de 4 para 6 pneus nesse eixo. No canivetamento há uma falta de adesão na região intermediária do veículo e com essa alteração a força resistente seria aumentada em, no máximo, 50% (caso a força radial, ou de sustentação, nos pneus se mantivesse constante).

Além do aumento no número de pneus, poder-se-ia mudar o seu tipo, isto é, colocando-se duas unidades de cada lado com largura da banda de rodagem maior (1,5 vezes maior, por exemplo).

2. Aumento da banda de rodagem no eixo reboque

Objetivo: derrapagem traseira do veículo reboque

O aumento da adesão, como na proposta anterior, aumenta a força resistente no eixo reboque e possibilita maior estabilidade do veículo reboque em situação de curva, evitando derrapagens traseiras.

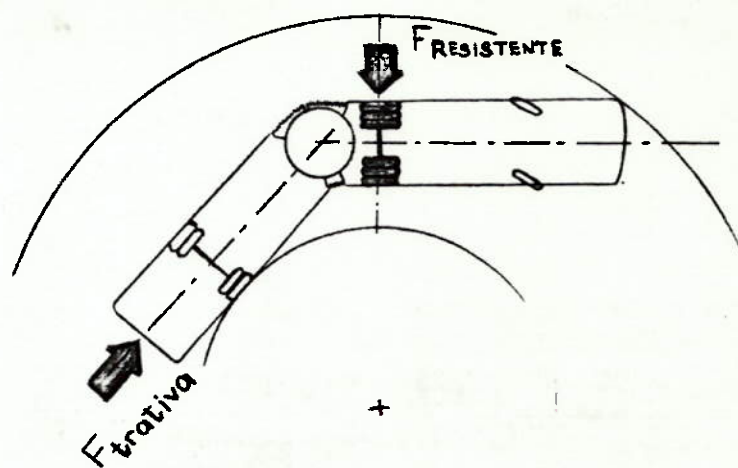


Figura 7 - Aumento da Banda de Rodagem no Eixo Intermediário

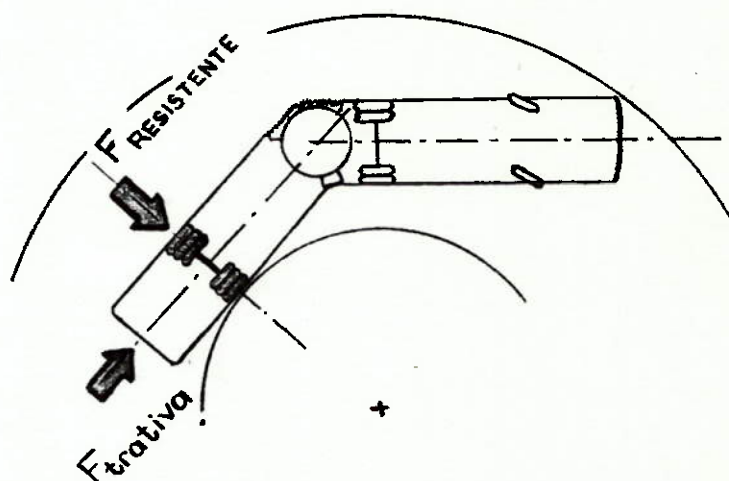


Figura 8 - Aumento da Banda de Rodagem no Eixo Reboque.

3. Transmissão do torque ao solo pelo eixo intermediário

Objetivo: canivetamento & derrapagem traseira

Um dos fatores capaz de criar condições de derrapagem traseira ou dianteira em situação de curva é a distribuição de peso no veículo. Para analisar tal influência, o anexo 1 sintetiza os mecanismos de direção dos pneus.

O aumento do peso na parte traseira do ônibus, particularmente pela posição do motor próximo e atrás do terceiro eixo, conduz o veículo reboque a uma condição de instabilidade inerente em curvas na forma de um "giro de traseira" ("OVERSTEERING") ou, ao limite, uma derrapagem traseira ("SPINOUT").

Com a transferência da tração para o eixo intermediário têm-se as seguintes vantagens:

- a. redistribuição do peso para o eixo intermediário pela relocação da caixa de câmbio e disposição dos eixos e acoplamentos de transmissão. Com isso reduz-se a condição de derrapagem traseira (pode-se observar que o eixo reboque pode ser deslocado mais para trás);
- b. redução no risco de canivetamento pela mudança do eixo de tração. O veículo traseiro passa a ser puxado ("pull bus").

Neste caso pode-se propor uma solução paralela: a introdução de um sistema de direção no eixo reboque (sem tração e com banda simples de rodagem, ou seja, dois pneus usuais no eixo). A solução assim mostrada permite uma maior capacidade de giro do veículo (dentro das especificações) e diminui, no entanto, o seu peso bruto nominal. Deve, também, reduzir a possibilidade da ocorrência de derrapagem traseira por fazer maior o ajuste entre a direção de rolamento e a de viagem, di

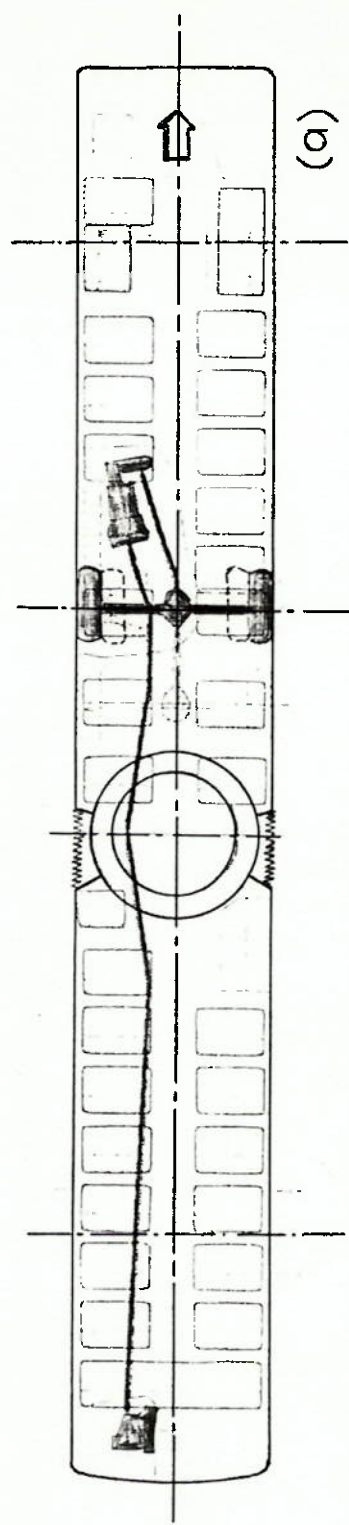
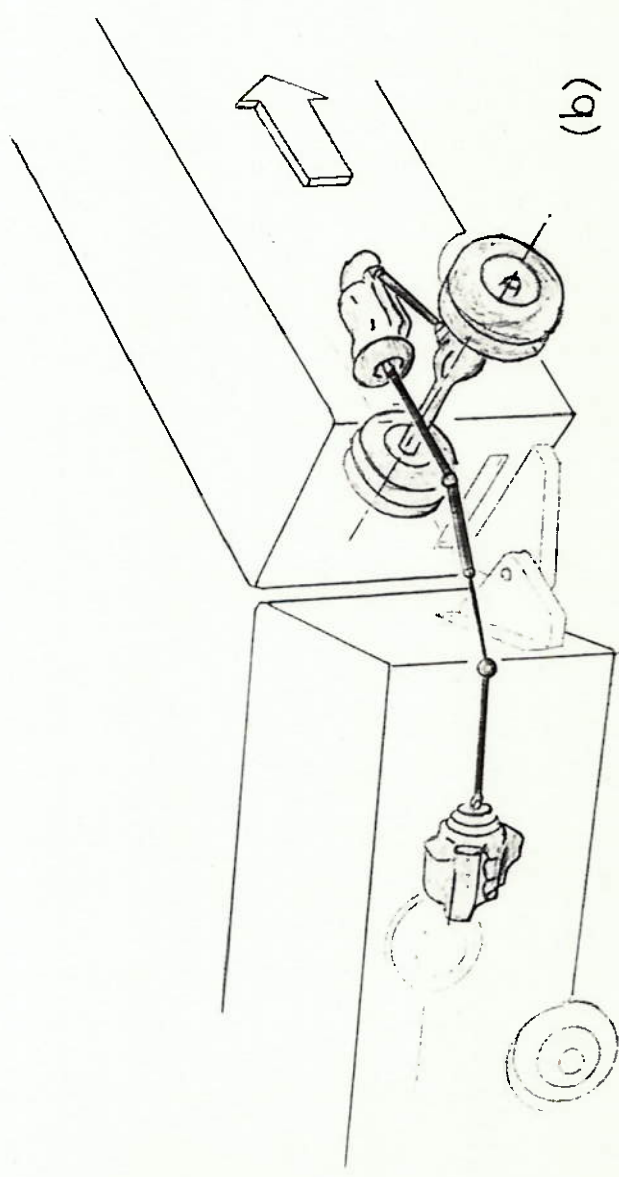


Figura 9 - Transmissão de Torque ao Solo pelo Eixo Intermediário

- a) configuração no ônibus;
- b) detalhe do mecanismo deslizante para curvas do ônibus articulado (motor-árvore de transmissão-caixa-de-câmbio diferencial-rodas)



minuindo o ângulo de deriva e melhorando as características de direcionamento e adesão ao solo dos pneus (vide figura 9).

4. Dispositivo eletrohidráulico de controle da articulação

Objetivo: canivetação (principalmente), derrapagens dianteira e traseira

De acordo com a figura 10, pode-se observar o esquema de um dispositivo limitador da articulação utilizando o princípio do sistema do Ônibus articulado 0-305G da Mercedes-Benz.

O sistema possui duas funções principais:

- a. bloqueia o movimento de giro relativo entre as duas partes do Ônibus, travando a coroa giratória se o eixo intermediário (no caso de canivetação), o eixo reboque (derrapagem traseira) ou o eixo dianteiro (derrapagem dianteira) começar a derrapar em situações de curva e/ou pistas escorregadias, e transformando os dois carros em uma unidade rígida;
- b. amortece as vibrações horizontais da seção traseira do Ônibus articulado em marcha normal, impedindo que ele oscile em caso de mudanças rápidas de direção ou no tráfego por vias deficientes.

Existem dois conjuntos no sistema: um de trabalho e outro de comando. O de trabalho compõe-se de quatro cilindros hidráulicos, apoiando-se dois deles, do carro principal, contra outros dois instalados no veículo reboque. O de comando, ou controle, tem dois sensores/transmissores do ângulo da direção (e, portanto, do ângulo da orientação das rodas dianteiras) e do ângulo da articulação, e um comparador eletrônico usado para medir os desvios entre ambos os ângulos.

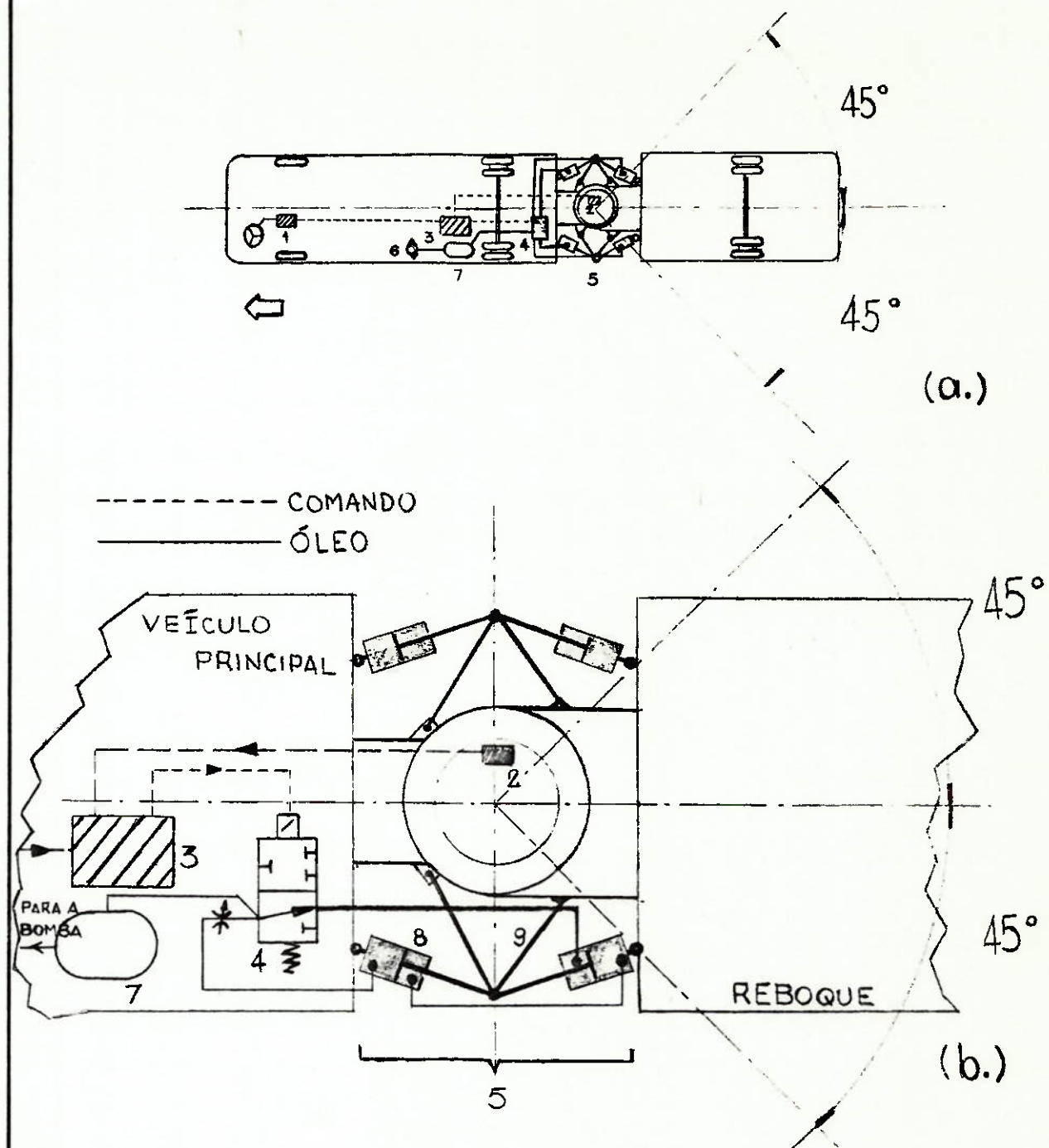


Figura 10 - Dispositivo Eletrohidráulico de Controle da Articulação.

a) disposição no ônibus articulado

b) detalhe esquemático:

1. sensor de ângulo da direção;
2. sensor de ângulo da articulação;
3. comparador entre ângulos;
4. válvula de bloqueio com comando elétrico (em b. há o esquema típico para apenas um par de cilindros);
5. articulação;
6. bomba de óleo;
7. acumulador de pressão hidráulica;
8. cilindro hidráulico;
9. haste menor

O sistema funciona à base de elementos de estrangulamento e de um acumulador de pressão. Em marcha normal, a pressão de pré-tensão do acumulador proporciona um efeito amortecedor, em combinação com os pontos de estrangulamento, que impedem um fluxo rápido demais do óleo de um cilindro a outro.

Se o comparador eletrônico determinou que o ângulo da articulação excede o valor correspondente ao giro desempenhado (ângulo de direção das rodas frontais), as válvulas eletromagnéticas colocadas na tubulação do óleo interrompem a circulação deste entre os cilindros hidráulicos. Os dois carros passam a formar uma unidade rígida, evitando-se que o processo de canivetação continue. Da mesma maneira, se o ângulo da articulação se fizer menor que o da direção, o conjunto também trava a articulação e o processo de derrapagem é corrigido.

O sistema é inteiramente automático e deve atuar praticamente sem defasagem de tempo. A ação de travamento e destravamento repetir-se-á sempre que necessária, sem alteração das características direcionais do veículo.

Como complemento, os cilindros hidráulicos dispõem de batentes que impedem a ultrapassagem do ângulo horizontal máximo especificado (45°). Assim, afasta-se a possibilidade de danos à sanfona da articulação.

5. Aproximação entre eixos dianteiro e intermediário

Objetivo: derrapagem dianteira

A aproximação entre os dois eixos deve ser feita de forma a reduzir o peso no eixo dianteiro. Quanto maior o peso deslocado do eixo dianteiro para o intermediário, menor a possibilidade

de derrapagem dianteira ("plowout").

6. Deslocamento do Centro de Gravidade dos veículos principal e reboque (redistribuição de peso)

Objetivo: derrapagens dianteira e traseira

A mudança do CG deverá ser feita rapidamente e pela mudança de massas que possibilitem uma reação quando houver o início de algum tipo de derrapagem. A forma de se conseguir este efeito é a de transferir por pressão quantidades de fluido (água, por exemplo) localizadas sob o piso do ônibus, na parte principal e no reboque.

7. Freio automático atuante no motor e no eixo dianteiro

Objetivo: derrapagem traseira & canivetamento

Pela figura 11, o elemento de controle (1) verifica as rotações entre os eixos intermediário e reboque. Havendo diferenças fora dos limites aceitáveis, um freio é acionado no eixo dianteiro e no motor (corte do combustível, por exemplo), diminuindo a velocidade do veículo e restabelecendo a estabilidade do reboque, no caso de uma derrapagem, por exemplo. O elemento de controle (2), como já explicado na solução nº 4, pode, possuindo um comparador de ângulos, também enviar impulsos de frenagem ao eixo dianteiro e cortar o combustível ao motor.

O sistema, indicando também o canivetamento, faz a parada do motor evitando que ele ocorra, apesar do freio no eixo dianteiro, também acionado, pouco contribuir para que a situação não aconteça (há um giro do veículo principal ao redor da frente do mesmo)

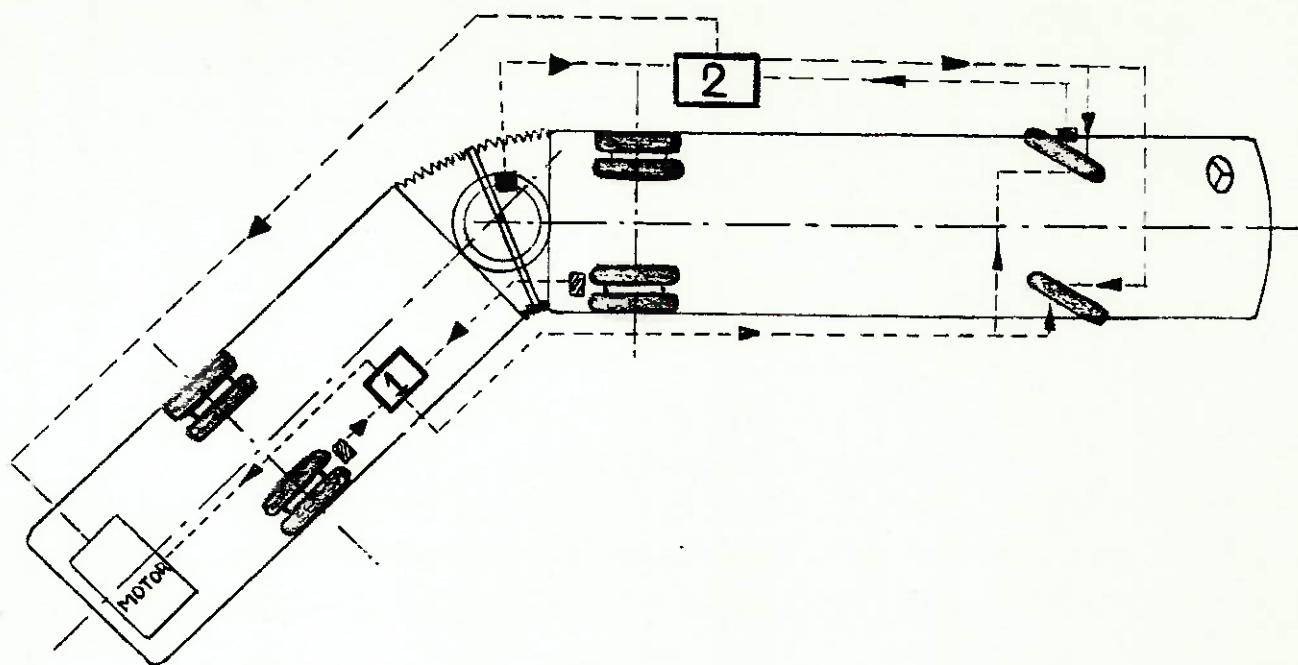


Figura 11 - Freio Automático atuante no Motor e Eixo Dianteiro
 elemento de controle 1: comparador de rotações
 elemento de controle 2: comparador de ângulos

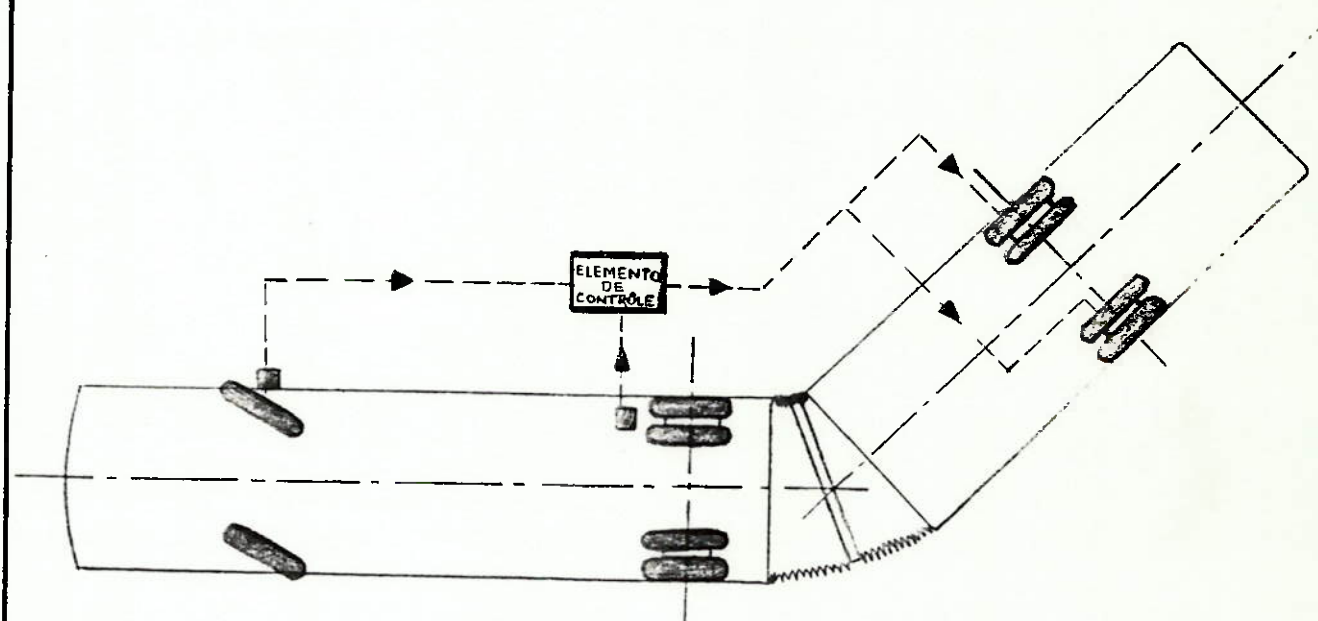


Figura 12 - Freio Automático atuante no Eixo Reboque (solução nº 8)

8. Freio automático atuante no eixo reboque

Objetivo: derrapagem dianteira & canivetamento

Como para a solução nº 7, as diferenças de rotação entre os eixos dianteiro e intermediário indicam derrapagem dianteira e/ou canivetamento. O freio no eixo reboque diminui a velocidade recuperando a força resistente ao veículo principal mas apenas parando a movimentação do veículo reboque no caso do canivetamento, sem solucioná-lo efetivamente.

9. Eixo de tração e de direção coincidentes no eixo reboque, com o segundo sistema de direcionamento acoplado ao do eixo dianteiro

Objetivo: derrapagem traseira

O sistema com o eixo trator coincidente com o eixo intermediário foi detalhado na solução 3. Agora têm-se no eixo reboque dois sistemas acoplados: o de direção e o de tração ("pusher bus"). Esta solução, como já se explicou, permite o direcionamento do reboque e diminui a possibilidade de uma derrapagem traseira, constituindo-se, ainda, num "pusher bus" como determinou-se inicialmente.

10. Eixos próximos paralelos para o eixo intermediário e/ou eixo reboque

Objetivo: derrapagem dianteira, traseira & canivetamento

Com a disposição da figura 13, observa-se que há alterações no braço de alavanca e, portanto, na posição do ponto de aplicação das forças de desvio lateral. Isso altera a dinâmica da trajetória curva do ônibus e estudos deverão ser executados para garantir a melhor disposição dos eixos em relação ao veículo e a melhor distância entre eles. Pneus de menor diâmetro

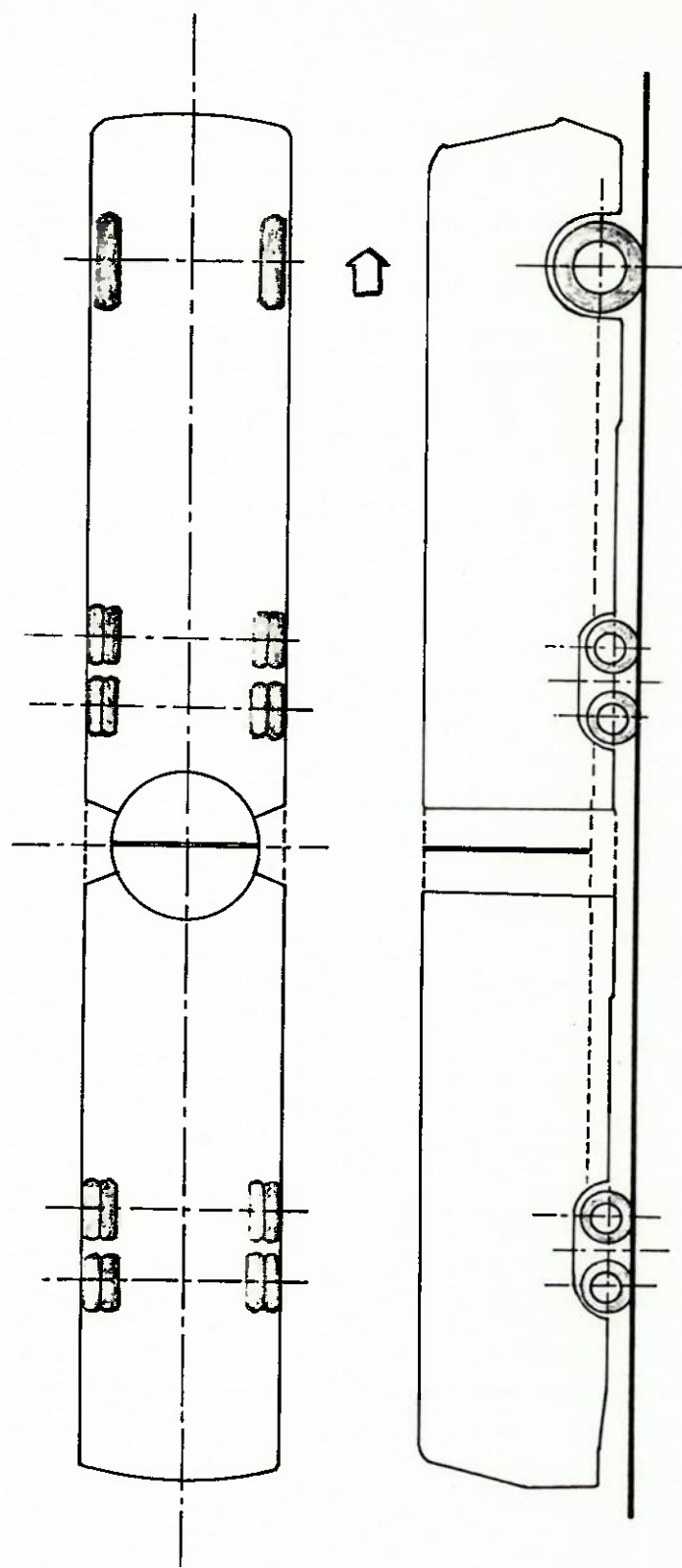


Figura 13 - a. Duplo Eixo na Intermediária e no Reboque

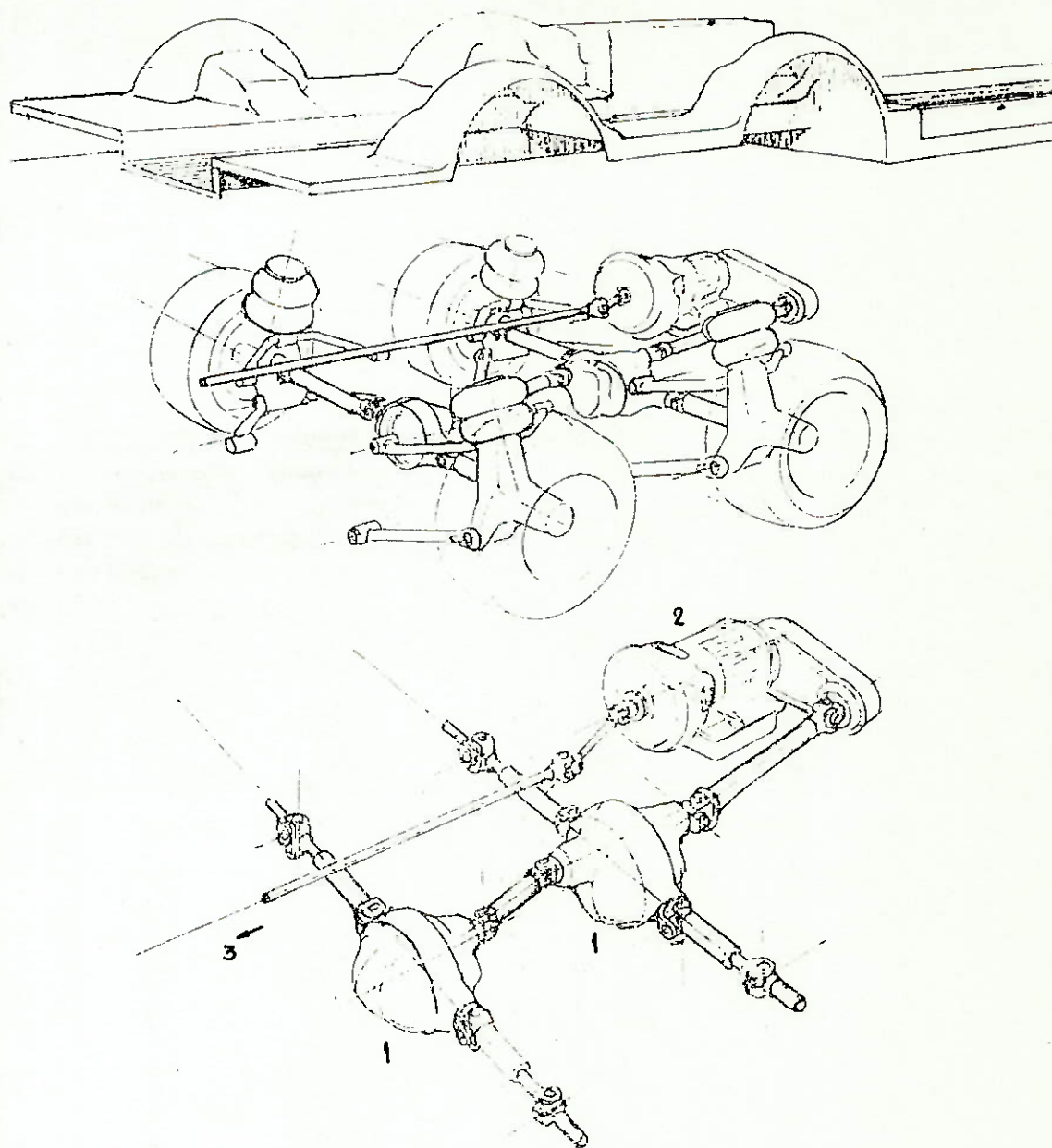


Figura 13 - b. Detalhe do Duplo Eixo com Suspensão Pneumática
(eixo intermediário)

- 1. diferenciais;
- 2. caixa de câmbio
- 3. motor (não representado)

poderão ser utilizados no projeto.

Como solução alternativa propõe-se a adoção de banda dupla de rodagem para cada eixo do par intermediário e/ou reboque. Com isso pode-se ter até 8 pneus por par de eixos e a expectativa de uma derrapagem reduz-se muito.

A.4 - VIABILIDADE FÍSICA DAS SOLUÇÕES

As soluções propostas ao problema a partir da sua análise executada até este ponto mostram quatro limitantes a serem observadas:

- a. estabilidade em curvas dentro dos valores fixados para velocidade = $f(\text{raio da curva})$ (limitação dinâmica);
- b. viabilidade da execução da curva mínima pelo ônibus dotado do(s) dispositivo(s) (limitação geométrica);
- c. possibilidade de adaptação ao ônibus articulado, assim como este foi definido nas especificações construtivas (limitação construtiva do veículo);
- d. possibilidade da solução ser construída, independente de sua instalação ao ônibus (limitação construtiva do dispositivo).

Passa-se, então, a analisar as soluções e verificá-las quanto aos aspectos atrás colocados:

1. Soluções 1. & 2. (Variação na Banda de Rodagem)

Atendendo apenas ao canivetamento ou à derrapagem traseira, esta solução, quer num ou outro eixo, quer em ambos, apresenta várias restrições quanto à viabilidade física:

- o veículo, desde que a banda de rodagem não ultrapasse a largura máxima permitida de 2,60m (o que alteraria significativamente a geometria de giro), deverá apresentar incompatibilidade de montagem. Sendo o pneu normal, do tipo 11 R-22,5, pode-se observar por desenhos anteriores que quatro pneus ocupam aproximadamente 48% da largura do eixo, restando 52% para o diferencial e acoplamentos (~ 1250,mm). Se forem colocados mais dois pneus, resta

rão apenas 28% de largura útil (~ 728,mm), com os pneus se utilizando de 72% do eixo, aproximadamente. Nesse espaço, de cerca de 700mm, torna-se difícil acomodar todo o conjunto de transmissão necessário (diferencial) por ocorrer superposição entre os pneus e os diferenciais usuais. Poder-se-ia, variando o tipo de pneu, aumentar a banda de rodagem até o limite da superposição mas tanto esta última solução como a de desenvolver um conjunto de transmissão compacto possuem custos elevados. Além do mais, a banda de rodagem pouco mais larga não garante as condições dinâmicas exigidas e o diferencial, por ser mecanismo já muito desenvolvido, não deve conseguir evolução maior àquela atual, a menos que comprometa o seu desempenho em função de uma redução de tamanho;

- outro ponto quanto ao uso de dupla ou tripla banda de rodagem é que, se ocorrem problemas de escorregamento com dois pneus em um lado do eixo, em situação de curva ocorrerão muito mais no caso de três pneus, tornando excessivo o desgaste dos pneumáticos (vide figura 14).

2. Solução 5 (Aproximação dos Eixos Dianteiro e Intermediário)

A solução, do ponto de vista de direcionamento de pneumáticos, é coerente pois promove uma melhor distribuição de massas nos eixos proporcionalmente às forças laterais envolvidas (estudos sobre as posições ótimas dos eixos devem ser executados) numa ocasião de trajetória curva realizada pelo veículo.

No entanto, pelas especificações relativas às posições e dimensões das portas, e às alturas e ângulos mínimos entre solo e ônibus, verifica-se que o ônibus terá problemas quando passar por obstáculos, depressões ou ascensões muito profundas ou inclinadas,

Figura 14 - Inviabilidade do Aumento da Banda de Rodagem

$R_1 \approx R_2 \approx R_3$: raios dos pneus

$V_1 > V_2 > V_3$: velocidades de translação do eixo em curva

$V_1 = \omega_1 \cdot R_1 \therefore \omega_1 > \omega_2 > \omega_3$: velocidades angulares

$V_2 = \omega_2 \cdot R_2$ dos pneus

$V_3 = \omega_3 \cdot R_3$

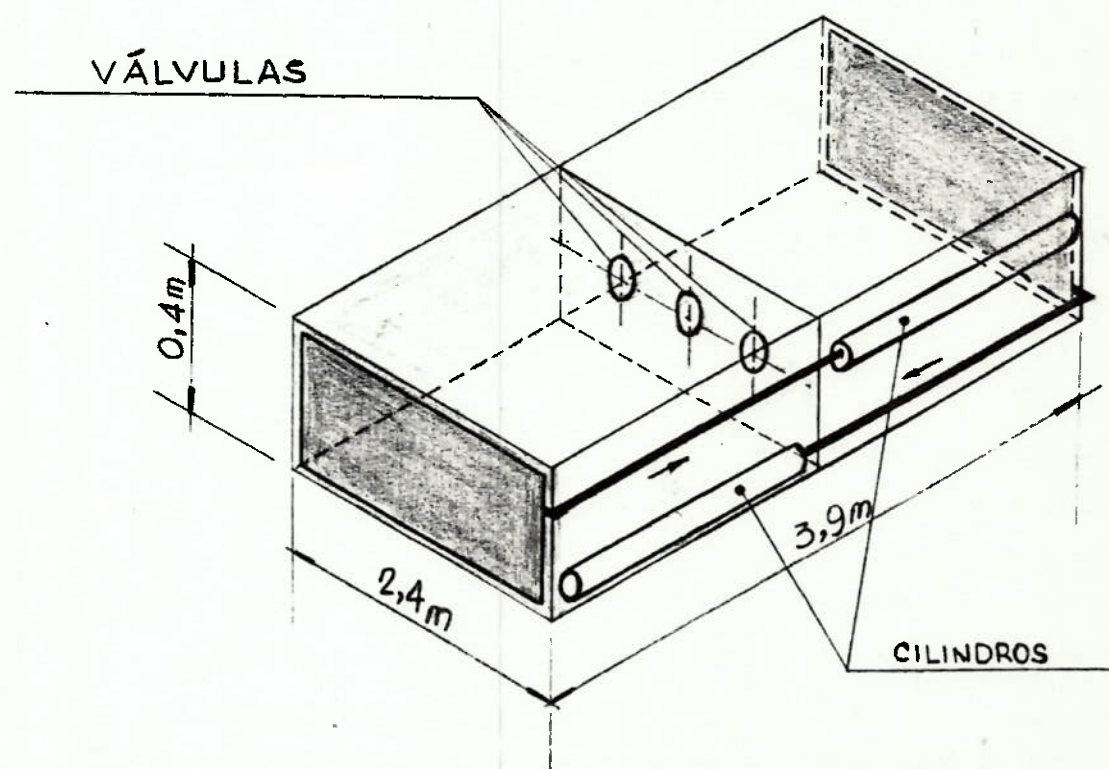
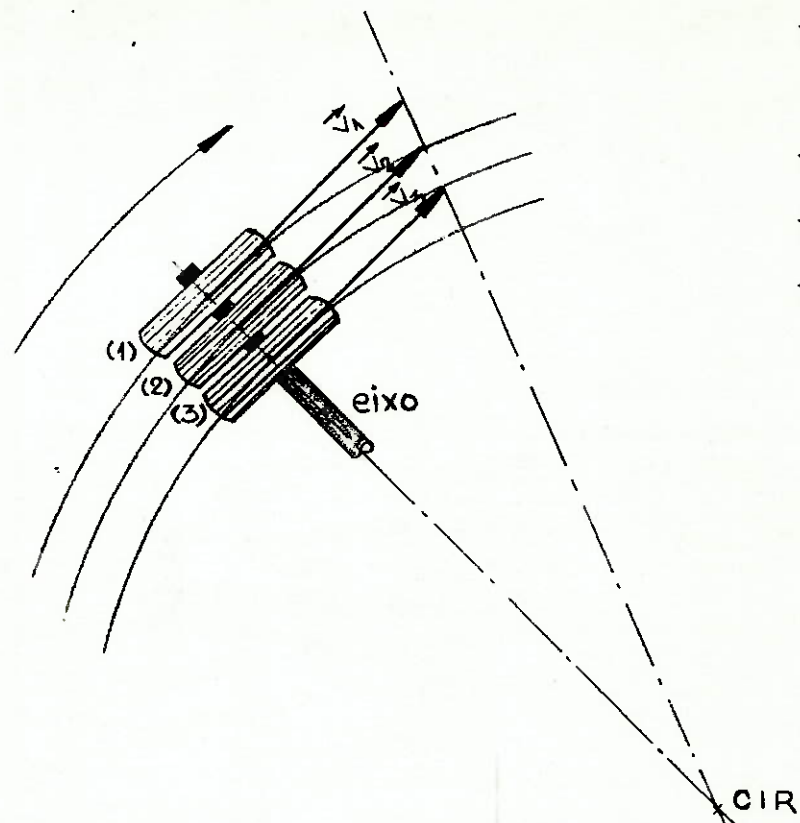


Figura 15 - Possível Tanque para o Veículo Principal.

etc. Portanto a solução é muito limitada pela própria variação pequena que o ônibus permite na alteração da distância entre eixos dianteiro e intermediário, e mesmo da posição de ambos relativa ao veículo. A solução deve, pois ser, abandonada.

NOTA: Sob o ponto de vista de valor econômico, a mudança das cotas dos eixos significaria um ônibus não padrão, o que aumentaria os custos de construção e implantação, visto ser escolhido o motor no reboque para procurar garantir que o veículo principal tenha características padronizadas, usuais e que estes possam ser utilizados dessa maneira.

3. Solução 6 (Deslocamento dos CGs do Veículo pela Relocação de Massas)

A solução se baseia em dois princípios para a sua efetividade:

- a. com alterações no CG, procurando deslocá-lo mais para a articulação (quer no carro principal, quer no reboque), os pneus dianteiros ou do reboque são menos solicitados por carga radial e, portanto, têm os seus desvios (ou deriva) decrescidos, assim como a oportunidade de uma derrapagem;
- b. a alteração na posição do CG para longe dos eixos dianteiro e reboque faz com que a massa nessas regiões diminua e com isso a força centrífuga que os pneus devem suportar lateralmente. Portanto a possibilidade de uma derrapagem nessas áreas é, também, decrescida.

No entanto, obedecendo as distâncias especificadas para a região entre ônibus e solo, e a disposição normal dos elementos estruturais sob o piso do veículo, não se consegue um espaço suficiente para acomodar uma quantidade de fluido que, quando deslocado,

influencie a trajetória do ônibus sem que haja uma significativa perda de capacidade útil.

Pela figura 15, pode-se calcular o volume de um tanque como esse para o caso do veículo principal (as dimensões estão desconsiderando outros arranjos necessários para o dispositivo como bombas pneumáticas, acumuladores, tubulação, válvulas, etc.):

$$V(1/2 \text{ tanque}) = \frac{3,9}{2} \times 0,4 \times 2,4 = 1,87\text{m}^3$$

$$\rho_{\text{(água)}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{massa de água} = 1.870\text{kg}$$

Para o veículo principal a capacidade útil máxima é de ... 15.000kgf. A massa de água, pois, ocupa 12% aproximadamente dessa capacidade, ou seja, o equivalente a 29 passageiros apenas no veículo principal.

Considerando também o veículo reboque, com comprimento do tanque igual a 2,7m:

$$V(1/2 \text{ tanque}) = \frac{2,7}{2} \times 0,4 \times 2,4 = 1,3\text{m}^3$$

$$\text{massa da água} = 1.300\text{kg}$$

Com relação ao veículo todo (reboque + veículo principal : capacidade útil de 25.000kgf/154 pessoas) têm-se o dispositivo, ou melhor, apenas os tanques com água ocupando:

- 3.170kgf, ou seja, 13% da capacidade total útil;
- a capacidade de carga equivalente a 49 pessoas, 32% da lotação total do ônibus.

Esses valores mostrando o sacrifício da capacidade do ônibus articulado na utilização do dispositivo levam a concluir que a

solução não é exequível fisicamente sem mesmo a análise de outros aspectos também negativos para o caso, como:

- pequena alteração na posição do CG com a transferência do fluido;
- intervalo de tempo não suficiente para o escoamento da água entre os semi-tanques;
- espaço físico para elementos de acionamento dos cilindros pneumáticos (o espaço dos tanques deverá ser sacrificado);
- espaço físico no próprio ônibus (dificilmente o tanque poderá ocupar o volume calculado visto a existência de vigas, longarinas, hastes de transmissão de movimentos, etc. nos lugares para ele previsto);
- impossibilidade de alterar a posição do tanque para outras partes do ônibus (como a superior ou a lateral) sem perda de volume útil ou sem desrespeitar as especificações construtivas.

4. Solução 7 (Freio Automático para o Motor e Eixo Dianteiro)

Alguns pontos devem ser observados para esta solução:

- efetividade do elemento de controle nº 1 - a comparação de rotações entre os eixos intermediário e reboque fornece, sem dúvida, uma indicação de canivetação (as rodas do eixo intermediário perdem a aderência ao solo e sua rotação, por depender desse contato, varia). Mas não indica, necessariamente, uma derrapagem do reboque pois este fenômeno é de direção normal ao movimento de giro dos pneus e não se pode garantir que há mudança na rotação do eixo reboque. No entanto, pela inércia das rodas, existirá um tempo de resposta excessivamente grande do elemento de controle comparador de rotações para que o dispositivo de frenagem atue eficazmente;

- efetividade de uma ação de frenagem no caso de derrapagem do reboque - sendo a força lateral atuante nos pneus proporcional ao quadrado da velocidade de translação do veículo ($F_c \propto \frac{V^2}{R}$), a ação de frenagem tem por fim diminuir este valor. Com isso, a perda da força de suporte lateral que passou a existir com a queda da adesão do pneu ao solo deixa de acontecer e a situação de estabilidade retorna com os valores normais de atrito de rolamento (vide figura 16 e explicação).

Nesse retorno há ação de uma força de suporte lateral (tentando anular a força lateral C e de uma força de frenagem F (devido à parada do motor). Observa-se, pois, que a força lateral C pode ter a colaboração da força F para aumentar a resultante R e novamente ultrapassar o valor de atrito μ , ocorrendo uma instabilidade, agora, por deslize do pneu. Especial atenção deve ser dada a essa frenagem, ou seja, ao valor da força F .

A ação do freio nas rodas do eixo dianteiro, no caso de canivetação, provoca um giro do veículo principal ao redor da região dianteira. Tal evento não colabora na eliminação da instabilidade mas garante o travamento necessário para que o canivetamento ocorra com elevado deslocamento da posição central do veículo (vide figura 17). Deve, neste caso, essa ação de frenagem ser retirada do dispositivo.

- instabilidade do veículo principal - o freio, ao agir, impõe forças aos pneus, aos eixos e às suspensões.

Deseja-se que atue de forma equilibrada para evitar distúrbios nas três direções do ônibus: longitudinal, transversal e vertical. No entanto os freios dianteiros, sendo os únicos acionados no veículo principal, poderão criar instabilidades no eixo inter

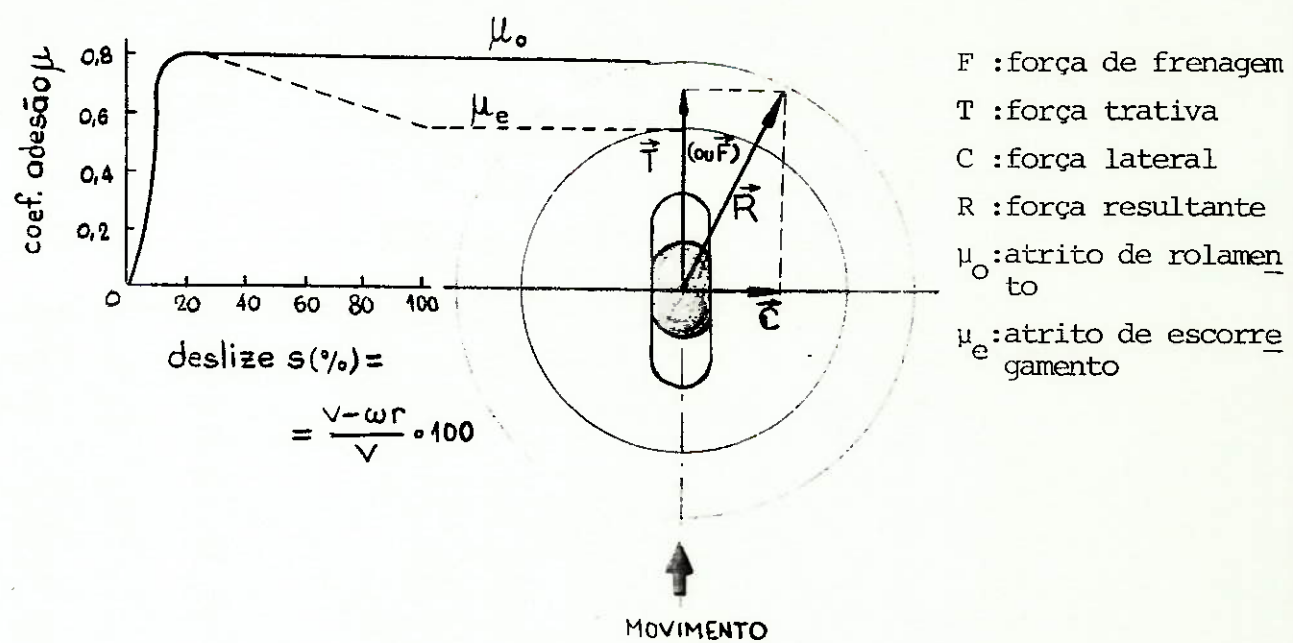


Figura 16 - As forças T e C formam o vetor resultante R. Enquanto R permanecer dentro do círculo de μ_o , há rolamento. Se C ou T fizerem R não ser contida por μ_o , o atrito cairá rapidamente para μ_e e a roda começa a deslizar ou, no caso de uma curva, a derrapar. A força de suporte lateral desaparece totalmente e T perde a sua direção prévia de rolamento. Da mesma forma, invertendo o sentido de movimento do pneu, tem-se a força de tração agora como força de frenagem atuante na roda e o mecanismo acima descrito ocorre igualmente.

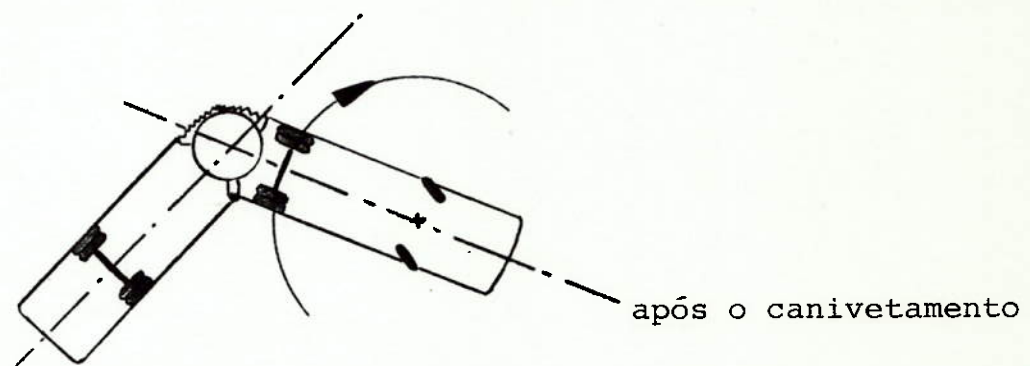
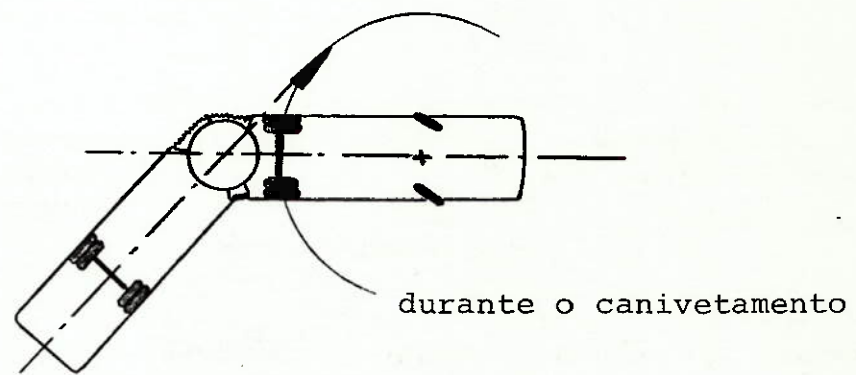


Figura 17 - Travamento do Eixo Dianteiro e Giro do Eixo Intermediário no Ônibus Articulado em Situação de Canivetamento.

mediário e, se a frenagem do motor não estiver conjugada com a dianteira, também com o veículo reboque.

Devido às instabilidades citadas, geradas por uma frenagem não uniforme que ocorre em alguns eixos do veículo e em outros não (no caso de canivetação deve-se ter só a frenagem do motor), a solução mostra-se não garantida para a segurança em situações de curva, sendo não aceita.

5. Solução 8 (Freio Automático para o Eixo Reboque)

Assim como explanado para a solução nº 7, o elemento de controle mostrado não garante uma resposta precisa. Necessita-se alterar o elemento de controle para o de nº 2 da solução nº 7 (comparador de ângulos). Pelas instabilidades geradas na frenagem também não uniforme e por não solucionar o problema do canivetação no caso de uma resposta mais lenta do dispositivo (como acontece na solução nº 7), o dispositivo não atende à segurança e conclui-se, então, que não pode ser aceito.

6. Solução 9 (Tração e Direção Coincidentes no Eixo Reboque)

Pelos motivos já explicados nas soluções antes analisadas e no anexo 1, esta solução, sob o ponto de vista funcional, preenche os requisitos a que se propõe (derrapagem traseira). Entretanto necessita que o eixo reboque possua um diferencial, um eixo a ele ligado proveniente da caixa de transmissão e do motor, e um mecanismo de direção. É, portanto, muito mais complexo do que os eixos convencionais, carecendo de desenvolvimento adicional na conjugação dos mecanismos de transmissão e direção.

Além do mais, o eixo reboque terá sua capacidade útil restrita a 5.000, kgf, a qual será ocupada também pelos novos conjun

tos mecânicos conjugados

Se na solução nº 3 procura-se redistribuir o peso do eixo intermediário, aqui faz-se o inverso e a força de deriva deve ter o seu valor incrementado por essa razão.

Por esses motivos, notadamente a complexidade mecânica, a solução será abandonada procurando-se algum dispositivo mais simples e realmente eficaz.

7. Conclusões

O resumo da análise de exequibilidade física é ilustrado pelo quadro a seguir, onde se conclui que as soluções nºs 3, 4 e 10 passam à etapa de análise do valor econômico.

Observe-se que a solução 3 não tem por objetivo a correção da derrapagem dianteira mas esse caso continuará sendo comparado aos demais e se necessário participará de forma composta com outra solução.

SOLUÇÃO Nº	OBJETIVOS				LIMITANTES				
	DERRAPAGEM DIANTEIRA	CANIVETAMEN- TO	DERRAPAGEM TRASEIRA	ACEITA	NÃO ACEITA	DINÂMICAS	GEOMÉTRICOS	CONSTRUTI- VAS DO VEÍCULO	CONSTRUTI- VAS DO DISPOSITIVO
01		o			o	o	o	o	
02			o		o	o	o	o	
03		o	o	o					
04	o	o	o	o					
05	o				o			o	
06	o		o		o	o		o	
07		o	o		o	o			o
08	o	o			o	o			o
09			o		o			o	o
10	o	o	o	o					
TOTAL	05	06	07	03	07	05	02	05	03

A.5 - VIABILIDADE ECONÔMICA DAS SOLUÇÕES

O caráter do dispositivo em questão é o de segurança e manobrabilidade. A empresa fabricante do ônibus articulado está ciente dessa condição e necessita conhecer de que forma (quantidade e qualidade do produto) comporta-se-á a demanda quando as empresas de transporte urbano analisarem a compra do ônibus articulado com o(s) dispositivo(s) aplicado(s). Estas, por sua vez, desejarão conhecer o pensamento dos seus usuários quanto ao aumento, mesmo pequeno, na relação custo/benefício. Alguns pontos, pois, devem ser ressaltados:

- a empresa fabricante do ônibus articulado tem dois mercados com que se preocupar: as empresas de transporte urbano e os usuários do ônibus (passageiros), em última instância;
- por ter o dispositivo função de segurança (ao veículo e aos passageiros), torna-se interessante à empresa que fabrica o ônibus articulado visto que terá seus custos de manutenção reduzidos (caso de acidente com o ônibus) e estará provendo seus clientes de confiabilidade e segurança durante as viagens. Além dos mais, trata-se de exigência da fiscalização governamental para que haja níveis mínimos de segurança aos passageiros e transeuntes em situações de curvas, o que torna o projeto e utilização do dispositivo obrigatórios;
- baseado no item anterior pode-se afirmar que, no caso de inviabilidade econômica/financeira do dispositivo, o ônibus articulado em si torna-se inviável pelas exigências de segurança pública para a população;
- dois aspectos deverão ser considerados no estudo de viabilidade econômica do projeto: um, a escolha da(s) melhor(es) solução(ões)

pela relação custo/benefício produzido, ou seja, pelo valor econômico, e dois escolhida(s) solução(ões) verifica-se se o comportamento econômico da sua produção para a empresa (investimento, amortização e retorno).

1. Valor Econômico

Define-se o valor econômico (V.E) como:

$$V.E. = \frac{\text{Valor Atribuido}}{\text{Custo Total}}$$

As categorias de fatores e os seus pesos respectivos são:

- a. estética = 20%
- b. funcionalidade = 50%
- c. operacionalidade = 30%

Em cada categoria tem-se diversos fatores com pesos respectivos:

a. estética:

- arranjo físico externo (em relação ao veículo) - 10%
- arranjo físico interno (disposição íntima do dispositivo) - 10%

b. funcionalidade

- desempenho - 30%
- segurança - 10%
- conforto - 10%

c. operacionalidade

- durabilidade - 5%
- consumo de potência - 5%
- confiabilidade - 15%
- manutenção - 5%

A matriz de avaliação pode ser ^{os} contruída confrontando os di

versos fatores de valor citados com as três soluções determinadas. As notas são os valores atribuídos a cada uma das soluções. O quadro nº 1 ilustra a matriz de avaliação formada.

Para determinação dos custos envolvidos procede-se à aplicação do método de Delphi de repartição do projeto em subsistemas, conjuntos, partes e peças.

1.1. Solução nº 3: transferência de torque ao solo pelo eixo intermediário.

Não se trata de um dispositivo independente mas que será incorporado ao veículo como alteração inicial de projeto, ou seja, pertence funcionalmente ao ônibus articulado. Seu custo, pois, deverá ter um valor complementar ao do projeto inicial relativo à transmissão de torque ao solo.

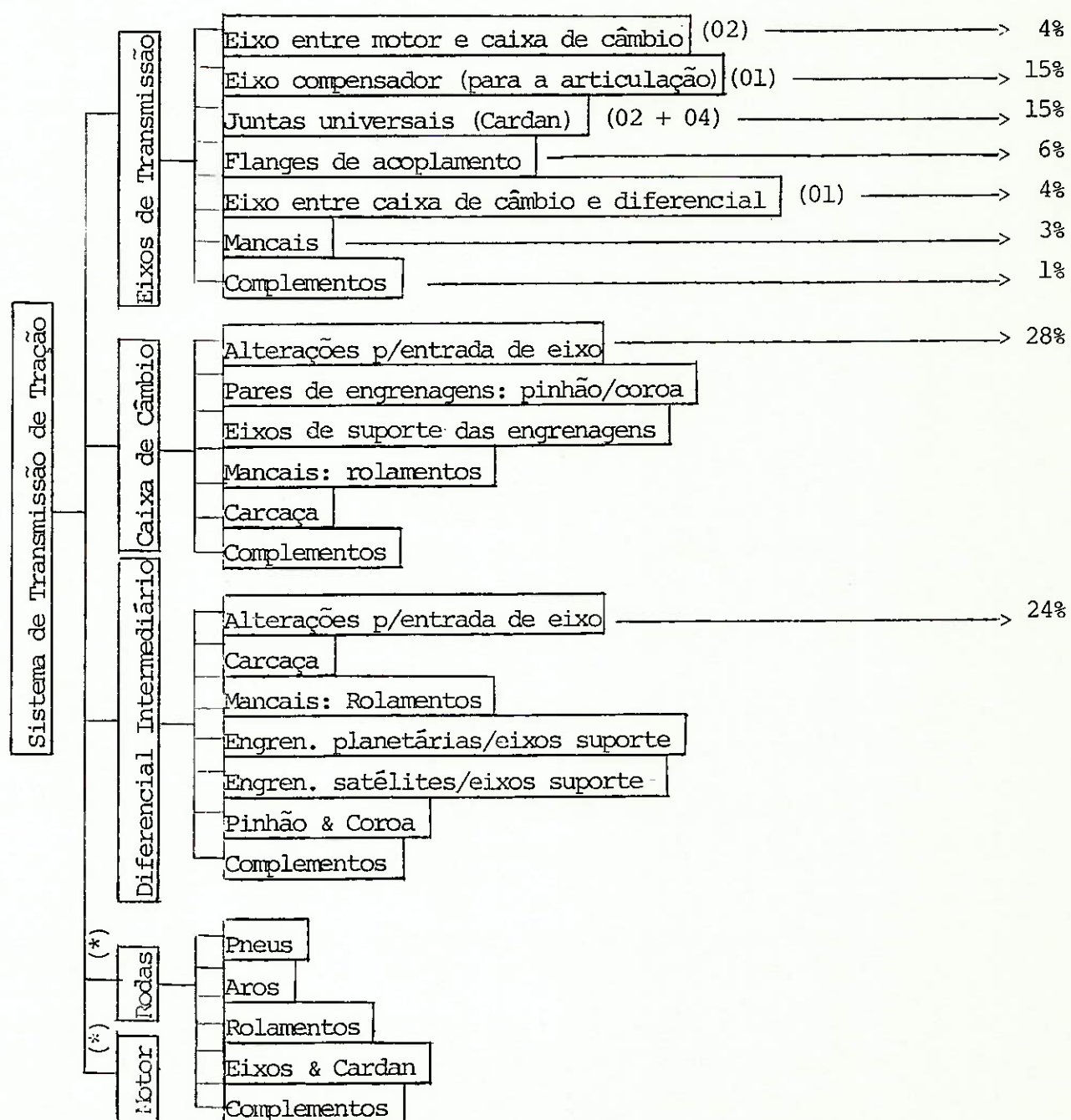
Categoria	Fator de Valor	Peso %	Solução nº 3 -Transmis.de Torque ao solo pelo eixo intermediário	Solução nº 4 -Disposit.ele-tro-hidráulico de controle da articulação	Solução nº 10 -eixos duplos-intermediário e/ou reboque
Estética	Arranjo Físico Externo	10	8	10	5
	Arranjo Físico Interno	10	8	6	8
Funcionalidade	Desempenho	30	6	8	7
	Segurança	10	7	9	8
	Conforto	10	7	9	9
Operacionalidade	Durabilidade	5	9	8	6
	Consumo de Pot.	5	8	8	6
	Confiabilidade	15	6	9	8
	Manutenção	5	9	7	7
	TOTAL	100	68	74	64
	MÉDIA PONDERADA		7,00	8,30	7,25
	MÉDIA PONDERADA NORMALIZADA		84,3	100,0	87,4

Quadro 1 - Matriz de Avaliação para Projeto do Dispositivo

Quadro 2 - Repartição do dispositivo da solução nº 03 onde se verifica a inovação apenas no conjunto de eixos de transmissão e nas modificações do diferencial e caixa de câmbio.

(*) conjuntos que não sofrerão alterações significativas em relação à montagem tipo "PUSHER BUS" (tração no eixo reboque);

() nº de peças, entre parênteses.



NOTA:

- os valores utilizados na aplicação do método de Delphi foram obtidos junto a fornecedores nacionais;
- os valores correspondem a julho/1984, assim como o valor da ORTN (Obrigação Reajustável do Tesouro Nacional) empregado nos Cálculos (13.254,67 Cr\$/ORTN);
- O custo total, em se tratando de linha de montagem e produção seriada, deve sofrer redução na dependência do número de unidades mensais;
- os custos do projeto não estão sendo considerados na estimativa;
- para os valores específicos dos conjuntos e peças, vide o quadro de repartição;

1.2. Solução nº 4 - Dispositivo eletrohidráulico de controle da articulação

O dispositivo atua nos três problemas, derrapagens traseira e dianteira, e canivetação. Trata-se de uma solução ativa, ao contrário das soluções nº 3 e 10 que estão incorporadas ao veículo e agem tempo integral.

O quadro 3, em anexo, mostra o método de Delphi aplicado ao dispositivo.

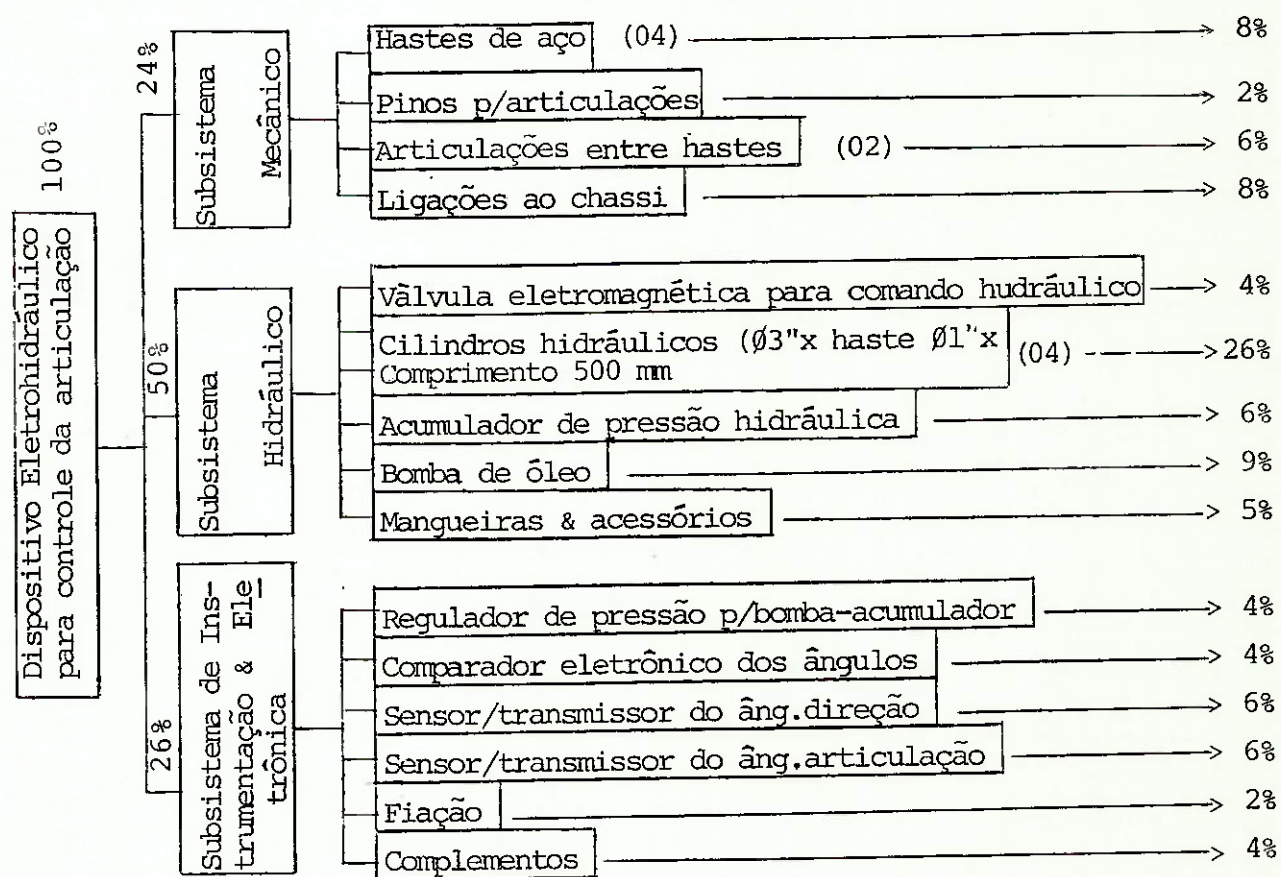
Estimativa de Custos para a Solução nº 4

material: 1% ~ 5,25 ORTNs

100% ~ 524,59 ORTNs

- subsistema instrumentação & eletrônica	:	139,39	ORTN's
- subsistema mecânico	:	125,90	ORTN's
- subsistema hidráulico - total	:	262,29	ORTN's
- cilindros hidráulicos	:	136,39 (04)	ORTN's
- bomba de óleo	:	47,28 (01)	ORTN's

Quadro 3 - Repartição do dispositivo da solução nº 04 com porcentagens de custo



mão-de-obra de fabricação e montagem: 50% do custo de material ~
262,29 ORTNs

custo total do dispositivo: 786,88 ORTNs

NOTAS: Vide notas do item "Estimativa de Custos para a Solução nº 3".

1.3. Solução nº 10 - Eixo duplo no eixo reboque e/ou no eixo intermediário

A figura 13, item A-3, ilustra a configuração assumida e as diferenças principais entre o veículo padrão e o construído com eixos duplos. Observe-se que para solucionar todo distúrbio aparente da melhor forma, torna-se necessária a instalação de eixo duplo no eixo intermediário e no eixo reboque. Da mesma maneira dever-se-ia executar estudos para verificar o quanto colaboraria com a estabilidade numa derrapagem dianteira a posição dos dois conjuntos de eixos posteriores.

O quadro 4 ilustra a aplicação do método de Delphi ao caso.

Estimativa de custos para Solução nº 10

material: 1% ~ 33,06 ORTN's
100% ~ 3.305,62 ORTN's

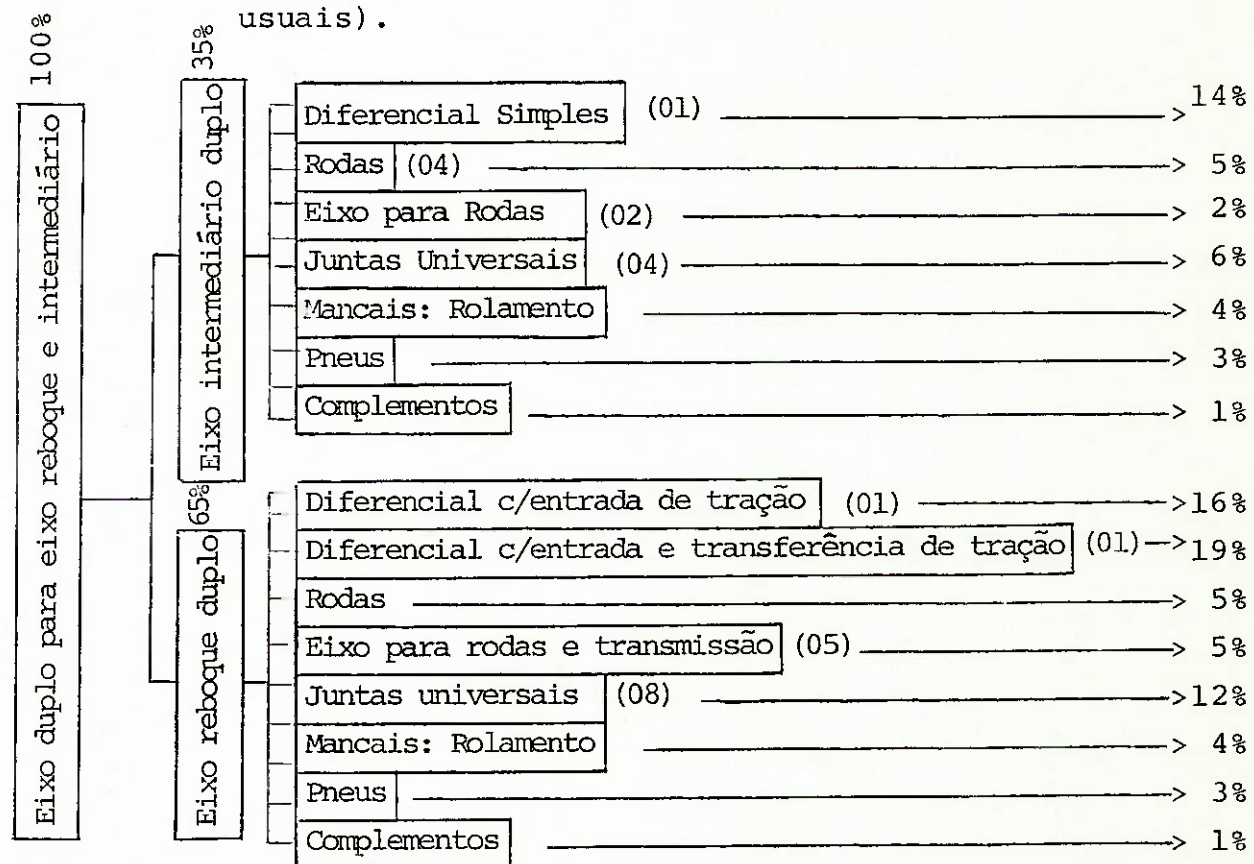
- conjunto do eixo intermediário duplo : 1.156,96 ORTN's
- conjunto do eixo reboque duplo c/dupla tração: 2.148,66 ORTN's

mão-de-obra de fabricação e montagem: 55-60% do custo de material:
1983,38 ORTN's

custo total do dispositivo: 5.289,00 ORTNs

NOTAS: Vide notas do item "Estimativa de Custos para Solução nº 3".

Quadro nº 4 - Repartição do dispositivo da solução nº 10 com porcentagens de custo (estão indicados apenas os conjuntos a serem acrescentados ao veículo padrão além dos usuais).



1.4. Determinação do Valor Econômico

Com os valores obtidos monta-se o quadro 5, síntese das quantidades dos fatores de valor e dos custos para as três soluções.

Í T E N S		C O L U N A	S O L U Ç Õ E S		
			Nº 3	Nº 4	Nº 10
Valor Atribuído		01	7,00	8,30	7,25
C U S T O S	Material (ORTNs)	02	704,24	524,59	3.305,62
	Mão-de-obra (ORTNs)	03	422,55	262,29	1.983,38
	Total (02)+(03) (ORTNs)	04	1126,79	786,88	5.289,00
Valor Econômico (01)/(04) ($\times 10^{-3} \text{ORTN}^{-1}$)		05	6,21	10,5	1,37
Valor Econômico Normalizado (0 a 100)		06	59,1	100,	13,0

Quadro 5 - Determinação do Valor Econômico para as Soluções nºs 03, 04 e 10.

O dispositivo nº 04 possui o maior valor econômico, seguido da solução nº 03. A solução nº 10, pelo baixo índice alcançado será inviabilizada, considerando-se apenas as restantes.

2. Análise de Investimento e Amortização

Os fluxos de entrada e a taxa de retorno (TIR) permitem de terminar o investimento inicial na produção necessária.

O fluxo de produção mensal, custos unitários e totais, fluxos de caixa a cada semestre estão computados a seguir. Os valores estão em ORTNs (Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional).

Produção ; 450 Unidades

Prazo : 24 Meses

Produção Média : 18,75 Unid/Mês

Taxa do Valor Adicional ao Custo : 12%

Quadro 6 - Custos Unitários e Totais para as Três Soluções

	SOLUÇÃO 03		SOLUÇÃO 04		SOLUÇÃO 10	
	Transferência de Torque ao Solo pelo Eixo Intermediário		Dispositivo Eletro-Hidráulico de Controle da Articulação		Eixo Duplo no Reboque e/ou na Intermediária	
	Unitário	Total	Unitário	Total	Unitário	Total
Material	704,24	316.908,00	524,59	236.065,50	3.305,62	1.487.529,00
Mão-de-Obra	422,55	190.147,50	262,29	118.030,50	1.983,38	892.521,00
TOTAL	1.126,79	507.055,50	786,88	354.049,00	5.289,00	2.308.053,00

Utilizando as mesmas taxas internas de retorno (21% a.a.) para as três soluções obter-se-á um lucro relativo maior para a solução 10, a qual também possuirá o maior risco de investimento.

A análise, como se concluiu na determinação do valor econômico, inviabilizou a solução 10. Assim adota-se as de nºs 03 e 04 por terem apresentado as maiores V.E. e oferecerem os menores riscos de investimento.

Ao considerarmos o custo inicial de cada projeto e uma taxa efetiva de rentabilidade de 21% a.a., temos o balanço dos investimentos realizados para as três soluções.

Quadro 7 - Fluxos de Caixa de Investimento e Retorno para as Três Soluções.

F L U X O S D E C A I X A									
SOLUÇÃO 3				SOLUÇÃO 4				SOLUÇÃO 10	
t (Dias)	Fluxo de Caixa	Balanço do Investimento	t (Dias)	Fluxo de Caixa	Balanço do Investimento	t (Dias)	Fluxo de Caixa	Balanço do Investimento	
0	(176.124,35)	(176.124,35)	0	(122.927,22)	(122.927,22)	0	(826.705,55)	(826.705,55)	
180	(125.559,62)	(301.683,97)	180	(88.524)	(211.451,22)	180	(589.359,38)	(1.416.064,93)	
360	127.968,13	(173.715,84)	360	90.207	(121.244,22)	360	600.665,63	(815.399,30)	
540	127.968,13	(45.747,71)	540	89.365,50	(31.878,72)	540	600.665,63	(214.733,67)	
720	127.968,13	82.220,42	720	89.365,50	54.486,78	720	600.665,63	385.931,96	

Quadro 8 - Resumo de Investimento e Retorno para as Três Soluções

S O L U Ç Ã O 3			S O L U Ç Ã O 4			S O L U Ç Ã O 10		
Vl. Aplicado	429.652,10		Vl. Aplicado	299.975,22		Vl. Aplicado	2.016.730,55	
B. Final	82.220,42		B. Final	54.486,78		B. Final	385.931,96	
% S/Vl. Aplicado	19,14		% S/Vl. Aplicado	18,16		% S/Vl. Aplicado	19,14	

B. PROJETO BÁSICO DE DISPOSITIVO PARA MANOBRABILIDADE E SEGURANÇA
DE ÔNIBUS ARTICULADO

B.1 - DETERMINAÇÃO DA MELHOR SOLUÇÃO

A realidade do transporte público em cidades do porte de São Paulo exige soluções que melhorem o conforto dos passageiros garantindo-lhes um período de tempo curto para locomoção e segurança no trajeto. Assim o ônibus articulado com motor e tração no reboque é uma solução a ser estudada com objetivo de ter reduzidas suas possibilidades de transitórios de derrapagem que colocam os passageiros e os veículos próximos em condições inseguras.

Dez soluções são apresentadas, sendo apenas três viáveis fisicamente conforme os critérios adotados. Da análise de viabilidade econômica restam apenas as soluções:

- nº 3 - Transferência de torque ao solo pelo eixo intermediário;
- nº 4 - Dispositivo eletrohidráulico de controle da articulação.

A opção de projeto será pela solução nº 4 pelos motivos dispostos a seguir:

- menor custo e risco econômico;
- efetividade de ação nos três tipos de instabilidade previstos;
- não necessidade de alterações no piso do ônibus para passagem da transmissão, como ocorre na solução nº 3;
- a solução nº 3 não atua em derrapagens dianteiras.

B.2 - MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ATUAÇÃO DO DISPOSITIVO

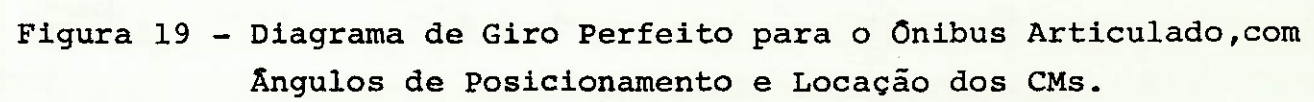
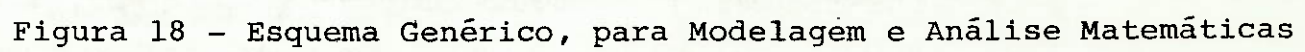
O dispositivo eletrohidráulico de atuação na articulação será analisado com base na:

- capacidade de resistir às forças nele atuantes durante a solicitação;
- capacidade de reduzir efetivamente os efeitos indesejáveis de derrapagem;

A modelagem descrita baseia-se na idéia de transformar o projeto em um objeto físico capaz de atuar contra derrapagens dos pneus. Para isso procura-se determinar um conjunto de equações cinemáticas, dinâmicas e funcionais aplicáveis ao ônibus articulado e ao dispositivo.

Em seguida têm-se quatro fases apoiadas no modelo antes de terminado:

- a. análise de sensibilidade: através de variáveis de entrada (baseadas nas exigências do problema a ser resolvido) do modelo, têm-se variáveis de saída, as quais mostram o sucesso ou não do dispositivo. Com base nisso, determina-se os parâmetros ou variáveis de projeto críticos, ou seja, que mais influenciam no seu desempenho (vide figura 18);
- b. análise de compatibilidade: verifica-se a compatibilidade dimensional e funcional entre os diversos subconjuntos que compõem o sistema ônibus articulado/dispositivo;
- c. análise de estabilidade: verifica-se se ocorrem instabilidade no sistema e/ou suas partes, determinando-se faixas onde ocorram com o objetivo de evita-las;



- d. otimização: procura-se uma combinação de parâmetros para o projeto de forma a atender certos critérios estabelecidos, como o maior desempenho e o menor custo.

Na modelagem matemática dividir-se-á o conteúdo em três partes:

1. modelagem do Ônibus articulado;
2. modelagem do dispositivo;
3. modelagem da interação dispositivo/ônibus.

Inicia-se pela modelagem do Ônibus articulado.

1. Modelagem do Ônibus Articulado

Os veículos articulados desde a década de 30 foram motivo de estudo quanto à sua dinâmica direcional. Já em 1937 L. Huber e O. Dietz em Stuttgart, Alemanha, ref.[11], estudaram a estabilidade dinâmica de veículos com reboque de 2 eixos em vias retas chegando a desvios pequenos dos resultados experimentais mas refletindo ainda a precocidade da análise.

H. Ziegler, ref.[11] também de Stuttgart, fez em 1952 um estudo quanto à estabilidade direcional do trator-reboque (um eixo). Da mesma forma D. Williams, ref [11], também executou tal estudo por volta de 1952. As falhas dos modelos adotados estavam no modelo escolhido para os pneus, onde era negligenciada a influência da deriva nas forças laterais. A. Slibar e P.R. Paslay, ref [22], em 1957, utilizaram a mais recente informação quanto aos ângulos de deriva e sua proporcionalidade com as forças de deriva. No entanto as hipóteses assumidas ainda fizeram o sistema não corresponder a todas as situações práticas.

F.Jindra (1963), F.D. Halles (1965) e J.R. Ellis (1966), ref. [16] desenvolveram modelos planos de veículos que utilizavam sistemas de equações linearizadas para a sua solução. Enquanto estes modelos podiam prever a ocorrência de flutuações na trajetória, não forneciam informações quanto às instabilidades não periódicas (derapagens e canivetamento). Em 1968, E.C. Mikulcik, ref [16], demonstrou que um veículo deve empregar um modelo de pneu limitado e não linear para prever acuradamente instabilidades como o canivetamento e o balanço do reboque.

Acompanhando a tendência de pesquisa de modelos sofisticados pelo computador na década de 70, surge um trabalho típico em 1972, o AVDS II por R. L. Eshleman e S. Desai, ref [12], em Chicago, e outro por J. Bernard et alli, ref [16], em 1973. Neste último chegou-se a um modelo com 32 graus de liberdade para prever o comportamento de veículos articulados.

Tais simulações podem prever os inúmeros movimentos de um veículo articulado com grande precisão, mas são custosos e necessitam de grande quantidade de informação a cerca do veículo e suas características. Portanto são simulações de valor para análises detalhadas ou para refinamento da configuração de certo veículo nas partes finais do projeto.

No caso em questão há necessidade do estudo das relações entre propriedades simples do veículo (principalmente forças nos eixos) e os vários limites de estabilidade, ao menos nesse primeiro estágio do projeto.

Chega-se, inicialmente, a quatro equações a partir da segunda lei de Newton (2 equações) e do teorema do momento angular (2 equações), e a sete incógnitas, faltando três relações independentes

adicionais para ter-se um problema proposto corretamente.

O modelo é baseado em B.W. Mooring e J. Genin (1982), ref. [16], e têm-se duas opções para as três equações faltantes:

- 1^a) análise do ângulo de deriva-força nos pneus: a força lateral é função do ângulo de deriva dos pneus segundo ilustra o gráfico 2. do anexo 1. Assim obtém-se três valores para o ângulo de deriva α (eixo frontal, intermediário e reboque) como função das características do veículo e das outras incógnitas. O procedimento é, em suma, $F_{L_i} = f(\alpha) = f(\text{veículo, variáveis dinâmicas})$, $i = f, t$ ou r . O sistema final é composto de 7 equações e 7 incógnitas, sendo as equações não lineares. Portanto um procedimento de integração numérica é o único meio prático de resolver o sistema. Para detalhes desta opção, vide final do anexo 1;
- 2^a) aproximação da restrição cinemática: segundo Mooring e Genin pode ser feita uma simplificação no conjunto das três equações assumindo a restrição cinemática de que a velocidade do centro da roda não se desvia do plano de rotação, ou seja, o ângulo de deriva α é nulo. O desenvolvimento matemático da aproximação é mostrado adiante. Os resultados dos autores mostram bons valores para as cargas laterais mas não prevêem movimentos oscilatórios ao redor de uma posição de equilíbrio.

Pelas dificuldades apresentadas na primeira alternativa quanto à forma de solução do conjunto de sete equações e pelas conclusões que se possui da restrição cinemática, optar-se-á por esta última por não incorrer em grandes erros no trato de instabilidades não periódicas e determinação de forças laterais.

Com base na figura 19 define-se um sistema referencial imóvel OXY e um referencial móvel preso ao ônibus articulado oxy (a origem está no centro de massa do veículo principal). O modelo é plano, não sendo consideradas alterações nos eixos $\overline{OZ}$ e $\overline{oz}$.

A seguir têm-se uma lista dos símbolos utilizados nesta modelagem:

Letras Gregas

$\psi, \dot{\psi}, \ddot{\psi}$ - ângulo, velocidade e aceleração da rotação do veículo principal no plano do solo;

$\gamma, \dot{\gamma}, \ddot{\gamma}$ - ângulo, velocidade e aceleração da rotação do reboque relativa ao veículo principal ($\gamma_{\max} = 45^\circ$)

δ - ângulo de direcionamento das rodas dianteiras em relação à linha de centro do veículo principal;

η_f, η_t, η_r - vetores unitários normais ao plano de rotação de cada roda (eixos frontal, intermediário e reboque);

μ - coeficiente de adesão pneu/solo;

α - ângulo de deriva dos pneus;

ρ, τ - ângulos auxiliares que definem o estado geométrico do dispositivo;

ξ, ν - ângulos definidos pelas hastes do dispositivo;

σ_{p1}, σ_{p2} - tensões normais devido às forças F_1 e F_2 ;

σ_e - tensão de escoamento do material;

σ_p - tensão limite de proporcionalidade do material;

σ_{fl} - tensão de flambagem do material;

$\lambda, \lambda_1, \lambda_2$ - índice de esbeltez das hastes;

Nomenclatura (letras e números)

a_3 - distância centro da articulação - CMVP;

a_4 - distância eixo dianteiro - CMVP;

a_5 - distância eixo intermediário - CMVP;

a_p - aceleração do CMVP (a_{px} , a_{py});

a_R - aceleração do CMR (a_{Rx} , a_{Ry});

b_5 - distância eixo reboque - CMR;

L_1 - distância entre eixos do veículo principal;

L_2 - distância centro da articulação - eixo reboque;

m_1, m_2 - massas do veículo principal e do reboque, respectivamente;

I_1, I_2 - momentos de inércia com relação aos centros de massa e eixo $\overline{oz}$ do veículo principal e do reboque, respectivamente;

$v, \dot{v}$ - velocidade e aceleração do CMVP na direção $\overline{ox}$;

$v_{py}, \dot{v}_{py}$ - velocidade e aceleração do CMVP na direção $\overline{oy}$;

$\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ - versores normais da base do sistema $\overline{oxyz}$;

F_{Ff}, F_{Ft}, F_{Fr} - forças de frenagem nos eixos dianteiro, intermediário e reboque, respectivamente;

F_{Lf}, F_{Lt}, F_{Lr} - forças laterais nos eixos dianteiro, intermediário e reboque, respectivamente;

F_{Bx}, F_{By} - forças na articulação (ponto B);

F_T - força de tração no eixo reboque;

CMVP - centro de massa do veículo principal (ponto P);

CMR - centro de massa do reboque (ponto R);

Y_P - localização do CMVP em $\overline{oy}$;

t - tempo

V_f, V_t, V_r - velocidades translacionais das rodas dianteira, interme
diária e do reboque;

Δt - intervalo de tempo para resolução da equação diferencial $\dot{\gamma} = f(\gamma)$;

F_{ad} - força de adesão roda/solo;

F_N - força normal sobre o eixo (peso)

g - aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$);

N_f, N_t, N_r - nº de pneus em cada eixo, respectivamente;

m_{EF}, m_{ET}, m_{ER} - massa suportada por cada eixo;

HM - comprimento da haste rígida do dispositivo;

LPL, LPT - localização longitudinal e transversal, respectivamente,
do ponto de fixação do pistão ao ônibus;

LP - localização do ponto de fixação do pistão ao ônibus (distância
centro da articulação - ponto de fixação);

DH - diâmetro da haste rígida;

DPI - diâmetro do pistão;

DHP - diâmetro da haste do pistão;

CHP - comprimento da haste do pistão;

$(x, y); (x_2, y_2); (x_1, y_1)$ - pontos de articulação e fixação do disposi-
tivo;

m, m_3, m_4 - coeficientes angulares de retas definidas pelo dispositi-
vo;

BR - braço de aplicação de forças na articulação do dispositivo;

F_1, F_2 - forças nas hastes do dispositivo;

F_x, F_y - forças no dispositivo, em X e Y;

F'_F, F'_T, F'_R - forças suportadas pela força da adesão em cada eixo;

A_{HP}, A_H - áreas da haste rígida e da haste do pistão;

J_x - momento de inércia da seção das hastes do dispositivo em relação a $\overline{XX}$;

i - raio de giração da seção;

E - módulo de elasticidade do material;

A_i, A_e - área interna e externa do êmbolo do pistão;

P_i, P_e - pressão interna e externa do êmbolo do pistão;

F_{XS}, F_{YS} - forças de segurança em X e Y;

m_i - módulo da força instável;

m_s - módulo da força de segurança.

Utilizando os fundamentos da mecânica clássica, tem-se (figura 20):

1. Equações Cinemáticas

As acelerações dos centros de massa são:

$$\begin{aligned} \vec{a}_p &= \underbrace{(\dot{V} - \sigma_{py} \cdot \dot{\psi}) \cdot \hat{i}}_{a_{px}} + \underbrace{(\dot{v}_{py} + V \cdot \dot{\psi}) \cdot \hat{j}}_{a_{py}} \\ \vec{a}_R &= [V - v_{py} \cdot \dot{\psi} + (\ddot{\gamma} + \ddot{\psi})(L_2 - b_5) \cdot \sin\gamma + (\dot{\gamma} + \dot{\psi})^2 \cdot (L_2 - b_5) \cos\gamma + a_5 \cdot \dot{\psi}^2] \cdot \hat{i} + \\ &\quad [\sigma_{py} + V \cdot \dot{\psi} - (\ddot{\gamma} + \ddot{\psi})(L_2 - b_5) \cdot \cos\gamma + (\dot{\gamma} + \dot{\psi})^2 (L_2 - b_5) \sin\gamma - a_5 \cdot \dot{\psi}^2] \cdot \hat{j} \quad (2) \end{aligned}$$

Outras equações cinemáticas serão adotadas na simplificação do modelo.

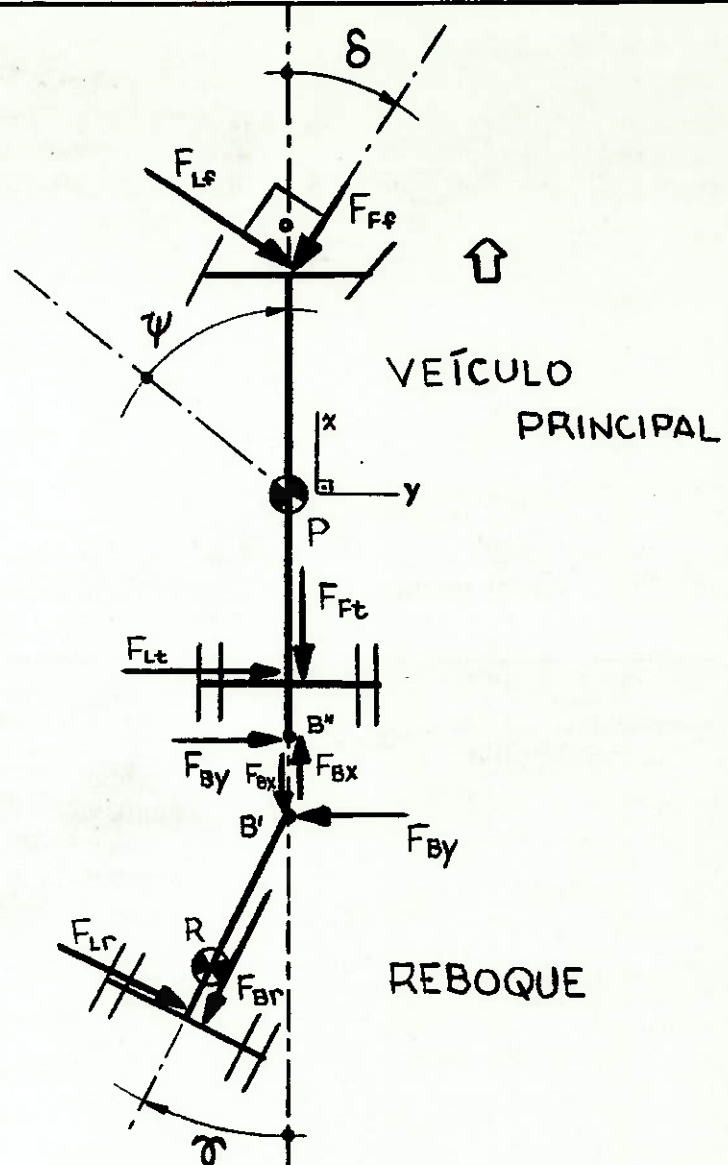


Figura 20 - Diagramas de Corpo Livre para o Veículo Principal e Reboque

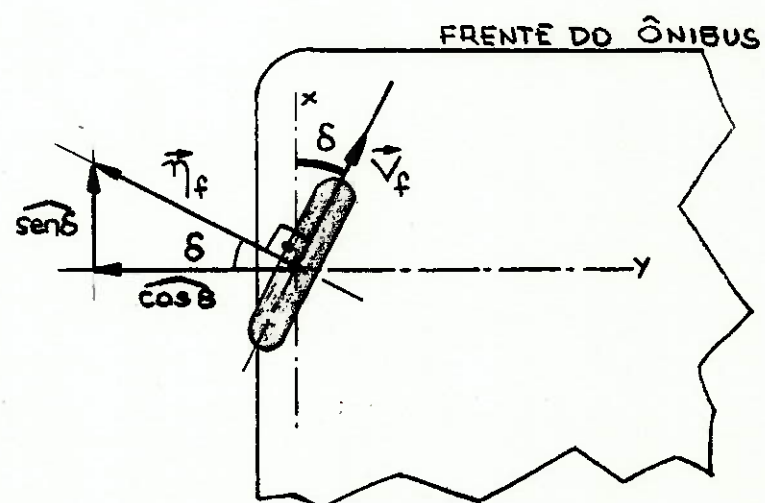


Figura 21 - Representação do Vetor Normal Unitário para Roda Dianteira e do seu Vetor Velocidade
OBS: semelhante para os demais eixos

2. Equações Dinâmicas

Aplicação do Teorema do Movimento do Baricentro (2a. Lei de Newton) ao ônibus como um só corpo (veículo principal+reboque), nas direções x e y:

$$-F_{Lf} \cdot \sin \delta - F_{Ff} \cdot \cos \delta - F_{Lr} \cdot \sin \gamma - F_{Fr} \cdot \cos \gamma - F_{Ft} = m_1 \cdot a_{Px} + m_2 \cdot a_{Rx} \quad (3)$$

$$F_{Lf} \cdot \cos \delta - F_{Ff} \cdot \sin \delta + F_{Lr} \cdot \cos \gamma - F_{Fr} \cdot \sin \gamma + F_{Lt} = m_1 \cdot a_{Py} + m_2 \cdot a_{Ry} \quad (4)$$

Aplicação do Teorema do Momento Angular com polo no CMVP (eq. 5) e polo na articulação (ponto B) para o reboque (eq. 6):

$$F_{Lf} \cdot a_4 \cdot \cos \delta - F_{Ff} \cdot a_4 \cdot \sin \delta - F_{Lr} \cdot a_3 \cdot \cos \gamma + F_{Fr} \cdot a_3 \cdot \sin \gamma - F_{Lt} \cdot a_5 = I_1 \cdot \ddot{\psi} - a_3 \cdot m_2 \cdot a_{Ry} \quad (5)$$

$$I_2 (\ddot{\psi} + \ddot{\gamma}) - (L_2 - b_5) \cdot m_2 \cdot (a_{Ry} \cdot \cos \gamma - a_{Rx} \cdot \sin \gamma) = -F_{Lr} \cdot L_2 \quad (6)$$

Com as equações (3), (4), (5) e (6), as quais utilizam as acelerações de (1) e (2), têm-se 4 equações com incógnitas em número superior ao necessário para determinação da solução do sistema. As variáveis e incógnitas são $\dot{\psi}, \ddot{\psi}, \gamma, \dot{\gamma}, \ddot{\gamma}, v_{py}, \dot{v}_{py}, F_{Ff}, F_{Ft}, F_{Fr}, F_{Lf}, F_{Lt}, F_{Lr}$, visto serem fornecidas como condição de regime os valores particulares dimensionais do veículo (parâmetros fixos) e os valores de $\delta = \delta(t)$, $V = V(t)$ e, portanto, $\dot{V}$. O sistema, pois, se resume na determinação das funções ψ, γ, v_p e forças atuantes em função do tempo. Têm-se um sistema de 4 equações diferenciais e 9 incógnitas.

3. Hipóteses Simplificadoras

Com o objetivo de reduzir o número de incógnitas e facilitar o sistema para a resolução, assume-se simplificações que devem, inclusive, procurar atender ao caso específico de instabilidades em curvas por um ônibus articulado com determinada velocidade e ângulo da direção.

- 3.1. o ônibus está no modo trativo, ou seja, acelerando: com isso as forças de frenagem são nulas e a força do freio no eixo reboque muda de sentido tornando-se de tração ("Pusher Bus"). Simbolicamente têm-se $F_{Ff} = F_{Ft} = 0$ e $F_{Fr} = -F_T$;
- 3.2. a velocidade tangencial do veículo principal ao longo da curva é constante: com isso as forças laterais e trativa ocorrem devido à aceleração centrípeta e à direção discordante de um ângulo δ das rodas dianteiras em relação à linha longitudinal do veículo principal. Simbolicamente, $\dot{V}=0$ e $V=\text{constante}$;
- 3.3. aproximação da restrição cinemática: como explicado no início do item B.2, optou-se por abolir o efeito da força de deriva dos pneus para se ter apenas as forças laterais limites. A hipótese é quanto à velocidade do centro da roda não se desviar do seu plano de rotação ($\alpha=0$). Esta restrição pode ser apresentada matematicamente pelo desenvolvimento inicial de um vetor unitário normal ao plano de rotação de cada roda. Estes valores podem ser expressos como:

$$\vec{n}_f = \sin\delta \cdot \vec{i} - \cos\delta \cdot \vec{j}$$

$$\vec{n}_t = \vec{j}$$

$$\vec{n}_r = \sin\gamma \cdot \vec{i} - \cos\gamma \cdot \vec{j}$$

As equações de restrição para as rodas em cada eixo é agora determinada fixando o produto escalar entre os vetores acima e os vetores velocidade do centro da roda em cada eixo como nulo. Esta operação resulta em três equações de restrição, como segue (figura 21) :

$$a. \quad \vec{V}_f = V\hat{i} + (v_{py} + a_4 \cdot \dot{\psi})\hat{j} \quad (\text{aplicação da equação de Poisson para velocidades } \vec{V}_p = \vec{V}_O + \omega \vec{X}(P-O))$$

$$\vec{n}_f = \sin\delta \cdot \hat{i} - \cos\delta \cdot \hat{j}$$

$$\vec{V}_f \circ \vec{n}_f = 0 \Rightarrow \boxed{V \cdot \sin\delta - (v_{py} + a_4 \cdot \dot{\psi}) \cos\delta = 0} \quad (7)$$

$$b. \quad \vec{V}_t = V \cdot \hat{i} + (v_{py} - a_5 \cdot \dot{\psi})\hat{j}$$

$$\vec{n}_t = \hat{j}$$

$$\vec{V}_t \circ \vec{n}_t = 0 \Rightarrow \boxed{v_{py} = a_5 \cdot \dot{\psi}} \quad (8)$$

Aplicando na equação (7) têm-se:

$$\boxed{\dot{\psi} = \frac{V \cdot \tan\delta}{L_1}} \quad (9)$$

$$\boxed{v_{py} = \frac{a_5 \cdot V \cdot \tan\delta}{L_1}} \quad (10)$$

$$c. \quad \vec{V}_r = [V + L_2(\dot{\psi} + \dot{\gamma}) \sin\gamma] \hat{i} + [v_{py} - a_3 \cdot \dot{\psi} - L_2(\dot{\psi} + \dot{\gamma}) \cos\gamma] \hat{j}$$

$$\vec{n}_r = \sin\gamma \cdot \hat{i} - \cos\gamma \cdot \hat{j}$$

$$\vec{V}_r \circ \vec{n}_r = 0 \Rightarrow V \cdot \sin\gamma + L_2(\dot{\psi} + \dot{\gamma}) \sin^2\gamma - v_{py} \cdot \cos\gamma + a_3 \cdot \dot{\psi} \cdot \cos\gamma + L_2(\dot{\psi} + \dot{\gamma}) \cdot \cos^2\gamma = 0$$

Desenvolvendo e introduzindo os valores das equações (9) e (10):

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{a_5 - a_3}{L_2} \cdot \cos\gamma - 1 \right) \frac{V \cdot \operatorname{tg}\delta}{L_1} - \frac{V \cdot \operatorname{sen}\gamma}{L_2} \quad (11)$$

Ao final das simplificações obtém-se o seguinte conjunto de equações e incógnitas:

$$\dot{\psi} = \frac{V \cdot \operatorname{tg}\delta}{L_1} = \text{constante} \quad (9)$$

$$\ddot{\psi} = 0 \quad (\text{não há aceleração angular no giro do veículo principal})$$

$$v_{py} = \frac{a_5 \cdot V \cdot \operatorname{tg}\delta}{L_1} \quad (10)$$

$$\dot{v}_{py} = 0 \quad (13)$$

$$\psi = \dot{\psi} \cdot t \quad (14)$$

$$y_p = \frac{a_5 \cdot V \cdot \operatorname{tg}\delta}{L_1} \cdot t \quad (15)$$

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{a_5 - a_3}{L_2} \cdot \cos\gamma - 1 \right) \frac{V \cdot \operatorname{tg}\delta}{L_1} - \frac{V \cdot \operatorname{sen}\gamma}{L_2} \quad (11)$$

$$\ddot{\gamma} = \left(\frac{a_3 - a_5}{L_2} \cdot \operatorname{sen}\gamma \cdot \frac{V \cdot \operatorname{tg}\delta}{L_1} - \frac{V \cdot \cos\gamma}{L_2} \right) \cdot \dot{\gamma} \quad (16)$$

$$a_{px} = -v_{py} \dot{\psi} \quad (1.1)$$

$$a_{py} = V \cdot \dot{\psi} \quad (1.2)$$

$$a_{Rx} = \ddot{\gamma}(L_2 - b_5) \sin \gamma + (\dot{\gamma} + \dot{\psi})^2 (L_2 - b_5) \cos \gamma \quad (2.1)$$

$$a_{Rx} = a_{py} - (L_2 - b_5) \cdot \ddot{\gamma} \cdot \cos \gamma + (L_2 - b_5) (\dot{\gamma} + \dot{\psi})^2 \cdot \sin \gamma \quad (2.2)$$

O sistema de equações (3) a (6) passa a ser linear (a menos da função $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}(t)$ e a ter apenas 4 incógnitas: F_{Lf} , F_{Lt} , F_{Lr} e F_T .

O valor de F_{Lr} é determinado diretamente da equação (6):

$$F_{Lr} = \frac{(L_2 - b_5) \cdot m_2 \cdot (a_{Ry} \cdot \cos \gamma - a_{Rx} \cdot \sin \gamma) - I_2 \cdot \ddot{\gamma}}{L_2} \quad (6.1)$$

O sistema passa a ser linear 3x3 representado por:

$$- \sin \delta \cdot F_{Lf} + \cos \gamma \cdot F_T = m_1 \cdot a_{Px} + m_2 \cdot a_{Rx} + F_{Lr} \cdot \sin \gamma \quad (3.1)$$

$$\cos \delta \cdot F_{Lf} + \sin \gamma \cdot F_T + F_{Lt} = m_1 \cdot a_{Py} + m_2 \cdot a_{Ry} - F_{Lr} \cdot \cos \gamma \quad (4.1)$$

$$a_4 \cdot \cos \delta \cdot F_{Lf} - a_3 \cdot \sin \gamma \cdot F_T - a_5 \cdot F_{Lt} = a_3 \cdot \cos \gamma \cdot F_{Lr} - a_3 \cdot m_2 \cdot a_{Ry}$$

ou pela equação matricial:

$$\begin{bmatrix} -\sin \delta & \cos \gamma & 0 \\ \cos \delta & \sin \gamma & 1 \\ a_4 \cdot \cos \delta & -a_3 \cdot \sin \gamma & -a_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_{Lf} \\ F_T \\ F_{Lt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \cdot a_{Px} + m_2 \cdot a_{Rx} + F_{Lr} \cdot \sin \gamma \\ m_1 \cdot a_{Py} + m_2 \cdot a_{Ry} - F_{Lr} \\ a_3 \cdot \cos \gamma \cdot F_{Lr} - a_3 \cdot m_2 \cdot a_{Ry} \end{bmatrix}$$

A equação (11) é diferencial e, apesar de não conseguir integração analítica, pode-se utilizar um método numérico como o de Runge-Kutta para resolvê-la com a condição $\gamma(t=0) = 0$. É o que se

faz no computador ro computador com um método de terceira ordem e passo $\Delta t = 0.25s$, obtendo-se valores bastante acurados. A expressão para o método está no apêndice da ref. [26].

Observe-se que $\dot{Y}_p$ e $\dot{\psi}$ são obtidos por integração de v_{py} e $\dot{\psi}$ em Δt , enquanto que $\ddot{v}_{py}$, $\ddot{\psi}$ e $\ddot{\gamma}$ provêm da diferenciação em relação a t .

4. Modelo de Adesão RODA-PISTA

Admitir-se-á uma força de adesão proporcional à força normal F_N atuante no eixo:

$$F_{ad} = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m_E \cdot g > F_{LE} \quad \left. \vphantom{F_{ad} = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m_E \cdot g} \right\} \begin{array}{l} \text{condição de aderência e} \\ \text{estabilidade.} \end{array} \quad (17)$$

onde $\mu = [0.5; 0.7; 0.75]$

conforme as condições da pista (vide especificações técnicas), m_e = massa suportada pelo eixo, g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$), F_{LE} = força lateral suportada pelo eixo (F_{Lf} , F_{Lt} ou F_{Lr}). O teste de adesão é executado com base na condição da equação (17).

Para a situação de peso bruto nominal, ter-se-á:

	ASFALTO MOLHADO	CONCRETO MOLHADO	ASFALTO/CONCRETO SECO	
$F_{Lf} < \dots$	2500,	3500,	3750,	kgf
$F_{Lt} < \dots$	5000,	7000,	7500,	kgf
$F_{Lr} < \dots$	5000,	7000,	7500,	kgf

Devido às variações na dinâmica do ônibus com a distribuição diferencial de passageiros pelo veículo, os valores de m_e serão alterados simulando diferentes condições de carregamento.

OBS: Pelo número de pneus aparecer tanto na força normal como na força de adesão, a relação entre ambas é independente dele.

5. Valores Característicos do Ônibus Articulado

As dimensões do ônibus foram fornecidas no item A.2, assim como o valor de PBN por eixo. O centro de massa do reboque é admitido fixo, enquanto que o do veículo principal localiza-se conforme o peso suportado pelos eixos frontal e intermediário. Os momentos de inércia foram estimados com base em Mooring e Genin, ref [16], e nas fórmulas usuais específicas para sólidos simples, em função da massa de cada veículo.

Como já explicado, os valores das massas suportadas pelo eixo (m_{EF} , m_{ET} , m_{ER}) variarão. Estabelecido que para 154 passageiros e peso bruto nominal a massa do ônibus vazio é de cerca de 15.000, kg, poder-se-á ter uma variação, por eixo, como tabelado abaixo:

EIXO	CARGA MÍNIMA (kgf)	CARGA ADICIONAL MÁXIMA (kgf)	LIMITES DE VARIAÇÃO DE CARGA POR EIXO (kgf)	VARIAÇÃO DO Nº DE PASSAGEIROS
Dianteiro	3.000,	2.000,	3.000, - 5.000,	0 - 30
Intermediário	6.000,	4.000,	6.000, -10.000,	0 - 62
Reboque	6.000,	4.000,	6.000, -10.000,	0 - 62
TOTAL	15.000,	10.000,	15.000, -25.000,	0 -154

massa de 154 passageiros (65 kg/passag.) $\approx$ 10.000, kg

Os valores característicos para o veículo principal são:

$$m_1 = m_{EF} + m_{ET} \quad (\text{kg})$$

$$L_1 = 5,6 \text{ m}$$

$$a_4 = \left(1 - \frac{m_{EF}}{m_1}\right) \cdot L_1 \quad (\text{m})$$

$$a_5 = L_1 - a_4 \quad (\text{m})$$

$$a_3 = 2,129 + a_5 \quad (\text{m})$$

$$I_1 = 9,397 \cdot m_1 \quad (\text{kg.m})$$

$$N_f = 02 \text{ rodas}$$

$$N_T = 04 \text{ rodas}$$

Os valores para o reboque:

$$m_2 = m_{ER} \quad (\text{kg})$$

$$L_2 = 4,543 \text{ m}$$

$$b_5 = 0,60 \text{ m}$$

$$I_2 = 7,449 \cdot m_2 \quad (\text{kg.m}^2)$$

$$N_r = 04 \text{ rodas}$$

2. Modelagem do Dispositivo

O dispositivo acoplado à articulação sob o piso do ônibus está ilustrado na figura 25. Os valores passíveis de alteração são (na frente estão os valores iniciais adotados):

$$HM = 660, \text{ mm}$$

$$LPL = 860, \text{ mm}$$

$$LPT = 1224, \text{ mm}$$

$$DH = 50,8 \text{ mm} \quad (2")$$

$$DPI = 101,6 \text{ mm} \quad (4")$$

$$DHP = 50,8 \text{ mm} \quad (2")$$

$$CHP = 800, \text{ mm}$$

Aplicando os conceitos da Geometria Análítica à fig.22:

$$\text{equação da circunferência 2: } x^2 + (y-583,18)^2 = HM^2 \quad (18)$$

$$\text{equação da reta } 0-(X,Y): Y=m.X \quad (19)$$

$$\text{onde } m = \text{coeficiente angular da reta } m = \text{tg}(63,1^\circ - \frac{\gamma}{2}) \quad (20)$$

Da intersecção entre a circunferência 2 e a reta 0-(x,y) ,
tem-se:

$$(m^2+1) x^2 - 1166,36.m.x + [(583,18)^2 - HM^2] = 0 \quad (21)$$

Essa equação do segundo grau é facilmente resolvida, fornecendo 2 valores de X. Adota-se apenas o da solução com sinal positivo. O valor de y é dado pela expressão (19).

Observe que o valor de (x,y) varia de acordo com o valor de m, ou seja, conforme o ângulo γ .

O ponto (X_1, Y_1) é determinado por:

$$x_1 = 583,18 \cdot \text{sen} \rho = 583,18 \cdot \text{sen} (\gamma + 53,8^\circ) \quad (22)$$

$$y_1 = 583,18 \cdot \text{cosp} = 583,18 \cdot \cos (\gamma + 53,8^\circ) \quad (23)$$

O ponto (x_2, y_2) da fixação do pistão ao veículo é determinado por:

$$x_2 = LP \cdot \text{sen} \tau = LP \cdot \text{sen} (\gamma + 81,8^\circ) \quad (24)$$

$$y_2 = LP \cdot \text{cos} \tau = LP \cdot \cos (\gamma + 81,8^\circ) \quad (25)$$

$$\text{onde: } LP = \sqrt{LPT^2 + LPL^2} \quad (26)$$

Pela figura 23, os ângulos determinados pelas hastes dos dispositivos são definidos por:

$$m = \frac{Y}{X}, \quad x \neq 0 \quad (27)$$

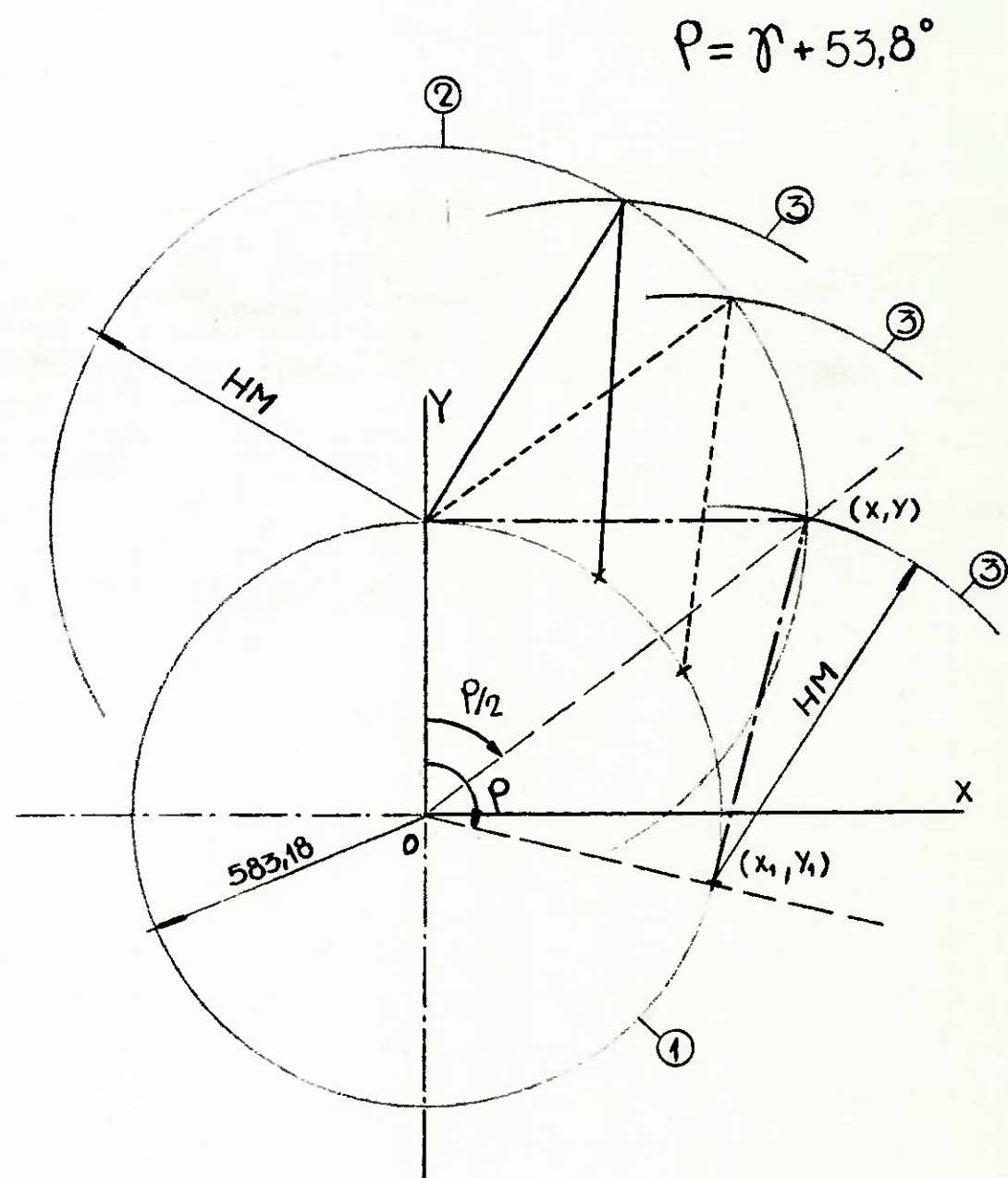


Figura 22 - Geometria do Dispositivo

$$m_4 = \frac{Y-Y_1}{x-x_1}, \quad x \neq x_1 \quad (28)$$

$$m_3 = \frac{Y-Y_2}{x-x_2}, \quad x \neq x_2 \quad (29)$$

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{m_4 - m}{1 + m \cdot m_4} \quad (30)$$

$$\operatorname{tg} v = \frac{m_3 - m_4}{1 + m_3 \cdot m_4} \quad (31)$$

O braço BR, necessário ao cálculo das forças atuantes nas barras, é obtido por:

$$BR = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (32)$$

3. Modelagem da Interação Ônibus-Dispositivo

Em cada lado do eixo de simetria do ônibus tem-se $\frac{Fx}{2}$ e $\frac{Fy}{2}$ agindo no dispositivo (figura 24).

Pela simetria da ação das forças e do próprio dispositivo têm-se pelas somatórias das forças em x e y:

$$- F_1 \cdot \operatorname{sen} (\xi + v) - F_2 \cdot \operatorname{sen} \xi + \frac{Fx}{2} = 0$$

$$- F_1 \cdot \cos (\xi + v) - F_2 \cdot \cos \xi + \frac{Fy}{2} = 0$$

Portanto:

$$F_2 = \frac{F_y - F_x \cdot \cotg(v + \xi)}{2[\cos \xi + \operatorname{sen} \xi \cdot \cotg(v + \xi)]} \quad (33)$$

$$F_1 = \frac{2F_2 \cdot \operatorname{sen} \xi + F_x}{2 \cdot \operatorname{sen}(\xi + v)} \quad (34)$$

A partir dos incrementos F' da força não suportada pelos pneus transversalmente, têm-se F'_x e F'_y , como a expressão e tabela

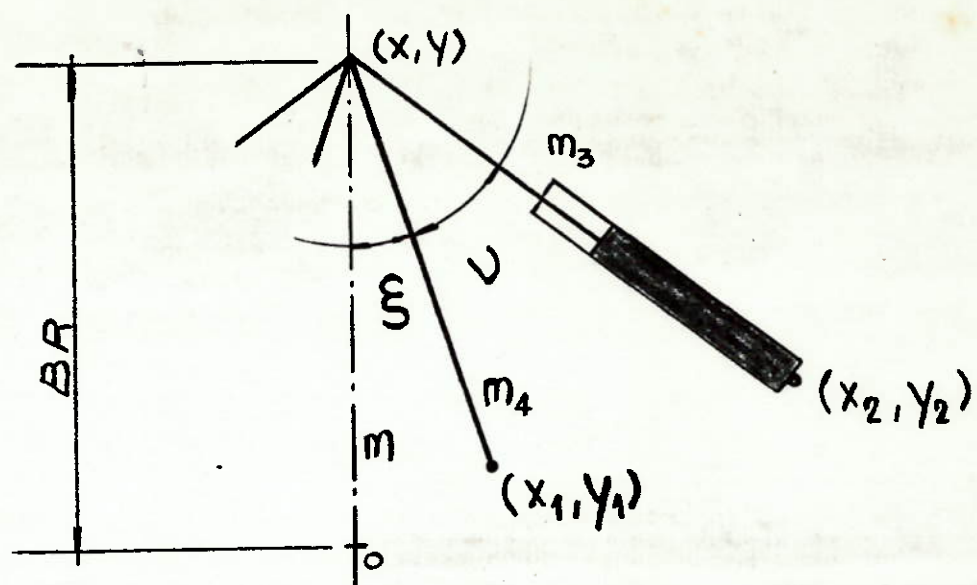


Figura 23 - Ângulos do Dispositivo (entre as hastes)

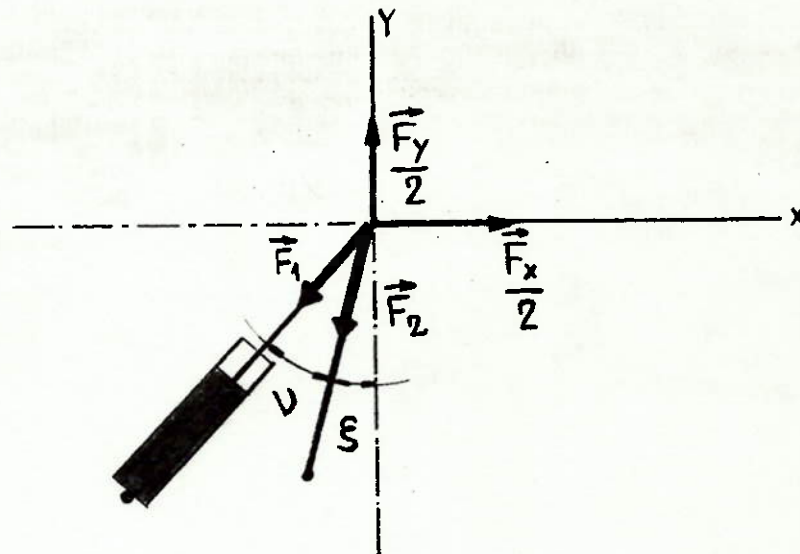


Figura 24 - Forças no Dispositivo

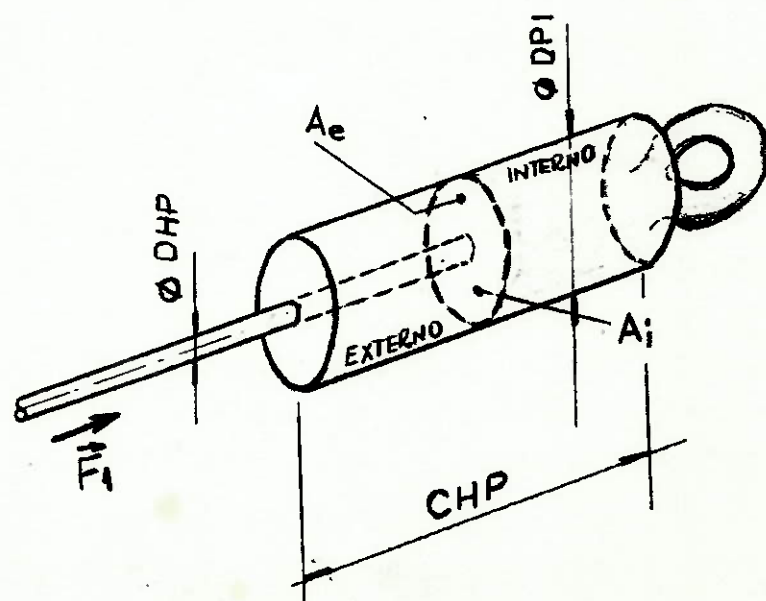


Figura 27 - Cilindro Hidráulico

abaixo verificam:

$$F' = F_L - F_{ad}$$

onde: F' é a força não suportada pelos pneus em determinado eixo

$$(F'_F, F'_T, F'_R);$$

$$F_L = F_{Lf}, F_{Lt} \text{ ou } F_{Lr};$$

F_{ad} é a força de adesão em determinado eixo

INSTABILIDADE	$F_x =$	$F_y =$
Derrapagem Dianteira	$F'_F [\sin\delta + \frac{(a_4 + a_3)}{BR} \cdot \cos\delta]$	$F'_F \cdot \cos\delta$
Canivetação	$F'_T \frac{(a_3 - a_5)}{BR}$	F'_T
Derrapagem Traseira	$\frac{F'_R \cdot L_2}{BR}$	F'_R

A geometria do dispositivo e as instabilidades possíveis de ocorrência em cada eixo levam ao teste do dispositivo pela tração/compressão e flambagem admissíveis, de acordo com o sentido das forças:

$$+ F_x \begin{cases} +F_y \\ \text{ou} \\ -F_y \end{cases} \begin{cases} F_1 \\ F_2 \end{cases} \quad \begin{cases} F'_1 \\ F'_2 \end{cases}$$

A pressão do cilindro também deve ser verificada.

19) Teste de Tração

A haste do cilindro possui diâmetro DHP. Adota-se para as hastes do dispositivo uma secção também circular de diâmetro DH, por

simplificação. As áreas serão:

$$A_{HP} = \frac{\pi \cdot DHP^2}{4} = A_H = \frac{\pi \cdot DH^2}{4} \quad (36)$$

A simplificação $DHP=DH$ é razoável pois sempre será crítica a área de menor diâmetro em termos de tensão de tração e compressão.

As tensões normais de projeto (reais) serão:

$$\sigma_{P1} = \frac{F_1}{A_H} \quad (37)$$

$$\sigma_{P2} = \frac{F_2}{A_H} \quad (38)$$

As áreas deverão ser empregadas de acordo com a haste em questão. As tensões de projeto deverão ser comparadas com as admissíveis de compressão e tração do material utilizado, assim como necessitam ser menores que a tensão de flambagem específica ao caso.

2º) Teste de Flambagem

$$J_x = \frac{\pi \cdot DH^4}{64} = \text{momento de inércia da secção em relação ao eixo} \quad (39)$$

diametral $\overline{xx}$.

$$i = \sqrt{\frac{J_x}{A_H}} = \text{raio de giração} \quad (40)$$

Os índices de esbeltez, de acordo com a barra:

$$\lambda_1 = \frac{\sqrt{(x_2-x)^2 + (y-y_2)^2} - CHP}{i} \quad (41)$$

$$\lambda_2 = \frac{HM}{i} \quad (42)$$

Pela NB-14, "Cálculo e execução de estruturas o aço", admiti do um aço estrutural com:

$$\sigma_e = 24 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_p = 19 \text{ kgf/mm}^2$$

$E = 2,1 \times 10^4 \text{ kgf/mm}^2$, e coeficiente de segurança = 2, obtém-se as tensões de flambagem admissíveis por:

$$\lambda \leq 105 : \bar{\sigma}_{fl} = 1200 - 0,023 \lambda^2 \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (43)$$

$$\lambda > 105 : \bar{\sigma}_{fl} = \frac{10363000}{\lambda^2} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (44)$$

39) Pressão do Cilindro Hidráulico

Pela figura 27 pode-se observar a configuração do cilindro hidráulico com atuação de forças e dimensões.

As áreas, interna e externa, são:

$$A_i = \frac{\pi \cdot DPI^2}{4} \quad (45)$$

$$A_e = \frac{\pi (DPI^2 - DHP^2)}{4} \quad (46)$$

$$P_i = \frac{|F_l|}{A_i} \quad (47)$$

$$P_e = \frac{|F_l|}{A_e} \quad (48)$$

49) Verificação da Eficácia do Dispositivo

Desde que ocorra derrapagem traseira, dianteira ou caniveta-mento em certo eixo, os outros dois irão atuar no sentido de fornecer as forças de suporte lateral de compensação pois o dispositivo transformou o conjunto veículo principal/reboque em um único corpo rígido no plano XY. A correção da instabilidade ocorrida pode ser verificada pela comparação das forças instáveis F_x e F_y com as de segurança F_{xs} e F_{ys} , fornecidas pela tabela:

INSTABILIDADE	$F_{xs} =$	$F_{ys} =$	
Derrapagem Dianteira	$F'_T \frac{(a_3 - a_5) + F'_R \cdot L_2}{BR}$	$F'_T + F'_R$	$F'_T, F'_R > 0$
Canivetação	$F'_F \left[\sin \delta + \frac{(a_4 + a_3)}{BR} \cdot \cos \delta \right] + \frac{F'_R \cdot L_2}{BR}$	$F'_F \cdot \cos \delta + F'_R$	$F'_F, F'_R > 0$
Derrapagem Traseira	$F'_F \left[\sin \delta + \frac{(a_4 + a_3)}{BR} \cdot \cos \delta \right] + \frac{F'_T (a_3 - a_5)}{BR}$	$F'_F \cdot \cos \delta + F'_T$	$F'_F, F'_T > 0$

Calcula-se, então, e compara-se:

$$\text{módulo da força instável: } m_i = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (49)$$

$$\text{módulo da força de segurança: } m_s = \sqrt{F_{xs}^2 + F_{ys}^2} \quad (50)$$

OBS: Se houver instabilidade em mais de um eixo, para certo V e δ , os valores de m_s , F_{xs} e F_{ys} são calculados levando isso em consideração (vide listagem do programa em BASIC).

Verificação da eficácia:

$m_s > m_i$ = o dispositivo, desde que suporte as tensões atuantes, funciona e a estabilidade direcional é mantida;

$m_s \leq m_i$ = as forças de suporte oriundas do resto do veículo não foram suficientes para evitar a instabilidade e o veículo todo apresenta-se instável direcionalmente. Uma ação rápida do motorista faz-se necessária com a diminuição da velocidade do ônibus.

OBS: O motorista, para obter o ângulo da direção δ de regime, gira o volante em certo período. Portanto admite-se um aumento desse ângulo das rodas dianteiras.

teiras até 1,5s, onde há regime. O cálculo de δ entre 0 e 1,5s é obtido por:

$$\delta(t) = \delta_{\text{regime}} \cdot \frac{T(s)}{1,5}$$

No programa do anexo 4, que fornece o valor das forças nos eixos para vários instantes t , a fórmula assume uma modificação mais realista:

$$\delta(t) = \delta_{\text{regime}}^{\text{(rad)}} \cdot \frac{T(s) \cdot 10}{\delta_{\text{regime}}^{\text{(graus)}}} \quad (52)$$

Ou seja, quanto maior o ângulo da direção para a situação do regime, maior o tempo para se chegar até ele. Sendo o ângulo máximo por volta de 30° , o tempo máximo está em torno de 3,0 segundos. Após o ângulo de regime ter sido atingido, ele permanece constante. A modificação da equação (52) não foi utilizada no anexo 4 por desejar-se uma igualdade de situações, enquanto que o anexo 5 não possui um caráter de teste do dispositivo mas, isto sim, de simulação do modelo dinâmico do ônibus.

B.3 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA O PROJETO DO DISPOSITIVO

Com o modelo determinado, procede-se a uma análise de sensibilidade pela implantação do modelo num microcomputador (I-7000-ITAUTEC) em linguagem BASIC com o fluxograma da figura 28. No anexo 3 têm-se as listagens do programa e dos resultados. No anexo 4 estão as listagens do programa e dos resultados da simulação do movimento do ônibus articulado e das forças atuantes em cada eixo em função do tempo (0-5s, com intervalos de 0.1s). No anexo 5 estão as listagens do programa e dos resultados da análise da atuação do dispositivo, onde as variáveis de entrada passam a ser as localizações e comprimentos das hastes, e as de saída, as tensões e pressões de projeto.

1. Análise da Atuação do Dispositivo Acoplado ao Ônibus

A simulação tem o seguinte anunciado: "Um ônibus está em trajetória retilínea com velocidade V constante no tempo. Em certo instante $t=0$ o volante da direção é girado até que as rodas dianteiras atinjam determinado ângulo δ . O intervalo para isso é de 1,5s. Desde o início os eixos (rodas) do ônibus são testados quanto a adesão ao solo. No caso de uma derrapagem, verifica-se em qual dos três eixos ela ocorreu e procede-se ao teste do dispositivo quanto às solicitações mecânicas (tração/compressão, flambagem, pressão máxima no cilindro hidráulico) naquele determinado instante".

A trajetória do ônibus está ilustrada na figura 29.

Da simulação assim realizada e para os seguintes carregamentos adotados,

a. condição de peso bruto nominal (PBN) (5.000, 10.000, 10.000kg);

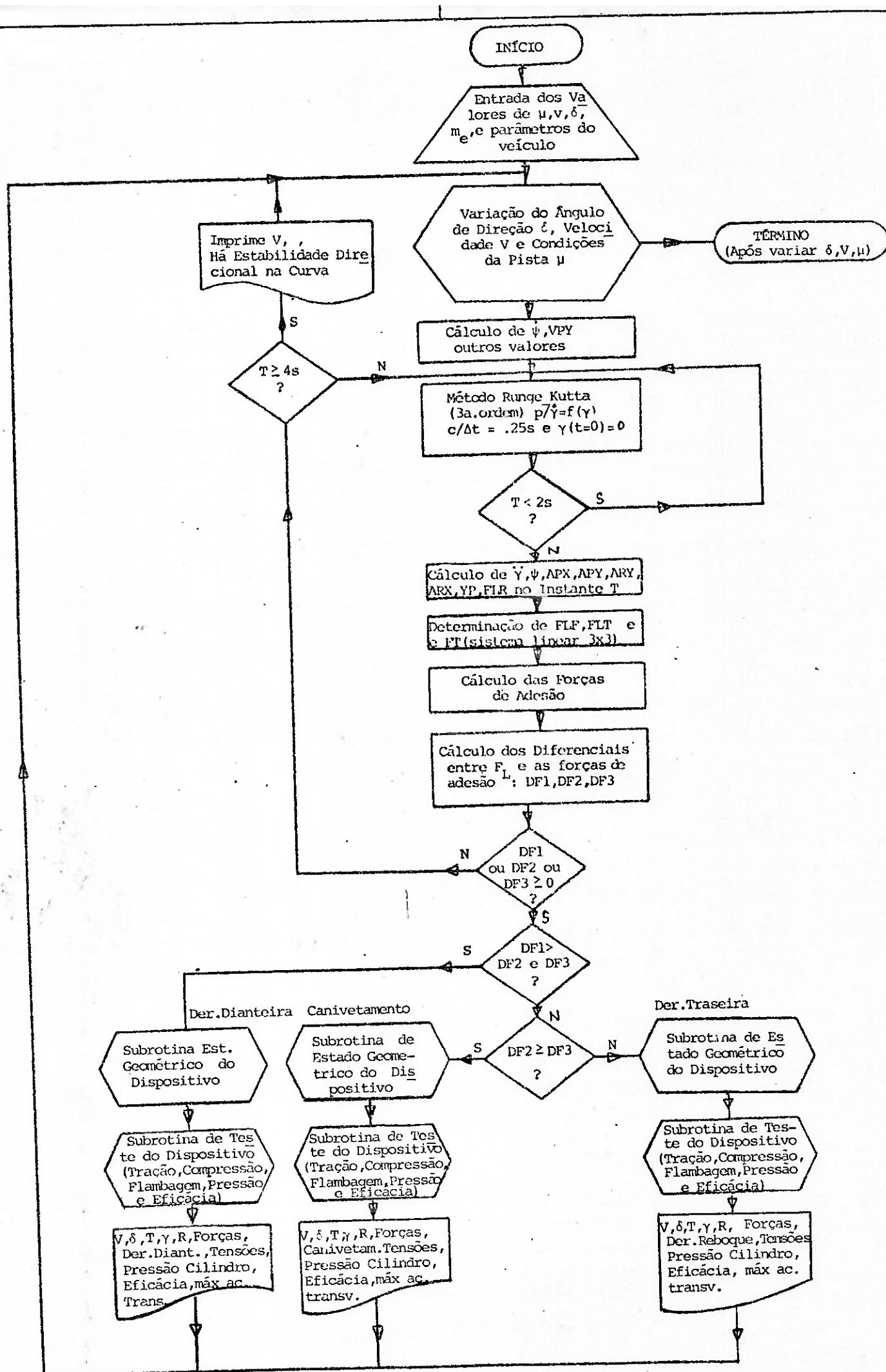


Figura 28 - Fluxograma do Anexo 3 - Análise de Sensibilidade para o Dispositivo Acoplado ao Ônibus Articulado

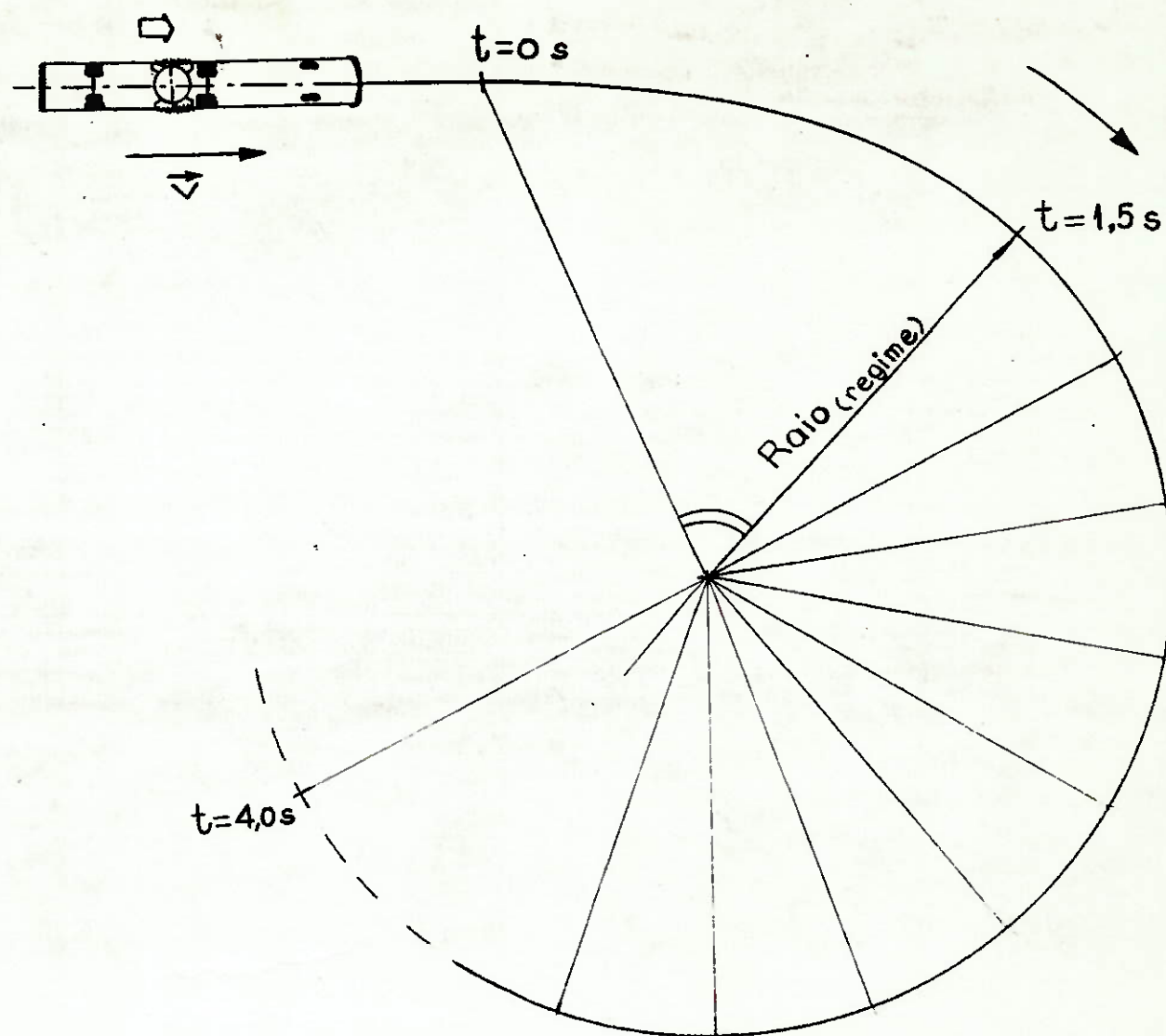
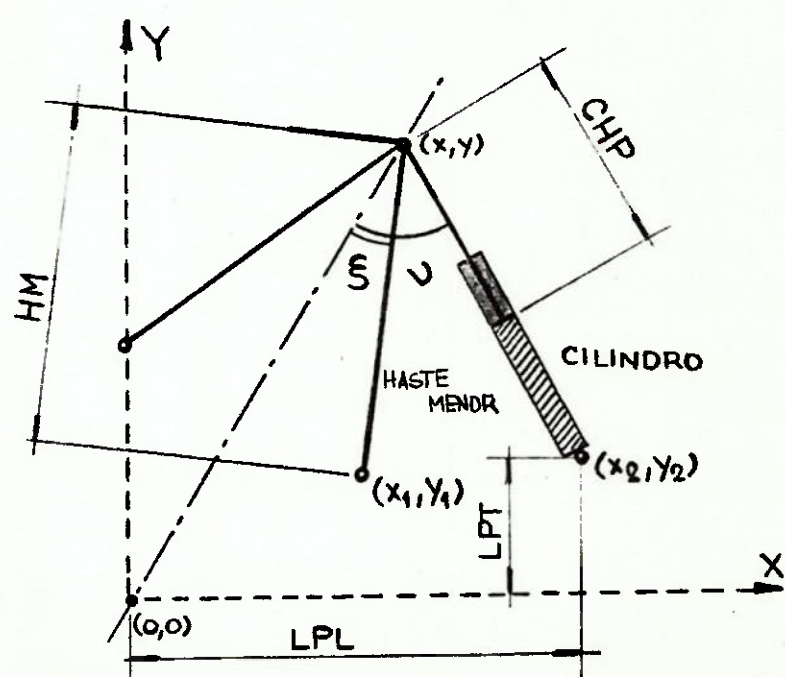


Figura 29 - Trajetória do Ônibus Articulado na Simulação do Anexo 3 (s/escala)



Valores adotados para o estado dinâmico do ônibus: $|DF1| = |DF2| = |DF3| = 2500 \text{ kgf}$ (diferenças entre a força lateral e a de adesão em determinado eixo)

$\delta = 15^\circ$ $\gamma = 18,3^\circ$ PBN

Figura 30 - Dimensões da Estrutura do Dispositivo

- b. condição de carregamento concentrado na dianteira (5.000, 6.000, 6.000kg);
- c. condição de carregamento extremamente concentrado na dianteira (6.000, 4.000, 6.000kg).
- d. condição de carregamento concentrado na intermediária (3.000, 10.000, 6.000kg);
- e. condição de carregamento concentrado no reboque (3.000, 6.000, 10.000kg),

obtém-se um conjunto de resultados baseado nas variáveis de saída:

- a disposição geométrica do ônibus articulado assim como dos seus centros de massa e localização da tração no eixo reboque o leva a sofrer, tipicamente, canivetação (derrapagem do eixo intermediário) antes de qualquer outra instabilidade noutro eixo;
- a situação mencionada no item anterior ocorre para qualquer tipo de carregamento do ônibus;
- devido às características do reboque, como posição do CM, posição do eixo, efeitos da articulação, etc., a força lateral em seu eixo possui um valor ainda baixo quando o eixo intermediário já sofre instabilidade;
- o dispositivo mostrou-se ineficaz em 2 casos, ambos a 80 km/h e ângulo da direção de $3,7^{\circ}$, tendo, um, carregamento da classe PBN, e outro concentração no eixo dianteiro, em condição de asfalto molhado. A instabilidade não pode ser corrigida pois além da derrapagem no eixo intermediário havia, simultaneamente, derrapagem no eixo dianteiro. Assim conclui-se que a ação do dispositivo será eficaz apenas quando houver estabilidade em dois

dos três eixos;

- pela tendência citada no primeiro item, conclui-se que o eixo mais solicitado transversalmente é o intermediário. As máximas forças determinadas ocorreram no carregamento conforme o item anterior.

(+ eixo intermediário), com os seguintes valores:

PISTA	F INTERM (kgf)	V (km/h)	DELTA (°)	MÁXIMA TENSÃO NORMAL (kgf/mm ²)
asfalto molhado	7276,9	50,	10,	1,6
concreto molhado	9166,9	70,	6,7	1,5
asfalto seco	9619,4	50,	13,3	1,5

- as tensões de flambagem estiveram entre 11,5 e 11,7 kgf/mm² (1150 e 1170 kgf/cm²), que são valores aproximadamente sete vezes maiores que as tensões de projeto atuantes (máx. 1,6 kgf/mm²). De acordo com o critério da NB-14, que admite a tensão normal de compressão menor ou igual à tensão de flambagem para a estabilidade do sistema, as hastes do dispositivo não sofrerão situação de flambagem desde que seja utilizado um aço estrutural como especificado na norma ($\sigma_e = 24 \text{ kgf/mm}^2$);
- a máxima tensão normal atuante foi de 1,6 kgf/mm² (tração/compressão), ocorrendo em três situações (com maior carregamento na intermediária): com pista de asfalto molhado, (40km/h; $\delta=15^\circ$) e (50km/h; $\delta=10^\circ$), e com pista de asfalto seco (40km/h; $\delta=20^\circ$). Conclui-se que a solicitação do dispositivo não é função apenas da força lateral no eixo lateral mas também do ângulo da direção e do ângulo entre os dois veículos, principal e reboque. A

modelagem induzia tal idéia visto considerar as forças no dispositivo segundo a sua disposição geométrica, a qual é dependente do ângulo γ . Este, por sua vez, é dependente do ângulo da direção e do tempo para que o veículo se aproxime da situação de regime;

- a pressão máxima nos cilindros hidráulicos (admitidos de diâmetro $\varnothing 4"$) foi de $0,5 \text{ kgf/mm}^2$ ($50, \text{ kgf/cm}^2$) no mesmo caso do item anterior, o que já era esperado. A válvula hidráulica deverá ser especificada para uma pressão de bloqueio de, pelo menos, $1,5X$ o valor máximo encontrado ($75, \text{ kgf/cm}^2$). As tubulações também deve ser projetadas para essa última pressão;
- o índice de eficácia do dispositivo ficou em torno de 99% ou seja, 2 casos negativos em 217 testes. Importante é o fato que os 2 casos de não eficácia foram em velocidade elevada (80 km/h), mostrando que o dispositivo é ótimo em velocidades médias e baixas, usuais para um ônibus urbano;
- quanto às acelerações transversais, especificadas em, no máximo, $1,3 \text{ m/s}^2$ em condições de curvas, chegou-se aos valores máximo e mínimo quando há instabilidade:

máximo	$8,2 \text{ m/s}^2$	carregamento (+ eixo intermediário) 50 km/h; $13,3^\circ$; asfalto seco; $R = 24 \text{ m}$
mínimo	$3,6 \text{ m/s}^2$	carregamento (+ eixo reboque) 60 km/h; $4,2^\circ$; asfalto molhado; $R = 77 \text{ m}$

Trata-se de acelerações muito desconfortáveis para o ser humano, mas típicas quando o veículo faz uma curva em que a relação entre a velocidade e o raio da curva é elevada;

- sendo a máxima tensão normal de $1,6 \text{ kgf/mm}^2$, o aço especificado para as hastes da estrutura poderá até ser do tipo ABNT 1020 ou 1030. Por não ser crítico o valor das tensões envolvidas, o diâ

metro das hastes poderá sofrer redução de $\varnothing 2"$ para $\varnothing 1 \frac{1}{2}"$ ou $\varnothing 1 \frac{1}{4}"$, devendo-se recalcular os valores das solicitações (tração, compressão e flambagem);

Observação: Crítica ao modelo do teste de adesão rodas/pista e ao modelo dinâmico do ônibus.

O teste de adesão entre o solo e as rodas está baseado na Lei de Coulomb de que a força de atrito é proporcional ao peso ou força normal atuante. Admitido um coeficiente de atrito, ou adesão, experimental, deve-se obter resultados satisfatórios para a aderência entre borracha e concreto/asfalto. No entanto, como é salientado no anexo 1, os pneus são sistemas mola-amortecedor tridimensionais e seus mecanismos de atrito externo e interno apenas podem ser aproximados pelo modelo adotado na simulação. Para valores mais precisos e reais necessita-se um modelo de pneu mais aprimorado.

O modelo dinâmico do ônibus despreza várias solicitações do veículo, como as forças do vento lateral, as forças de resistência aerodinâmica, as forças devido ao atrito de rolamento e a um possível desalinhamento de rodas, etc.. Por esse motivo, caso o ângulo da direção seja nulo e para qualquer velocidade, as forças laterais e de tração serão nulas. Conhece-se que essa situação não ocorre na realidade e, portanto, deve-se admitir as forças tratativas maiores que as calculadas na simulação, por exemplo. Apenas um modelo dinâmico do ônibus aliado a um modelo de pneus mais complexos levariam a simulação à maior proximidade de uma situação real.

2. Análise do Movimento do Veículo

As seguintes situações foram estudadas (anexo 4):

	MEF	MET	MER	V	δ regime
a.	5000	7000	9000	40	15
b.	3000	6000	10000	50	10
c.	4000	8000	8000	25	33
d.	4000	10000	8000	50	10
	kg	kg	kg	km/h	graus

As conclusões retiradas das listagens são:

- as forças no eixo dianteiro e no eixo reboque são sempre crescentes no tempo, tendendo a um valor constante, de regime;
- as forças de tração e no eixo intermediário atingem um máximo quando o direcionamento das rodas dianteiras está em regime com valor constante. Após estes valores máximos serem atingidos as forças tendem para valores de regime entre 10 e 15% menor que a força máxima no eixo intermediário, e de cerca de 20% da força máxima de tração;
- da análise conjunta dos anexos 3 e 4 deduz-se que a força de tração é influenciada pelo ângulo da direção: quanto maior o ângulo, maior a força trativa necessária para manter o veículo na velocidade inicial. Da mesma forma, quanto maior o carregamento no setor intermediário do veículo, maior a força trativa necessária. Foi observado que, mesmo com um carregamento total menor, necessitar-se-á de uma maior força de tração se o carregamento concentrar-se no eixo intermediário;
- a força no eixo reboque inicia-se com valores negativos mostrando uma atuação no sentido de fora para dentro da curva. Is

- so se deve a transitórios nos primeiros instantes do movimento. Após 0,7 ou 0,8s as forças assumem o sentido esperado, possuindo um crescimento lento a princípio (o ângulo γ ainda é pequeno) mas se tornando mais rápido posteriormente quanto maior o carregamento no eixo reboque. Este é um dos motivos pelos quais não há derrapagem do reboque: a força no eixo intermediário atinge os valores de instabilidade bem antes da força no eixo reboque;
- e) devido ao explicado no item anterior quanto ao ajuste do ângulo γ à situação de regime, as acelerações transversais no veículo reboque são sempre de crescimento inferior às do veículo principal. Em regime, a aceleração transversal do veículo principal é sempre superior à do veículo reboque. Portanto um passageiro, tipicamente, sentirá mais conforto na realização de curvas quando estiver localizado no veículo reboque;
- f) a situação c. é típica de uma manobra entre ruas transversais perpendiculares com 80% de PBN. Deve ser observado com atenção apenas o caso de pista de asfalto molhado, onde poderá ocorrer canivetamento quando o raio, medido pela intermediária, for de $12,5-1,3=11,2\text{m}$.

3. Análise do Dispositivo

Admite-se um conjunto de condições padrão para o dispositivo (baseado na solicitação imposta pelo ônibus) e analisa-se quatro variáveis de projeto: comprimento da haste menor, localização da extremidade do cilindro longitudinal e transversalmente, e comprimento da haste do êmbolo do cilindro (HM, LPL, LPT e CHP, respectivamente). As variáveis estão ilustradas pela figura 30.

Estudou-se alguns casos para cada variável. A seguir estão

as conclusões obtidas através das listagens do anexo 5:

a. comprimento da haste menor - valores: (máx) 800, 660, (mín) 480mm. Tanto a máxima tensão normal como a máxima pressão no cilindro ocorrem à medida que o comprimento da haste menor tende ao seu limite inferior. No entanto há uma limitação para o aumento na sua dimensão longitudinal devido ao espaço físico reservado à articulação. Tal limite é de 800mm, no qual obtém-se as menores tensões e pressões atuantes. A variação da tensão de flambagem é muito pequena para merecer atenção, sendo, pois, desprezada. A solicitação da haste menor é menor, quanto maior o seu comprimento;

b. localização da extremidade do cilindro (ponto X_2, Y_2) - Foram executados dois estudos quanto à posição do ponto (X_2, Y_2): variação transversal e longitudinal. A conclusão é que o dispositivo será menos solicitado quanto mais os valores de LPL e LPT crescerem. Isso significa que a extremidade do cilindro deverá ficar, longitudinalmente, o mais interno possível aos veículos principal e reboque, e o mais longe possível da linha de centro do veículo, fazendo com que a hipotenusa definida pelos catetos LPL e LPT seja a maior dentro dos limites físicos do ônibus. A tensão de flambagem variou em, aproximadamente, $1,0 \text{ kgf/mm}^2$, o que ainda não significa uma alteração importante. Da mesma forma que a tensão, a pressão no cilindro apresenta igual tendência no seu comportamento. Os valores máximos simulados foram:

LPL = 1524 mm (600mm interno ao ônibus);

LPT = 1300 mm (limite físico transversal do ônibus);

c. comprimento da haste do êmbolo do cilindro - para valores em

tre 500mm e 1000mm observou-se valores diferentes apenas na ten
são de flambagem (variação de $\sim 1,0 \text{ kgf/mm}^2$). Deve-se notar, ape
nas, que o valor CHP não entra como comprimento da haste mas,
isto sim, como comprimento do cilindro. Essa é a razão pela
qual aumentando-se CHP, ocorre um aumento da tensão de flambagem.
Ao se analisar esta variável este é um fato que não pode
ser menosprezado: o comprimento da haste do cilindro é igual (na
realidade, aproximadamente igual) ao comprimento do cilindro. A
conclusão final é que a flambagem não é crítica para o disposi-
tivo, a menos que o diâmetro das hastes seja muito reduzido.

B.4 - ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE PARA O PROJETO DO DISPOSITIVO

O dispositivo será acoplado à articulação de um ônibus articulado. Torna-se necessário verificar as possíveis interferências entre ele e a articulação, assim como a locação dos equipamentos auxiliares (bomba, acumulador, tubulações, etc.). Esta tarefa não será realizada neste projeto, cujo escopo tende mais para uma obtenção de eficácia dinâmica e econômica.

Dois aspectos de compatibilidade, no entanto, serão analisados:

- a. compatibilidade funcional: ajuste entre a ocorrência de instabilidade e o seu indicador;
- b. compatibilidade dimensional: ajuste das dimensões das hastes e da localização dos cilindros;

A seguir desenvolve-se os itens citados:

- a) compatibilidade funcional: teoria do comparador de ângulos

O princípio do sensor de instabilidade, como explicado na parte A deste projeto, está na comparação entre o ângulo da direção (δ) e o ângulo entre os dois veículos (γ), entre os quais há uma função biunívoca como se deduz a seguir.

A figura 31 ilustra um diagrama simplificado do ônibus articulado. Da geometria analítica sabe-se que a condição de perpendicularidade entre os segmentos de reta 1 e 2 é:

$$a_1 \cdot a_2 = -1 \quad (53)$$

onde a_1 e a_2 são os respectivos coeficientes angulares das retas a que pertencem os segmentos.

Aplicando a relação acima nos valores de a_1 e a_2 extraídos da figura 31:

$$a_1 = - \operatorname{tg} \gamma \quad (54)$$

$$a_2 = \frac{L_1 \cdot \operatorname{cotg} \delta + L_2 \cdot \operatorname{sen} \gamma}{a_5 - a_3 - L_2 \cdot \operatorname{cos} \gamma} \quad (55)$$

têm-se uma relação entre δ e γ :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{L_1 \cdot \operatorname{sen} \gamma}{L_2 + (a_3 - a_5) \operatorname{cos} \gamma} \quad (56)$$

e os valores no caso em questão para substituir:

$$L_1 = 5,6\text{m}$$

$$L_2 = 4,543\text{m}$$

$$a_3 - a_5 = 2,129\text{m}$$

Com essa relação teórica (ideal) pode-se verificar as discrepâncias entre a prática (modelo) e o que deveria ocorrer (relação) para que o comparador seja calibrado. A massa do veículo exerce um papel importante na determinação do ângulo γ , impondo uma maior ou menor inércia na acomodação deste ao ângulo δ da direção. Com o objetivo de restringir a influência da massa na relação entre δ e γ na prática, calcular-se-á uma faixa dentro da qual há, com certeza, instabilidade.

Na determinação de γ utilizou-se o método de Newton para resolução de equações. Adotou-se os seguintes valores:

- carregamento: PBN (5000, 10000, 10000kg);
- velocidades: 15, 20, 40, 60 km/h;
- ângulos: 33, 33, 33, 20 graus, respectivamente.

No modelo do veículo adotado não há influência da massa supor-

ESCALA 1:20

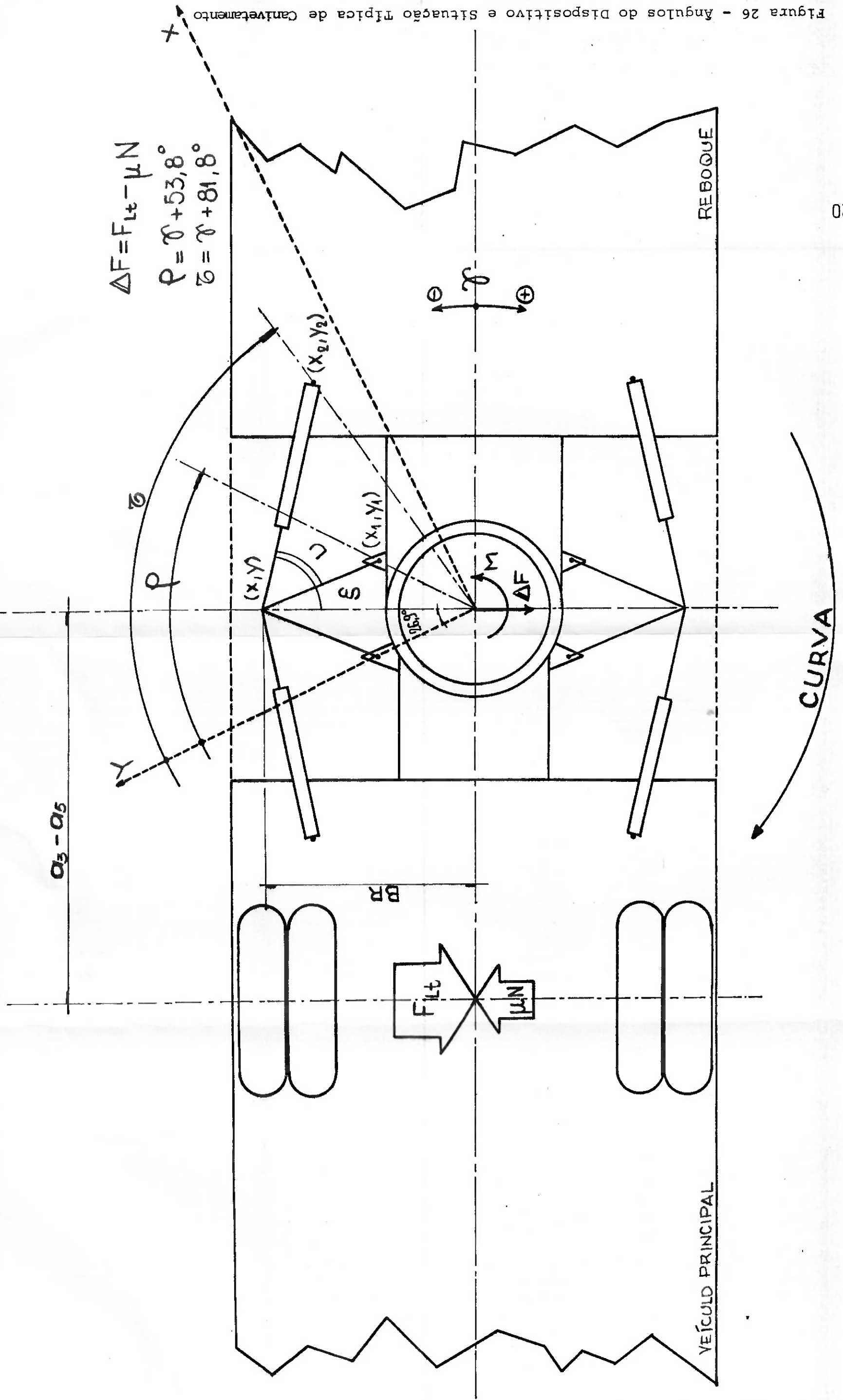
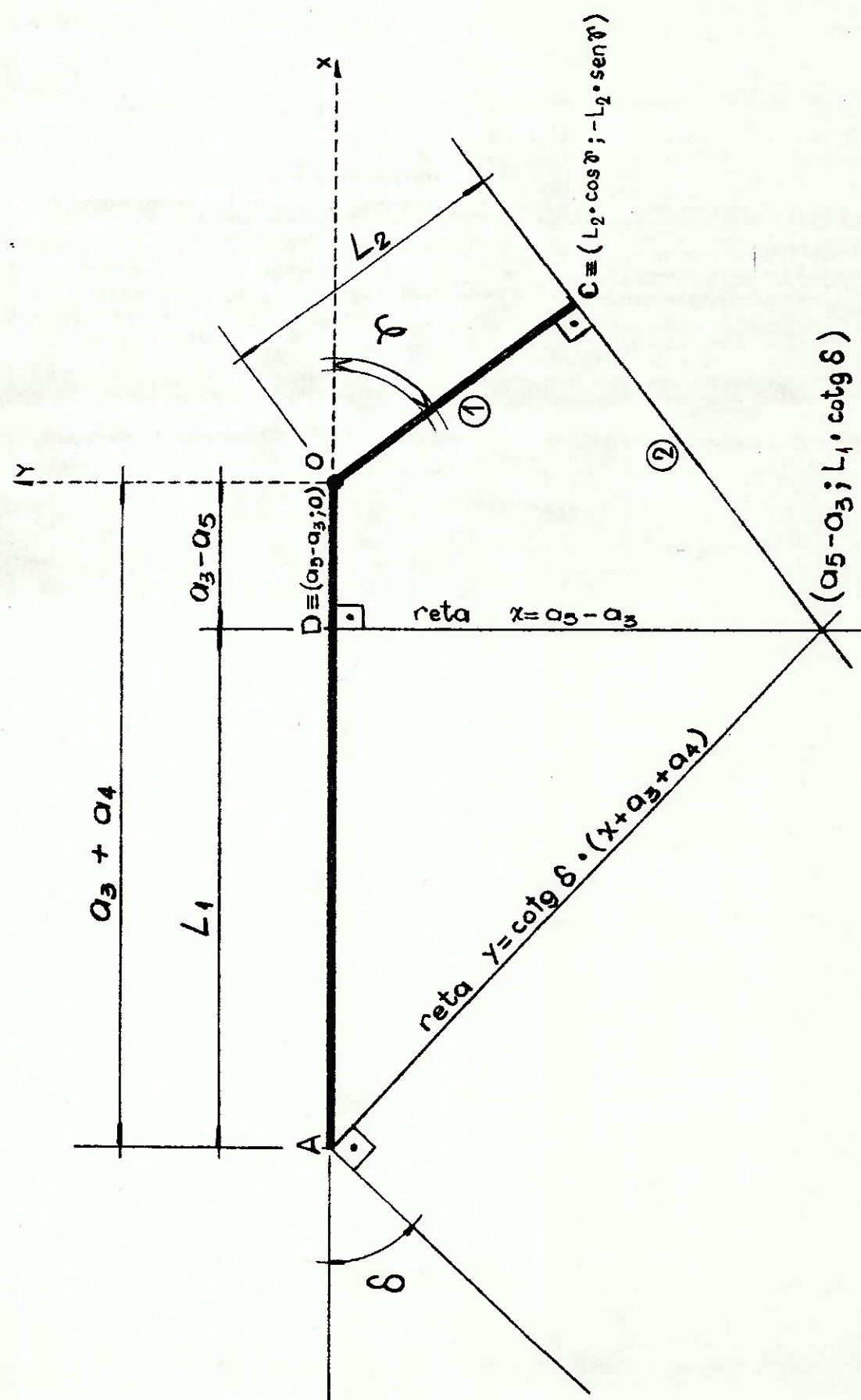


Figura 26 - Ângulos do Dispositivo e Situação Típica de Carretamento

Figura 31 - Diagrama de Ackerman Simplificado



tada pelos eixos no ângulo entre as duas partes do ônibus. O motivo desse fato está no modelo do pneu que foi utilizado com o objetivo de simplificar a análise. O ângulo de deriva e sua inter-relação com as velocidades longitudinal e transversal, e com as forças laterais determinará a função real entre os dois ângulos indicadores de instabilidade.

O modelo simplificado apresenta um ângulo γ a cada instante, o qual é confrontado com o mesmo ângulo extraído da relação teórica deduzida. O anexo 6 contém as listagens dos ângulos, seus desvios percentuais e diferenciais. O gráfico 2 mostra os resultados obtidos.

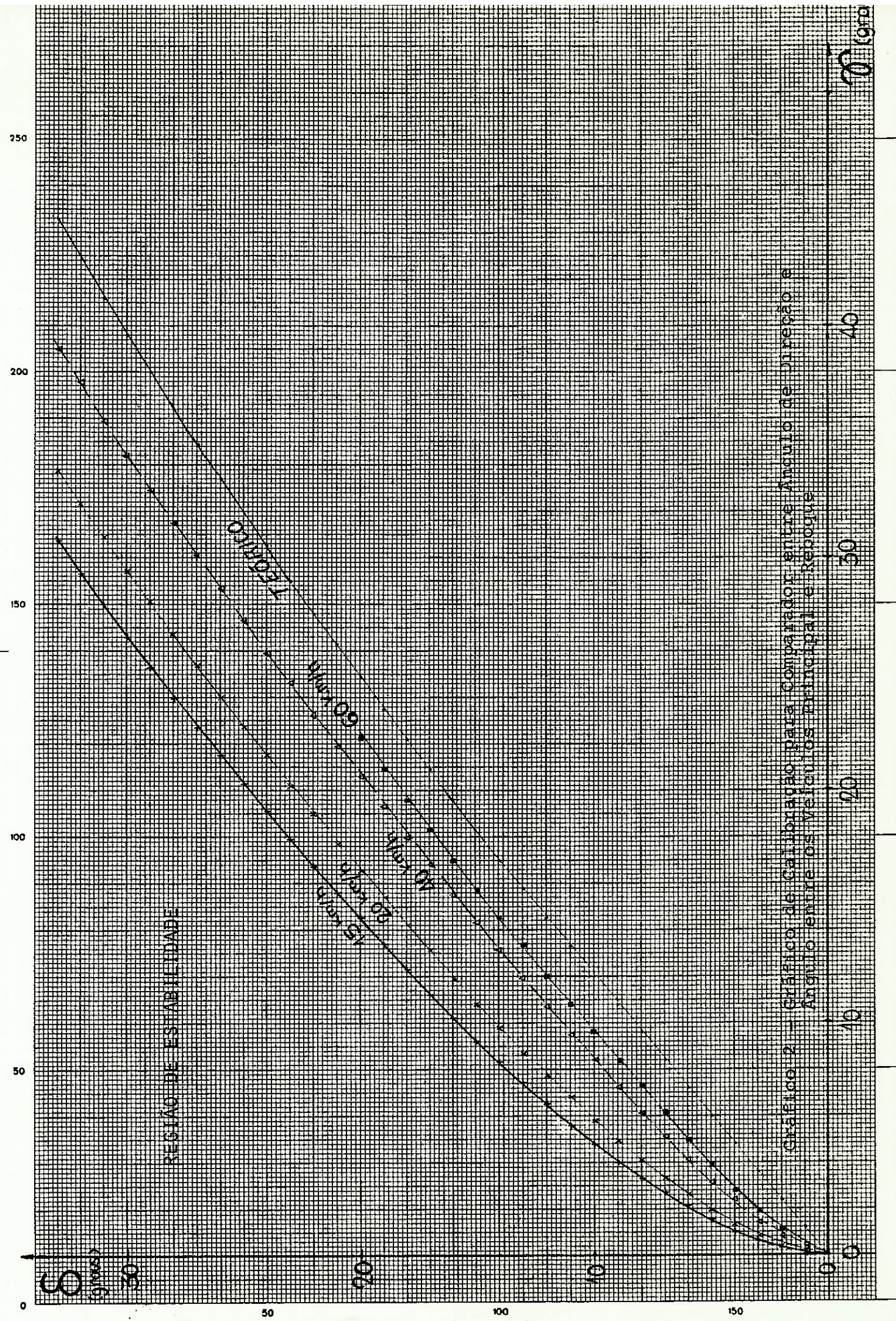
O ângulo real afasta-se do teórico quanto menor a velocidade do ônibus, chegando a desvios de $13,9^\circ$.

Os valores práticos dependem de:

- . velocidade com que o ônibus executa a curva;
- . ângulo da direção limite para determinada curva;
- . velocidade com que o motorista gira o volante da direção e, conseqüentemente, a roda;
- . carregamento em cada eixo.

Os 3º e 4º itens não foram analisados. Merecem atenção especial em outro modelo de pneus ou, se for o caso, num teste com protótipo.

As curvas do gráfico 2 são limites. À sua esquerda, devido à existência unicamente de canivetação, encontra-se a região de estabilidade e segurança, com ângulos entre os dois veículos ainda baixos. Entre a curva determinada por certa velocidade e a teórica está a região de instabilidade no eixo intermediário.



Observa-se que, quanto maior a velocidade, mais as curvas se aproximam da teórica.

A calibragem do aparelho comparador deverá ser feita com base em funções como a do gráfico 2, e o ajuste final será executado com o auxílio de protótipos.

Sugere-se a utilização de três tipos de sensores de ângulos:

- . resistivo;
- . capacitivo;
- . indutivo.

Outros tipos como o pneumático não se adequam bem ao ônibus por requererem espaço apropriado e maior, além de outros sistemas auxiliares (válvulas reguladoras, tubulação, etc.) Uma ressalva ao sensor do tipo resistivo é quanto à sua pequena durabilidade devido ao desgaste entre os filmes que impõem a resistência elétrica. Os mais indicados são os capacitivos e os indutivos.

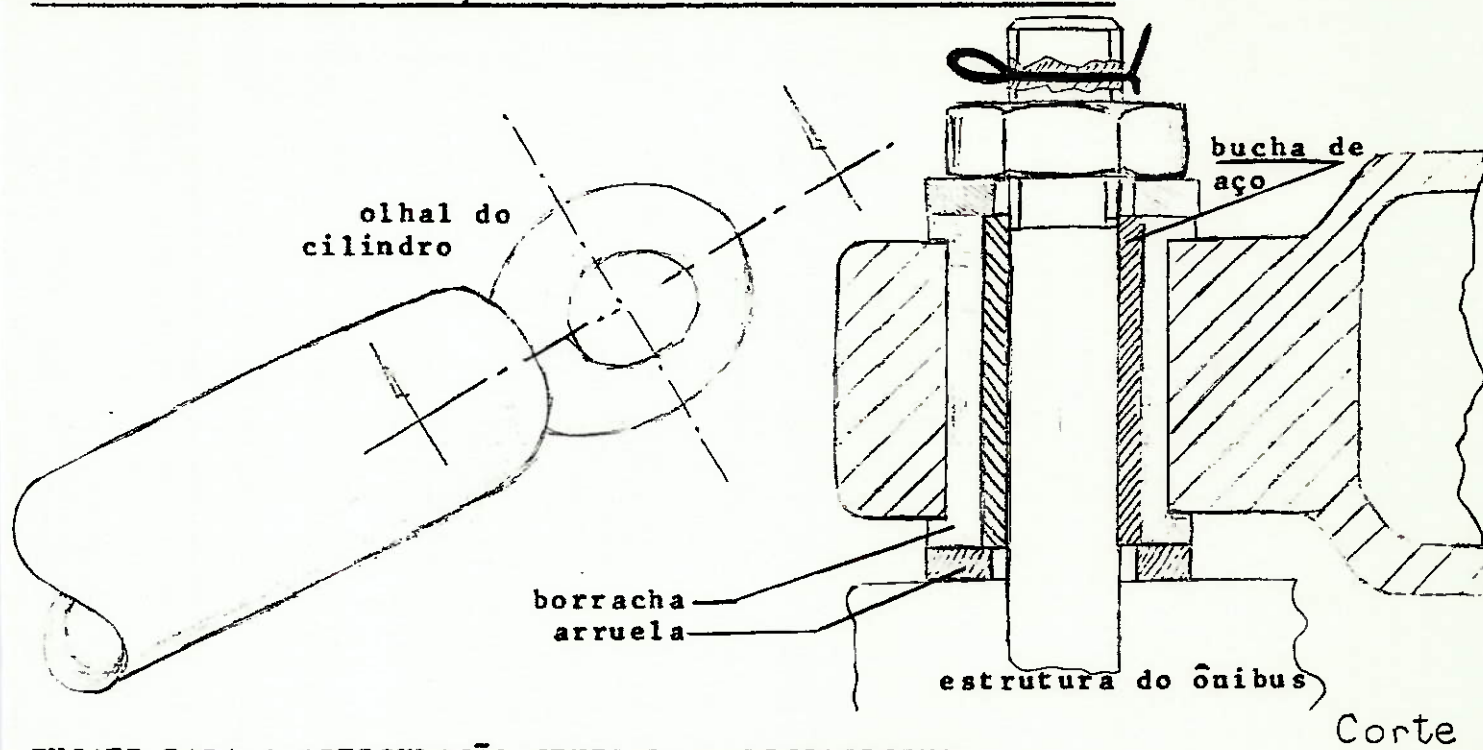
b. compatibilidade dimensional

Como já explanado na terceira parte da análise de sensibilidade, as hastes e equipamentos seguem o que as restrições do espaço físico da articulação do ônibus impõem. Portanto as dimensões máximas e mínimas já foram observadas.

A figura 32 sugere, inicialmente, um detalhe típico esboçado da fixação do cilindro ao corpo do ônibus (ponto X_2, Y_2).

A articulação do ponto (X,Y) deverá ter um projeto especial pois será solicitada quando o ônibus passar de um piso plano para um inclinado, como prevê a especificação (movimento em z). Sugere-se o emprego de juntas homocinéticas ou, como es

DETALHE TÍPICO DA FIXAÇÃO DO CILINDRO AO CORPO DO ÔNIBUS



ENGATE PARA A ARTICULAÇÃO CENTRAL DO DISPOSITIVO

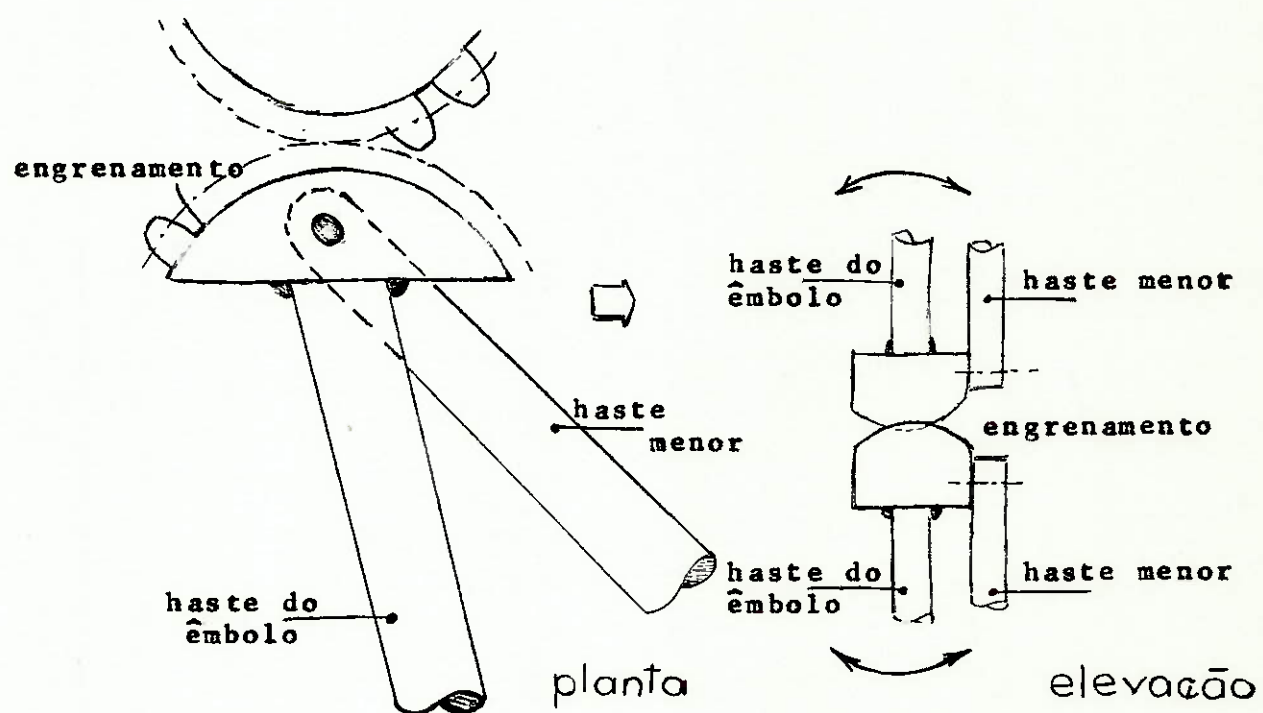


Figura 32 - Detalhes para Montagem das Articulações do Dispositivo

tã na figura 32, de um engrenamento curvilíneo que se despren
de quando a articulação for tracionada. Uma verificação do
dispositivo nesse último caso faz-se necessária quanto aos es
forços solicitantes nas hastes e no engrenamento.

B.5 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE PARA O PROJETO DO DISPOSITIVO

Pela simulação, cujos resultados se encontram no anexo 3, têm-se os ângulos de direção limites em função da pista e da velocidade do ônibus:

PISTA	V (km/h)	DELTA (graus)
Asfalto molhado	40	7,5
	50	5,0
	60	2,5
	70	2,5
	80	2,5
Concreto molhado	40	15,0
	50	7,5
	60	5,0
	70	5,0
	80	2,5
Asfalto/concreto seco	40	15,0
	50	10,0
	60	5,0
	70	5,0
	80	2,5

Como já observado, o índice de eficácia do dispositivo foi de 99%. Sua ação pressupõe a existência de reação em dois eixos, pelo menos.

Pode ocorrer um travamento de até um cilindro ou dois, caso estejam em lados opostos transversalmente.

No caso de um lado do dispositivo ter seis cilindros neutralizados (inoperantes), as tensões e pressões no lado oposto duplicarão, enquanto que isto ocasionará problemas se ocorrer uma redução no diâmetro das hastes no decorrer do projeto. O circuito hidráulico também deverá ser projetado para uma sobrepressão de duas ve

zes a máxima em condições normais.

Três cilindros inoperantes ou dois, um em cada lado, tor
nam o dispositivo também inoperante.

Uma válvula de fluxo automática poderá ser utilizada para
limitar os movimentos dos cilindros e das hastes e, com isso, amor
tecer as oscilações horizontais do reboque.

B.6 - OTIMIZAÇÃO PARA O PROJETO DO DISPOSITIVO

Das análises feitas até este ponto presume-se que o dispositivo é eficaz e que a sua rigidez (com as dimensões utilizadas na primeira parte da análise de sensibilidade) é suficiente para a sua atuação. A terceira parte da análise de sensibilidade mostrou como alguns parâmetros podem ser alterados de modo a melhorar o desempenho do dispositivo.

Para se conseguir uma combinação ótima dos elementos integrantes do equipamento assumir-se-á um critério de otimização. Tal critério será o de menor custo com base na redução dos diâmetros das hastes e do cilindro. Em seguida analisar-se-á o comprimento das hastes e a posição do olhal dos cilindros no ônibus. Não se trata de uma otimização perfeita mas uma aproximação procurando os melhores valores de parâmetros ao menor custo.

Têm-se os valores máximos em B.3.1:

$$\sigma_{\max} = 1,6 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = \frac{F_{\text{haste}}}{\frac{\pi d^2}{4}}, \text{ com } d = 50,8\text{mm (2")}$$

$$\therefore F_{\text{haste}} = 3243 \text{ kgf (máx)}$$

$$p_{\max} = 0,5 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = \frac{F_{\text{cilindro}}}{\frac{\pi d^2}{4}}, \text{ com } d = 101,6\text{mm (4")}$$

$$\therefore F_{\text{cilindro}} = 4054 \text{ kgf (máx)}$$

Com os valores das forças nas hastes e admitindo-se um aço ABNT 1045 trefilado como material de fabricação, pode-se ter os valores mínimos:

$$\sigma \left(\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right) = \frac{4129,1}{d^2 (\text{mm}^2)} \quad \text{ou} \quad d = \sqrt{\frac{4129,1}{\sigma}}$$

Segundo Bach, com o carregamento típico do dispositivo, a tensão admissível de compressão/tração é $13,5 \text{ kgf/mm}^2$. Por outro lado a tensão de flambagem merece atenção e os comprimentos das hastes adotados serão (desfavorável para a flambagem mas favorável para a compressão/tração):

HM = 800mm;

CHP = 800mm (sem alteração);

LPL = 1224mm (sem alteração);

LPT = 860mm (sem alteração).

$$i = \frac{d}{4}$$

$$\lambda = \frac{HM}{i} = \frac{4 \cdot HM}{d} = \frac{3200}{d} \quad (\text{esbeltez mais desfavorável})$$

O diâmetro é obtido pela tensão normal mas ele determina também a tensão de flambagem, a qual deverá ser maior ou igual à normal. Assim constroi-se a tabela seguinte:

TENSÃO NORMAL (kgf/mm ²)	TENSÃO DE FLAMBAGEM (kgf/mm ²)	DIÂMETRO DA HASTE (mm)
13,50	> 3,10	17,5
10,00	> 4,18	20,3
6,45	< 6,48	25,3
6,40	< 6,53	25,4
6,00	< 6,96	26,2
5,00	< 8,36	28,7

Adotando-se um diâmetro de 25,4mm (ou 1") ter-se-á segurança na flambagem e quanto à tração/compressão pois a tensão admissível do material é superior à tensão de trabalho, a qual terá

uma redução de cerca de 10% devido ao incremento na dimensão longitudinal da haste menor. Quanto aos diâmetros e comprimentos das hastes estes são valores otimizados. A localização do ponto (X_2, Y_2) não sofrerá modificações por influir no chassi do ônibus.

Para a pressão do cilindro:

$$D = \sqrt{\frac{5161,7}{p_{\text{cilindro}}}}, \text{ d em mm, } p_{\text{cilindro}} \text{ em } \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

Atendendo à faixa de média a alta pressão adota-se um valor máximo de $0,9 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = 90 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$, o que implica no diâmetro do cilindro de 3" (76,2mm). Os componentes hidráulicos deverão ser especificados para uma pressão 1,5X maior, ou seja, $135 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$, já na faixa de alta pressão.

B.7 - PREVISÕES PARA O FUTURO

A situação econômico-política atual mostra-se diferente da aquela vigente na época. O produto só será incorporado no ônibus dentro de 10 meses. Portanto cabe analisar a previsão de entrada em funcionamento do ônibus articulado pelo projeto de implantação de 450 novas unidades.

No Brasil observa-se uma dependência muito grande entre as necessidades públicas e a situação política da época. Esta, por sua vez, está ligada ao sucesso ou não da economia. Conclui-se que, pelo estado atual, o processo de implantação de ônibus articulados em cidades como São Paulo sofrerá atrasos de aproximadamente um ano, como já se faz sentir. No entanto, pelo vulto dos contratos e planos estabelecidos, o projeto continua sendo viável.

O problema de uma obsolescência técnica não se configura visto o desinteresse que as empresas montadoras têm em investir na busca de soluções quando já existe uma, e também numa época de insegurança quanto a novos investimentos. A ordem é não criar novos custos e aproveitar o que já existe.

B.8 - PREVISÃO DE TEMPO DE FUNCIONAMENTO

A utilização de um programa de manutenção preventiva garantirá a vida útil do dispositivo por dez anos. Os pontos críticos a serem observados são:

- articulações - verificação de folgas e lubrificação a cada três meses. Os engates com os pontos das hastes também necessitam ser observados;
- cilindros - a cada três meses será feita uma verificação quanto à existência de vazamentos nas vedações e quanto a possíveis avarias em seu corpo;
- circuito hidráulico - os engates das mangueiras flexíveis e os elementos do circuito como válvula, acumulador de pressão, cilindros e redutores de fluxo terão uma vistoria e teste quanto a vazamentos, ligações e obstruções em períodos de seis meses;
- circuito eletrônico - qualquer avaliação de condições serão feitas junto a uma calibragem do sistema, na média de uma a duas vezes ao ano.

Prevê-se que a obsolescência econômica iniciar-se-á por volta de dez anos de utilização diária.

B.9 - ENSAIOS E TESTES DE PROTÓTIPOS

Pela simplicidade da estrutura do dispositivo não deverão ser feitos testes com ele isolado do chassi do ônibus. O único teste isolado será executado com a articulação central, a qual merece uma atenção especial pela sua solicitação em termos de forças atuantes e movimentos exigidos.

O fator mais importante para o teste no ônibus é quanto à calibragem do circuito eletrônico sensor-comparador de ângulos. As curvas serão executadas em pista plana com os carregamentos propostos no anexo 3. As curvas de calibração propostas pelo gráfico 2 e completadas deverão ser utilizadas como primeira aproximação para um refino durante os ensaios.

A disposição do protótipo do dispositivo fornecerá, ainda, informações quanto às interferências não previstas.

As condições dos testes serão aqueles previstos analiticamente em B.3, B.4 e B.5.

1. Calibração do Comparador

Para o teste dos sensores e do comparador de ângulos não há necessidade de se ter o dispositivo mecânico instalado.

Os testes serão progressivos quanto ao ângulo da direção, ou seja, o ônibus deverá estar em regime, com velocidade constante, e o incremento no volante será tal que um grau (1°) na roda dianteira demore 0,1 a 0,2 segundos, no máximo, para ocorrer.

As velocidades serão iniciadas a 10 km/h e aumentarão de 5 em 5 km/h para cada carregamento, ao menos para as velocidades mais

baixas (até 60 km/h).

Os carregamentos seguirão os padrões da análise de sensibilidade (5 tipos). Valores intermediários (+5) deverão contribuir para a melhoria da precisão da calibração.

A medida dos carregamentos em cada eixo será feita com auxílio de uma balança de carga para veículos.

Um gravador de fita e/ou um traçador de gráficos deverão acompanhar os ensaios registrando os ângulos γ e δ assim como o ponto em que se inicia a derrapagem.

Merece observação, embora o modelo já tenha definido que só pode ocorrer canivetamento, a existência de instabilidades no eixo reboque e no eixo dianteiro.

2. Teste do Dispositivo

Com o dispositivo instalado no ônibus procede-se ao seu teste. A pista, de asfalto ou concreto, deverá estar seca ou molhada conforme o teste especificar.

O comparador já deverá estar calibrado. Os instrumentos utilizados no item 1 (traçador de gráficos e gravador) serão utilizados. O objetivo é medir os tempos entre a ocorrência da derrapagem e a estabilização do ângulo entre veículos, isto é, do travamento da articulação.

A análise final será quanto à eficácia do dispositivo (se impede ou não a derrapagem) e quanto aos efeitos posteriores à sua ação, os quais não são preditos dinâmica e totalmente pelo modelo matemático. Dessa forma, serão observadas as trajetórias posterio-

res do veículo em cada caso.

Para as velocidades, ângulos da direção e carregamento, vide item 1.

Observa-se que o carregamento poderá ser obtido através de sacos de areia espalhados devidamente pelo ônibus.

O motorista de teste deverá utilizar obrigatoriamente cinto de segurança de 4 pontos e possuir a garantia de um reforço sobre sua cabeça (além do capacete) para situações de capotamento. Eventuais operadores dos instrumentos deverão ter, ao menos, o cinto conectado e o capacete de proteção em uso.

3. Teste de Esterçamento em Esquinas

Assim como especificado em A.2, o dispositivo será testado, também, em condições de mudança de via (90°) para velocidades baixas, conforme item anterior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALONSO, M.; FINN, E.J.. Física - Um curso Universitário
[Fundamental University Physics]. v.1.1.ed. São Paulo, Edgard
Blucher; 1972. 487 p.
2. ASIMOW, Morris. Introdução ao Projeto [Introduction to Design]
1.ed. São Paulo, Ed. Mestre Jou, 1968. 171p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-14-Cálculo e
Execução de Estruturas de Aço. Rio de Janeiro.
4. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS, III Congresso da,
Teses Apresentadas. Centro de Convenções de Pernambuco, 1981.
5. BACK, Nelson. Metodologia de Projeto de Produtos Industriais.
1.ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois, 1983. 390p.
6. BOOZ-ALLEN APPLIED RESEARCH. Project Super Bus - High Capacity
Bus Conceptual Design Study. Report No. UMTA-PA-06-0007-74-2.
Bethesda, Maryland, 1974.
7. BRANCO, Adriano M. Uma visão sistêmica do transporte urbano.
Contribuição à III Reunion de Transporte Andina, Medellin -
Colombia, e à 1^{ere} Conférence Mondiale sur la Planification des
Transports dans les villes des Pays en Développement. São Paulo,
1980.
8. CONJUNTURA ECONÔMICA. As 500 Maiores Empresas do Brasil. Rio
de Janeiro, Set. 1983. 216 p. Número Especial.
9. CROUSE, W.H. Automotive Chassis and Body. 3. ed. New York, Mc
Graw-Hill, 1966.

10. DAIMLER-BENZ AG. 0-305G. Stuttgart.
11. DUGOFF, H.; MURPHY, R.W. The Dynamic Performance of Articulated Highway Vehicles - A Review of the State-of-the-Art. SAE Transactions, 710223, 1971.
12. ESHLEMAN, R.L.; DESAI, S.D. Articulated Vehicle Handling. Report No. DOT-HS-800 674. Chicago, IIT Research Institute, 1972.
13. INTERNATIONAL UNION OF PUBLIC TRANSPORT (UITP). Recommendations for the standardisation of motorbuses. Brussels, Belgium, 1977, 14 p.
14. KASSAB, Pedro; CHIH, Wan Yu. Curvas de Viabilidade Econômica para Sistemas de Tróleibus. São Paulo, Instituto Mauá de Tecnologia, 1984. 38 p.
15. MERCEDES-BENZ DO BRASIL. Ônibus Articulado 0-305 G. São Paulo, Departamento de Propaganda da Mercedes-Benz do Brasil. 12 p.
16. MOORING, B.W.; GENIN, J. A Kinematic Constraint Method for Stability Analysis of Articulated Vehicles. International Journal of Vehicle Design, Great Britain, 3(2): 190-201, may 82.
17. PIMENTA, Marcos M. Investigação sobre o Projeto de Mecanismos de Direção de Veículos. São Paulo, 1970
18. POLLONE, Giuseppe. Costruzioni Automobilistiche- II Veicolo. 2. ed. Torino, Libreria Editrice Universitaria Levrotto & Bella, 1957. 860 p.
19. PROMEC. Projetos Mecânicos SC Ltda. Especificações Técnicas Preliminares para Ônibus e Tróleibus Articulados para EMTU/CMTC

(R-111-06/TR-Projeto 111). São Paulo.

20. PROMEC, Projetos Mecânicos SC Ltda. Especificações Técnicas para o Projeto Básico do Tróleibus para CMTc (ET-V-10-002.)
São Paulo. 1978.
21. PROTEC. Manual do Projetista de Máquinas. São Paulo.
22. SLIBAR, A.; PASLAY, P.R. The Forced Lateral Oscillations of Trailers. Journal of Applied Mechanics-ASME, New York, 24 : 515-19, 1957.
23. SPERRY-VICKERS. Manual de Hidráulica Mobile. 1. ed. São Paulo, 1980. 153 p.
24. SPIEGEL, Murray R. Manual de Fórmulas e Tabelas Matemáticas [Mathematical Handbook of Formulas and Tables]. São Paulo, Mc Graw-Hill do Brasil, 1979. 270 p.
25. STEEDS, William. Mechanics of Road Vehicles.
26. STREETER, V.L. Mecânica dos Fluidos [Fluid Mechanics]. 7. ed. São Paulo, Mc Graw-Hill do Brasil, 1982. 585 p.
27. TABOREK, Jaroslav J. Mechanics of Vehicles. Machine Design. Ohio, may/dec 1957. 93 p. Suplemento.
28. VERMA, V.S. et alli. The directional behaviour during braking of a tractor/semi-trailer fitted with anti-locking devices. International Journal of Vehicle Design, Great Britain, 1 (3): 195-220, may 80.
29. VLK, F. Design Trends of Articulated Buses. International Journal of Vehicle Design, Great Britain, 4 (6): 646-58, nov.83.

30. WEIR, David H. et alii. Analysis of Truck and Bus Handling.
Report No. DOT-HS-801 152. Hawthorne, Systems Technology,
1974. vol. I, 25 p.

A N E X O 1

DIRECIONAMENTO E PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PNEUS

ANEXO 1 - DIRECIONAMENTO E PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PNEUS

Os pneus de borracha possuem mecanismos de adesão ao solo particulares. A área de contato, nesse caso, se torna relativamente grande.

Em uma roda rígida a força de atrito F_a , pela Lei de Coulomb, assume a seguinte forma:

$$F_a = \mu \cdot W$$

isto é, a força de atrito é proporcional ao peso ou força normal ao movimento de translação, de uma constante μ , o coeficiente de atrito.

O coeficiente de atrito pode assumir duas formas diferentes:

μ_o - coeficiente de atrito de rolamento, e

μ_e - coeficiente de atrito de escorregamento

Do equilíbrio de forças na figura 1, tem-se: $P_{\max} \leq \mu_o \cdot W$, ou seja, o movimento de rolamento de uma roda existe enquanto a força de tração P permanecer menor que a força de atrito de rolamento. A principal distinção entre rolamento e escorregamento de uma roda está na sua utilização efetiva das forças de atrito ao solo e portanto, sendo os coeficientes de atrito de rolamento maiores que os de escorregamento, permitem que forças maiores sejam transmitidas por uma roda em rolamento do que por uma escorregando. Observe-se ser este fato muito importante durante uma ação dos freios em um veículo automotor ou durante uma derrapagem: a roda em rolamento pode manter a sua direção de viagem enquanto uma roda escorregando é direcionalmente instável.

Para os pneus, que são rodas elásticas, a força de atrito de rolamento atinge um máximo não para o estado teórico requerido de rolamento puro mas para o de parcial escorregamento.

Define-se, então, deslize(s) como:

$$S = \frac{V - \omega \cdot r}{V} \times 100$$

onde V é a velocidade de translação e $\omega \cdot r$ é a velocidade da roda.

O raio periférico r é assumido ser o raio do pneu carregado com carga estática nominal, o que permite valores de cálculo acurados. No entanto o raio real de rolamento será maior devido à força centrífuga, especialmente em velocidades altas e com pneus de baixa pressão.

O deslizamento pode assumir duas formas diferentes:

- a. quando a roda é "arrastada" pelo solo (por exemplo, numa frenagem) e a velocidade de translação é maior que a de rotação....
($V > \omega \cdot r$);
- b. quando a roda está girando sem a progressão translatória equivalente ($V < \omega \cdot r$), como na aceleração numa pista escorregadia.

Pela figura 2 nota-se que a distribuição de pressão tende para a direção do movimento e que, após a passagem da parte contrária do pneu pela área de contato ao solo, ocorre uma expansão devido às forças elásticas atuantes. Esta expansão, um escorregamento deformativo, resulta de um retardamento da velocidade de translação contra a velocidade devido à rotação. Contrário, pois, ao comportamento da roda rígida, onde o maior atrito de rolamento é atingido quando o escorregamento é nulo, a máxima força transferi-

vel através de um pneu é obtida com deslize entre 10 e 20%.

Se por ação de forças externas laterais (vide figura 3) a direção real do movimento ou da viagem é forçada a se desviar da direção de rolamento, o pneu opõe tais forças com uma reação de atrito ou de deriva. Tal fenômeno foi observado primeiro por G.Broulhiet em 1925, ref [25]. A força de deriva é função do ângulo de deriva (ângulo entre o vetor velocidade do centro da roda e o plano de rotação da mesma) e sofre os efeitos de fatores como a pressão do pneus, a carga radial, tamanho e forma dos pneus, etc.

A consequência deste fenômeno de relação entre a força e ângulo de deriva é que o curso de um veículo ao executar uma curva deve ser diferente da trajetória teórica de rolamento pelo valor do ângulo de deriva requerido para criar a força de deriva necessária. Este é o motivo pelo qual as rodas de direção são giradas para o centro do veículo de um pequeno ângulo (chamado ângulo de autocompensação ou "toe-in") com o objetivo de absorverem forças laterais e choques sem se desviar do curso reto (vide figura 4).

Com o ponto de ação hipotético da força de deriva localizando-se atrás do centro projetado da roda (em relação à direção do movimento), esta exerce um torque horizontal sobre o pneu que tende a decrescer o ângulo de deriva existente pelo realinhamento das direções de rolamento e movimento real. De acordo com o mostrado na figura 3, o torque pode ser calculado por: $T = F_D \cdot C$. Este efeito particular da força de deriva é conhecido como torque de autoalinhamento.

Da origem física das forças de deriva pode-se deduzir os fatores que influenciam a sua magnitude. O comportamento dos pneus quanto à deriva é representados normalmente por curvas caracterís

ticas como as mostradas da força de deriva em função de:

- a. ângulo de deriva (gráficos 1, 2 e 3) - a função é linear até o ângulo de 5° . A força de deriva, então, diminui o seu crescimento em relação ao ângulo de deriva até o pneu começar a derapar e a força atinge o seu máximo. Para comparar o comportamento de deriva de diferentes pneus define-se a capacidade de deriva como a força por grau de ângulo de deriva. Tal capacidade para um pneu de automóvel de passageiros médio é de cerca de 670, N/grau (68, kgf/grau);
- b. carga radial (gráficos 2, 3 e 4) - tendo a força de deriva caráter de atrito, é proporcional ao peso radial atuando na roda, conforme mostram os gráficos. Pelo gráfico 5 define-se o coeficiente de deriva como a capacidade de deriva definida em (a.) por unidade de carga vertical. Este fator é usado como uma medida real da inter-relação entre carga e habilidade de deriva. A forma da curva indica que a capacidade de deriva relativa diminui com altas cargas ou, em outras palavras, quanto mais carga um pneu carrega, menos efetivo é em suportar forças laterais;
- c. ângulo de "camber" (gráfico 6) - é o ângulo entre a vertical e o plano de rotação da roda (figura 5). A direção de movimento da roda com "camber" desvia-se da sua trajetória de rolamento, criando um ângulo de deriva e, consequentemente, uma força de deriva. Esta nova força será somada ou subtraída à original devido à força centrífuga dependendo do ângulo de "camber" ser positivo ou negativo. No entanto para ângulos de inclinação da roda de cerca de 1° , a força de deriva criada é muito pequena;

- d. pressão dos pneus (gráfico 7) - o aumento na rigidez das pa redes laterais dos pneus resulta no aumento da força de deri va;
- e. tamanho do pneu - pneus menores possuem habilidade de deriva relativamente maiores que pneus de maior tamanho. Este é um dos motivos por se preferir banda dupla de rodagem com pneus pequenos ao invés de banda simples com pneus grandes.

Modelos de Pneus (para veículos articulados)

O modelo citado na parede (B.2) do projeto é o de Bernard, Segel e Wild, ref [16], de 1977. A única alteração é a omissão dos efeitos de deformação longitudinal. Os ângulos de deriva são:

$$\begin{aligned}
 - \text{eixo dianteiro} \quad \alpha_f &= \delta - \text{tg}^{-1} \left[\frac{v_{py} + a_4 \cdot \dot{\psi}}{v} \right] \\
 - \text{eixo intermediário} \quad \alpha_t &= \text{tg}^{-1} \left[\frac{v_{py} - a_5 \cdot \dot{\psi}}{v} \right] \\
 - \text{eixo reboque} \quad \alpha_r &= \gamma + \text{tg}^{-1} \left[\frac{v_{py} - a_5 \dot{\psi} - L_2 (\dot{\psi} + \dot{\gamma}) \cos \gamma}{v + L_2 (\dot{\psi} + \dot{\gamma}) \sin \gamma} \right]
 \end{aligned}$$

Observe-se ser o ângulo de deriva função de diversas variáveis de entrada e saída, assim como de características do próprio veículo (vide figura 6).

De acordo com o procedimento indicado em (B.2) pode-se de terminar as forças laterais nos três eixos.

Na ref [28] encontra-se o modelo de A.I. Krauter (1975), on de há expressões para as forças laterais e longitudinais nos pneus. Esse modelo não será reproduzido aqui.

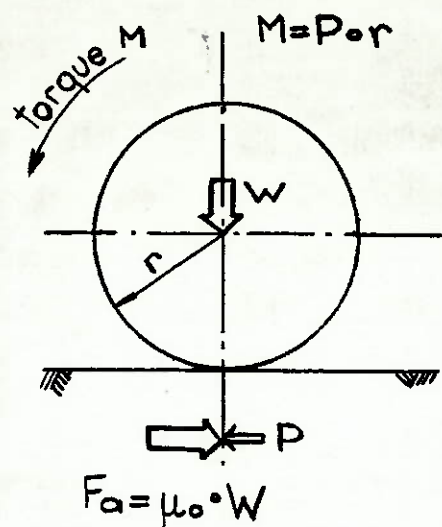


Figura 1 - Forças trativa (P) e de atrito (F_a) numa roda rígida

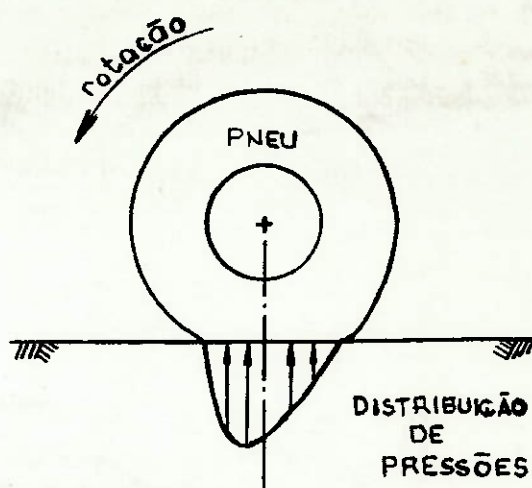


Figura 2 - Pneu de Borracha rolando em piso rígido e distribuição típica de pressões, assimétrica.

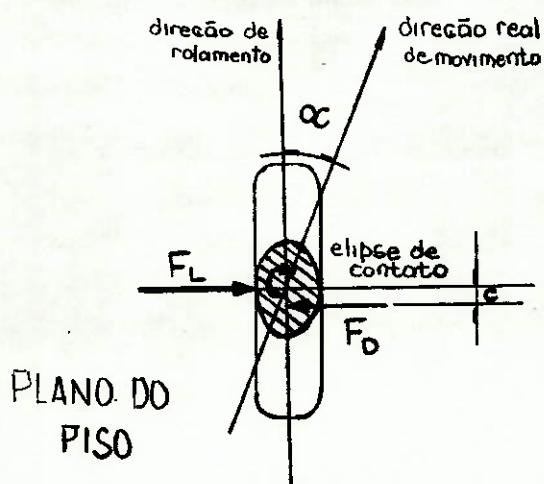


Figura 3 - Força lateral (F_L), força de deriva (F_D) e ângulo de deriva (α) atuantes em um pneu

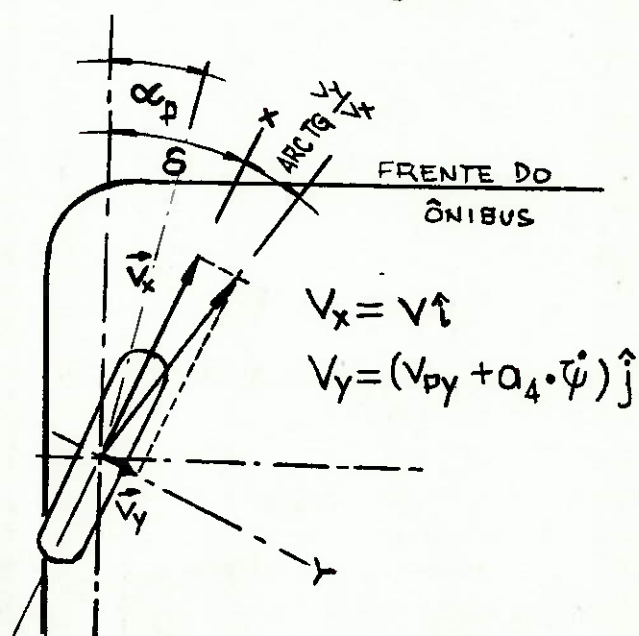


Figura 6 - Ângulo de Deriva para o Eixo Dianteiro

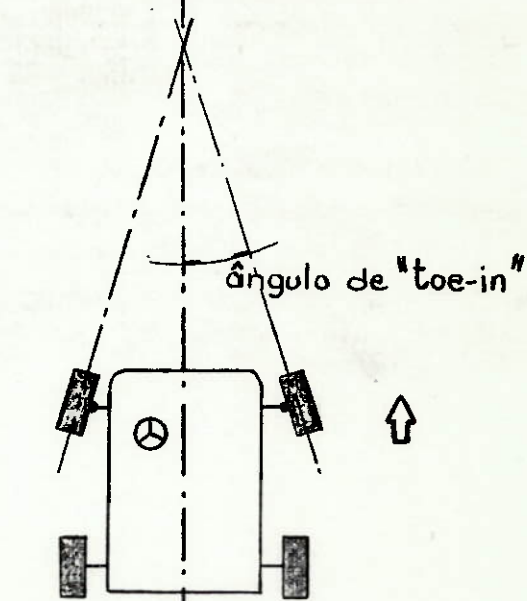


Figura 4 - "Ângulo de 'Toe-in'" em veículo comum (aumentado para maior clareza)

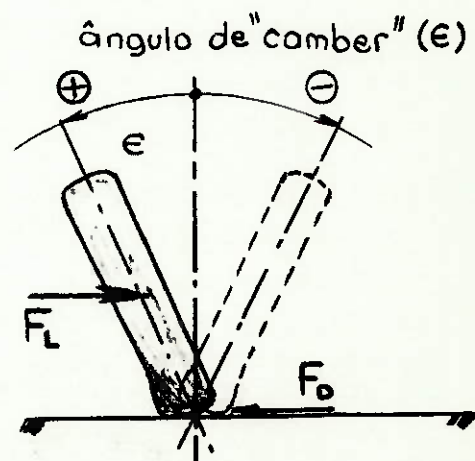


Figura 5 - Vista frontal de um pneu ilustrando o seu Ângulo de "camber"

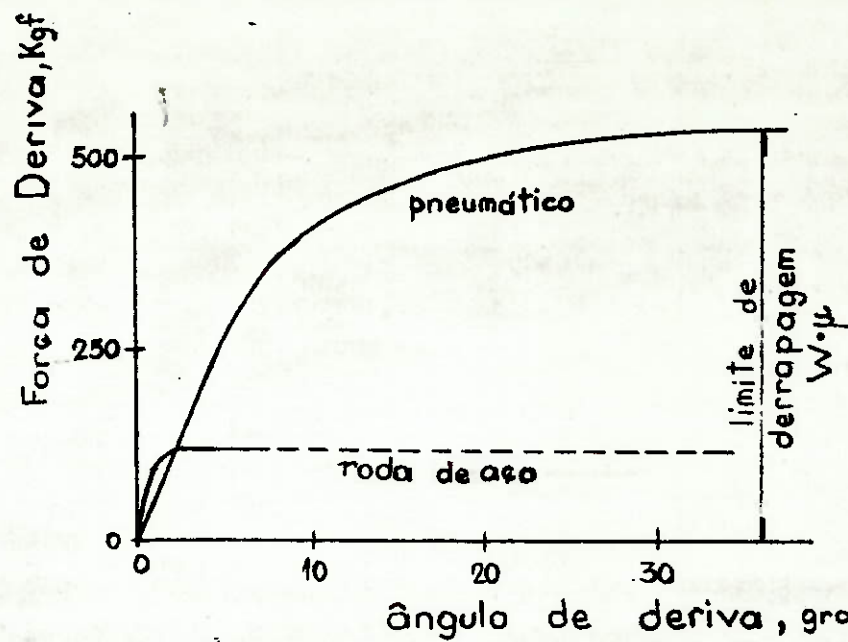


Gráfico 1 - Força de Deriva como uma Função do Ângulo de Deriva para Pneus e Rodas de Aço. A Força atinge o Valor Máximo $W \cdot \mu$ quando se inicia a derrapagem.

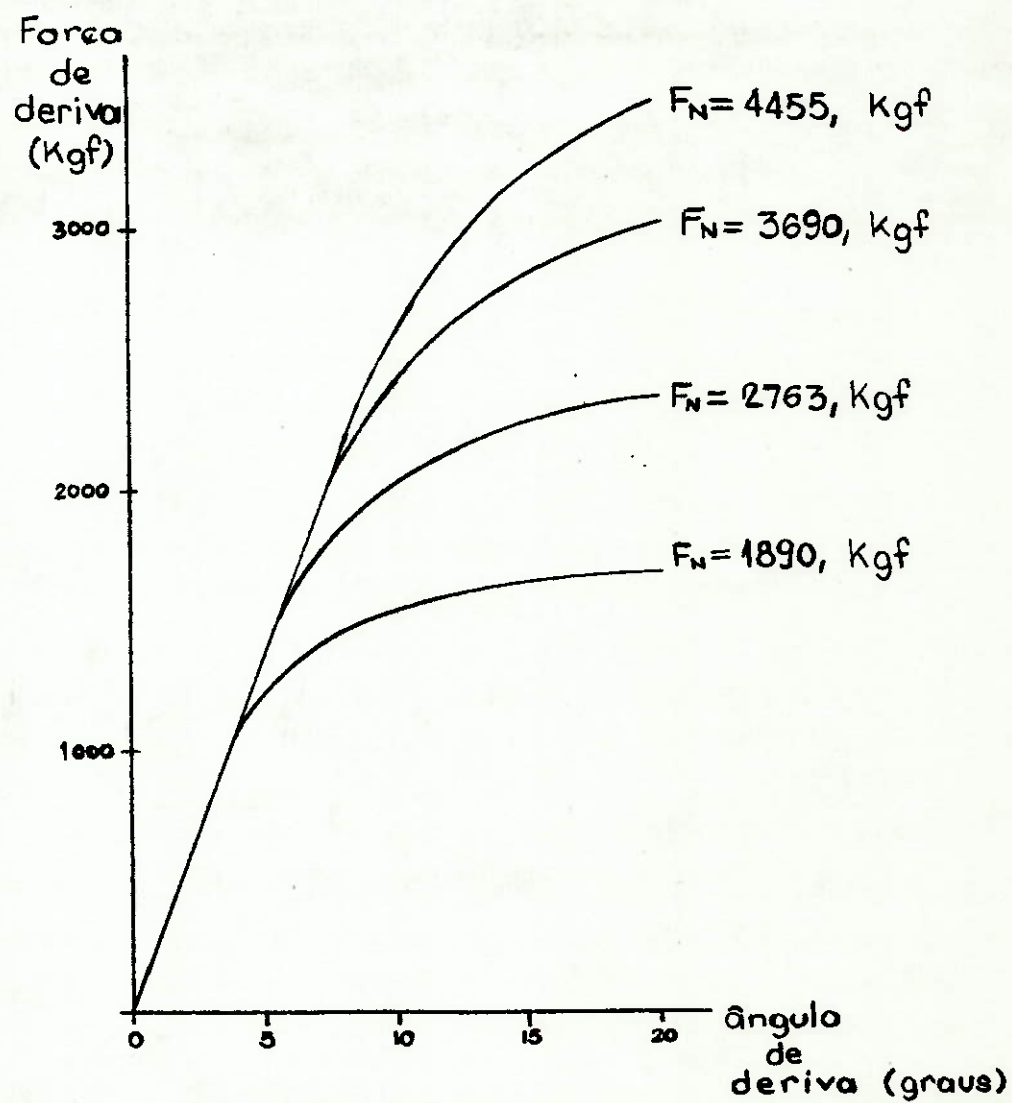


Gráfico 2 - Força de Deriva X Ângulo de Deriva (Bernard, Segel e Wild, ref [16])

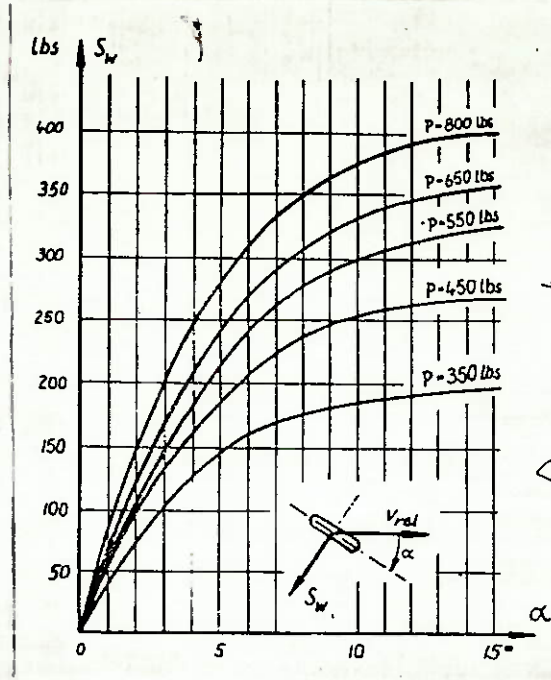


Gráfico 3. - Força de Deriva S_w x Ângulo de Deriva α para várias Cargas P da Roda (Rieckert, Schunck, ref [22]).

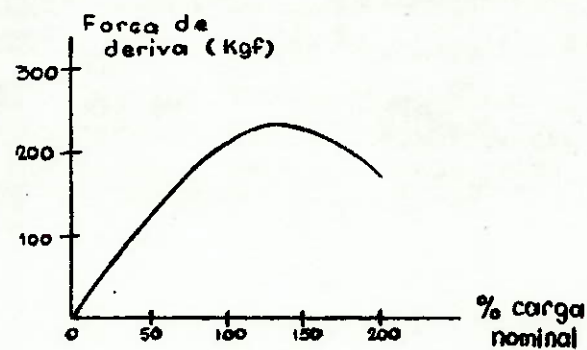


Gráfico 4 - Força de Deriva como uma Função da Carga Radial ($\alpha=3^\circ$). A deformação do pneu e mudanças na distribuição de pressões no nível do piso fazem com que a função se desvie da linha reta teórica.

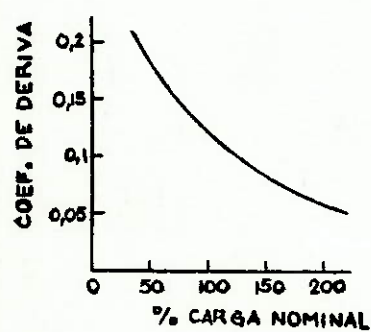


Gráfico 5 - Coeficientes de Deriva como Função da Carga Radial.

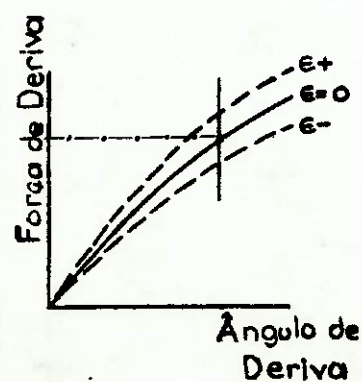


Gráfico 6 - Variação da Força de Deriva em Função do Ângulo de "camber" ou de Inclinação da Roda.

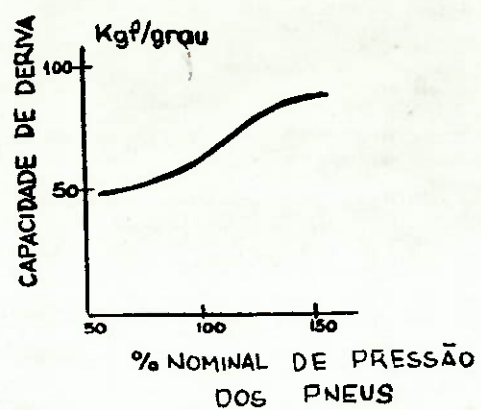


Gráfico 7 -- Força de Deriva como Função de Pressão dos Pneus.

A N E X O 2

RELAÇÕES GEOMÉTRICAS PARA O DIRECIONAMENTO DE VEÍCULOS

ANEXO 2 - RELAÇÕES GEOMÉTRICAS PARA O DIRECIONAMENTO DE VEÍCULOS

Um veículo sobre uma via deve poder percorrer uma trajetória qualquer. É evidente que se durante a marcha se quiser que as rodas rodem sem escorregamento, seus eixos devem passar pelo centro instantâneo de rotação do veículo. Para curvas com diferentes raios de curvatura, o CIR têm várias posições. O mecanismo de direção tem por fim ajustar tal posição, sem que ocorra escorregamento.

Da figura 1 tira-se a seguinte relação:

$$\cotg\beta - \cotg\alpha = \frac{e_3}{p}$$

O ângulo δ , médio entre α e β , é utilizado nos cálculos por simplificação. O seu significado está na figura 1.

De acordo com a bandagem (simples ou dupla) deverá haver escorregamento dos pneus (caso da banda dupla de rodagem). Isso é bem demonstrado pela figura 19 do Projeto Básico - o diagrama de Ackerman representando a situação ótima de percurso sem escorregamento de um ônibus articulado. Há escorregamento apenas entre os pneus da banda dupla de rodagem.

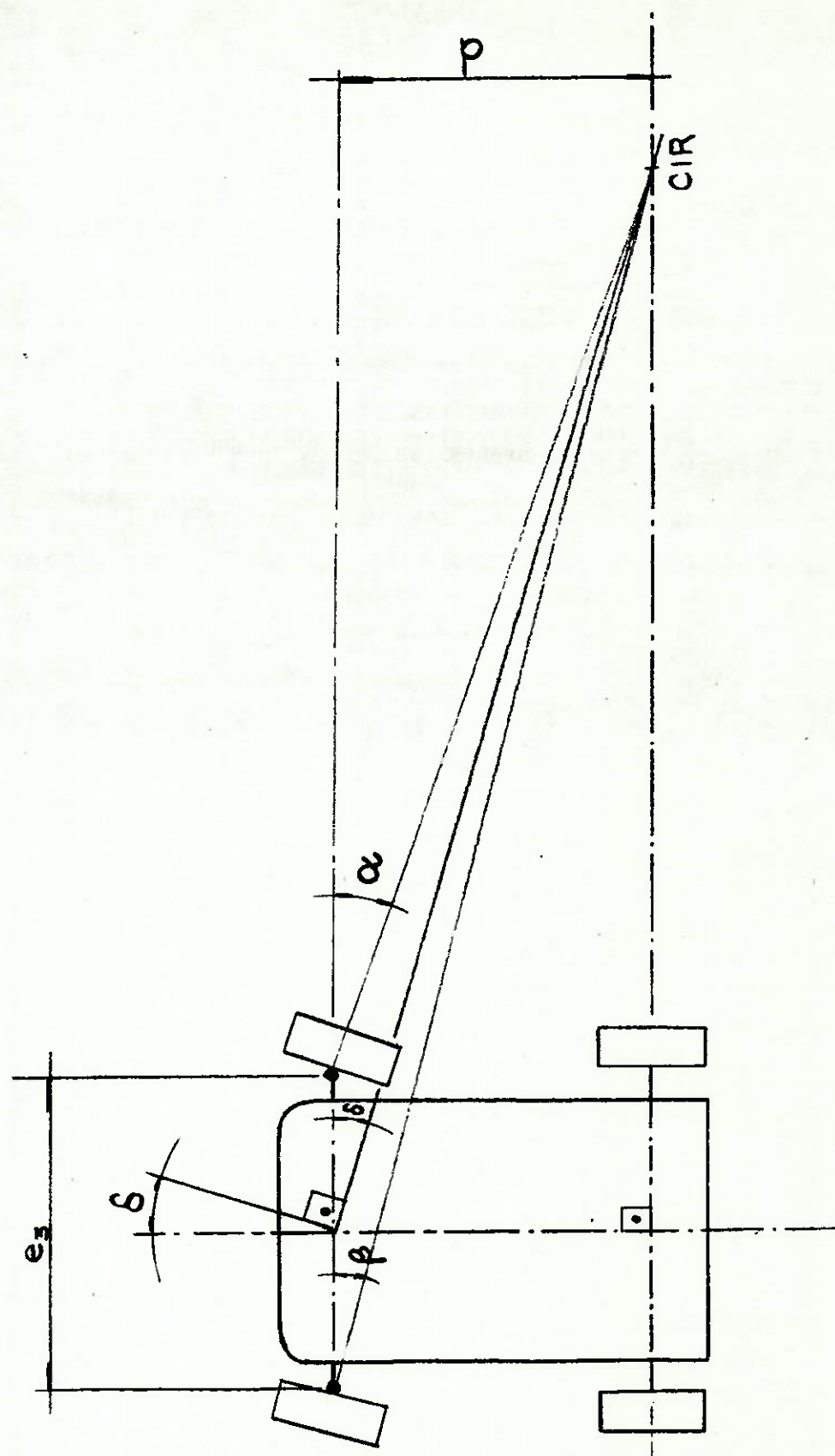


Figura 1 - Veículo com 4 Rodas (2 direcionáveis) e Relações Geométricas de direcionamento.

A N E X O 3

LISTAGENS DE COMPUTADOR

A.1

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.4 m
A3 = 3.99567 m
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m
L2 = 4.543 m
B5 = .6 m
M1 = 15000 kg
M2 = 10000 kg
I1 = 140955 kg m2
I2 = 74490 kg m2
MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 5000 kg
MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 10000 kg
MASSA NO EIXO REBOQUE = 10000 kg

PBN

***** PISTA REVESTIDA COM ASFALTO, MOLHADO *****

VELOC km/h	DELTA seg	TEMPO segundos	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERM kgf	F REBOQ kgf	F TRAT kgf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS kgf/mm2	TENS FL kgf/mm2	PR MÁX kgf/mm2	EFIC %	RAIO m	MÁX AC(Y) m/s2
40.0	1.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	7.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	10.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	10.0	1.25	9.1	1669.2	5144.6	1816.3	345.2	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	32.	3.9
40.0	10.0	1.00	8.4	1639.4	5265.1	1444.8	351.1	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	32.	3.9
40.0	10.0	.75	7.4	1595.5	5436.8	908.1	350.7	CANIVET.	.3	11.6	.1	SIM	32.	3.9
50.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	7.5	1.75	7.8	2008.4	5732.3	3021.0	277.2	CANIVET.	.5	11.6	.2	SIM	43.	4.5
50.0	6.7	1.25	6.5	1750.3	5214.8	2307.5	229.6	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	48.	4.0
50.0	7.5	1.00	6.9	1943.8	5987.7	2221.8	299.8	CANIVET.	.7	11.6	.2	SIM	43.	4.5
50.0	6.7	.75	5.5	1681.6	5477.6	1471.4	241.9	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	48.	4.0
60.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
60.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
60.0	5.0	1.75	5.4	1935.0	5429.7	3130.5	170.6	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	1.25	5.1	1908.0	5532.1	2802.8	179.1	CANIVET.	.4	11.7	.1	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	1.00	4.9	1883.7	5624.3	2507.2	105.2	CANIVET.	.4	11.7	.1	SIM	65.	4.3

70.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	4.2	1.50	4.5	2196.4	6141.0	3408.2	159.7	CANIVET.	.8	11.7	.3	SIM	77.	4.9
70.0	3.7	1.00	3.8	1941.9	5652.5	2842.0	137.2	CANIVET.	.4	11.7	.1	SIM	86.	4.4
70.0	3.3	.75	3.2	1693.8	5139.6	2151.5	113.3	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	97.	3.9
80.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	3.3	1.25	3.6	2293.4	6412.9	3703.5	133.2	CANIVET.	.9	11.7	.3	SIM	97.	5.1
80.0	3.7	1.00	4.0	2559.3	7297.2	3988.9	174.2	CANIVET.	1.5	11.7	.5	NÃO	86.	5.8

CISTA REVESTIDA COM CONCRETO, MOLHADO

[illegible]

60.0	6.7	1.25	4.8	2553.3	7381.1	3727.3	319.4	CANIVET.	.3	11.6	.3	SIM	43.	6.5
60.0	7.5	1.00	7.3	2843.3	8448.6	3744.8	419.0	CANIVET.	1.0	11.6	.3	SIM	43.	6.5
70.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	5.0	1.75	5.5	2450.8	7325.1	4469.2	226.0	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	65.	5.9
70.0	5.0	1.25	5.3	2621.7	7436.2	4114.7	236.2	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	65.	5.9
70.0	5.0	1.00	5.1	2594.5	7539.5	3783.9	244.4	CANIVET.	.4	11.7	.1	SIM	65.	5.9
80.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	4.2	1.50	4.6	2885.0	7959.6	4910.2	203.6	CANIVET.	.6	11.7	.2	SIM	77.	6.4
80.0	3.7	1.00	4.0	2559.3	7297.2	3988.9	174.2	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	86.	5.8
***** PISTA REVESTIDA COM ASFALTO (OU CONCRETO), SECON*****														
VELOC km/h	DELTA graus	TEMPO segundos	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERM kgf	F REPOG kgf	F TRAT kgf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS kgf/mm2	TENS FL kgf/mm2	PR MÁX kgf/mm2	EFIC ?	RAIO m	MÁX AC(Y) m/s2
40.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	5.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	7.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	10.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	15.0	1.75	15.1	2424.5	7532.0	3346.4	760.8	CANIVET.	.0	11.5	.0	SIM	21.	5.9
40.0	16.7	1.50	16.2	2927.1	8509.4	3368.0	967.4	CANIVET.	.7	11.5	.2	SIM	19.	6.6
40.0	15.0	1.00	12.7	2533.5	7970.4	2116.0	806.2	CANIVET.	.3	11.6	.1	SIM	21.	5.9
50.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	5.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	7.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	10.0	1.75	10.5	2699.5	7653.0	4003.1	496.7	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	32.	6.1
50.0	10.0	1.25	9.8	2655.3	7842.8	3433.6	521.6	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	32.	6.1
50.0	10.0	1.00	9.2	2616.6	8004.2	2942.9	536.8	CANIVET.	.3	11.6	.1	SIM	32.	6.1

A.3

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

B.1

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m
A3 = 4.67445 m
A4 = 3.05454 m
A5 = 2.54545 m
L2 = 4.543 m
B5 = .6 m
M1 = 11000 kg
M2 = 6000 kg
I1 = 103367 kg m2
I2 = 44674 kg m2
MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 5000 kg
MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 6000 kg
MASSA NO EIXO REBOQUE = 6000 kg

+Eixo Dianteiro

***** PISTA REVESTIDA COM ASFALTO, MOLHADO *****														
VELOC km/h	DELTA segundos	TEMPO segundos	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERM kgf	F REBOQ kgf	F TRAT kgf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS kgf/mm2	TENS FL kgf/mm2	PR MÁX kgf/mm2	EFIC ?	RAIO m	MÁX AC(Y) m/s2
40.0	1.0	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
40.0	2.5	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
40.0	5.0	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
40.0	7.5	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
40.0	10.0	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
40.0	10.0	1.25	7.1	1804.6	3008.4	1087.3	207.4	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	32.	3.7
40.0	10.0	1.00	8.4	1787.3	3160.1	866.9	210.9	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	32.	3.7
40.0	10.0	.75	7.4	1761.5	3262.6	544.9	210.5	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	32.	3.7
50.0	1.0	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
50.0	2.5	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
50.0	5.0	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
50.0	7.5	1.75	7.8	2135.5	3441.4	1812.6	166.6	CANIVET.	.3	11.6	.1	SIM	43.	4.5
50.0	6.7	1.25	6.5	1875.5	3130.0	1384.5	137.9	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	48.	4.0
50.0	7.5	1.00	6.9	2097.6	3593.7	1333.1	180.0	CANIVET.	.4	11.6	.1	SIM	43.	4.5
50.0	6.7	.75	5.5	1834.9	3287.1	882.8	145.2	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	48.	4.0
60.0	1.0	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
60.0	2.5	0	ÔNIBUS	NÃO SOFRE	INSTABILIDADES NA	TRAJETÓRIA								
60.0	5.0	1.75	5.4	2048.1	3256.8	1878.3	102.4	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	1.25	5.1	2032.1	3320.1	1681.7	107.5	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	1.00	4.9	2017.7	3375.2	1504.3	111.2	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	65.	4.3

40.0	5.0	.75	4.5	1974.0	3464.6	1216.0	115.4	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	45.	4.3
70.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	4.2	1.50	4.5	2322.4	3685.4	2164.9	75.9	CANIVET.	.5	11.7	.2	SIM	77.	4.9
70.0	3.7	1.00	3.8	2068.8	3371.9	1705.2	82.4	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	86.	4.4
70.0	3.3	.75	3.2	1819.1	3084.0	1290.9	68.0	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	97.	3.9
80.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	3.3	1.25	3.6	2424.4	3848.3	2270.1	79.9	CANIVET.	.6	11.7	.2	SIM	97.	5.1
80.0	3.7	1.00	4.0	2715.8	4379.0	2393.4	104.5	CANIVET.	.9	11.7	.3	NÃO	86.	5.8

***** PISTA REVESTIDA COM CONCRETO, MOLHADO *****

VELOC	DELTA	TEMPO	GAMA	F DIANT	F INTERM	F REBOO	F TRAT	TIPO DE	MÁX TENS	TENS FL PR MÁX	EFIC	RAIO	MÁX AC(Y)
km/h	segundos	segundos	graus	kgf	kgf	kgf	kgf	INSTABIL	kgf/mm2	kgf/mm2	%	m	m/s2
40.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	5.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	7.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	10.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	15.0	1.75	15.1	2813.1	4526.8	2007.8	458.8	CANIVET.	.2	11.5	.1	SIM	21. 5.9
40.0	16.7	1.50	16.2	3151.0	5114.2	2020.8	593.4	CANIVET.	.7	11.5	.2	SIM	19. 6.6
40.0	15.0	1.00	12.7	2763.1	4785.7	1269.6	484.7	CANIVET.	.4	11.6	.1	SIM	21. 5.9
50.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	5.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	7.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	10.0	1.75	10.5	2872.2	4596.5	2401.9	298.9	CANIVET.	.3	11.6	.1	SIM	32. 6.1
50.0	10.0	1.25	9.8	2846.9	4709.2	2060.1	313.6	CANIVET.	.4	11.6	.1	SIM	32. 6.1
50.0	10.0	1.00	9.2	2824.6	4905.2	1765.8	322.6	CANIVET.	.4	11.6	.1	SIM	32. 6.1
60.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
60.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											

B.2

60.0	5.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA	6.5	43.	6.5
60.0	7.5	1.75 8.1 3090.0 4873.0 2805.5 232.1 CÂNIJET.	11.6	.2	SIM
60.0	6.7	1.25 6.8 2720.1 4430.6 2236.4 191.9 CÂNIJET.	11.6	.1	SIM
60.0	7.5	1.00 7.3 3046.6 5071.4 2246.9 251.7 CÂNIJET.	11.6	.2	SIM
70.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA			
70.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA			
70.0	5.0	1.75 5.5 2797.8 4326.6 2681.5 135.7 CÂNIJET.	11.7	.0	SIM
70.0	5.0	1.25 5.3 2780.6 4463.0 2468.8 141.9 CÂNIJET.	11.7	.1	SIM
70.0	5.0	1.00 5.1 2764.4 4524.8 2270.3 146.8 CÂNIJET.	11.7	.1	SIM
80.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA			
80.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA			
80.0	4.2	1.50 4.6 3043.1 4776.9 2946.1 122.3 CÂNIJET.	11.7	.1	SIM
80.0	3.7	1.00 4.0 2715.8 4379.0 2393.4 104.5 CÂNIJET.	11.7	.0	SIM

***** PISTA REVESTIDA COM ASFALTO (OU CONCRETO), SECON*****

VELOC km/h	DELTA segundos	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERM kgf	F RERQQ kgf	F TRAT kgf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS kgf/mm2	TENS FL kgf/mm2	FL PR MÁX kgf/mm2	EFIC %	RAIO m	MÁX AC(Y) m/s2
40.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	7.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	10.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	15.0	1.75	15.1	2813.1	4526.8	2007.8	458.8	CANIVET.	.0	11.5	.0	SIM	5.9
40.0	16.7	1.50	16.2	3151.0	5114.2	2020.8	583.4	CANIVET.	.5	11.5	.2	SIM	6.6
40.0	15.0	1.00	12.7	2763.1	4795.7	1269.6	484.7	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	5.9
50.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
50.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
50.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
50.0	7.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
50.0	10.0	1.75	10.5	2872.2	4546.5	2401.9	298.9	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	6.1
50.0	10.0	1.25	9.8	2846.9	4709.2	2060.1	313.6	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	6.1
50.0	10.0	1.00	9.2	2824.6	4805.2	1745.8	322.6	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	6.1

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m
A3 = 5.489 m
A4 = 2.24 m
A5 = 3.36 m
L2 = 4.543 m
B5 = .6 m
M1 = 10000 kg
M2 = 4000 kg
I1 = 93970 kg m2
I2 = 44694 kg m2

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 4000 kg
MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 4000 kg
MASSA NO EIXO REBOQUE = 4000 kg

++Eixo Dianteiro

***** PISTA REVESTIDA COM ASFALTO, MOLHADO *****

VELOC km/h	DELTA segundos	TEMPO s	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERN kgf	F REBOQ kgf	F 18AT kgf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS kgf/mm2	FL PR MÁX kgf/mm2	EFIC %	RAIO m	MÁX AC(V) m/s2
40.0	1.0	1.00	1.75	10.0	2224.9	2208.9	1345.2	199.5	11.6	.0	SIM	32.	3.9
40.0	2.5	1.25	9.1	2205.0	2297.8	1089.8	207.8	207.8	11.6	.1	SIM	32.	3.7
40.0	5.0	1.00	8.4	2188.3	2068.9	864.9	211.1	211.1	11.6	.1	SIM	32.	3.9
40.0	10.0	.75	7.4	2163.2	2470.7	544.9	210.6	210.6	11.6	.1	SIM	32.	3.9
50.0	1.0	1.00	6.4	2152.0	2126.1	1424.9	118.0	118.0	11.6	.0	SIM	52.	3.8
50.0	2.5	1.25	6.5	2287.5	2310.4	1384.5	138.1	138.1	11.6	.1	SIM	48.	4.0
50.0	5.0	1.00	6.9	2562.5	2670.6	1333.1	180.2	180.2	11.6	.2	SIM	43.	4.5
50.0	10.0	.75	5.5	2247.5	2466.8	882.8	145.3	145.3	11.7	.1	SIM	48.	4.0
60.0	1.0	1.00	5.4	2491.0	2375.3	1878.3	102.5	102.5	11.7	.1	SIM	65.	4.3
60.0	2.5	1.25	5.4	2491.0	2375.3	1878.3	102.5	102.5	11.7	.1	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	1.75	5.4	2491.0	2375.3	1878.3	102.5	102.5	11.7	.1	SIM	65.	4.3

60.0	5.0	1.25	5.1	2475.2	2436.3	1681.7	107.6	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	1.00	4.9	2460.9	2491.3	1504.3	111.3	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	.75	4.5	2437.5	2580.4	1216.0	115.4	CANIVET.	.4	11.7	.1	SIM	65.	4.3
70.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	3.0	1.25	3.5	2249.9	2172.6	1448.9	62.9	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	97.	3.9
70.0	3.7	1.00	3.8	2520.3	2490.3	1705.2	82.4	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	86.	4.4
70.0	3.3	.75	3.2	2220.4	2282.6	1290.9	68.0	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	97.	3.9
80.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	2.5	1.75	2.8	2218.5	2067.0	1815.1	43.2	CANIVET.	.0	11.7	.0	SIM	129.	3.9
80.0	2.5	1.00	2.6	2200.4	2193.8	1597.2	46.4	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	129.	3.9
80.0	2.5	.75	2.5	2184.8	2191.3	1409.3	48.6	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	129.	3.9
***** PISTA REVESTIDA COM CONCRETO, MOLHADO *****														
VELOC km/h	DELTA graus	TEMPO segundos	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERM kgf	F REBOQ kgf	F TRAT kgf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS kgf/mm2	TENS FL kgf/mm2	EFIC %	RAIO m	MÁX AC(Y) m/s2	
40.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	3.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	7.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	10.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	12.5	1.50	12.0	2804.6	2816.7	1546.9	321.8	CANIVET.	.0	11.6	.0	SIM	26.	4.9
40.0	13.3	1.25	12.2	2992.2	3078.5	1434.2	375.0	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	24.	5.2
40.0	15.0	1.00	12.7	3381.9	3585.5	1269.6	485.9	CANIVET.	.6	11.6	.2	SIM	21.	5.9
50.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	5.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	7.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	8.3	1.50	8.5	2886.7	2838.3	1891.7	211.3	CANIVET.	.0	11.6	.0	SIM	39.	5.0
50.0	10.0	1.25	9.8	3471.2	3475.1	2060.1	314.4	CANIVET.	.5	11.6	.2	SIM	32.	6.1
50.0	10.0	1.00	9.2	3449.9	3570.0	1765.8	323.2	CANIVET.	.5	11.6	.2	SIM	32.	6.1
60.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												

C.2

30.0	10.0	1.00	9.2	3449.9	3570.0	1765.8	323.2	CANIVET.	.4	11.6	.1	SIM	32.	6.1
50.0	10.0	1.00	9.2	3449.9	3570.0	1765.8	323.2	CANIVET.	.4	11.6	.1	SIM	32.	6.1
40.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	4.2	1.50	4.6	3113.8	3001.6	2243.1	164.2	CANIVET.	.0	11.6	.0	SIM	52.	5.4
40.0	6.7	1.25	4.8	3312.8	3250.8	2236.4	192.2	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	48.	5.8
40.0	7.5	1.00	7.3	3715.4	3742.6	2246.9	252.0	CANIVET.	.5	11.6	.2	SIM	43.	6.5
70.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
70.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
70.0	5.0	1.75	5.5	3400.4	3194.1	2681.5	135.9	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	65.	5.9
70.0	5.0	1.25	5.3	3388.5	3260.2	2468.8	142.0	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	65.	5.9
70.0	5.0	1.00	5.1	3367.6	3321.8	2270.3	146.9	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	65.	5.9
80.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
80.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
80.0	4.2	1.50	4.6	3698.3	3468.5	2946.1	122.4	CANIVET.	.3	11.7	.1	SIM	77.	6.4
80.0	3.7	1.00	4.0	3305.4	3201.5	2393.4	104.6	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	86.	5.8

***** T E R M I N O *****

C4

D.1

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m
A3 = 3.42131 m
A4 = 4.30769 m
A5 = 1.29231 m
L2 = 4.543 m
R5 = .6 m
M1 = 13000 kg
M2 = 6000 kg
I1 = 122161 kg m2
I2 = 44894 kg m2
MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 3000 kg
MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 10000 kg
MASSA NO EIXO REBOQUE = 6000 kg

+Eixo Intermediário

*****PISTA REVESTIDA COM ASFALTO, MOLHADO*****

VELOC km/h	DELTA segundos	TEMPO s	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERM kgf	F REBOQ kgf	F TRAT kgf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS kgf/mm2	TENS FL kgf/mm2	PR MÁX kgf/mm2	EFIC %	RAIO m	MÁX AC(Y) m/s2
40.0	1.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	7.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	10.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
40.0	12.5	1.50	12.0	1286.4	5774.2	1546.9	319.0	CANIVET.	.6	11.6	.2	SIM	26.	4.9
40.0	13.0	1.25	12.2	1362.2	6263.1	1434.2	372.2	CANIVET.	.9	11.6	.3	SIM	24.	5.2
40.0	15.0	1.00	12.7	1523.3	7107.9	1269.6	482.9	CANIVET.	1.6	11.6	.5	SIM	21.	5.7
50.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
50.0	7.5	1.75	7.8	1206.8	5286.8	1612.6	166.1	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	43.	4.5
50.0	8.0	1.50	8.5	1334.9	5916.9	1091.7	210.2	CANIVET.	.6	11.6	.2	SIM	39.	5.0
50.0	7.5	1.00	6.9	1167.3	5440.8	1333.1	179.7	CANIVET.	.3	11.6	.1	SIM	43.	4.5
50.0	10.0	1.00	9.2	1572.3	7276.9	1765.8	321.7	CANIVET.	1.6	11.6	.5	SIM	32.	6.1
60.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
60.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
60.0	5.0	1.75	5.4	1161.8	5026.5	1878.3	102.3	CANIVET.	.0	11.7	.0	SIM	65.	4.3

60.0	5.0	1.25	5.1	1145.5	5088.1	1681.7	107.4	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	1.00	4.9	1130.8	5143.5	1504.3	111.1	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	65.	4.3
60.0	5.0	.75	4.5	1106.7	5233.3	1216.0	115.3	CANIVET.	.2	11.7	.1	SIM	65.	4.3
70.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
70.0	4.2	1.50	4.5	1318.5	5689.4	2164.9	95.8	CANIVET.	.5	11.7	.2	SIM	77.	4.9
70.0	3.7	1.00	3.8	1165.5	5195.5	1705.2	82.3	CANIVET.	.1	11.7	.0	SIM	86.	4.4
70.0	5.0	1.00	5.1	1557.6	6931.3	2270.3	146.6	CANIVET.	1.3	11.7	.4	SIM	65.	5.9
80.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
80.0	3.3	1.25	3.6	1376.5	5941.5	2270.1	79.9	CANIVET.	.6	11.7	.2	SIM	97.	5.1
80.0	3.7	1.00	4.0	1536.2	6734.4	2373.4	104.5	CANIVET.	1.1	11.7	.4	SIM	86.	5.8

***** PISTA REVESTIDA COM CONCRETO, MOLHADO *****

VELOC km/h	DELTA graus	TEMPO segundos	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERM kgf	F REEQ kgf	F TRAT kgf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS kgf/mm2	TENS FL kgf/mm2	PR MÁX kgf/mm2	EFIC %	RAIO m	MÁX AC(Y) m/s2
40.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	5.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	7.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	10.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	15.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
40.0	16.7	1.50	16.2	1764.6	7789.5	2020.8	578.0	CANIVET.	.6	11.5	.2	SIM	19.	6.6
40.0	15.0	1.00	12.7	1523.3	7187.9	1269.6	482.9	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	21.	5.9
50.0	1.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	2.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	5.0	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	7.5	O ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA												
50.0	10.0	1.75	10.5	1623.0	7064.5	2401.9	297.3	CANIVET.	.0	11.6	.0	SIM	32.	6.1
50.0	10.0	1.25	9.8	1596.3	7179.3	2060.1	312.4	CANIVET.	.1	11.6	.0	SIM	32.	6.1
50.0	10.0	1.00	9.2	1572.3	7276.9	1765.8	321.7	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	32.	6.1

D.2

50.0	12.5	1.50	12.8	2040.5	8718.4	2801.6	479.4	CANIVET.	1.0	11.6	.3	SIM	26.	7.6
50.0	13.3	1.25	13.2	2166.1	9619.4	2714.6	542.1	CANIVET.	1.5	11.6	.5	SIM	24.	8.2
60.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
60.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
60.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
60.0	7.5	1.75	8.1	1753.7	7549.6	2805.6	231.3	CANIVET.	.0	11.6	.0	SIM	43.	6.5
60.0	8.3	1.50	8.8	1942.9	8437.0	2978.4	292.3	CANIVET.	.6	11.6	.2	SIM	39.	7.3
60.0	7.5	1.00	7.3	1707.9	7730.1	2246.9	251.1	CANIVET.	.2	11.6	.1	SIM	43.	6.5
70.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
70.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
70.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
70.0	6.2	1.50	6.8	1986.3	8541.5	3238.1	216.2	CANIVET.	.7	11.6	.2	SIM	52.	7.4
70.0	6.7	1.25	7.1	2107.2	9166.9	3283.3	252.6	CANIVET.	1.1	11.6	.4	SIM	48.	7.9
80.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
80.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA											
80.0	5.0	1.75	5.6	2088.9	8847.2	3621.5	173.1	CANIVET.	.9	11.7	.3	SIM	45.	7.7
80.0	5.0	1.25	5.4	2070.5	8917.1	3399.1	180.1	CANIVET.	.7	11.7	.3	SIM	45.	7.7

***** T E R M I N O *****

D.4

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

E1

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m
A3 = 3.99567 m
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m
L2 = 4.543 m
B5 = .6 m
M1 = 9000 kg
M2 = 10000 kg
I1 = 84573 kg m2
I2 = 74470 kg m2

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 3000 kg
MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 4000 kg
MASSA NO EIXO REBOQUE = 10000 kg

+Eixo Reboque

*****PISTA REVESTIDA COM ASFALTO, MOLHADO*****

VELOC km/h	DELTA segundos	TEMPO segundos	GAMA graus	F DIANT kgf	F INTERM kgf	F REBOQ kgf	F TRAT kgf	TIPO DE INSTABIL	Nº DE TENS FL	RAIO m	EFIC %	MÁX AC(Y) m/s2
40.0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40.0	2.5	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40.0	5.0	5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40.0	7.5	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40.0	10.0	10.0	1.75	10.0	900.7	3408.5	2275.4	330.9	32.9	32.9	32.9	3.9
40.0	10.0	10.0	1.25	9.1	864.5	3559.6	1816.3	345.2	32.9	32.9	32.9	3.9
40.0	10.0	10.0	1.00	8.4	834.7	3680.1	1444.8	351.1	32.9	32.9	32.9	3.9
40.0	10.0	10.0	.75	7.4	790.8	3851.8	908.1	350.7	32.9	32.9	32.9	3.9
50.0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50.0	2.5	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50.0	5.0	5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50.0	6.2	6.2	1.50	6.4	882.6	3283.2	2374.8	196.3	52.0	52.0	52.0	3.8
50.0	6.7	6.7	1.25	6.5	923.9	3573.1	2307.5	229.6	48.0	48.0	48.0	4.0
50.0	7.5	7.5	1.00	6.9	1011.2	4138.5	2221.8	299.8	43.0	43.0	43.0	4.5
50.0	6.7	6.7	.75	5.5	855.2	3835.9	1471.4	241.9	48.0	48.0	48.0	4.0
60.0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60.0	2.5	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60.0	4.2	4.2	1.50	4.4	862.5	3085.3	2499.6	120.8	77.0	77.0	77.0	3.6
60.0	5.0	5.0	1.25	5.1	1019.9	3762.6	2802.8	179.1	65.0	65.0	65.0	4.3
60.0	5.0	5.0	1.00	4.9	995.5	3954.8	2507.2	185.2	65.0	65.0	65.0	4.3

[illegible]

***** PISTA REVESTIDA COM ASFALTO (OU CONCRETO), SECO*****

VELOC km/h	DELTA graus	TEMPO segundos	GAMA graus	F DIANT tsf	F INTERN tsf	F REBOQ tsf	F TRAT tsf	TIPO DE INSTABIL	MÁX TENS FL tsf/mm2	FL PR MÁX tsf/mm2	EFIC ?	RAIO m	MÁX AC(V) m/s2
40.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	7.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	10.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
40.0	15.0	1.75	15.1	1377.8	5123.4	3346.4	760.8	CANIVET.	.5	11.5	.2	21.	5.9
40.0	13.3	1.25	12.2	1170.0	4762.4	2390.3	621.7	CANIVET.	.2	11.6	.1	24.	5.2
40.0	15.0	1.00	12.7	1286.7	5561.7	2116.0	806.2	CANIVET.	.8	11.6	.3	21.	5.9
50.0	1.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
50.0	2.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
50.0	5.0	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
50.0	7.5	0	ÔNIBUS NÃO SOFRE INSTABILIDADES NA TRAJETÓRIA										
50.0	10.0	1.75	10.5	1442.1	5176.4	4003.1	496.8	CANIVET.	.5	11.6	.2	32.	6.1
50.0	10.0	1.25	9.8	1397.9	5366.2	3433.6	521.6	CANIVET.	.6	11.6	.2	32.	6.1
50.0	10.0	1.00	9.2	1359.2	5527.6	2942.9	536.8	CANIVET.	.7	11.6	.2	32.	6.1


```

10 REM *****
20 REM ***** ÔNIBUS ARTICULADO *****
30 REM *****
40 REM Este programa simula um ônibus articulado em movimento plano XY paralelo ao solo em diferentes pistas, velocidades e ângulos de direção.
50 REM Ele analisa o tipo de instabilidade aerodinâmica que pode ocorrer e verifica se o dispositivo eletro hidráulico da articulação é eficaz na sua neutralização.
60 N=3
70 PT=3.141593
80 DIM A(N,N+1),X(N)
90 DIM MD(7),MV(4),CA(2)
100 GET HM,LPL,LPT,DH,DHP,CHP,DPI
110 DATA 660,1224,860,50,8,50,8,800,101.6
120 FOR G=0 TO 4
130 GET MV(G)
140 DATA 40,50,60,70,80
150 NEXT G
160 FOR G=0 TO 7
170 GET MD(G)
180 DATA 1,2,5,7,5,10,15,20,30
190 NEXT G
200 INPUT "DESEJA IMPRESSÃO ? (S ou N) " : P$
210 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO DIANTEIRO ? (EM KG) " : MEF
220 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO INTERMEDIÁRIO ? (EM KG) " : MET
230 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO REBOQUE ? (EM KG) " : MER
240 M1=MEF+MET
250 M2=MER
260 GET CA(0),CA(1),CA(2)
270 DATA -5,7,75
280 GET L1,L2,RS
290 DATA 5,6,4,543,0,6
300 A4=VI-MEF/M1*L1
310 A5=L1-A4
320 A3=2,129+A5
330 I2=7.489*M2
340 I1=7.397*M1
350 PRINT "SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO"
360 IF P$="S" THEN LPRINT "*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****"
370 PRINT
380 IF P$="S" THEN LPRINT
390 IF P$="S" THEN LPRINT
400 IF P$="S" THEN LPRINT "PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):"
410 PRINT "PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):"
420 IF P$="S" THEN LPRINT "PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):"
430 PRINT
440 IF P$="S" THEN LPRINT
450 PRINT "L1 = ",L1," m"
460 IF P$="S" THEN LPRINT "L2 = ",L2," m"
470 IF P$="S" THEN LPRINT "A3 = ",A3," m"
480 IF P$="S" THEN LPRINT "A4 = ",A4," m"
490 IF P$="S" THEN LPRINT "A5 = ",A5," m"
500 IF P$="S" THEN LPRINT "RS = ",RS," m"
510 PRINT "L1 = ",L1," m"
520 IF P$="S" THEN LPRINT "L2 = ",L2," m"
530 PRINT "L2 = ",L2," m"
540 IF P$="S" THEN LPRINT "RS = ",RS," m"
550 PRINT "RS = ",RS," m"
560 IF P$="S" THEN LPRINT "M1 = ",M1," kg"
570 PRINT "M1 = ",M1," kg"
580 IF P$="S" THEN LPRINT "M2 = ",M2," kg"
590 PRINT "M2 = ",M2," kg"
600 IF P$="S" THEN LPRINT "I1 = ",I1," kg m2"
610 PRINT "I1 = ",I1," kg m2"

```



```

1240 A(1,1)=-SIN(DEL)
1250 A(2,1)=COS(DEL)
1260 A(3,1)=A(1,1)*COS(DEL)
1270 A(1,2)=COS(GAMA)
1280 A(2,2)=SIN(GAMA)
1290 A(3,2)=-A(1,2)*SIN(GAMA)
1300 A(1,3)=0
1310 A(2,3)=1
1320 A(3,3)=A(1,3)*SIN(GAMA)
1330 A(1,4)=M1*APX+M2*ARY+FLR*SIN(GAMA)
1340 A(2,4)=M1*APY+M2*ARY-FLR
1350 A(3,4)=FLR*A(3,3)*COS(GAMA)-A(3,2)*ARY
1360 K=1
1370 I=K+1
1380 REM *****CONDENSAÇÃO PIVOTAL*****
1390 L=K
1400 IF ABS(A(I,K))>ABS(A(L,K)) THEN L=I
1410 IF L=K THEN I=I+1
1420 IF I=K THEN GOTO 1500
1430 J=K
1440 AUX=A(K,J)
1450 A(K,J)=A(L,J)
1460 A(L,J)=AUX
1470 IF J=N+1 THEN GOTO 1500
1480 J=J+1
1490 GOTO 1440
1500 I=K+1
1510 REM *****ELIMINAÇÃO GAUSSIANA*****
1520 MULT=A(I,K)/A(K,K)
1530 A(I,K)=0
1540 J=K+1
1550 A(I,J)=A(I,J)-MULT*A(K,J)
1560 IF J=N+1 THEN GOTO 1590
1570 J=J+1
1580 GOTO 1550
1590 IF I=N THEN GOTO 1620
1600 I=I+1
1610 GOTO 1520
1620 IF K=N-1 THEN GOTO 1660
1630 K=K+1
1640 GOTO 1570
1650 REM *****SUBSTITUIÇÃO REGRESSIVA*****
1660 IF A(N,N)=0 THEN GOTO 1810
1670 X(N)=A(N,N+1)/A(N,N)
1680 I=N-1
1690 J=I+1
1700 S=0
1710 S=S+A(I,J)*X(J)
1720 IF J=N THEN GOTO 1750
1730 J=J+1
1740 GOTO 1710
1750 IF A(I,I)=0 THEN GOTO 1810
1760 X(I)=(A(I,N+1)-S)/A(I,I)
1770 IF I=1 THEN GOTO 1870
1780 I=I-1
1790 GOTO 1690
1800 REM *****SISTEMA INDETERMINADO/INCONSISTENTE*****
1810 IF A(N,N+1)=0 THEN PRINT ("F6.1,3X,f6.1,4X,B35")VKM,DELG,"HÁ INCONSISTÊNCIA NO SISTEMA LINEAR"
1820 IF A(N,N+1)=0 AND P$="S" THEN PRINT ("F6.1,3X,f6.1,4X,B35")VKM,DELG,"HÁ INCONSISTÊNCIA NO SISTEMA LINEAR"
1830 IF A(N,N+1)=0 THEN PRINT ("F6.1,3X,f6.1,4X,B35")VKM,DELG,"HÁ INDETERMINAÇÃO NO SISTEMA LINEAR"
1840 IF A(N,N+1)=0 AND P$="S" THEN PRINT ("F6.1,3X,f6.1,4X,B35")VKM,DELG,"HÁ INDETERMINAÇÃO NO SISTEMA LINEAR"
1850 GOTO 2370
1860 REM *****SOLUÇÃO DO SISTEMA*****
1870 FLF=X(1)
1880 FT=ABS(X(2))
1890 FLT=X(3)

```



```

2500 REM *****SUBROTINA ESTADO GEOMÉTRICO DO DISPOSITIVO*****
2510 MTAN(1.101303-ABS(GAMA)/2)
2520 X=(1134.36MM+50R((1134.36MM)**2-4*(583.18**2-MM**2)*(MM**2+1)))/(2*(MM**2+1))
2530 Y=X*MM
2540 X1=583.18*SIN(ABS(GAMA))+938987)
2550 Y1=583.18*COS(ABS(GAMA))+938987)
2560 LF=50R(LF**2+PL**2)
2570 X2=LF*SIN(ABS(GAMA))+1.427679)
2580 Y2=LF*COS(ABS(GAMA))+1.427679)
2590 M3=(Y-Y2)/(X-X2)
2600 M4=(Y-Y1)/(X-X1)
2610 BR=50R(X**2+Y**2)
2620 KSI=ATN((M4-M)/(1+M4*M))
2630 NI=ATN((M3-M4)/(1+M3*M4))
2640 BR=BR/1000
2650 RETURN
2660 REM *****TESTE DE FORÇAS ATUAENTES NO DISPOSITIVO*****
2670 F2=ABS((FY-FX/TAN(KSI+NI))/(2*(COS(KSI)+SIN(KSI)*TAN(KSI+NI))))
2680 F1=ABS((2*F2*SIN(KSI)+FX)/(2*SIN(KSI+NI)))
2690 F4=ABS((-FY-FX/TAN(KSI+NI))/(2*(COS(KSI)+SIN(KSI)*TAN(KSI+NI))))
2700 F3=ABS((2*F4*SIN(KSI)+FX)/(2*SIN(KSI+NI)))
2710 AREA=PI*DH**2/4
2720 IF F1>F3 THEN F3=F1
2730 SIGF1=F3/AREA
2740 IF F2>F4 THEN F4=F2
2750 SIGF2=F4/AREA
2760 JX=PI*(DH/10)**4/64
2770 RG=50R(JX/(AREA/100))
2780 LAMB1=(50R(ABS(X2-X)**2+ABS(Y2-Y)**2)-CHP)/10/RG
2790 LAMB2=HM/10/RG
2800 LAMB=LAMB1
2810 GOSUB 2970
2820 SFL1=SFL
2830 LAMB=LAMB2
2840 SFL2=SFL
2850 SFL=ABS(SFL1)
2860 IF SFL2>SFL1 THEN SFL=ABS(SFL2)
2870 AREXTE=PI*DP1**2-DHP**2)/4
2880 PRMAX=F3/AREXTE
2890 IF SIGF1>SIGF2 THEN SIGF=SIGF1
2900 IF SIGF1<SIGF2 THEN SIGF=SIGF2
2910 SI=1
2920 IF FX>0 AND FY>0 THEN FS="NÃO".RETURN
2930 IF FX>0 OR FY>0 THEN SI=-1
2940 MI=50R(FX**2+FY**2)
2950 MS=50R(ABS(SI*ABS(FXS)**2+ABS(FYS)**2))
2960 IF MS>MI THEN FS="SIM"
2970 IF MS<MI THEN FS="NÃO"
2980 RETURN
2990 REM *****SUBROTINA CÁLCULO DA TENSÃO DE FLAMBAGEM*****
3000 IF LAMB<105 THEN GOTO 3030
3010 SFL=10363000/LAMB**2
3020 RETURN
3030 SFL=1200-.023*LAMB**2
3040 RETURN
3050 REM *****SUBROTINA G A M A *****
3060 GAMA1=(ECOS(GAMA)-1)*PSI1-SIN(GAMA)*G
3070 RETURN

```

A N E X O 4

LISTAGENS DE COMPUTADOR

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE).

L1 = 5.4 m L2 = 4.543 m I1 = 112764 kg m2
A3 = 4.46233 m B5 = .6 m I2 = 67041 kg m2
A4 = 3.26667 m
A5 = 2.33333 m M2 = 9000 kg
M1 = 12000 kg

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 5000 kg MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 7000 kg MASSA NO EIXO REBOQUE = 9000 kg

TEMPO SEGUNDOS	VELOCIDADE km/h	DELTA graus	F DIANT kgf	F INTER kgf	GAMA graus	F REBOQUE kgf	F TRATIVA kgf	AC VP(Y) m/52	AC RES(Y) m/52	ÂNG ROT VP graus	R INTERM m	DESL CHVP(Y) m
.1	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*****	0.0
.2	40.0	1.0	141.3	473.6	.3	-135.0	1.9	.4	.0	.0	320.8	.0
.3	40.0	2.0	291.6	915.7	.8	-166.1	9.5	.8	.1	.0	160.3	.0
.4	40.0	3.0	449.1	1334.1	1.4	-117.9	24.1	1.2	.3	.0	106.8	.1
.5	40.0	4.0	612.4	1734.5	2.2	-9.4	46.0	1.5	.5	.1	80.0	.2
.6	40.0	5.0	780.6	2121.6	3.1	145.1	.75.1	1.9	.8	.1	64.0	.2
.7	40.0	6.0	952.9	2498.6	4.1	334.2	110.9	2.3	1.0	.1	53.2	.3
.8	40.0	7.0	1128.8	2868.3	5.1	549.5	153.2	2.7	1.4	.2	45.6	.5
.9	40.0	8.0	1307.7	3232.4	6.1	784.3	201.6	3.1	1.7	.3	37.8	.6
1.0	40.0	9.0	1490.0	3592.5	7.2	1033.4	256.0	3.5	2.0	.3	35.3	.7
1.1	40.0	10.0	1674.9	3949.6	8.4	1292.8	316.2	3.9	2.4	.4	31.7	.9
1.2	40.0	11.0	1862.5	4304.5	9.5	1557.3	382.3	4.3	2.7	.5	28.8	1.1
1.3	40.0	12.0	2052.7	4657.8	10.7	1830.4	454.1	4.7	3.1	.5	26.3	1.3
1.4	40.0	13.0	2246.1	5009.8	11.9	2104.2	531.9	5.1	3.5	.6	24.2	1.5
1.5	40.0	14.0	2442.1	5360.9	13.1	2379.0	615.6	5.5	3.8	.7	22.4	1.7
1.6	40.0	15.0	2641.2	5711.2	14.3	2653.5	705.5	5.9	4.2	.9	20.8	2.0
1.7	40.0	15.0	2869.8	6064.1	15.2	3084.1	882.7	5.9	4.5	.9	20.8	2.1
1.8	40.0	15.0	3290.4	6405.5	16.0	3410.9	1080.1	5.9	4.8	1.0	20.8	2.2
1.9	40.0	15.0	3705.5	6732.1	16.5	3657.4	1307.8	5.9	5.0	1.0	20.8	2.4
2.0	40.0	15.0	4116.6	7057.9	16.9	3848.8	1554.5	5.9	5.1	1.1	20.8	2.5
2.1	40.0	15.0	4524.8	7374.2	17.2	3993.3	1800.2	5.9	5.2	1.1	20.8	2.6
2.2	40.0	15.0	4930.9	7679.7	17.5	4103.7	2067.7	5.9	5.3	1.2	20.8	2.7
2.3	40.0	15.0	5335.6	7974.1	17.7	4188.2	2347.5	5.9	5.4	1.2	20.8	2.9
2.4	40.0	15.0	5739.0	8257.6	17.8	4252.9	2637.5	5.9	5.4	1.3	20.8	3.0
2.5	40.0	15.0	6141.7	8529.9	17.9	4302.4	2937.5	5.9	5.4	1.3	20.8	3.1
2.6	40.0	15.0	6543.7	8792.8	18.0	4340.4	3247.5	5.9	5.5	1.4	20.8	3.2
2.7	40.0	15.0	6945.2	9046.2	18.1	4369.5	3566.4	5.9	5.5	1.4	20.8	3.3
2.8	40.0	15.0	7346.4	9290.3	18.1	4391.9	3894.8	5.9	5.5	1.5	20.8	3.5
2.9	40.0	15.0	7747.2	9525.5	18.2	4409.0	4232.2	5.9	5.5	1.5	20.8	3.6
3.0	40.0	15.0	8147.9	9751.2	18.2	4422.2	4579.0	5.9	5.5	1.6	20.8	3.7
3.1	40.0	15.0	8548.4	9967.8	18.2	4432.3	4934.0	5.9	5.5	1.6	20.8	3.8
3.2	40.0	15.0	8948.8	10174.4	18.2	4440.0	5297.0	5.9	5.5	1.7	20.8	4.0
3.3	40.0	15.0	9349.2	10371.4	18.3	4446.0	5666.4	5.9	5.5	1.7	20.8	4.1
3.4	40.0	15.0	9749.6	10558.8	18.3	4450.5	6041.6	5.9	5.5	1.8	20.8	4.2
3.5	40.0	15.0	10149.7	10736.7	18.3	4454.1	6422.2	5.9	5.5	1.8	20.8	4.3
3.6	40.0	15.0	10549.8	10905.2	18.3	4456.7	6807.7	5.9	5.5	1.9	20.8	4.5
3.7	40.0	15.0	10949.9	11064.6	18.3	4458.0	7197.5	5.9	5.5	2.0	20.8	4.6
3.8	40.0	15.0	11349.9	11214.6	18.3	4458.8	7591.5	5.9	5.5	2.0	20.8	4.7
3.9	40.0	15.0	11749.9	11355.0	18.3	4459.4	7989.0	5.9	5.5	2.1	20.8	4.8
4.0	40.0	15.0	12149.9	11486.2	18.3	4460.4	8390.2	5.9	5.5	2.1	20.8	5.0
4.1	40.0	15.0	12549.9	11608.3	18.3	4461.6	8794.8	5.9	5.5	2.2	20.8	5.1
4.2	40.0	15.0	12949.9	11721.4	18.3	4462.6	9202.2	5.9	5.5	2.2	20.8	5.2
4.3	40.0	15.0	13349.9	11825.5	18.3	4463.3	9612.2	5.9	5.5	2.3	20.8	5.3
4.4	40.0	15.0	13749.9	11920.6	18.3	4464.3	10024.8	5.9	5.5	2.3	20.8	5.5
4.5	40.0	15.0	14149.9	12006.7	18.3	4464.6	10439.0	5.9	5.5	2.4	20.8	5.6
4.6	40.0	15.0	14549.9	12083.8	18.3	4464.8	10854.8	5.9	5.5	2.4	20.8	5.7
4.7	40.0	15.0	14949.9	12151.9	18.3	4465.0	11272.2	5.9	5.5	2.5	20.8	5.8
4.8	40.0	15.0	15349.9	12210.0	18.3	4465.2	11691.2	5.9	5.5	2.6	20.8	6.0
4.9	40.0	15.0	15749.9	12258.1	18.3	4465.3	12111.8	5.9	5.5	2.6	20.8	6.1
5.0	40.0	15.0	16149.9	12297.2	18.3	4465.4	12534.0	5.9	5.5	2.7	20.8	6.2

*** FIM ***

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m L2 = 4.543 m I1 = 84573 kg m2
A3 = 3.72567 m B5 = .6 m I2 = 74490 kg m2
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m M2 = 10000 kg
M1 = 9000 kg

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 3000 kg MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 6000 kg MASSA NO EIXO REBOQUE = 10000 kg

TEMPO segundos	VELOCIDADE km/h	DELTA GRAUS	F DIANT kgf	F INTERM kgf	GAMA GRAUS	F REBOQUE kgf	F TRATIVA kgf	AC VP(Y) m/52	AC REB(Y) m/52	ÂNG ROT VP R GRAUS	INTERM DESL m	CHVF(Y) m
.1	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*****	0.0
.2	50.0	1.0	92.9	698.1	.3	-184.6	3.8	.6	.1	.0	320.8	.0
.3	50.0	2.0	203.2	1334.1	.9	-164.8	18.2	1.2	.3	.0	160.3	.0
.4	50.0	3.0	326.1	1926.2	1.7	.7	45.0	1.8	.6	.1	106.8	.1
.5	50.0	4.0	450.3	2407.2	2.4	289.8	84.1	2.4	1.0	.1	80.0	.2
.6	50.0	5.0	597.4	3026.2	3.5	612.5	134.6	3.0	1.4	.1	64.0	.2
.7	50.0	6.0	741.8	3549.7	4.6	1007.1	195.9	3.6	2.0	.2	53.2	.3
.8	50.0	7.0	890.1	4062.0	5.7	1437.8	267.3	4.2	2.5	.2	45.6	.5
.9	50.0	8.0	1041.4	4566.3	6.0	1873.4	340.4	4.8	3.0	.3	39.8	.6
1.0	50.0	9.0	1195.5	5064.7	7.9	2365.5	439.1	5.5	3.6	.4	35.3	.7
1.1	50.0	10.0	1351.6	5558.5	9.1	2848.1	539.1	6.1	4.2	.5	31.7	.9
1.2	50.0	10.0	1404.1	5931.6	9.9	3538.1	617.6	6.1	4.7	.5	31.7	1.0
1.3	50.0	10.0	1444.1	6167.7	10.5	4029.1	675.4	6.1	5.0	.6	31.7	1.1
1.4	50.0	10.0	1470.8	6349.6	11.0	4379.1	676.1	6.1	5.3	.6	31.7	1.1
1.5	50.0	10.0	1497.7	6484.6	11.3	4628.8	660.4	6.1	5.5	.7	31.7	1.2
1.6	50.0	10.0	1503.1	6593.5	11.5	4807.1	648.3	6.1	5.6	.7	31.7	1.3
1.7	50.0	10.0	1512.6	6689.7	11.6	4934.6	639.2	6.1	5.7	.7	31.7	1.4
1.8	50.0	10.0	1519.4	6765.2	11.8	5025.8	632.4	6.1	5.8	.8	31.7	1.5
1.9	50.0	10.0	1524.2	6815.6	11.8	5071.1	627.4	6.1	5.8	.8	31.7	1.6
2.0	50.0	10.0	1527.6	6849.5	11.9	5137.8	623.8	6.1	5.8	.9	31.7	1.6
2.1	50.0	10.0	1530.1	6877.9	11.9	5171.2	621.2	6.1	5.9	.9	31.7	1.7
2.2	50.0	10.0	1531.9	6899.5	12.0	5195.2	619.3	6.1	5.9	1.0	31.7	1.8
2.3	50.0	10.0	1533.1	6913.6	12.0	5212.3	617.9	6.1	5.9	1.0	31.7	1.9
2.4	50.0	10.0	1534.0	6924.6	12.0	5224.6	616.9	6.1	5.9	1.0	31.7	2.0
2.5	50.0	10.0	1534.7	6934.3	12.0	5233.4	616.2	6.1	5.9	1.1	31.7	2.1
2.6	50.0	10.0	1535.1	6941.1	12.0	5239.7	615.7	6.1	5.9	1.1	31.7	2.1
2.7	50.0	10.0	1535.5	6945.5	12.0	5244.2	615.3	6.1	5.9	1.2	31.7	2.2
2.8	50.0	10.0	1535.7	6948.4	12.0	5247.4	615.1	6.1	5.9	1.2	31.7	2.3
2.9	50.0	10.0	1535.9	6950.6	12.0	5249.7	614.9	6.1	5.9	1.3	31.7	2.4
3.0	50.0	10.0	1536.0	6950.0	12.0	5251.4	614.8	6.1	5.9	1.3	31.7	2.4
3.1	50.0	10.0	1536.1	6949.6	12.0	5252.6	614.7	6.1	5.9	1.4	31.7	2.5
3.2	50.0	10.0	1536.1	6949.1	12.0	5253.4	614.6	6.1	5.9	1.4	31.7	2.6
3.3	50.0	10.0	1536.2	6948.9	12.0	5254.0	614.5	6.1	5.9	1.4	31.7	2.7
3.4	50.0	10.0	1536.2	6948.9	12.0	5254.5	614.5	6.1	5.9	1.5	31.7	2.8
3.5	50.0	10.0	1536.2	6948.3	12.0	5254.8	614.5	6.1	5.9	1.5	31.7	2.9
3.6	50.0	10.0	1536.3	6948.7	12.0	5255.0	614.5	6.1	5.9	1.6	31.7	3.0
3.7	50.0	10.0	1536.3	6948.7	12.0	5255.2	614.5	6.1	5.9	1.6	31.7	3.0
3.8	50.0	10.0	1536.3	6948.6	12.0	5255.3	614.4	6.1	5.9	1.7	31.7	3.1
3.9	50.0	10.0	1536.3	6948.6	12.0	5255.4	614.4	6.1	5.9	1.7	31.7	3.2
4.0	50.0	10.0	1536.3	6948.6	12.0	5255.4	614.4	6.1	5.9	1.7	31.7	3.3
4.1	50.0	10.0	1536.3	6948.6	12.0	5255.5	614.4	6.1	5.9	1.8	31.7	3.4
4.2	50.0	10.0	1536.3	6948.6	12.0	5255.5	614.4	6.1	5.9	1.8	31.7	3.5
4.3	50.0	10.0	1536.3	6948.5	12.0	5255.5	614.4	6.1	5.9	1.9	31.7	3.6
4.4	50.0	10.0	1536.3	6948.5	12.0	5255.5	614.4	6.1	5.9	2.0	31.7	3.7
4.5	50.0	10.0	1536.3	6948.5	12.0	5255.6	614.4	6.1	5.9	2.0	31.7	3.8
4.6	50.0	10.0	1536.3	6948.5	12.0	5255.6	614.4	6.1	5.9	2.1	31.7	3.9
4.7	50.0	10.0	1536.3	6948.5	12.0	5255.6	614.4	6.1	5.9	2.1	31.7	4.0
4.8	50.0	10.0	1536.3	6948.5	12.0	5255.6	614.4	6.1	5.9	2.1	31.7	4.0
4.9	50.0	10.0	1536.3	6948.5	12.0	5255.6	614.4	6.1	5.9	2.2	31.7	4.1
5.0	50.0	10.0	1536.3	6948.5	12.0	5255.6	614.4	6.1	5.9	2.2	31.7	4.1

*** FIM ***

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m L2 = 4.543 m I1 = 112744 kg m2
A3 = 3.77567 m B5 = .6 m I2 = 59592 kg m2
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m M2 = 8000 kg
M1 = 12000 kg

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 4000 kg

MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 8000 kg

MASSA NO EIXO REBOQUE = 8000 kg

TEMPO	VELOCIDADE	DELTA	F DIANT	F INTERM	GAMA	F REBOQUE	F TRATIVA	AC VP(Y)	AC REB(Y)	ÂNG ROT	VP R	INTERM	DESL	CMVP(Y)
segundos	km/h	graus	kgf	kgf	graus	kgf	kgf	M/52	M/52	graus	m	m	m	m
1.1	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2	25.0	1.0	40.9	196.7	0.0	-63.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.3	25.0	2.0	84.1	383.4	0.0	-100.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.4	25.0	3.0	129.2	567.6	0.0	-115.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	25.0	4.0	174.2	744.5	0.0	-111.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.6	25.0	5.0	224.8	916.9	0.0	-72.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.7	25.0	6.0	274.9	1085.7	0.0	-59.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.8	25.0	7.0	324.4	1251.6	0.0	-16.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.9	25.0	8.0	372.2	1415.1	0.0	36.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0	25.0	9.0	433.3	1576.6	0.0	96.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.1	25.0	10.0	488.6	1737.1	0.0	163.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.2	25.0	11.0	545.1	1896.3	0.0	235.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.3	25.0	12.0	602.9	2054.6	0.0	311.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.4	25.0	13.0	661.9	2212.4	0.0	390.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.5	25.0	14.0	722.1	2369.7	0.0	472.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.6	25.0	15.0	783.5	2526.9	0.0	555.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.7	25.0	16.0	846.3	2683.9	0.0	641.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.8	25.0	17.0	910.4	2840.8	0.0	726.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.9	25.0	18.0	976.0	2997.7	0.0	813.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.0	25.0	19.0	1043.1	3155.1	0.0	897.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.1	25.0	20.0	1111.7	3312.4	0.0	984.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.2	25.0	21.0	1182.1	3470.0	0.0	1069.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.3	25.0	22.0	1254.4	3627.9	0.0	1153.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.4	25.0	23.0	1328.6	3785.9	0.0	1235.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.5	25.0	24.0	1405.0	3944.3	0.0	1315.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.6	25.0	25.0	1483.7	4103.0	0.0	1393.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.7	25.0	26.0	1564.9	4261.9	0.0	1468.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.8	25.0	27.0	1648.9	4421.2	0.0	1541.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.9	25.0	28.0	1736.0	4580.8	0.0	1610.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0	25.0	29.0	1826.4	4740.9	0.0	1676.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.1	25.0	30.0	1920.5	4901.1	0.0	1737.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.2	25.0	31.0	2018.5	5061.7	0.0	1794.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.3	25.0	32.0	2121.0	5222.8	0.0	1847.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.4	25.0	33.0	2228.5	5384.4	0.0	1894.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.5	25.0	34.0	2332.8	5546.7	0.0	1937.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.6	25.0	35.0	2433.6	5710.6	0.0	1972.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.7	25.0	36.0	2537.4	5873.7	0.0	2000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.8	25.0	37.0	2644.4	6037.4	0.0	2021.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.9	25.0	38.0	2754.4	6201.1	0.0	2037.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	25.0	39.0	2868.4	6364.4	0.0	2047.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.1	25.0	40.0	2986.4	6527.4	0.0	2049.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.2	25.0	41.0	3108.4	6690.4	0.0	2040.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.3	25.0	42.0	3234.4	6853.4	0.0	2016.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.4	25.0	43.0	3364.4	7016.4	0.0	1979.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.5	25.0	44.0	3498.4	7179.4	0.0	1930.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.6	25.0	45.0	3636.4	7342.4	0.0	1868.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.7	25.0	46.0	3778.4	7505.4	0.0	1794.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.8	25.0	47.0	3924.4	7668.4	0.0	1709.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.9	25.0	48.0	4074.4	7831.4	0.0	1610.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.0	25.0	49.0	4228.4	7994.4	0.0	1497.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.1	25.0	50.0	4386.4	8157.4	0.0	1370.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.2	25.0	51.0	4548.4	8320.4	0.0	1230.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.3	25.0	52.0	4714.4	8483.4	0.0	1074.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.4	25.0	53.0	4884.4	8646.4	0.0	998.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.5	25.0	54.0	5058.4	8809.4	0.0	904.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.6	25.0	55.0	5236.4	8972.4	0.0	804.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.7	25.0	56.0	5418.4	9135.4	0.0	697.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.8	25.0	57.0	5604.4	9298.4	0.0	584.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.9	25.0	58.0	5794.4	9461.4	0.0	466.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.0	25.0	59.0	5988.4	9624.4	0.0	344.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.1	25.0	60.0	6186.4	9787.4	0.0	219.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.2	25.0	61.0	6388.4	9950.4	0.0	94.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.3	25.0	62.0	6594.4	10113.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.4	25.0	63.0	6804.4	10276.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.5	25.0	64.0	7018.4	10439.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.6	25.0	65.0	7236.4	10602.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.7	25.0	66.0	7458.4	10765.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.8	25.0	67.0	7684.4	10928.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7.9	25.0	68.0	7914.4	11091.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.0	25.0	69.0	8148.4	11254.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.1	25.0	70.0	8386.4	11417.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.2	25.0	71.0	8628.4	11580.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.3	25.0	72.0	8874.4	11743.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.4	25.0	73.0	9124.4	11906.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.5	25.0	74.0	9378.4	12069.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.6	25.0	75.0	9636.4	12232.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.7	25.0	76.0	9898.4	12395.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.8	25.0	77.0	10164.4	12558.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8.9	25.0	78.0	10434.4	12721.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.0	25.0	79.0	10708.4	12884.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.1	25.0	80.0	1098											

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m L2 = 4.543 m I1 = 131558 kg m2
A3 = 3.727 m B5 = .6 m I2 = 59592 kg m2
A4 = 4 m
A5 = 1.6 m M2 = 8000 kg
M1 = 14000 kg

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 4000 kg

MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 10000 kg

MASSA NO EIXO REBOQUE = 8000 kg

TEMPO segundos	VELOCIDADE km/h	DELTA graus	F DIANT kgf	F INTRM kgf	GAMA graus	F REBOQUE kgf	F TRATIVA kgf	AC VP(Y) m/s2	AC REB(Y) m/s2	ÂNG ROT VP R	INTERM DESL m	CHVP(Y) m
1.1	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2	50.0	1.0	172.4	877.2	0.0	-147.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.3	50.0	2.0	358.8	1704.9	0.0	-131.8	14.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
1.4	50.0	3.0	555.7	2497.9	0.0	-5.0	36.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	50.0	4.0	760.5	3266.5	0.0	215.9	67.3	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0
1.6	50.0	5.0	971.4	4018.4	0.0	490.0	107.7	3.0	1.4	0.0	0.0	0.0
1.7	50.0	6.0	1107.3	4758.7	0.0	805.7	156.7	3.6	2.0	0.0	0.0	0.0
1.8	50.0	7.0	1407.4	5491.3	0.0	1150.3	213.8	4.2	2.5	0.0	0.0	0.0
1.9	50.0	8.0	1631.1	6218.7	0.0	1514.7	278.7	4.8	3.0	0.0	0.0	0.0
2.0	50.0	9.0	1858.2	6942.9	0.0	1892.4	351.1	5.5	3.6	0.0	0.0	0.0
2.1	50.0	10.0	2088.6	7665.1	0.0	2278.5	431.1	6.1	4.2	0.0	0.0	0.0
2.2	50.0	10.0	2132.8	7821.9	0.0	2630.4	413.8	6.1	4.7	0.0	0.0	0.0
2.3	50.0	10.0	2163.8	7951.3	0.0	3223.3	395.7	6.1	5.0	0.0	0.0	0.0
2.4	50.0	10.0	2185.6	8060.2	0.0	3703.0	367.7	6.1	5.5	0.0	0.0	0.0
2.5	50.0	10.0	2201.1	8138.9	0.0	4045.7	358.0	6.1	5.6	0.0	0.0	0.0
2.6	50.0	10.0	2212.1	8193.6	0.0	4347.7	350.7	6.1	5.7	0.0	0.0	0.0
2.7	50.0	10.0	2225.4	8225.4	0.0	4620.7	345.2	6.1	5.8	0.0	0.0	0.0
2.8	50.0	10.0	2232.2	8232.2	0.0	4872.9	341.2	6.1	5.8	0.0	0.0	0.0
2.9	50.0	10.0	2234.3	8234.3	0.0	5110.2	338.3	6.1	5.8	0.0	0.0	0.0
3.0	50.0	10.0	2235.7	8235.7	0.0	5362.2	336.2	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.1	50.0	10.0	2237.2	8237.2	0.0	5614.1	334.7	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.2	50.0	10.0	2237.5	8237.5	0.0	5865.7	332.8	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.3	50.0	10.0	2237.9	8237.9	0.0	6117.4	331.5	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.4	50.0	10.0	2238.2	8238.2	0.0	6369.0	331.1	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.5	50.0	10.0	2238.7	8238.7	0.0	6620.7	331.0	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.6	50.0	10.0	2239.1	8239.1	0.0	6872.9	330.9	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.7	50.0	10.0	2239.2	8239.2	0.0	7125.1	330.7	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.8	50.0	10.0	2239.3	8239.3	0.0	7377.2	330.7	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
3.9	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	7629.4	330.7	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.0	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	7881.6	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.1	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	8133.8	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.2	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	8386.0	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.3	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	8638.2	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.4	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	8890.4	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.5	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	9142.6	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.6	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	9394.8	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.7	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	9647.0	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.8	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	9899.2	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
4.9	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	10151.4	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0
5.0	50.0	10.0	2239.4	8239.4	0.0	10403.6	330.6	6.1	5.9	0.0	0.0	0.0

*** FIM ***

```

10 REM *****
20 REM *****
30 REM *****
40 REM Este programa simula um ônibus articulado em movimento plano xy paralelo ao solo em diferentes pistas, velocidades e ângulos de direção.
50 N=3
60 P=0.141593
70 DIM A(N,N+1),X(N)
80 INPUT "DESEJA IMPRESSÃO ? (S ou N) " :P$
90 INPUT "QUAL O ÂNGULO DAS RODAS DIANTEIRAS ? (em graus) " :DELTA
100 INPUT "QUAL A VELOCIDADE DO ÔNIBUS ? (em km/h) " :VMAX
110 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO DIANTEIRO ? (em KG) " :MEF
120 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO INTERMEDIÁRIO ? (em KG) " :MET
130 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO REBOQUE ? (em KG) " :MER
140 M1=MEF+MET
150 M2=MER
160 GET L1,L2,L5
170 DATA 5.6,4.540,0.6
180 A$(1)=M1/L1
190 A$(2)=L1/L2
200 A$(3)=L2/L5
210 L1=7.449**M1
220 L1=9.397**M1
230 PRINT "SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO"
240 IF P$="S" THEN LPRINT "*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****"
*****
250 PRINT
260 IF P$="S" THEN LPRINT
270 PRINT "PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE)"
280 IF P$="S" THEN LPRINT "PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):"
290 PRINT
300 IF P$="S" THEN LPRINT
310 IF P$="S" THEN LPRINT
320 IF P$="S" THEN LPRINT
330 PRINT "A1=" :A1 :M1 :A2=" :A2 :M2 :A3=" :A3 :M3 :A4=" :A4 :M4 :A5=" :A5 :M5 :A6=" :A6 :M6 :A7=" :A7 :M7 :A8=" :A8 :M8 :A9=" :A9 :M9 :A10=" :A10 :M10 :A11=" :A11 :M11 :A12=" :A12 :M12 :A13=" :A13 :M13 :A14=" :A14 :M14 :A15=" :A15 :M15 :A16=" :A16 :M16 :A17=" :A17 :M17 :A18=" :A18 :M18 :A19=" :A19 :M19 :A20=" :A20 :M20 :A21=" :A21 :M21 :A22=" :A22 :M22 :A23=" :A23 :M23 :A24=" :A24 :M24 :A25=" :A25 :M25 :A26=" :A26 :M26 :A27=" :A27 :M27 :A28=" :A28 :M28 :A29=" :A29 :M29 :A30=" :A30 :M30 :A31=" :A31 :M31 :A32=" :A32 :M32 :A33=" :A33 :M33 :A34=" :A34 :M34 :A35=" :A35 :M35 :A36=" :A36 :M36 :A37=" :A37 :M37 :A38=" :A38 :M38 :A39=" :A39 :M39 :A40=" :A40 :M40 :A41=" :A41 :M41 :A42=" :A42 :M42 :A43=" :A43 :M43 :A44=" :A44 :M44 :A45=" :A45 :M45 :A46=" :A46 :M46 :A47=" :A47 :M47 :A48=" :A48 :M48 :A49=" :A49 :M49 :A50=" :A50 :M50 :A51=" :A51 :M51 :A52=" :A52 :M52 :A53=" :A53 :M53 :A54=" :A54 :M54 :A55=" :A55 :M55 :A56=" :A56 :M56 :A57=" :A57 :M57 :A58=" :A58 :M58 :A59=" :A59 :M59 :A60=" :A60 :M60 :A61=" :A61 :M61 :A62=" :A62 :M62 :A63=" :A63 :M63 :A64=" :A64 :M64 :A65=" :A65 :M65 :A66=" :A66 :M66 :A67=" :A67 :M67 :A68=" :A68 :M68 :A69=" :A69 :M69 :A70=" :A70 :M70 :A71=" :A71 :M71 :A72=" :A72 :M72 :A73=" :A73 :M73 :A74=" :A74 :M74 :A75=" :A75 :M75 :A76=" :A76 :M76 :A77=" :A77 :M77 :A78=" :A78 :M78 :A79=" :A79 :M79 :A80=" :A80 :M80 :A81=" :A81 :M81 :A82=" :A82 :M82 :A83=" :A83 :M83 :A84=" :A84 :M84 :A85=" :A85 :M85 :A86=" :A86 :M86 :A87=" :A87 :M87 :A88=" :A88 :M88 :A89=" :A89 :M89 :A90=" :A90 :M90 :A91=" :A91 :M91 :A92=" :A92 :M92 :A93=" :A93 :M93 :A94=" :A94 :M94 :A95=" :A95 :M95 :A96=" :A96 :M96 :A97=" :A97 :M97 :A98=" :A98 :M98 :A99=" :A99 :M99 :A100=" :A100 :M100 :A101=" :A101 :M101 :A102=" :A102 :M102 :A103=" :A103 :M103 :A104=" :A104 :M104 :A105=" :A105 :M105 :A106=" :A106 :M106 :A107=" :A107 :M107 :A108=" :A108 :M108 :A109=" :A109 :M109 :A110=" :A110 :M110 :A111=" :A111 :M111 :A112=" :A112 :M112 :A113=" :A113 :M113 :A114=" :A114 :M114 :A115=" :A115 :M115 :A116=" :A116 :M116 :A117=" :A117 :M117 :A118=" :A118 :M118 :A119=" :A119 :M119 :A120=" :A120 :M120 :A121=" :A121 :M121 :A122=" :A122 :M122 :A123=" :A123 :M123 :A124=" :A124 :M124 :A125=" :A125 :M125 :A126=" :A126 :M126 :A127=" :A127 :M127 :A128=" :A128 :M128 :A129=" :A129 :M129 :A130=" :A130 :M130 :A131=" :A131 :M131 :A132=" :A132 :M132 :A133=" :A133 :M133 :A134=" :A134 :M134 :A135=" :A135 :M135 :A136=" :A136 :M136 :A137=" :A137 :M137 :A138=" :A138 :M138 :A139=" :A139 :M139 :A140=" :A140 :M140 :A141=" :A141 :M141 :A142=" :A142 :M142 :A143=" :A143 :M143 :A144=" :A144 :M144 :A145=" :A145 :M145 :A146=" :A146 :M146 :A147=" :A147 :M147 :A148=" :A148 :M148 :A149=" :A149 :M149 :A150=" :A150 :M150 :A151=" :A151 :M151 :A152=" :A152 :M152 :A153=" :A153 :M153 :A154=" :A154 :M154 :A155=" :A155 :M155 :A156=" :A156 :M156 :A157=" :A157 :M157 :A158=" :A158 :M158 :A159=" :A159 :M159 :A160=" :A160 :M160 :A161=" :A161 :M161 :A162=" :A162 :M162 :A163=" :A163 :M163 :A164=" :A164 :M164 :A165=" :A165 :M165 :A166=" :A166 :M166 :A167=" :A167 :M167 :A168=" :A168 :M168 :A169=" :A169 :M169 :A170=" :A170 :M170 :A171=" :A171 :M171 :A172=" :A172 :M172 :A173=" :A173 :M173 :A174=" :A174 :M174 :A175=" :A175 :M175 :A176=" :A176 :M176 :A177=" :A177 :M177 :A178=" :A178 :M178 :A179=" :A179 :M179 :A180=" :A180 :M180 :A181=" :A181 :M181 :A182=" :A182 :M182 :A183=" :A183 :M183 :A184=" :A184 :M184 :A185=" :A185 :M185 :A186=" :A186 :M186 :A187=" :A187 :M187 :A188=" :A188 :M188 :A189=" :A189 :M189 :A190=" :A190 :M190 :A191=" :A191 :M191 :A192=" :A192 :M192 :A193=" :A193 :M193 :A194=" :A194 :M194 :A195=" :A195 :M195 :A196=" :A196 :M196 :A197=" :A197 :M197 :A198=" :A198 :M198 :A199=" :A199 :M199 :A200=" :A200 :M200 :A201=" :A201 :M201 :A202=" :A202 :M202 :A203=" :A203 :M203 :A204=" :A204 :M204 :A205=" :A205 :M205 :A206=" :A206 :M206 :A207=" :A207 :M207 :A208=" :A208 :M208 :A209=" :A209 :M209 :A210=" :A210 :M210 :A211=" :A211 :M211 :A212=" :A212 :M212 :A213=" :A213 :M213 :A214=" :A214 :M214 :A215=" :A215 :M215 :A216=" :A216 :M216 :A217=" :A217 :M217 :A218=" :A218 :M218 :A219=" :A219 :M219 :A220=" :A220 :M220 :A221=" :A221 :M221 :A222=" :A222 :M222 :A223=" :A223 :M223 :A224=" :A224 :M224 :A225=" :A225 :M225 :A226=" :A226 :M226 :A227=" :A227 :M227 :A228=" :A228 :M228 :A229=" :A229 :M229 :A230=" :A230 :M230 :A231=" :A231 :M231 :A232=" :A232 :M232 :A233=" :A233 :M233 :A234=" :A234 :M234 :A235=" :A235 :M235 :A236=" :A236 :M236 :A237=" :A237 :M237 :A238=" :A238 :M238 :A239=" :A239 :M239 :A240=" :A240 :M240 :A241=" :A241 :
```

```

570 CORR=DELG/10
580 IF T/CORR THEN DEL=DEL*Y/CORR
590 PSI1=V*IAN(DEL)/L1
600 FOR WEI TO 11
610 GAMA=EGAMA
620 GOSUB 1580
630 K1=GAMA1*H
640 GAMA=GAMA+K1/3
650 GOSUB 1580
660 K2=GAMA1*H
670 GAMA=GAMA+2*K2/3
680 GOSUB 1580
690 K3=GAMA1*H
700 GAMA=GAMA+K1/4+K3/4
710 T=T+H
720 NEXT W
730 VY=AS*PSI1
740 T=T-H
750 GOSUB 1580
760 GAMA2=-GAMA1*(E*SIN(GAMA)*PSI1+G*CO5(GAMA))
770 PSI=PSI1*Y
780 YP=PSI*AS
790 APX=-VY*PSI1
800 AY=VY*PSI1
810 ARX=(L2-ES)*GAMA2*SIN(GAMA)+(GAMA1+PSI1)*(GAMA1+PSI1)*N(L2-ES)*CO5(GAMA)
820 ARY=APY-(L2-ES)*GAMA2*CO5(GAMA)+(L2-ES)*(GAMA1+PSI1)*(GAMA1+PSI1)*SIN(GAMA)
830 FLR=((L2-PS)*M2*(ARY*CO5(GAMA)-ARX*SIN(GAMA))-I2*GAMA2)/L2
840 REM ***** RESOLUÇÃO DO SISTEMA LINEAR *****
850 A(1,1)=-5*IN(DEL)
860 A(2,1)=CO5(DEL)
870 A(3,1)=A4*CO5(DEL)
880 A(1,2)=CO5(GAMA)
890 A(2,2)=SIN(GAMA)
900 A(3,2)=-A3*SIN(GAMA)
910 A(1,3)=0
920 A(2,3)=1
930 A(3,3)=A5
940 A(1,4)=M1*APX+M2*ARX+FLR*SIN(GAMA)
950 A(2,4)=M1*APY+M2*ARY-FLR
960 A(3,4)=FLR*A3*CO5(GAMA)-A3*M2*ARY
970 K=1
980 L=K+1
990 REM *****CONDENSACÃO PIVOTAL*****
1000 L=L-K
1010 IF ABS(A(L,K))>ABS(A(L,K)) THEN L=L
1020 IF L=N THEN L=I+1
1030 IF L=K THEN GOTO 1110
1040 J=K
1050 AUX=A(K,J)
1060 A(K,J)=A(L,J)
1070 A(L,J)=AUX
1080 IF J=N+1 THEN GOTO 1110
1090 J=J+1
1100 GOTO 1050
1110 L=L+1
1120 REM *****ELIMINAÇÃO GAUSSIANA*****
1130 MULT=A(L,K)/A(K,K)
1140 A(L,K)=0
1150 J=K+1
1160 A(L,J)=A(L,J)-MULT*A(K,J)
1170 IF J=N+1 THEN GOTO 1200
1180 J=J+1
1190 GOTO 1160
1200 IF L=N THEN GOTO 1230
1210 L=L+1
1220 GOTO 1130

```


A N E X O 5

LISTAGENS DE COMPUTADOR

*****COMPLEMENTO DA MASTE MENOR DO DISPOSITIVO*****
*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m
A3 = 3.99567 m
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m
L2 = 4.543 m

T I P O	D E	F X	F Y	F H	MEN	F H	CIL	KSI	graus	NI	MÁX	TENS	FL	M	INS	M	SEG	EFIC	H	MEN	LPT	LPL	H	CIL	PR	MÁX	CIL
INSTABILIDADE		kpf	kpf	kpf	kpf	kpf	kpf	kpf	graus	graus	kpf/cm2	kpf/mm2	kpf	kpf	?	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kpf/cm2	kpf/cm2
CANIVETAMENTO	697.7	254.8	512.9	217.1	48.3	36.5	25.3	11.6	742.7	4032.3	SIM	860	1224	800	8.4												
DERRAP REBOQUE	1488.7	254.8	947.1	266.4	48.3	36.5	46.8	11.6	1510.3	3248.9	SIM	860	1224	800	15.6												
DERRAP DIANTEIRA	2512.4	246.2	1504.4	324.3	48.3	36.5	74.3	11.6	2524.4	2245.0	NAO	860	1224	800	24.8												
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	388.7	201.3	32.4	42.7	19.2	11.5	593.1	3127.3	SIM	660	1224	800	6.4												
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	748.3	283.3	32.4	42.7	36.9	11.5	1170.9	2529.7	SIM	660	1224	800	12.3												
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1220.4	387.0	32.4	42.7	60.2	11.5	1759.6	1754.1	NAO	660	1224	800	20.1												
CANIVETAMENTO	462.1	254.8	343.1	202.9	26.0	42.8	16.9	11.4	527.7	2718.9	SIM	800	1224	800	5.6												
DERRAP REBOQUE	986.0	254.8	648.5	297.6	26.0	42.8	33.0	11.4	1016.4	2206.0	SIM	800	1224	800	11.0												
DERRAP DIANTEIRA	1486.3	246.2	1101.6	420.2	26.0	42.8	54.4	11.4	1704.2	1535.2	NAO	800	1224	800	18.1												

*** F I M ***
*****LOCALIZAÇÃO DA EXTREMIDADE DO CILINDRO (LONGITUDINAL)*****
*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m
A3 = 3.99567 m
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m
L2 = 4.543 m

T I P O	D E	F X	F Y	F H	MEN	F H	CIL	KSI	graus	NI	MÁX	TENS	FL	M	INS	M	SEG	EFIC	H	MEN	LPT	LPL	H	CIL	PR	MÁX	CIL
INSTABILIDADE		Ksf	Ksf	Ksf	Ksf	Ksf	Ksf	graus	graus	graus	Ksf/cm2	Ksf/mm2	Ksf	Ksf	Ksf	?	?	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Ksf/cm2	Ksf/cm2	
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	417.3	222.3	32.4	35.6	20.6	11.7	593.1	3127.3	SIM	660	925	800	6.9												
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	811.9	338.2	32.4	35.6	40.1	11.7	1170.9	2529.7	SIM	660	925	800	13.4												
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1330.2	407.1	32.4	35.6	65.7	11.7	1959.6	1754.1	NÃO	660	925	800	21.9												
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	388.7	201.3	32.4	42.7	19.2	11.5	593.1	3127.3	SIM	660	1224	800	6.4												
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	748.3	283.3	32.4	42.7	36.9	11.5	1170.9	2529.7	SIM	660	1224	800	12.3												
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1220.4	387.0	32.4	42.7	60.2	11.5	1959.6	1754.1	NÃO	660	1224	800	20.1												
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	370.0	182.5	32.4	48.7	18.3	11.1	593.1	3127.3	SIM	660	1524	800	6.1												
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	705.2	293.9	32.4	48.7	34.8	11.1	1170.9	2529.7	SIM	660	1524	800	11.6												
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1144.9	297.0	32.4	48.7	56.5	11.1	1959.6	1754.1	NÃO	660	1524	800	18.6												

*** F I M ***

*****LOCALIZAÇÃO DA EXTREMIDADE DO CILINDRO (TRANSVERSAL)*****
*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m
A3 = 3.99567 m
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m
L2 = 4.543 m

T I P O D E INSTABILIDADE	F X	F Y	F H	F H MEN	F H CIL	KSI	NI	MÁX	TENS	TENS	FL	M	INS	M	SEG	EFIC	H	MEN	LPT	LPL	H	CIL	PR	MÁX	CIL
	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	graus	graus	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/cm2	kgf/mm2	kgf	kgf	kgf	kgf	?	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kgf/cm2	mm
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	412.6	219.2	32.4	36.6	20.4	11.7	523.1	3127.3	SIM	660	420	1224	800	6.8									
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	801.5	330.3	32.4	36.6	39.6	11.7	1170.9	2529.7	SIM	660	420	1224	800	13.2									
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1312.2	472.6	32.4	36.6	64.8	11.7	1959.6	1754.1	NÃO	660	420	1224	800	21.6									
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	400.9	211.1	32.4	39.4	19.8	11.6	523.1	3127.3	SIM	660	640	1224	800	6.4									
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	775.7	309.0	32.4	39.4	38.3	11.6	1170.9	2529.7	SIM	660	640	1224	800	12.8									
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1267.8	433.9	32.4	39.4	62.6	11.6	1959.6	1754.1	NÃO	660	640	1224	800	20.9									
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	388.7	201.3	32.4	42.7	19.2	11.5	523.1	3127.3	SIM	660	860	1224	800	6.4									
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	748.3	283.3	32.4	42.7	36.9	11.5	1170.9	2529.7	SIM	660	860	1224	800	12.3									
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1220.4	387.0	32.4	42.7	60.2	11.5	1959.6	1754.1	NÃO	660	860	1224	800	20.1									
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	377.5	190.8	32.4	46.1	18.6	11.3	523.1	3127.3	SIM	660	1080	1224	800	6.2									
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	722.8	255.6	32.4	46.1	35.7	11.3	1170.9	2529.7	SIM	660	1080	1224	800	11.9									
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1175.8	336.5	32.4	46.1	58.0	11.3	1959.6	1754.1	NÃO	660	1080	1224	800	19.3									
CANIVETAMENTO	535.6	254.8	368.0	180.1	32.4	49.4	18.2	11.0	523.1	3127.3	SIM	660	1300	1224	800	6.1									
DERRAP REBOQUE	1142.9	254.8	700.5	227.7	32.4	49.4	34.6	11.0	1170.9	2529.7	SIM	660	1300	1224	800	11.5									
DERRAP DIANTEIRA	1944.1	246.2	1136.6	205.7	32.4	49.4	56.1	11.0	1959.6	1754.1	NÃO	660	1300	1224	800	18.7									

*** F I M ***

*****COMPRIIMENTO DA HASTE DO CILINDRO*****
*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):

L1 = 5.6 m
A3 = 3.99567 m
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m
L2 = 4.543 m

DELTA = 15 graus
GAMA = 18.3 graus

I I P O D E F X	F Y	F H	F H	F H	KSI	NI MÁX	TENS FL	M INS	M SEG	EFIC	H MEN	LPT	LPL	H CIL	PR MÁX	CIL
	kgf	kgf	kgf	kgf	graus	graus	kgf/mm2	kgf	kgf	?	mm	mm	mm	mm	kgf/cm2	mm
INSTABILIDADE	535.6	254.8	388.7	201.3	32.4	42.7	19.2	593.1	3127.3	SIM	660	860	1224	500	6.4	500
CANIVETAMENTO	1142.9	254.8	748.3	283.3	32.4	42.7	36.9	1170.9	2529.7	SIM	660	860	1224	500	12.3	500
DERRAP REBOQUE	1944.1	246.2	1220.4	387.0	32.4	42.7	60.2	1959.6	1754.1	NÃO	660	860	1224	500	20.1	500
DERRAP DIANTEIRA	535.6	254.8	388.7	201.3	32.4	42.7	19.2	593.1	3127.3	SIM	660	860	1224	650	6.4	650
CANIVETAMENTO	1142.9	254.8	748.3	283.3	32.4	42.7	36.9	1170.9	2529.7	SIM	660	860	1224	650	12.3	650
DERRAP REBOQUE	1944.1	246.2	1220.4	387.0	32.4	42.7	60.2	1959.6	1754.1	NÃO	660	860	1224	650	20.1	650
DERRAP DIANTEIRA	535.6	254.8	388.7	201.3	32.4	42.7	19.2	593.1	3127.3	SIM	660	860	1224	900	6.4	900
CANIVETAMENTO	1142.9	254.8	748.3	283.3	32.4	42.7	36.9	1170.9	2529.7	SIM	660	860	1224	900	12.3	900
DERRAP REBOQUE	1944.1	246.2	1220.4	387.0	32.4	42.7	60.2	1959.6	1754.1	NÃO	660	860	1224	900	20.1	900
DERRAP DIANTEIRA	535.6	254.8	388.7	201.3	32.4	42.7	19.2	593.1	3127.3	SIM	660	860	1224	1000	6.4	1000
CANIVETAMENTO	1142.9	254.8	748.3	283.3	32.4	42.7	36.9	1170.9	2529.7	SIM	660	860	1224	1000	12.3	1000
DERRAP REBOQUE	1944.1	246.2	1220.4	387.0	32.4	42.7	60.2	1959.6	1754.1	NÃO	660	860	1224	1000	20.1	1000
DERRAP DIANTEIRA	535.6	254.8	388.7	201.3	32.4	42.7	19.2	593.1	3127.3	SIM	660	860	1224	1000	6.4	1000

*** F I M ***

```

10 REM *****
20 REM ***** DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO *****
30 REM *****
40 FI=3.141593
50 GEI MM/LPL/LPT/DH/DHP/CHP/DPI
60 DATA 660,1224,860,50.8,50.8,800,101.6
70 GET GAM,DELTA,DF1,DF2,DF3
80 DATA 18.3,15,-2500,2500,-2500
90 INPUT "DESEJA IMPRESSÃO ? (S ou N) ",PS
100 INPUT "QUAL O PARÂMETRO A SER ESTUDADO ",NPS
110 PRINT "*****",NPS,"*****"
120 IF PS="S" THEN LPRINT "*****",NPS,"*****"
130 DEL=DELTA*FI/180
140 GAMMA=GAM*FI/180
150 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO DIANTEIRO ? (EM KG) ";MEF
160 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO INTERMEDIÁRIO ? (EM KG) ";MEI
170 M1=MEF+MEI
180 GET L1,L2,B5
190 DATA 5.6,4.543,0.4
200 A4=(1-MEF/M1)*L1
210 A5=L1-A4
220 A3=2.129+A5
230 PRINT "SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO"
240 IF PS="S" THEN LPRINT "*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****"
250 PRINT
260 IF PS="S" THEN LPRINT
270 PRINT
280 IF PS="S" THEN LPRINT
290 PRINT "PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):"
300 IF PS="S" THEN LPRINT "PARÂMETROS DO ÔNIBUS ARTICULADO (VEÍCULO PRINCIPAL + REBOQUE):"
310 PRINT
320 IF PS="S" THEN LPRINT
330 PRINT "L1 = ",L1," m","DELTA = ",DELTA," graus"
340 IF PS="S" THEN LPRINT "L2 = ",L2," m","DELTA = ",DELTA," graus"
350 PRINT "A3 = ",A3," m","GAMA = ",GAMA," graus"
360 IF PS="S" THEN LPRINT "A3 = ",A3," m","GAMA = ",GAMA," graus"
370 PRINT "A4 = ",A4," m"
380 IF PS="S" THEN LPRINT "A4 = ",A4," m"
390 PRINT "A5 = ",A5," m"
400 IF PS="S" THEN LPRINT "A5 = ",A5," m"
410 PRINT "L2 = ",L2," m"
420 IF PS="S" THEN LPRINT "L2 = ",L2," m"
430 PRINT "B5 = ",B5," m"
440 PRINT "TIPO DE F X F Y F H MEN F H CIL KSI NI MÁX TENS TENS FL M INS, M SEG EFIC H MEN LPT LPL H CIL
PR MÁX CIL"
450 PRINT "INSTABILIDADE Ksf Ksf Ksf Ksf graus graus Ksf/cm2 Ksf/cm2 Ksf ? mm mm mm mm
Ksf/cm2"
460 IF PS="S" THEN LPRINT "TIPO DE F X F Y F H MEN F H CIL KSI NI MÁX TENS TENS FL M INS M SEG EFIC H MEN L
FT LPL H CIL PR MÁX CIL"
470 IF PS="S" THEN LPRINT "INSTABILIDADE Ksf Ksf Ksf Ksf graus graus Ksf/cm2 Ksf/cm2 Ksf ? mm mm mm mm
Ksf/cm2"
480 PRINT "IF PS="S" THEN LPRINT
490 INPUT "Qual o novo valor do parâmetro sendo estudado ";CHP
500 GOSUB 840
510 FX=DF2*(A3-A5)/ERM
520 FY=DF2
530 FX5=DF1*(SIN(DEL)+(A4+A3)*COS(DEL)/BRM)+DF3*ML2/BRM
540 FY5=DF1*(COS(DEL)+DF3
550 GOSUB 1000
560 IS="CANIVETAMENTO "

```

```

570 GOSUB 1390
580 AUX=DF2:DF2=DF3:DF3=AUX
590 GOSUB 840
600 FX=DF3*ML2/ERM
610 FY=DF3
620 FX5=DF1*(SIN(DEL)+(A4+A3)*COS(DEL)/ERM)+DF2*(A3-A5)/ERM
630 FY5=DF1*(COS(DEL)+DF2
640 GOSUB 1000
650 IS="DERRAP REFOQUE "
660 GOSUB 1390
670 AUX=DF3:DF3=DF1:DF1=AUX
680 GOSUB 840
690 FX=DF1*(SIN(DEL)+(A4+A3)*COS(DEL)/ERM)
700 FY=DF1*(COS(DEL)+
710 FX5=DF3*ML2+DF2*(A3-A5)/ERM
720 FY5=DF2+DF3
730 GOSUB 1000
740 IS="DERRAP DIANTEIRA"
750 GOSUB 1390
760 PRINT
770 IF F5="S" THEN LPRINT
780 INPUT "Deseja outro valor do parâmetro sendo estudado (S ou N) ";MS
790 PRINT : IF F5="S" THEN LPRINT
800 IF MS="S" THEN AUX=DF1:DF1=DF2:DF2=AUX:GOTO 490
810 PRINT "*** F I M ***"
820 IF F5="S" THEN LPRINT "*** F I M ***"
830 END
840 REM *****SUBROTINA ESTADO GEOMÉTRICO DO DISPOSITIVO*****
850 MTAN(1.101303-ABS(GAMA)/2)
860 X=(1136.36*MM+SOR((1136.36*MM)**2-4*(583.18**2-MM**2)*(MM**2+1)))/(2*(MM**2+1))
870 Y=X*MM
880 X1=583.18*SIN(ABS(GAMA)+.938987)
890 Y1=583.18*COS(ABS(GAMA)+.938987)
900 LP=SOR(LPI**2+LPL**2)
910 X2=LPI*SIN(ABS(GAMA)+1.427679)
920 Y2=LPI*COS(ABS(GAMA)+1.427679)
930 M3=(Y-Y2)/(X-X2)
940 M4=(Y-Y1)/(X-X1)
950 BR=SOR(X**2+Y**2)
960 KS1=ATN((M4-M)/(1+M4*M))
970 NI=ATN((M3-M4)/(1+M3*M4))
980 BR=BR/1000
990 RETURN
1000 REM *****TESTE DE FORÇAS ATUAENTES NO DISPOSITIVO*****
1010 F2=ABS((FY-FX/TAN(KSI+NI))/(2*(COS(KSI)+SIN(KSI)/TAN(KSI+NI))))
1020 F1=ABS((2*F2*SIN(KSI)+FX)/(2*SIN(KSI+NI)))
1030 F4=ABS((-FY-FX/TAN(KSI+NI))/(2*(COS(KSI)+SIN(KSI)/TAN(KSI+NI))))
1040 F3=ABS((2*F4*SIN(KSI)+FX)/(2*SIN(KSI+NI)))
1050 AREA=PI*DH**2/4
1060 IF F1>F3 THEN F3=F1
1070 SIGP1=F3/AREA
1080 IF F2>F4 THEN F4=F2
1090 SIGF2=F4/AREA
1100 JX=PI*(DH/10)**4/64
1110 RG=SOR(JX/AREA/100)
1120 LAMB1=(SOR(ABS(X2-X)**2+ABS(Y2-Y)**2)-CHP)/10/RG
1130 LAMB2=DM/10/RG
1140 LAMB=LAMB1
1150 GOSUB 1330
1160 SFL1=SFL
1170 LAMB=LAMB2
1180 SFL2=SFL
1190 SFL=ABS(SFL1)
1200 IF SFL2>SFL1 THEN SFL=ABS(SFL2)
1210 ANEXT=PI*(DFI**2-DHF**2)/4
1220 PRMAX=F3/AREAT

```

[illegible]

A N E X O 6

LISTAGENS DE COMPUTADOR

TABELA DE CALIBRAÇÃO PARA O COMPARADOR DE ÂNGULOS

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

L1 = 5.6 m L2 = 4.543 m I1 = 140955 kg m2
A3 = 3.99567 m B5 = .6 m I2 = 74490 kg m2
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m M2 = 10000 kg
M1 = 15000 kg

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 5000 kg MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 10000 kg MASSA NO EIXO REPOQUE = 10000 kg

TEMPO segundos	VELOCIDADE km/h	DELTA graus	GAMA TEOR graus	GAMA REAL graus	DESV FENC graus	DESVIO graus
.1	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.2	15.0	1.0	1.2	1.1	90.4	1.1
.3	15.0	2.0	2.4	2.3	86.1	2.1
.4	15.0	3.0	3.6	3.6	82.0	2.9
.5	15.0	4.0	4.8	4.8	78.2	3.7
.6	15.0	5.0	6.0	6.0	74.7	4.5
.7	15.0	6.0	7.2	7.2	71.3	5.1
.8	15.0	7.0	8.4	8.4	68.2	5.7
.9	15.0	8.0	9.6	9.6	65.3	6.3
1.0	15.0	9.0	10.8	10.8	62.6	6.8
1.1	15.0	10.0	12.0	12.0	60.0	7.2
1.2	15.0	11.0	13.2	13.2	57.6	7.7
1.3	15.0	12.0	14.4	14.5	55.4	8.0
1.4	15.0	13.0	15.6	15.8	53.3	8.4
1.5	15.0	14.0	16.8	17.0	51.3	8.7
1.6	15.0	15.0	18.0	18.3	49.5	9.1
1.7	15.0	16.0	19.2	19.6	47.6	9.4
1.8	15.0	17.0	20.4	20.9	46.2	9.6
1.9	15.0	18.0	21.6	22.2	44.7	9.9
2.0	15.0	19.0	22.8	23.5	43.2	10.2
2.1	15.0	20.0	24.0	24.9	41.9	10.4
2.2	15.0	21.0	25.2	26.3	40.7	10.7
2.3	15.0	22.0	26.4	27.6	39.5	10.9
2.4	15.0	23.0	27.6	29.0	38.5	11.2
2.5	15.0	24.0	28.8	30.5	37.5	11.4
2.6	15.0	25.0	30.0	31.9	36.5	11.7
2.7	15.0	26.0	31.2	33.4	35.7	11.9
2.8	15.0	27.0	32.4	34.9	34.9	12.2
2.9	15.0	28.0	33.6	36.4	34.1	12.4
3.0	15.0	29.0	34.8	38.0	33.4	12.7
3.1	15.0	30.0	36.0	39.6	32.8	13.0
3.2	15.0	31.0	37.2	41.2	32.2	13.3
3.3	15.0	32.0	38.4	42.9	31.7	13.6
3.4	15.0	33.0	39.6	44.6	31.2	13.9
3.5	15.0	33.0	40.8	46.2	30.7	14.2
3.6	15.0	33.0	42.0	47.8	30.1	14.5
3.7	15.0	33.0	43.2	49.4	29.5	14.8
3.8	15.0	33.0	44.4	51.0	28.9	15.1
3.9	15.0	33.0	45.6	52.6	28.4	15.4
4.0	15.0	33.0	46.8	54.2	27.8	15.7
4.1	15.0	33.0	48.0	55.8	27.3	16.0
4.2	15.0	33.0	49.2	57.4	26.7	16.3
4.3	15.0	33.0	50.4	59.0	26.2	16.6
4.4	15.0	33.0	51.6	60.6	25.6	16.9
4.5	15.0	33.0	52.8	62.2	25.1	17.2
4.6	15.0	33.0	54.0	63.8	24.5	17.5
4.7	15.0	33.0	55.2	65.4	24.0	17.8
4.8	15.0	33.0	56.4	67.0	23.4	18.1
4.9	15.0	33.0	57.6	68.6	22.9	18.4
5.0	15.0	33.0	58.8	70.2	22.3	18.7

*** FIM ***

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

L1 = 5.6 m L2 = 4.543 m I1 = 140955 kg m2
A3 = 3.99567 m B5 = .6 m I2 = 74490 kg m2
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m M2 = 10000 kg
M1 = 15000 kg

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 5000 kg MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 10000 kg MASSA NO EIXO REPOQUE = 10000 kg

TEMPO segundos	VELOCIDADE km/h	DELTA graus	GAMA graus	TEOR graus	GAMA graus	REAL graus	DESV PERC	DESVIO graus
.1	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.2	20.0	1.0	1.2	1.2	.1	87.4	1.0	1.0
.3	20.0	2.0	2.4	2.4	.4	61.9	2.0	2.0
.4	20.0	3.0	3.6	3.6	.8	76.9	2.8	2.8
.5	20.0	4.0	4.8	4.8	1.3	72.3	3.4	3.4
.6	20.0	5.0	6.0	6.0	1.9	68.0	4.1	4.1
.7	20.0	6.0	7.2	7.2	2.6	64.2	4.6	4.6
.8	20.0	7.0	8.4	8.4	3.3	60.6	5.1	5.1
.9	20.0	8.0	9.6	9.6	4.1	57.3	5.5	5.5
1.0	20.0	9.0	10.8	10.8	4.9	54.3	5.9	5.9
1.1	20.0	10.0	12.0	12.0	5.8	51.6	6.2	6.2
1.2	20.0	11.0	13.2	13.2	6.8	49.0	6.5	6.5
1.3	20.0	12.0	14.4	14.4	7.7	46.7	6.8	6.8
1.4	20.0	13.0	15.6	15.6	8.7	44.5	7.0	7.0
1.5	20.0	14.0	16.8	16.8	9.6	42.6	7.2	7.2
1.6	20.0	15.0	18.0	18.0	10.6	40.7	7.5	7.5
1.7	20.0	16.0	19.2	19.2	11.9	39.1	7.7	7.7
1.8	20.0	17.0	20.4	20.4	13.1	37.5	7.8	7.8
1.9	20.0	18.0	21.6	21.6	14.2	36.1	8.0	8.0
2.0	20.0	19.0	22.8	22.8	15.4	34.8	8.2	8.2
2.1	20.0	20.0	24.0	24.0	16.5	33.5	8.3	8.3
2.2	20.0	21.0	25.2	25.2	17.7	32.4	8.5	8.5
2.3	20.0	22.0	26.4	26.4	19.0	31.4	8.7	8.7
2.4	20.0	23.0	27.6	27.6	20.2	30.4	8.8	8.8
2.5	20.0	24.0	28.8	28.8	21.5	29.6	9.0	9.0
2.6	20.0	25.0	30.0	30.0	22.7	28.8	9.2	9.2
2.7	20.0	26.0	31.2	31.2	24.0	28.0	9.4	9.4
2.8	20.0	27.0	32.4	32.4	25.4	27.3	9.5	9.5
2.9	20.0	28.0	33.6	33.6	26.7	26.7	9.7	9.7
3.0	20.0	29.0	34.8	34.8	28.1	26.2	9.9	9.9
3.1	20.0	30.0	36.0	36.0	29.4	25.7	10.2	10.2
3.2	20.0	31.0	37.2	37.2	30.9	25.2	10.4	10.4
3.3	20.0	32.0	38.4	38.4	32.3	24.8	10.6	10.6
3.4	20.0	33.0	39.6	39.6	33.7	24.4	10.9	10.9
3.5	20.0	34.0	40.8	40.8	35.0	24.1	11.2	11.2
3.6	20.0	35.0	42.0	42.0	36.1	23.8	11.5	11.5
3.7	20.0	36.0	43.2	43.2	37.1	23.6	11.8	11.8
3.8	20.0	37.0	44.4	44.4	38.0	23.4	12.1	12.1
3.9	20.0	38.0	45.6	45.6	38.8	23.2	12.4	12.4
4.0	20.0	39.0	46.8	46.8	39.4	23.1	12.7	12.7
4.1	20.0	40.0	48.0	48.0	40.0	23.0	13.0	13.0
4.2	20.0	41.0	49.2	49.2	40.6	22.9	13.3	13.3
4.3	20.0	42.0	50.4	50.4	41.0	22.8	13.6	13.6
4.4	20.0	43.0	51.6	51.6	41.4	22.7	13.9	13.9
4.5	20.0	44.0	52.8	52.8	41.8	22.6	14.2	14.2
4.6	20.0	45.0	54.0	54.0	42.1	22.5	14.5	14.5
4.7	20.0	46.0	55.2	55.2	42.4	22.4	14.8	14.8
4.8	20.0	47.0	56.4	56.4	42.7	22.3	15.1	15.1
4.9	20.0	48.0	57.6	57.6	42.9	22.2	15.4	15.4
5.0	20.0	49.0	58.8	58.8	43.1	22.1	15.7	15.7

*** FIM ***

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

L1 = 5.6 m L2 = 4.543 m I1 = 140955 kg m2
A3 = 3.99567 m B5 = .6 m I2 = 74490 kg m2
A4 = 3.73333 m
A5 = 1.86667 m M2 = 10000 kg
M1 = 15000 kg

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 5000 kg MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 10000 kg MASSA NO EIXO REPOQUE = 10000 kg

TEMPO segundos	VELOCIDADE km/h	DELTA graus	GAMA TEOR graus	GAMA REAL graus	DESV PERC	DESVIO graus
-1	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.2	40.0	1.0	1.2	.3	76.4	.9
.3	40.0	2.0	2.4	.8	67.4	1.4
.4	40.0	3.0	3.6	1.4	59.8	2.1
.5	40.0	4.0	4.8	2.2	53.4	2.5
.6	40.0	5.0	6.0	3.1	48.0	2.9
.7	40.0	6.0	7.2	4.1	43.3	3.1
.8	40.0	7.0	8.4	5.1	39.4	3.3
.9	40.0	8.0	9.6	6.1	35.9	3.4
1.0	40.0	9.0	10.8	7.2	33.0	3.6
1.1	40.0	10.0	12.0	8.4	30.5	3.7
1.2	40.0	11.0	13.2	9.5	28.3	3.8
1.3	40.0	12.0	14.5	10.7	26.3	3.8
1.4	40.0	13.0	15.8	11.9	24.6	3.9
1.5	40.0	14.0	17.0	13.1	23.1	3.9
1.6	40.0	15.0	18.3	14.3	21.8	4.0
1.7	40.0	16.0	19.6	15.5	20.7	4.1
1.8	40.0	17.0	20.9	16.8	19.7	4.1
1.9	40.0	18.0	22.2	18.0	18.7	4.2
2.0	40.0	19.0	23.5	19.3	17.9	4.2
2.1	40.0	20.0	24.9	20.6	17.2	4.3
2.2	40.0	21.0	26.3	21.9	16.6	4.3
2.3	40.0	22.0	27.6	23.2	16.0	4.4
2.4	40.0	23.0	29.0	24.6	15.4	4.5
2.5	40.0	24.0	30.5	25.9	15.0	4.6
2.6	40.0	25.0	31.9	27.3	14.6	4.6
2.7	40.0	26.0	33.4	28.7	14.2	4.7
2.8	40.0	27.0	34.9	30.1	13.9	4.8
2.9	40.0	28.0	36.4	31.5	13.6	4.9
3.0	40.0	29.0	38.0	32.9	13.3	5.1
3.1	40.0	30.0	39.6	34.4	13.1	5.2
3.2	40.0	31.0	41.2	35.9	12.9	5.3
3.3	40.0	32.0	42.9	37.5	12.7	5.5
3.4	40.0	33.0	44.6	39.0	12.6	5.6
3.5	40.0	33.0	44.6	40.2	9.8	4.4
3.6	40.0	33.0	44.6	41.2	7.7	3.4
3.7	40.0	33.0	44.6	41.9	6.1	2.7
3.8	40.0	33.0	44.6	42.5	4.8	2.1
3.9	40.0	33.0	44.6	43.0	3.7	1.7
4.0	40.0	33.0	44.6	43.3	2.9	1.3
4.1	40.0	33.0	44.6	43.6	2.3	1.0
4.2	40.0	33.0	44.6	43.8	1.8	.8
4.3	40.0	33.0	44.6	44.0	1.4	.6
4.4	40.0	33.0	44.6	44.1	1.1	.5
4.5	40.0	33.0	44.6	44.2	.9	.4
4.6	40.0	33.0	44.6	44.3	.7	.3
4.7	40.0	33.0	44.6	44.4	.6	.2
4.8	40.0	33.0	44.6	44.4	.4	.2
4.9	40.0	33.0	44.6	44.5	.3	.2
5.0	40.0	33.0	44.6	44.5	.3	.1

*** FIM ***

*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****

L1 = 5.6 m L2 = 4.543 m I1 = 140955 kg m2
 A3 = 3.97567 m B5 = .6 m I2 = 74490 kg m2
 A4 = 3.73333 m
 A5 = 1.86667 m M2 = 10000 kg
 M1 = 15000 kg

MASSA NO EIXO DIANTEIRO = 5000 kg MASSA NO EIXO INTERMEDIÁRIO = 10000 kg MASSA NO EIXO REPOQUE = 10000 kg

TEMPO SEGUNDOS	VELOCIDADE km/h	DELTA GRAUS	GAMA TEOR GRAUS	GAMA REAL GRAUS	DESV FERG GRAUS	DESVIO GRAUS
.1	60.0	0.0	.0	0.0	0.0	.0
.2	60.0	1.0	1.2	.4	66.8	.8
.3	60.0	2.0	2.4	1.1	55.7	1.3
.4	60.0	3.0	3.6	1.9	47.1	1.7
.5	60.0	4.0	4.8	2.8	40.3	1.9
.6	60.0	5.0	6.0	3.9	34.9	2.1
.7	60.0	6.0	7.2	5.0	30.6	2.2
.8	60.0	7.0	8.4	6.1	27.2	2.3
.9	60.0	8.0	9.6	7.3	24.3	2.3
1.0	60.0	9.0	10.8	8.4	22.0	2.4
1.1	60.0	10.0	12.0	9.6	20.0	2.4
1.2	60.0	11.0	13.3	10.8	18.4	2.4
1.3	60.0	12.0	14.5	12.0	17.0	2.5
1.4	60.0	13.0	15.8	13.3	15.8	2.5
1.5	60.0	14.0	17.0	14.5	14.8	2.5
1.6	60.0	15.0	18.3	15.8	13.9	2.5
1.7	60.0	16.0	19.6	17.0	13.2	2.6
1.8	60.0	17.0	20.9	18.3	12.5	2.6
1.9	60.0	18.0	22.2	19.6	11.9	2.6
2.0	60.0	19.0	23.5	20.9	11.4	2.7
2.1	60.0	20.0	24.9	22.2	10.9	2.7
2.2	60.0	20.0	24.9	23.0	7.4	1.8
2.3	60.0	20.0	24.9	23.6	5.0	1.2
2.4	60.0	20.0	24.9	24.0	3.4	.8
2.5	60.0	20.0	24.9	24.3	2.3	.6
2.6	60.0	20.0	24.9	24.5	1.5	.4
2.7	60.0	20.0	24.9	24.7	1.0	.3
2.8	60.0	20.0	24.9	24.7	.7	.2
2.9	60.0	20.0	24.9	24.8	.5	.1
3.0	60.0	20.0	24.9	24.8	.3	.1
3.1	60.0	20.0	24.9	24.8	.2	.1
3.2	60.0	20.0	24.9	24.8	.1	.0
3.3	60.0	20.0	24.9	24.9	.1	.0
3.4	60.0	20.0	24.9	24.9	.1	.0
3.5	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
3.6	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
3.7	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
3.8	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
3.9	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.0	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.1	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.2	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.3	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.4	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.5	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.6	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.7	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.8	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
4.9	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0
5.0	60.0	20.0	24.9	24.9	.0	.0

*** FIM ***

```

10 REM *****
20 REM ***** ÔNIBUS ARTICULADO *****
30 REM *****
40 REM Este programa simula um ônibus articulado em movimento plano xy paralelo ao solo em diferentes pistas, velocidades e ângulos de direção.
50 N=3
60 PI=3.141593
70 DIM A(N,N*1),X(N)
80 INPUT "DESEJA IMPRESSÃO ? (S ou N) " :PS
90 INPUT "QUAL O ÂNGULO DAS RODAS DIANTEIRAS ? (EM GRAUS) " :DELG
100 INPUT "QUAL A VELOCIDADE DO ÔNIBUS ? (EM KM/H) " :VMH
110 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO DIANTEIRO ? (EM KG) " :MEF
120 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO INTERMEDIÁRIO ? (EM KG) " :MET
130 INPUT "QUAL A MASSA SUPORTADA PELO EIXO REPOQUE ? (EM KG) " :MER
140 M1=MEF+MET
150 M2=MER
160 GET L1,L2,BS
170 DATA 5.6,4.543,0.6
180 A4=(1-MEF/M1)*L1
190 A5=L1-A4
200 A3=2.129+A5
210 L2=7.447*M2
220 L1=9.397*M1
230 PRINT "SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO"
240 IF PS="S" THEN LPRINT "*****SIMULAÇÃO DINÂMICA DE ÔNIBUS ARTICULADO COM DISPOSITIVO NA ARTICULAÇÃO*****"
250 PRINT
260 IF PS="S" THEN LPRINT
270 PRINT " L1 = ",L1," M",L2 = ",L2," M",L1 = ",L1," K9 M2"
280 IF PS="S" THEN LPRINT " L1 = ",L1," M",L2 = ",L2," M",L1 = ",L1," K9 M2"
290 PRINT " A3 = ",A3," M",A5 = ",A5," M",A2 = ",A2," K9 M2"
300 IF PS="S" THEN LPRINT " A3 = ",A3," M",A5 = ",A5," M",A2 = ",A2," K9 M2"
310 PRINT " A4 = ",A4," M"
320 IF PS="S" THEN LPRINT " A4 = ",A4," M"
330 PRINT " A5 = ",A5," M",M2 = ",M2," K9"
340 IF PS="S" THEN LPRINT " A5 = ",A5," M",M2 = ",M2," K9"
350 PRINT " M1 = ",M1," K9"
360 IF PS="S" THEN LPRINT " M1 = ",M1," K9"
370 PRINT " MASSA NO EIXO DIANTEIRO = ",MEF," K9 "
380 IF PS="S" THEN LPRINT " MASSA NO EIXO DIANTEIRO = ",MEF," K9 "
390 PRINT " X0 REPOQUE = ",MER," K9"
400 IF PS="S" THEN LPRINT
410 PRINT " TEMPO","VELOCIDADE"," DELTA"," GAMA REAL"," DESV PERC"," DESVIO"
420 IF PS="S" THEN LPRINT " TEMPO","VELOCIDADE"," DELTA"," GAMA REAL"," DESV PERC"," DESVIO"
430 PRINT "SEGUNDOS"," KM/H"," GRAUS"," GRAUS"," GRAUS"
440 IF PS="S" THEN LPRINT "SEGUNDOS"," KM/H"," GRAUS"," GRAUS"
450 V=VMH/3.6
460 DELC=DELG*PI/180
470 E=(A5-A3)/L2
480 G=V/L2
490 H=.01
500 GAMA=0
510 T=0
520 REM *****MÉTODO DE RUNGE-KUTTA DE TERCEIRA ORDEM*****
530 CORREDELG/10
540 IF TICORR THEN DEL=DELCNT/CORR
550 F311=V*TAN(DEL)/L1
560 FOR W=1 TO 11
570 GAMA=GAMA
580 GOSUB 920
590 K1=GAMA1*H
600 GAMA=GAMA+K1/3
610 GOSUB 920

```

DOES: "WILL NOT"