ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Modelagem dinâmica longitudinal de veículos articulados

Daniel Liebert

São Paulo

2009

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Modelagem dinâmica longitudinal de veículos articulados

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Graduação em Engenharia

Daniel Liebert

Orientador: Prof. Dr. Marcelo A. L. Alves

Área de concentração: Engenharia Mecânica

São Paulo

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

RESUMO

O presente trabalho dedica-se ao estudo da dinâmica longitudinal e vertical de veículos combinados em configuração cavalo semi-reboque. São estudados modelos individuais para os diferentes tipos de forças atuantes em tais veículos. Um modelo matemático não-linear é deduzido para o movimento acoplado longitudinal e vertical do veículo. Tendo em vista as não linearidades obtidas, são estudadas diferentes possibilidades de simulação para o modelo. São expostos e discutidos os resultados obtidos com a simulação na plataforma SCILAB/SCICOS. É feita ainda uma pesquisa dos modelos existentes para o efeito "slosh".

ABSTRACT

This work is dedicated to the study of longitudinal and vertical dynamics of combined vehicles in truck semi-trailer configuration. Individual models are studied for the forces acting on such vehicles. A nonlinear mathematical model is deduced for the coupled longitudinal and vertical movement of the vehicle. Given the nonlinearities obtained, different possibilities are studied for the simulation model. The results, obtained with the simulation on the SCILAB/SCICOS platform, are exposed and discussed. A research is exposed on the existing models for the slosh effect.

Keywords: trucks, vehicle dynamics, mathematical models, simulink.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e objetivos

O trabalho trata da modelagem dinâmica longitudinal de caminhões articulados e dos modelos existentes para carga móvel, como caminhões tanque, sujeitos ao efeito slosh. Com a evolução da infra-estrutura e industrialização de cidades distribuídas por todo o território brasileiro, cresce a cada dia a necessidade de transporte e distribuição de toda sorte de produtos. Dentre os materiais transportados, pode-se citar os líquidos, como combustíveis, ácidos, solventes, produtos de limpeza, água e óleos. Acidentes que causem o derramamento de tais materiais podem ter conseqüências devastadoras sobre o meio-ambiente e sobre a saúde das pessoas envolvidas.

O tratamento especial dos veículos de carga justifica-se pela importância do transporte rodoviário no mercado nacional. De acordo com o Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres de 2008, publicado pela Agência Nacional dos Transportes Terrestres, havia em 2007 no Brasil aproximadamente 1,5 milhões de caminhões. Atualmente, observa-se um crescimento contínuo da frota nacional de caminhões. Um dos motivos para este crescimento é a falta de alternativas frente ao transporte por caminhões. O nível relativamente baixo de investimentos no transporte fluvial e ferroviário faz com que ainda seja necessária a massificação do transporte de produtos por meio rodoviário. Com tantos caminhões em trânsito, tornam-se necessárias medidas que minimizem a possibilidade de acidentes. Nas estradas, pode-se melhorar a sinalização, por exemplo. Pode-se ainda construir estradas com curvas inclinadas, de forma a exigir menos do veículo e dos motoristas. Outras melhorias possíveis dizem respeito aos motoristas. Podem ser realizadas campanhas de conscientização e educação no trânsito, por exemplo. Pode-se também enrijecer o sistema de penalização de infrações. Enfim, as possibilidades são muitas. A terceira alternativa é melhorar a segurança dos veículos, com projetos mais seguros.

A segurança de qualquer veículo depende de inúmeros fatores. Atualmente, muito se investe para que níveis mais altos de segurança sejam atingidos. Sistemas e

equipamentos de segurança como air-bags, ESP (Eletronic Stability Program) e ABS (Anti Blocking System) fazem com que situações anteriormente consideradas fatais possam ser contornadas com sucesso. Nesta evolução, o entendimento da dinâmica de veículos tem um papel fundamental. A correta predição do comportamento de um carro ou de um caminhão em curvas, por exemplo, pode levar a modificações nos projetos, de forma que a segurança e o desempenho sejam otimizados.

As características dinâmicas de qualquer veículo automotor dependem fortemente de parâmetros como localização do centro de gravidade e massa total. Por isso, torna-se difícil a previsão do comportamento dinâmico de veículos de carga fluida ou móvel. Nestes veículos, as condições de operação altamente variáveis alteram o desempenho dinâmico de forma significativa. As condições ótimas para um veículo de massa M, por exemplo, são certamente diferentes daquelas para um veículo de massa 2M. Para cargas líquidas, este problema é ainda maior. Não só a massa varia, mas a localização do centro de massa também. Cargas líquidas movem-se com maior facilidade, podendo alterar as características dinâmicas do veículo de forma a desestabilizá-lo. Este efeito de transferência de carga por movimentação de líquido é conhecido como slosh. Por fim, a inserção de uma articulação entre o cavalo e a carreta torna o problema ainda mais complexo. Como será visto, os veículos articulados têm modos de instabilidade que não são vistos em veículos de corpo único. Surge aí a necessidade de estudar as influências deste tipo de carga na dinâmica do veículo.

Este cenário mostra como é difícil e ao mesmo tempo importante o entendimento dos fenômenos que envolvem este tipo de problema. A legislação atual, visando minimizar a possibilidade de acidentes, exige que tais veículos transitem somente com volume máximo ou mínimo preenchido. Esta exigência, entretanto, pode não ser interessante do ponto de vista econômico, tanto para as empresas transportadoras quanto para seus clientes. A proposição de melhorias que tornem mais seguro o transporte com tanques parcialmente cheios pode, portanto, trazer benefícios não só em termos de segurança, mas também em termos econômicos.

O trabalho visa, portanto, a elaboração de um modelo matemático tão simples quanto possível, e que ainda assim produza resultados confiáveis. As simplificações

devem ser feitas até um ponto que possibilite a simulação numérica com os métodos aprendidos durante o curso. Deseja-se, por fim, com a simulação, possibilitar a predição do comportamento dinâmico de caminhões tanque sujeitos ao efeito slosh.

1.2 Efeito Slosh

O efeito slosh em recipientes parcialmente cheios de líquido é motivo de preocupação para engenheiros das indústrias aeroespacial, civil, nuclear, etc. Líquidos em recipientes de formatos arbitrários, sob excitações externas, resultam em turbulência. A natureza de tal turbulência é bastante complexa devido a diversos efeitos, como o gradiente de pressão, por exemplo. Dependendo do tipo de perturbação e forma do recipiente, a superfície livre do líquido pode experimentar diferentes tipos de movimento, como planar simples, não plana, rotativa, batimento irregular, simétrico, assimétrico, quase-periódico e caótico. A amplitude do efeito slosh depende da amplitude e freqüência do movimento do tanque, do tipo de líquido de enchimento, da profundidade de enchimento, das propriedades de líquidos e da geometria do tanque.

Se a freqüência da excitação externa chega a ficar próxima da freqüência natural do líquido, pode ocorrer, no caso de excitação horizontal, ressonância. Neste caso, o efeito causado pode ser um problema de ordem prática no que diz respeito à segurança dos sistemas de transporte, como os caminhões tanque em estradas, transportadores de líquidos em ferrovias, navios com carga líquida, satélites, etc.

Muitos países adotaram um requisito mínimo de estabilidade de rolagem para grandes veículos pesados. Este requisito especificado que os veículos pesados devem atingir é conhecido como "Static Rollover Threshold" ou SRT. O SRT é a aceleração lateral máxima que o veículo pode suportar sem que as rodas de um lado do veículo levantem do solo. Este índice reflete a propensão do veículo a capotar em curvas de velocidade constante. Um maior SRT implica maior estabilidade. Embora o SRT seja definido com base em curvas de velocidade constante, um maior SRT também implica uma maior estabilidade durante manobras dinâmicas, tais como mudança da pista de alta velocidade, ou uma manobra evasiva para evitar uma colisão.

O SRT pode ser determinado experimentalmente, com um teste de inclinação ou um teste real em curvas, com veículos equipados para prevenir capotamento. No entanto, é mais comum estimar esta aceleração com cálculos de equilíbrio estático. Para veículos comuns, isto é feito supondo-se que a carga é presa ao veículo e não se move em relação a ele. No entanto, para veículos que carregam fluidos ou cargas sólidas móveis, como os veículos frigoríficos de transporte de carne, o pressuposto é claramente inválido.

Cargas líquidas são mais comumente transportadas em veículos-tanque. Quando o tanque está cheio, há pouco movimento da carga, e o pressuposto de imobilidade do centro de massa da carreta é válido. No entanto, quando o tanque está parcialmente cheio, a aplicação uma aceleração lateral, como em uma curva, fará com que a carga se mova lateralmente. Isso faz com que o centro de gravidade da carga se desloque lateralmente, reduzindo a sua estabilidade ao capotamento. Para minimizar este efeito, os veículos-tanque são, em sua maioria, compartimentados e o carregamento ou descarregamento é feito em um compartimento por vez. Assim, quando o veículo está parcialmente carregado, apenas a parte referente a um compartimento se move, e os efeitos negativos sobre a estabilidade de rolagem são reduzidos.

O efeito descrito acima diz respeito à situação de equilíbrio quase estático de curvas em regime permanente. No entanto, há também um efeito potencialmente dinâmico. Todos os sistemas dinâmicos têm uma freqüência natural. Líquidos movendo-se de lado a lado em um tanque não são diferentes. Se o veículo executa uma manobra dinâmica como uma manobra evasiva para evitar uma colisão e a freqüência do movimento lateral do veículo coincide com algum múltiplo da freqüência natural do líquido em movimento, o efeito será ampliado e este terá um impacto negativo sobre a estabilidade do veículo.

Pode-se agora considerar a magnitude destes efeitos sobre o SRT, durante curvas com velocidade constante. Se o tanque está cheio, a carga não pode se mover e o SRT pode ser calculado da forma habitual. Quando o tanque não está cheio, o centro de gravidade fica mais perto do solo, o que melhora a estabilidade do veículo. No entanto, o centro de gravidade da carga move-se para o lado externo da curva, que degrada a estabilidade. A magnitude relativa desses dois efeitos depende da forma de seção

transversal do tanque. Quando o veículo realiza a curva, a carga é submetida a uma aceleração lateral que dá origem a uma força lateral que se soma à força vertical relativa à gravidade. O líquido se move até que a sua superfície livre seja perpendicular ao vetor resultante das forças lateral e vertical. Os efeitos deste fenômeno sobre a estabilidade foram investigados por LIDSTROM; STRANDBERG (1978) e seus resultados, juntamente com algumas informações adicionais, também são apresentados em UMTRI (2001). Abaixo é apresentado um resumo das principais conclusões.

A Figura 1 mostra como a mudança na orientação da superfície livre do líquido muda o centro de gravidade da carga para diferentes seções de tanque. Para o tanque de seção circular, o centro de gravidade se move através de um caminho circular. Para a seção retangular, o caminho da posição do centro de gravidade é mais complicado, sendo próximo do elíptico.
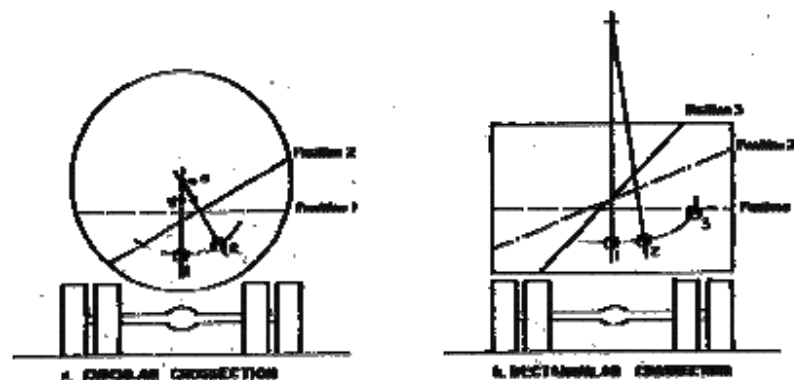
Figura 1 - Alteração do CG durante manobra de curva[*]

Com base nestes caminhos descritos pelo centro de gravidade, o SRT pode ser calculado para diferentes níveis de carregamento dos tanques, como mostra a Figura 2. O gráfico resultante mostra que, para um veículo totalmente carregado, o tanque de seção retangular tem uma estabilidade a rolagem superior ao tanque circular. No entanto, quando parcialmente carregado, a situação se inverte. A mudança nas características de estabilidade de rolagem do tanque retangular são contra-intuitivas. Geralmente, se a

Fonte: [*] UMTRI (2001)

carga é removida de um veículo, o centro de gravidade se torna mais baixo, o que melhora a estabilidade de rolagem. Entretanto, com o tanque de seção retangular, a estabilidade de rolagem se deteriora, de forma que, para o exemplo mostrado, a pior estabilidade de rolagem caso ocorre quando o veículo está carregado com 40% de sua capacidade. Para o tanque circular, embora o movimento de carga diminua a estabilidade à rolagem do veículo, esta fica melhor conforme a carga é diminuída. Para formatos intermediários de tanques, o comportamento do SRT pode ser descrito por uma curva que se situa entre as duas curvas mostradas.
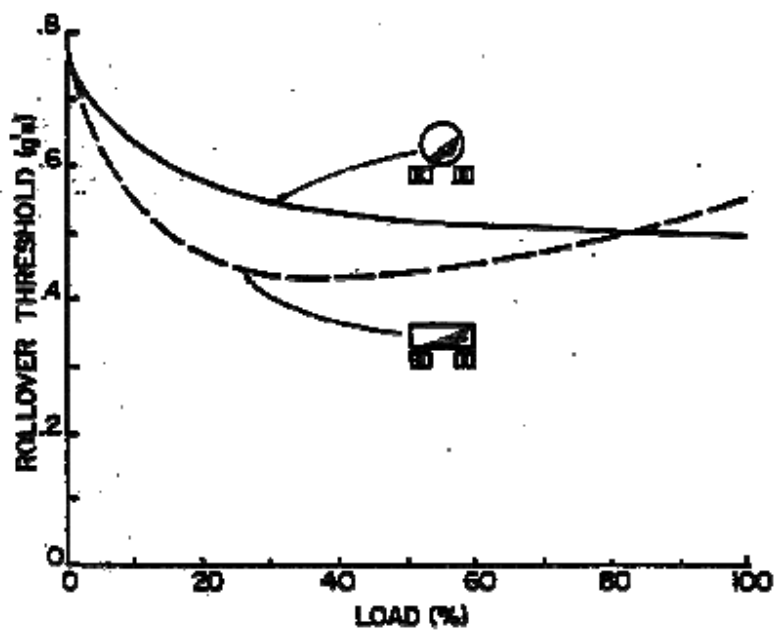
Figura 2 - SRT como função da carga durante curva à velocidade constante[*]

Como mencionado anteriormente, a situação de estabilidade de rolagem fica mais complicada quando manobras dinâmicas são consideradas. Normalmente, o slosh em um tanque de 2,5m de largura meio carregado tem uma freqüência natural de 0,5Hz, o que significa um período de onda de 2 segundos. Para tanques menores, a freqüência

---

[*] Fonte: UMTRI (2001)

6

aumenta ligeiramente e, assim, o período diminui. Estudos de comportamento em UMTRI (2001) mostraram que, em manobras de prevenção de acidentes, a freqüência da entrada de direção se alinha com a freqüência natural do sistema. Isto reforça o impacto do efeito slosh e degrada a estabilidade a rolagem do veiculo.

A Figura 3 mostra o limite de rolagem estático para dois tanques de diferentes seções, sob os efeitos transitórios de uma manobra de freqüência 0,5Hz e para diferentes estados de carga. Como pode ser visto, o reforço do slosh leva a uma redução significativa na estabilidade ao capotamento, verificando-se a pior situação para cargas entre 40% e 60%, dependendo da forma do tanque.
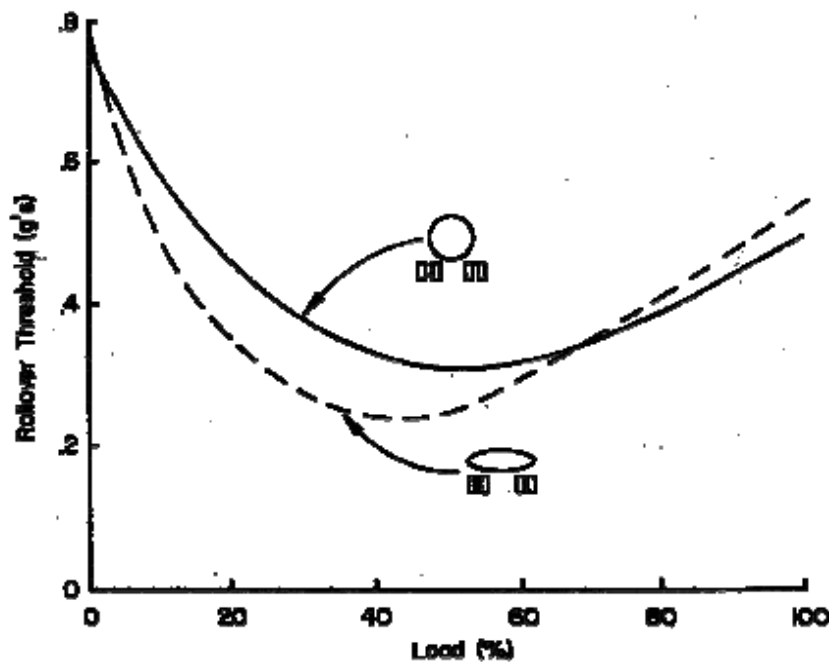
Figura 3 - Estabilidade a rolagem durante manobra de freqüência 0,5 Hz[*]

Toda a discussão até agora diz respeito a tanques sem modificações internas. Na prática é comum equipar os tanques com defletores ou compartimentos. Os defletores transversais são os mais utilizados. Estes não têm efeito na prevenção de slosh lateral.

---

[*] Fonte: UMTRI (2001)

Restritores longitudinais de movimento do líquido bem projetados melhoram significativamente a estabilidade a rolagem durante manobras transitórias.

Compartimentar os tanques pode reduzir significativamente o efeito de slosh, ao permitir que os compartimentos sejam descarregados um de cada vez. Apenas uma parte da carga fica livre para oscilar e, por isso, o efeito é reduzido. Foi demonstrado em UMTRI (2001) que, se menos de 20% da carga estiver livre para oscilar, a estabilidade do veículo parcialmente carregado sempre será maior do que a de um veículo totalmente carregado. Assim, a compartimentação do veiculo é fortemente recomendada.

Este conjunto de informações permite a construção de veículos mais seguros. Entretanto, as informações provem de estudos em fase de pós-projeto. Seria desejável também a existência de modelos matemáticos dinâmicos que permitissem estudar as características de segurança do veiculo em fase de projeto, antes do inicio da produção. Foi feito um estudo da literatura existente sobre o efeito slosh, como pode ser visto a seguir.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Modelagem dinâmica de veículos pesados*

Os primeiros estudos referentes à dinâmica de veículos articulados datam do ano de 1937. HUBER; DIETZ (1937) apud ESHLEMAN; DESAI (1972) conduziram um trabalho experimental sobre a dinâmica lateral de reboques em escala reduzida e real. Segue-se, a partir deste trabalho, uma série de estudos sobre os mais diversos temas relacionados à dinâmica de veículos articulados. Nos trabalhos que se seguem, são abordados aspectos teóricos e experimentais referentes à modelagem dinâmica de veículos articulados com cargas secas e fluidas.

ESHLEMAN; DESAI (1972) e GUTIÉRREZ (1999) apresentam uma extensa pesquisa bibliográfica sobre o tema. GUTIÉRREZ (1999) lista cronologicamente os trabalho desenvolvidos até 1999, explicitando um a um os temas foco de cada trabalho e as principais conclusões levantadas. Uma compilação dos trabalhos citados encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Trabalhos sobre dinâmica de veículos articulados

Ano de publicação	Autor
1937	HUBER; DIETZ
1938	ZIEGLER
1951	WILLIAMS
1955	LAURIEN
1956-1957	MILLIKEN; WHITCOMB
1957-1958	SLIBAR; PASLAY
1958	SEGEL
1959	ZAKIN
1961	CLARK; SEGEL
1962	MOROZOV et al.
1963	MEYER
1963	NOTHSTINE; BEAUVAIS
1963,1965	JINDRA
1964,1966	ELLIS
1965-1967	HALES
1967	CHIESA; RINONAPOLI
1967	SCHMID

1967	BUNDORF
1967	KULLBERG et al.
1967	DUGOFF; PAREKH
1969	SAITO et al.
1971	DUGOFF; MURPHY
1971	MIKULCIK
1972	ESHLEMAN; DESAI
1972	KRAUTER; WILSON
1972	TOBLER; KRAUTER
1973	WINKLER
1973	OLSON
1973	HAZEMOTO
1973	MONCARZ et al.
1974	BERNARD
1974	FANCHER; BERNARD
1974	HICKNER; ELLIOT
1974,1975	COLLINS; WONG
1975	KRAUTER
1975	BISIMIS
1975,1978	NORDSTROM et al.
1975	HALES; SINGH
1976	ELLIS; READ
1977	KURTZ; ANDERSON
1978	GUNTUR; WONG
1978	MALIKARJUNARAO; FANCHER
1979	ERVIN et al.
1979	FANCHER et al.
1981	FANCHER
1981	NALECZ; ELLIS
1981	GAUSS
1982	VLK
1984	NALECZ; GENIN
1985	VLK
1985	EL-GINDY; WONG
1986	PFLUG
1987	ALLEN et al.
1987	TSO; SWEATMAN
1987	EMORI et al.
1988	VLK
1989	VEIT; WALGRAVE
1989	EL-GINDY
1989	FANCHER
1989	STRIBERSKY; FANCHER
1990	RAKHEJA; PICHE
1990	KAGEYDA; UCHIDA
1991	EL-GINDY et al.

1991	ICHIKAWA et al.
1992	TOUSI et al.
1992	LUND; BERNARD
1993	EL-GINDY; PALKOVICS
1994	PALKOVICS et al.
1994	BORGES et al.
1995	BORGES
1995	SANYAL; KARMAKAR
1996	ESMAILZADECH
1997	KACK; RICHARD
1997	DAHLBERG; VAGSTEDT
1997	YANG; RAKHEJA
1998	BORGES et al.
1998	ESMAILZADECH; TABARROK
1998	LUKOWSKI; LOGAN
1998	DRAPER

Dentre os trabalhos listados, três destacam-se pela relação direta com caminhões-tanque, especificamente. FANCHER et al. (1979) apud GUTIÉRREZ (1999) e FANCHER (1981) apud GUTIÉRREZ (1999) apresentaram modelagens matemáticas e as aplicaram a cinco tipo diferentes de caminhões-tanque, incluindo combinações articuladas. Cada veículo foi descrito numericamente para a análise da sua estabilidade dinâmica, e depois foram feitos testes para comparar a estabilidade lateral dos veículos modificados e não modificados durante manobras de mudança de faixa. Os testes validaram as diferenças de desempenho previstas na modelagem matemática. Outro trabalho que se dedicou a este assunto foi o de NALECZ; ELLIS (1981). Segundo GUTIÉRREZ (1999), NALECZ e ELLIS investigaram os problemas de estabilidade associados com veículos articulados para cargas líquidas. Eles desenvolveram programas que permitem modelar importantes características de "handling" para cinco configurações de veículos articulados e obter a resposta em regime permanente e em regime transitório.

Na modelagem de suspensões do tipo tandem, com feixe de molas e amortecedor de dupla-ação, destacam-se os trabalhos de YI; HEDRICK (1989) e YI; HEDRICK (1991). Nestes trabalhos, são investigados os efeitos danosos de diferentes tipos de suspensão no solo. São propostos modelos matemáticos para vários tipos de suspensão,

incluindo a suspensão tipo tandem, com feixe de molas. As equações são detalhadas e os resultados são comparados com dados experimentais.

Ainda no campo da dinâmica, GILLESPIE (1992) apresenta toda a fundamentação básica para o equacionamento dinâmico de veículos. São abordados temas como performance durante aceleração e frenagem, forças externas durante o movimento, dinâmica de curva em estado estacionário, análise básica de sistemas de suspensão e direção, capotamento de veículos e conceitos básicos relativos à interação pneu-solo. Por fim, DIXON (1996) dedica-se a uma visão geral da dinâmica de veículos e da interação pneu-solo, aprofundando-se na análise de componentes e características de diferentes sistemas de suspensão. Ele estuda ainda a dinâmica de curva em estado estacionário e transiente.

GUTIÉRREZ (1999) realizou um estudo da estabilidade direcional de veículos combinados tipo cavalo semi-reboque utilizando a técnica do "passeio do centro de gravidade". Uma grande contribuição deste trabalho, além da análise à qual se propõe, é a vasta e detalhada revisão bibliográfica realizada. O trabalho apresenta, na língua portuguesa, os temas e conclusões dos principais trabalhos realizados na área de dinâmica de veículos pesados desde 1938 até 1999.

MCCALLEN; BROWAND; ROSS (2004) apresentam uma compilação de trabalhos relevantes no campo de aerodinâmica de veículos pesados. São apresentados trabalhos nas áreas de métodos e aplicações de CFD, métodos experimentais, experimentos de aerodinâmica, modificação ativa e passiva de corrente para a redução de arrasto, análise térmica de veículos pesados, e aerodinâmica de trens de alta velocidade.

No campo da interação pneu-solo, destaca-se o trabalho de PACEJKA (2006). O trabalho se dedica à revisão e ao detalhamento de diversos modelos para a interação pneu-solo, incluindo o modelo conhecido como Magic Formula, que será utilizado no presente trabalho.

2.2 Modelagem do efeito slosh

Até hoje, uma infinidade de estudos têm considerado o efeito slosh. Alguns importantes estudos experimentais iniciais são devidos a MARTIN; MOYCE (1952). Neste trabalho, foram feitos estudos experimentais sobre o colapso de colunas de líquidos em diversas condições. Da observação destes experimentos foram formuladas algumas conclusões sobre as características do movimento de fluidos com superfícies livres.

No campo da engenharia naval, desde os trabalhos de CHADWICK; KLOTTER (1955), a tentativa de obter um modelo matemático adequado para a solução do problema a rolagem de um navio com um tanque parcialmente cheio tem atraído muitos pesquisadores. Esta ainda é uma tarefa para hoje, especialmente no que diz respeito à modelagem do fluxo de água.

Também em outros campos, trabalhos foram feitos para se estudar o efeito de líquidos na dinâmica do movimento de corpos em movimento. Para o projeto de tanques de veículos espaciais e satélites, um rápido progresso em análises teóricas e experimentais foi observado entre 1950 e 1960. O problema da estabilidade da rota de mísseis e aeronaves com um tanque de superfície livre foi considerado de importância primária por ABRAMSON (1966). A monografia continha os estudos analíticos e experimentais de slosh linear e não linear, amortecimento do movimento de líquidos, excitação vertical de tanques, interação de propelentes líquidos e estruturas elásticas, estabilidade e controle de veículos, comportamento de combustíveis líquidos sob gravidade zero, oscilação longitudinal de aeronaves, etc. Empregando a formulação potencial do campo de velocidade, ele analisou ainda o movimento de líquido nos tanques de formas cilíndricas, esféricas e em anel.

Na obra de VAN DER BOSCH et al. (1966) a idéia principal foi a alteração da equação de movimento de rolagem tradicional com a simples adição do momento de slosh à equação. Este momento teve que ser avaliado experimentalmente a partir de medições em um tanque em um movimento sinusoidal forçado. Por esta abordagem, a complexidade inerente do desenvolvimento de uma modelagem matemática adequada do

movimento do líquido no tanque poderia ser evitada à custa de grandes campanhas de medições experimentais.

Posteriormente, GOODRICH (1968) sugeriu um modelo matemático simples, constituído de duas equações diferenciais lineares representando o ângulo de rolamento e a inclinação da superfície livre do líquido (assumida fixa) no tanque em relação ao navio. Lá, as propriedades do líquido no tanque foram resumidas pela freqüência natural (derivado da teoria de onda linear), por um coeficiente de amortecimento e por um fator de correção estático de superfície livre.

Mais tarde, em 1970, o fenômeno slosh torna-se uma questão importante quando teve início o projeto de navios de transporte de GNL. Métodos numéricos passaram a ser utilizados em conjunto com a análise teórica para estudar o problema.

A negligência excessiva dos aspectos hidrodinâmicos do movimento do líquido nos modelos adotados levaram a uma busca de modelos lineares e não lineares mais realistas. FALTINSEN (1974) desenvolveu então a teoria não-linear de solução de estado estacionário do problema de slosh em um tanque retangular. A teoria foi amplamente aplicada para investigar muitos problemas simples de slosh. Muitos conceitos fundamentais sobre o efeito slosh foram determinados a partir destes estudos.

Nos anos seguintes, a ocorrência de acidentes no mar e o aparecimento de novas tipologias de petroleiros (casco duplo) e transportadores deram novo impulso às pesquisas, voltadas então para uma compreensão mais profunda dos fenômenos. Grande parte dos acidentes resultava de falhas estruturais advindas de impactos gerados pelo deslocamento de cargas e pela insuficiência das anteparas, devido a inundações após dano. Enquanto estes aspectos estruturais têm maior relação com uma boa previsão da pressão de líquidos e, por conseguinte, com uma descrição detalhada do fluxo de fluido no reservatório, a previsão da amplitude da rolagem de navios para a segurança contra o tombamento e naufrágio relaciona-se com modelos mais simples dos líquidos, uma vez que apenas os modos de oscilação de base são os principais envolvidos. A partir desta perspectiva, a simplificação de modelos matemáticos para os movimentos de rolagem/slosh foram bem-vindos por parte da comunidade de segurança de navios.

Além disso, com o rápido avanço da capacidade de armazenamento e processamento dos computadores modernos, a computação tornou-se uma ferramenta importante no estudo da física do efeito slosh, principalmente a partir da década de 1980. Métodos numéricos são particularmente úteis quando a geometria do recipiente é complexa e os fluxos líquidos no recipiente não podem ser analiticamente investigados. O cálculo do fluxo potencial foi desenvolvido primeiramente para problemas lineares e ligeiramente não-lineares de slosh. Sob a hipótese de pequenos deslocamentos, a física do fluxo podia ser modelada com precisão para líquidos não viscosos.

CAMPBELL (1989) dedicou-se ao levantamento de dados sobre o capotamento de veículos comerciais pesados. Os acidentes são classificados conforme o tipo de veiculo. Para os veículos do tipo tanque, o total inclui cerca de 1.600 capotamentos. O trabalho conclui que a probabilidade de um capotamento por milha percorrida para os semi-reboques do tipo tanque é cerca de 30 vezes superior quando carregados do que quando vazios.

AMABILI (1996) e WARNITCHAI; PINKAEW (1998) resolveram os problemas de modelagem de slosh por métodos analíticos e validaram os resultados com algumas experiências.

FRANCESCUTTO; CONTENTO (1999) discutiram com detalhes a possibilidade de obter uma descrição simples e eficaz do movimento de rolagem de um navio contendo líquidos com superfície livre a bordo. Modelos matemáticos disponíveis com parâmetros concentrados foram implementados e comparados com resultados experimentais obtidos com modelos em escala. Por fim, um modelo com boa capacidade de simulação foi apresentado, baseado em um modelo simples que acoplava a rolagem ao slosh, e o efeito dos outros movimentos era implicitamente contabilizado nos parâmetros estimados. O modelo matemático proposto enquadrou-se bem aos dados experimentais e exigiu a estimativa de um conjunto reduzido de parâmetros.

ALIABADI; TEZDUYAR (2000), JOHNSON; ALIABADI (2000) e ALIABADI et al. (2003) utilizaram o método dos elementos finitos no estudo dos movimentos de superfície livre, enquanto RUMOLD (2001) utilizou o método dos volumes finitos.

PAL et al. (2001) realizaram estudos experimentais sobre a resposta de slosh em recipientes cheios de líquido. Uma simulação tridimensional em elementos finitos foi realizada para a análise numérica do problema. Os efeitos de slosh foram computados no domínio do tempo com uso de um método de integração conhecido como sistema de integração temporal de Newmark. Um simples conjunto experimental foi projetado e fabricado para conduzir experimentos para avaliar alguns dos parâmetros básicos do efeito slosh. Um dispositivo sensor foi desenvolvido para gravar a altura livre das ondas de superfície.

Mais recentemente, FRANDSEN (2004) desenvolveu um modelo totalmente não-linear de diferenças finitas para investigar o slosh não viscoso em um tanque bidimensional. Ele discutiu o slosh líquido tanto para ondas pequenas, quanto para ondas íngremes.

ROZEMA (2004) investigou a interação entre a dinâmica de líquidos e da dinâmica do veículo através de estudos de simulação. De maior interesse eram as simulações de manobras realistas. Os resultados da simulação de uma manobra de curva (desempenho de rolagem) e uma estrada esburacada (movimento exagerado de líquidos) foram apresentados nesta tese, o que permitiu o estudo dos efeitos do slosh líquido no movimento do veículo. Foram desenvolvidos separadamente modelos matemáticos para o veículo e para o fluido. Posteriormente, estes modelos foram acoplados e simulados numericamente. Para a modelagem do movimento do fluido, foram usadas a equação da continuidade e equação de Navier-Stokes.

IBRAHIM (2005) faz um resumo das diversas técnicas de modelagem de slosh utilizadas até o momento.

DJAVARESHKIAN; KHALILI (2006) abriram um novo horizonte na simulação dos fenômenos de slosh. Um dos mais populares métodos de volume finitos chamado VOF (volume of fluid) foi usado para entender o fluxo em contêineres. O algoritmo foi testado para diversos níveis de líquido, condições nas curvas da estrada e propriedades diferentes. O método foi então validado contra uma outra solução analítica e numérica. Estas comparações mostraram que o método VOF pode efetivamente resolver o

problema de slosh para diferentes fluidos e uma variedade de condições físicas e geométricas.

BISWAL et al. (2006) apresentaram a resposta não-linear do slosh líquido em um recipiente rígido bidimensional retangular com defletores rígidos. A técnica de elementos finitos foi usada para resolver os problemas não-lineares de potencial. Os autores resolveram ainda os problemas não-lineares de slosh circular em um recipiente cilíndrico com defletor anular.

Em ROMERO et al. (2007), três modelos matemáticos foram montados para simular a interação entre carga líquida e caminhão. Estas formulações incluíam um método validado para predizer a freqüência natural de líquidos dentro de recipientes parcialmente cheios, uma fórmula para calcular o momento de rolagem devido ao deslocamento de carga, e o modelo para a implantação de resposta dinâmica de rolagem de um modelo de meio caminhão. A simulação considerou o veículo ao longo de uma curva de raio constante, acelerando de 0 a 80 km/h. O momento de slosh foi então calculado e aplicado ao modelo de meio caminhão. Os resultados indicaram que a tendência de capotamento do veículo podia aumentar em até 50% devido ao efeito slosh, para recipientes cheios até a metade.

HU; CHEN (2009) investigaram o slosh viscoso em um recipiente retangular parcialmente cheio devido a manobras em curvas de raio constante. A abordagem de volumes finitos foi empregada para discretizar a equação de Navier-Stokes. Para capturar a superfície livre, foi adotado o método do volume de fração (método VOF). Os fenômenos de fluxo para diferentes cenários de manobra e condições de preenchimento foram discutidos.

PAL (2009) lidou com os estudos experimentais de slosh de líquido em recipientes parcialmente cheios submetidos a excitações externas. Um aparato experimental foi concebido para estudar o comportamento de slosh líquido em recipientes prismáticos parcialmente cheios. A cada instante de tempo, a amplitude do slosh foi computada no local especificado com a ajuda de um sensor de capacitância. As alturas de slosh resultantes das diferentes freqüências de excitação e amplitudes foram comparadas com os dados disponíveis na literatura. Observou-se que os dados

numéricos foram satisfatoriamente próximos aos obtidos experimentalmente e as pequenas variações observadas deveram-se à inaptidão do arranjo experimental e dos parâmetros de entrada.

O já citado método de volumes finitos, conhecido como VOF, foi introduzido por NICHOLS; HIRT (1971, 1975) e foi utilizado por MAXWELL (1977), DEVILLE (1974), HIRT; SHANNON (1968), HIRT et al. (1975) e JUN (1985). Nestes trabalhos, a simulação numérica de problemas de fluxo de superfície livre é baseada na solução de um complexo conjunto de equações diferenciais parciais que regem a conservação de massa e momento. O método é um tipo de técnica de volume de controle aplicado a uma malha Euleriana fixa. Técnicas semelhantes (conjunto de nível, método de controle frontal) foram desenvolvidas por outros pesquisadores, por exemplo, ESMAEELI (2005), LAPPA (2005), JIMENEZ et al. (2005) e HOGEA et al. (2005).

Por fim, para permitir a simulação tanto de fluidos com superfícies livres quanto de materiais granulares em caminhões tanque, FLEISSNER et al. (2009) propôs uma abordagem de co-simulação que acopla o Pasimodo, um framework de simulação de Lagrange para a simulação em 3D de materiais granulares e modelos de fluidos, com o SIMPACK, um software comercial de simulação de sistemas multicorpos. No trabalho, foram simuladas diferentes manobras de condução de veículos silo e foi estudada a influência de alguns parâmetros de projeto sobre a estabilidade dinâmica de condução dos veículos.

Dentre todas as obras consultadas, destaca-se a de IBRAHIM (2005) pela versatilidade e grande contribuição à difusão do conhecimento sobre a modelagem do efeito slosh. Na obra, é feita uma minuciosa revisão da literatura existente sobre o tema. Em seguida, são detalhados os principais métodos de modelagem e as características e particularidades de cada modelo. São apresentados ainda sistemas massa-mola-amortecedor que apresentam características dinâmicas semelhantes aos líquidos em movimento em diferentes tipos de tanque e sob diversas condições.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Cronograma de atividades

Ao início do projeto, foi estabelecido um cronograma preliminar. Este primeiro cronograma está mostrado na Figura 4.

Cronograma 2009	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Pesquisa									
Modelagem Inicial									
Testes e simulações									
Interpretação dos resultados									
Confecção do texto - Relatório final I									
Reanálise do modelo									
Simulações finais									
Discussão dos resultados									
Confecção do texto - Relatório final II									

Figura 4 - Cronograma inicial do projeto

Após o início do trabalho de pesquisa, as etapas necessárias puderam ser melhor entendidas e cada passo foi descrito de maneira mais detalhada. Assim, chegou-se à seguinte seqüência de atividades:

- Pesquisa de marcas e modelos de caminhões: pesquisa de modelos de caminhão-tanque disponíveis, principais fabricantes, mecanismos de acoplamento entre cavalo-mecânico e carreta, mecanismos de suspensão;

- Modelo matemático de contato pneu-solo: estudo da teoria de contato pneu-solo para determinação das relações entre forças normais, laterais e frontais atuantes nos pneus;

- Modelo matemático da dinâmica vertical: estudo de modelos matemáticos já existentes, verificação da adequação de modelos existentes e necessidades de modificações, elaboração do modelo matemático para estudo do movimento vertical do veículo;

- Modelo matemático da dinâmica longitudinal: estudo de modelos matemáticos já existentes, verificação da adequação de modelos existentes e necessidades de modificações, elaboração do modelo matemático para estudo do movimento longitudinal do veículo;

- Modelo matemático da dinâmica lateral: estudo de modelos matemáticos já existentes, verificação da adequação de modelos existentes e necessidades de modificações, elaboração do modelo matemático para estudo do movimento lateral do veículo;

- Modelo matemático da dinâmica do fluido: estudo de modelos matemáticos já existentes, verificação da adequação de modelos existentes e necessidades de modificações, elaboração do modelo matemático para o movimento do fluido no tanque;

- Modelo matemático completo: inserção do modelo de movimento do fluido nos modelos dinâmicos do veículo, elaboração do modelo matemático completo pela junção dos modelos separados;

- Elaboração do código para simulação numérica: seleção de software para a simulação numérica, seleção do método numérico mais adequado, elaboração do código;

- Simulação e interpretação dos resultados: definição dos parâmetros a serem utilizados nas simulações, definição dos parâmetros a serem variados para estudo, realização das simulações, discussão e interpretação dos resultados;

- Desenvolvimento do programa: desenvolvimento do código e de uma interface amigável para um programa de avaliação de estabilidade;

- Confecção do texto: confecção do texto;

- Preparação da apresentação: elaboração dos slides para apresentação à banca de avaliação.

Um novo cronograma, mais detalhado, foi preparado. Ele pode ser visto na Figura 5.
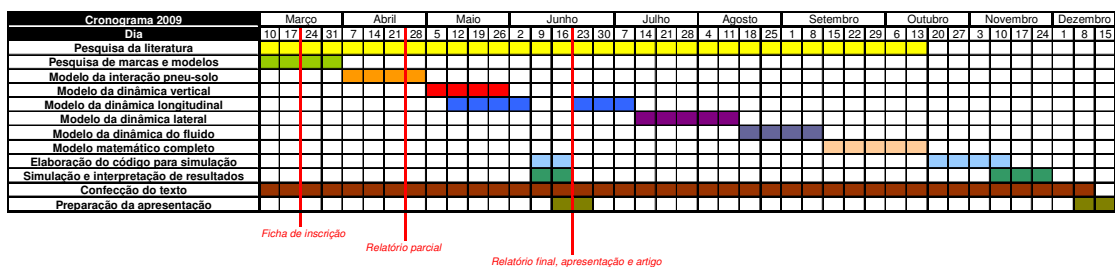
Figura 5 - Segundo Cronograma

Após a primeira apresentação do trabalho, ao final do primeiro semestre, foi sugerida pelo professor convidado e ratificada pelo professor orientador a mudança do escopo do trabalho. Foi ressaltada a complexidade do modelo atingido ao final do primeiro semestre e considerou-se muito amplo o escopo inicialmente proposto pelo trabalho. Decidiu-se então pela limitação do trabalho apenas ao modelo de dinâmica longitudinal e vertical do caminhão e pela inclusão de uma revisão bibliográfica sobre os modelos já existentes para o efeito slosh. Assim, chegou-se a um novo cronograma, mostrado na Figura 6.
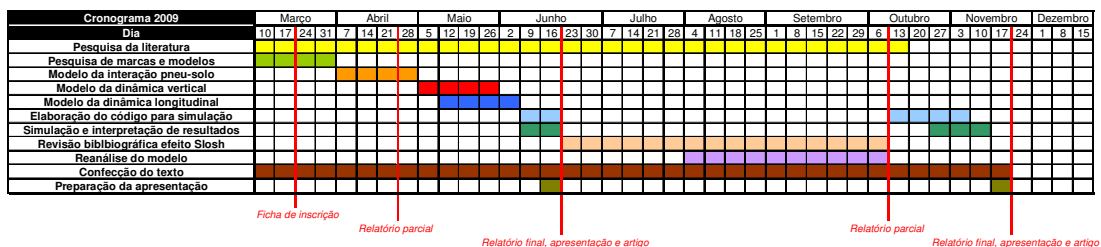
Figura 6 - Cronograma Final

3.2 Mercado de caminhões

De acordo com o Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres de 2008, produzido pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), os principais fabricantes de caminhões pesados no Brasil são:

- Ford Motor Company Brasil Ltda.
- International Caminhões do Brasil

- Iveco Mercosul Ltda.
- Mercedes-Benz do Brasil Ltda.
- Scania do Brasil Ltda.
- Volkswagen do Brasil Ltda.
- Volvo do Brasil Ltda.

Já os principais fabricantes de carrocerias-tanque são:
- Tankar
- Facchini
- Tankspar
- Gotti
- Bozza
- Gascom
- Loranda
- Rodatank
- Morales
- Tanesfil
- São José
- Limeira
- Santo Antônio

Os caminhões-tanque, especificamente, são encontrados normalmente em três variações. A mais simples é a do caminhão tanque não-articulado. Sua capacidade de transporte varia entre 2.000 e 16.000 litros, dependendo do tamanho do caminhão e do tanque. Um exemplo de caminhão deste tipo pode ser visto na Figura 7.
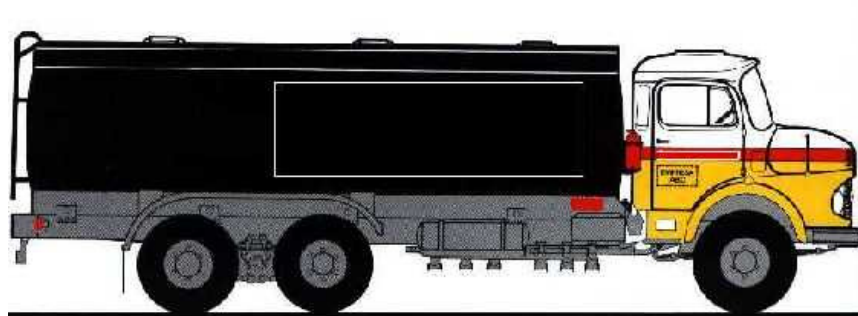
Figura 7 - Caminhão-tanque não-articulado[*]

O segundo tipo encontrado é o caminhão-tanque articulado, como o ilustrado na Figura 8. Tais caminhões apresentam uma capacidade de transporte de 23.000 a 45.000 litros.

Figura 8 - Caminhão-tanque articulado*

O terceiro tipo refere-se aos caminhões-tanque bi-articulados. Um exemplo destes caminhões pode ser visto na Figura 9. São os caminhões com maior capacidade de transporte. O volume transportado pode chegar a 66.000 litros, dependendo do modelo.

---

[*] Fonte: http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/liquidos/oleocomb/oleos.htm. Acesso em 30/03/2009.

Figura 9 - Caminhão-tanque bi-articulado[*]

Cada caminhão possui características diferentes. Para o trabalho, foi selecionado o caminhão-tanque articulado, como o mostrado na Figura 8.

3.3 Quinta-roda e pino-rei

A articulação entre cavalo-mecânico e carreta é realizada pelo mecanismo de quinta-roda e pino-rei.

---

[*] Fonte: http://www.mercedes-benz.com.br. Acesso em 30/03/2009.

Figura 10 - Pino-rei e quinta-roda[*]

Este mecanismo proporciona a sustentação necessária da carreta pelo apoio da mesa do pino-rei sobre a mesa da quinta-roda. Já a tração do cavalo-mecânico sobre a carreta é realizada pelo pino propriamente dito. A mesa da quinta-roda permite rotação sobre seu eixo transversal enquanto o pino-rei pode girar ao redor de seu eixo de simetria. Assim, a carreta pode fazer o movimento de rotação ao redor dos eixos y e z, conforme a Figura 11. Estes são os movimentos necessários para a realização de curvas e para compensação dos movimentos de "pitch", tanto do cavalo quanto da carreta. Para mecanismos deste tipo, são transmitidas forças em todas as direções, além de momentos na direção x.

---

[*] Fonte: http://www.jost.com.br. Acesso em 30/03/2009.
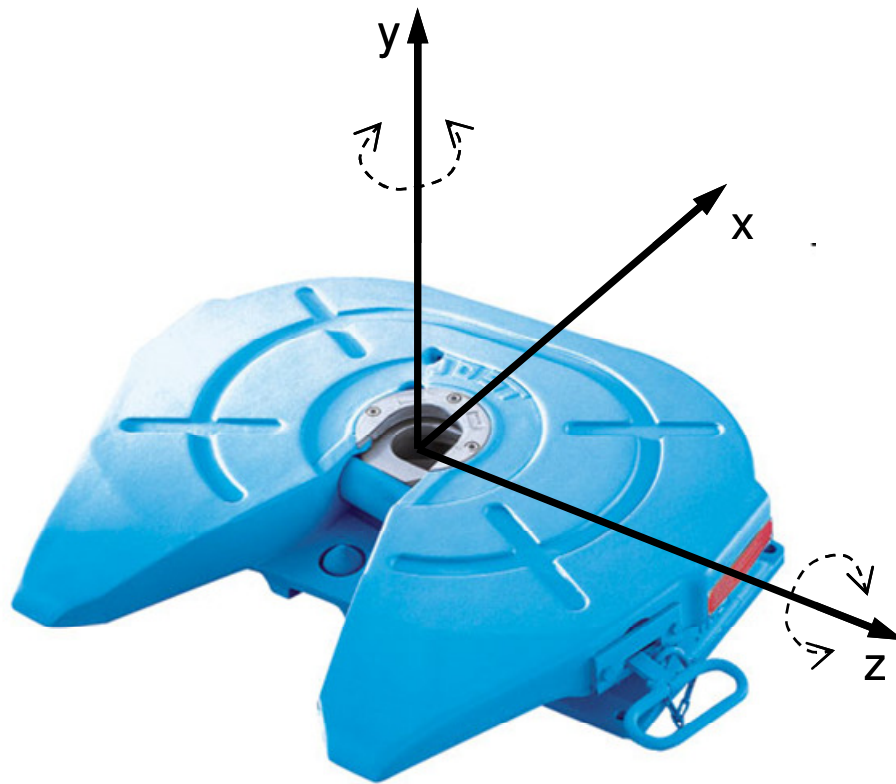
Figura 11 - Movimentos da quinta-roda

3.4 *Fixação do tanque*

Os tanques têm a sua estrutura rígida, pouco flexível. Por este motivo sua fixação ao chassi do caminhão deve permitir uma certa liberdade de movimentação. Se a fixação entre o tanque e as longarinas fosse rígida (grampos ou talas em toda extensão), surgiriam dois problemas: o chassi do caminhão ficaria enrijecido com prejuízo para a tração, a estabilidade, a distribuição de esforços e equilíbrio nas frenagens; e o tanque teria a sua estrutura submetida a esforços do chassi na tentativa de flexão, que poderiam provocar rachaduras e vazamentos. Assim, sugere-se que a estrutura do tanque seja fixada na região dos eixos traseiros por placas ou talas e nas regiões dianteiras e traseiras por consoles elásticos ou molas.

3.5 Suspensão

Dentre todos os catálogos analisados, observou-se que o sistema de suspensão mais utilizado, tanto para o cavalo quanto para a carreta é o sistema com feixe de molas semi-elípticas, com amortecedores de dupla ação e barra estabilizadora. Para a carreta, é utilizada a suspensão tandem, que tem funcionamento diferente das suspensões comuns.

3.6 Geometria do tanque

A geometria do tanque varia enormemente, sendo que cada fabricante possui formatos próprios. Mesmo para tanques de um mesmo fabricante, há variação de perfil dentre os modelos. As influências do formato e das divisões internas do tanque na dinâmica do caminhão serão analisadas quando da formulação do modelo matemático.

3.7 Critérios de avaliação dinâmica

Os critérios de avaliação são matematicamente formulados em relação aos movimentos principais. Muitos dos critérios de avaliação são de difícil formulação matemática e, como conseqüência desta dificuldade, são avaliados empiricamente.

Para o movimento longitudinal, os critérios são a velocidade máxima, a capacidade de subida e a aceleração. Estes critérios são amplamente conhecidos e não necessitam explicações mais detalhadas. Seus valores são definidos em projeto e não há necessidade de avaliação empírica. Experimentos podem ser realizados numa fase de prototipagem, para otimização e adequação do projeto aos pré-requisitos.

Para a avaliação do movimento lateral, o critério decisivo é a estabilidade. Espera-se que o sistema de direção possibilite ao veículo seguir, com segurança, qualquer caminho determinado pelo motorista. Esta expectativa dá origem a um problema de estabilidade que pode ser solucionado com ajuda da avaliação dinâmica. Matematicamente, o critério traduz-se na disponibilidade de forças laterais nos pneus para a realização de manobras e na avaliação da influência de um incremento no ângulo de direção na estabilidade do veículo em curvas.

Para o movimento vertical, são importantes os critérios de conforto e segurança. Os conjuntos de suspensão devem amortecer, de forma confortável, os impactos gerados pelas imperfeições na pista. Além disto, as forças de peso e forças normais devem ser transmitidas sem oscilações significativas para o solo, de forma que nos pontos de contato sejam sempre garantidas as forças suficientes para a segurança do veículo durante manobras.

Além dos movimentos principais, são também importantes as forças estáticas e dinâmicas atuantes nos componentes mecânicos. Destas forças depende a vida útil das peças que compõem o veículo. O modelo dinâmico permite, com certas restrições, a determinação das forças externas e internas atuantes.

3.8 Modos de instabilidade de veículos articulados

Segundo ESHLEMAN; DESAI (1972), os veículos articulados apresentam dois modos de instabilidade comuns:

- Acotovelamento ("*Jackknifing*");
- Balanço lateral da unidade rebocada ("*Trailer swing*").

VKL (1982) apud GUTIÉRREZ (1999) cita ainda um terceiro modo de instabilidade:

- Oscilação de arrasto da unidade rebocada ("*Snaking oscillation*" ou "*flutter*").

O "jackknifing" ocorre quando o cavalo-mecânico gira ao redor do pino-rei devido a uma falta de força lateral nos seus pneus traseiros. Já o "trailer swing" é caracterizado por um grande ângulo de yaw, que é o ângulo formado entre o cavalo-mecânico e a carreta. Este fenômeno resulta de uma perda parcial de força lateral nas rodas da carreta. O "flutter" seria uma oscilação com efeito semelhante ao Trailer swing, porém com menor intensidade e movimento alternado.
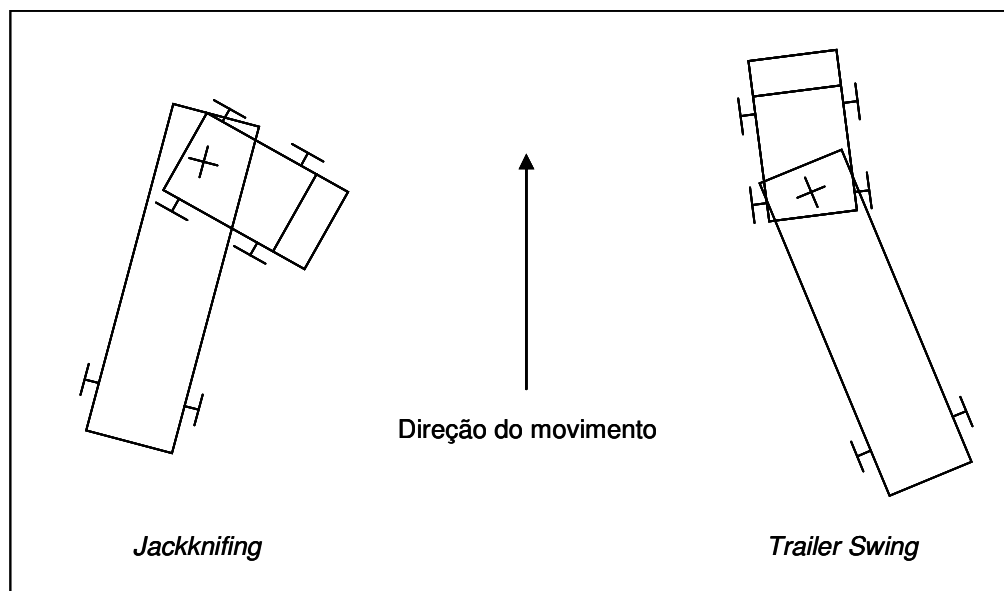
Figura 12 - Modos de instabilidade de veículos articulados

De qualquer modo, a perda repentina ou falta de força lateral suficiente nos pneus é a causa de instabilidade em veículos articulados. Esta condição pode ocorrer quando o pneu atinge o limite de força transmissível, devido à interação pneu-solo. É difícil se estabelecer um ângulo de yaw admissível para veículos articulados. Sabe-se porém que, mesmo que controláveis, as instabilidades causadas pelo crescimento do ângulo são fortemente indesejadas. Alguns dados publicados por MIKULCIK (1971) apud ESHLEMAN; DESAI (1972) ilustram a séria natureza desta ocorrência. Para que se tenha idéia da rapidez com que este fenômeno ocorre, para uma entrada de 4,29° no ângulo de direção, o jackknifing começa a ocorrer após 1,6 s, quando o ângulo de yaw é de 10° e sua taxa de crescimento é de 2,28°/s. Apenas 1 segundo depois, o ângulo de yaw já é de 20,5° e a taxa de crescimento é de 20,2°/s.

3.9 Modelagem matemática

3.9.1 Introdução

A modelagem dinâmica de veículos de estrada é uma tarefa complexa e desafiadora, devido às não-linearidades e à grande variedade de parâmetros envolvidos no movimento realizado. No estudo proposto, o primeiro passo é a diferenciação dos três movimentos possíveis:

- Movimento longitudinal (Aceleração e frenagem);
- Movimento lateral (Curvas e manobras);
- Movimento vertical (Amortecimento e suspensão).

Apesar de serem estudados de forma separada, os movimentos estão acoplados. Isto é natural, pois todas as equações resultam dos balanços de forças em um mesmo corpo. Para o equacionamento em cada direção, é necessária a avaliação das forças externas atuantes sobre o caminhão. As não-linearidades presentes nas relações de força pneu-solo e nas forças aerodinâmicas revelam a complexidade do problema.

Devem ser estabelecidos ainda critérios para a avaliação dinâmica do veículo, de forma a caracterizar o veículo como seguro ou inseguro, por exemplo. São estes os critérios que serão avaliados durante a simulação do caminhão, possibilitando a geração de conclusões.

3.9.2 Interação pneu-solo

O processo de modelagem das propriedades dos pneus é diferente, dependendo do fim desejado. Basicamente, diferenciam-se os modelos de pneus:

- Para dinâmica lateral e longitudinal, isto é, para pesquisas sobre estabilidade em manobras quase-estáticas ou dinâmicas;
- Para dinâmica vertical, isto é, para pesquisas sobre conforto.

Para a dinâmica lateral e longitudinal, o desafio é determinar, para dada situação, o coeficiente de atrito. Se forem conhecidos o coeficiente de atrito e a força normal atuante no pneu, será possível determinar a força lateral ou longitudinal atuante, pois:

$$F_{at} = \mu \cdot F_N \tag{1}$$

Uma das maneiras mais complicadas de modelar um pneu se dá pela tentativa de entender todos os fenômenos envolvidos na relação pneu-solo para, então, criar uma equação matemática que dependa das propriedades relevantes, e que descreva genericamente as relações matemáticas envolvidas. Neste tipo de modelagem, seriam dadas, por exemplo, as dimensões principais do pneu, as propriedades físicas do material de composição e a pressão de trabalho do mesmo. Um conjunto de equações seria então utilizado para prever o comportamento do pneu. Mesmo sem um pneu real e sem o estudo prévio de pneus semelhantes, seu comportamento já poderia ser previsto.

Para que tal modelagem seja possível, a dinâmica do contato entre pneu e solo deve ser completamente compreendida. Para isso, alguns modelos físicos foram desenvolvidos. O modelo físico mais comumente utilizado para descrever o comportamento da borracha é conhecido como "modelo de escova". Neste modelo, o pneu é representado por uma escova rotativa.
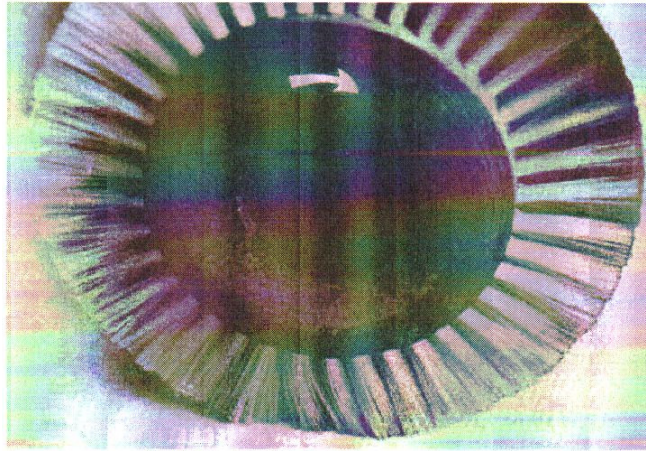
Figura 13 - Modelo de "escova"

Após muitos estudos sobre esta interação, constatou-se que o coeficiente de atrito depende de vários fatores, como:

- Tipo de roda;
- Perfil do pneu;
- Tipo de estrada;
- Condição da estrada (seca, molhada, etc.);
- Velocidade;
- Temperatura;
- Carga normal no pneu.

Como se pode observar, seria muito difícil modelar de forma genérica todas as características de um conjunto roda-pneu-carro-estrada. Além disso, as borrachas utilizadas apresentam comportamento não-linear e as tecnologias e materiais utilizados variam fortemente. Outra dificuldade se deve à característica de fenômeno de superfície observada na interação. O trabalho de modelagem matemática é então facilitado quando curvas obtidas através de medições são aproximadas por funções matemáticas. Com isso, não são necessários outros conhecimentos das complexas propriedades dos pneus.

Através de hipóteses de semelhança, estendem-se estas relações obtidas para outros valores de parâmetros. Tais modelos poderiam ser designados modelos empíricos.

O objetivo final da modelagem da relação pneu-solo é a obtenção das forças lateral e longitudinal em função das variáveis de entrada (ângulo de direção e torque aplicado na roda, por exemplo) ou das variáveis de estado (velocidades e acelerações do veículo, por exemplo) do modelo dinâmico. Os modelos mais comuns relacionam o coeficiente de atrito ao escorregamento observado no pneu. Em termos longitudinais, o escorregamento é definido em função da velocidade do solo e a velocidade do ponto do pneu que está em contato com ele. Matematicamente, sendo ω a velocidade de rotação da roda, r_e o raio efetivo da roda (considerando deformação do pneu) e v_c a velocidade absoluta do veículo, a definição difere para aceleração e para frenagem:

Aceleração $$s_A = \frac{\omega \cdot r_e - v_c}{\omega \cdot r_e} \qquad (2)$$

Frenagem $$s_F = \frac{v_c - \omega \cdot r_e}{v_c} \qquad (3)$$

De acordo com esta definição, os casos particulares se dão para s_A ou s_F iguais a 0 (rolagem pura), para s_A=1 (roda deslizando livremente em aceleração) e s_F=1 (roda totalmente travada).

Como alternativa dos modelos puramente empíricos, existem os modelos semi-empíricos. Tais modelos levam em consideração, durante as extrapolações, o amplo conhecimento já existente do comportamento dos pneus. Um modelo deste tipo é conhecido como "Fórmula mágica" e foi desenvolvido pelo Prof. Pacejka, na Universidade Técnica de Delft, em 1987. A fórmula não só descreve de maneira simples todas as características do pneu, como também é construída de maneira que cada coeficiente possa ser interpretado fisicamente. A fórmula é:

$$\mu(s) = D \cdot sen(C \cdot \arctan(B \cdot s - E(B \cdot s - \arctan(B \cdot s)))) \qquad (4)$$

, onde μ representa o coeficiente de atrito e s representa o escorregamento do pneu. Esta função matemática descreve uma curva que passa pela origem, atinge um máximo e então decresce aproximando-se assintoticamente de uma reta decrescente.
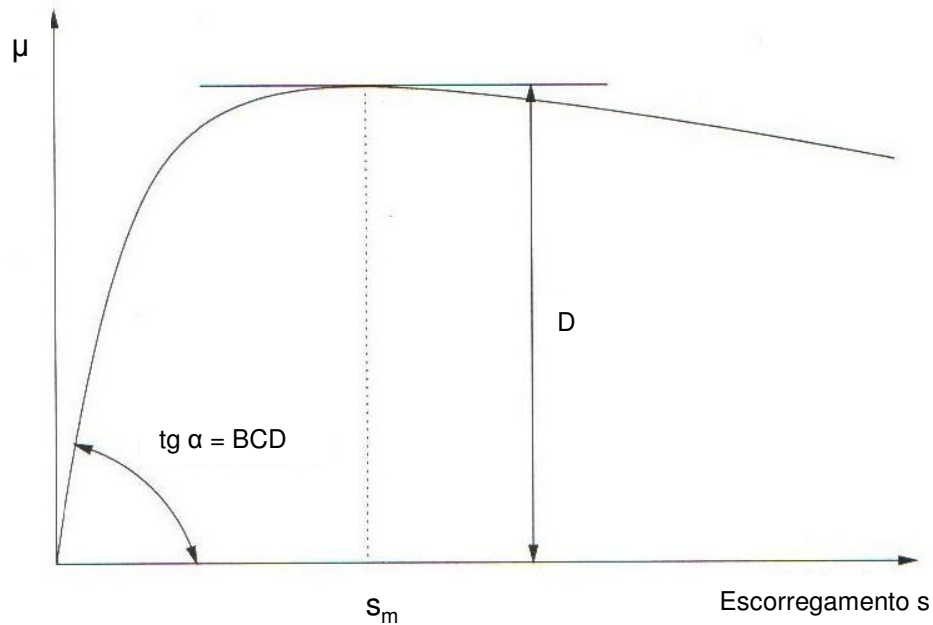
Figura 14 - Significado dos parâmetros da fórmula

O valor máximo atingido pela curva, que é chamado de μ_{max} em curvas reais, é dado pelo fator D, enquanto o produto BCD representa o coeficiente da reta na origem. Para o caso de movimento puramente longitudinal, por exemplo, este coeficiente de reta é conhecido como rigidez de força longitudinal e estabelece a relação entre a força longitudinal no pneu e o escorregamento nesta direção. O fator C determina o limite do argumento da função seno e estabelece, assim, se a curva caracteriza uma função de força longitudinal, lateral ou de momento restaurador. Para força longitudinal, C tem um valor aproximado de 1,65. Com D e C determinados, B resta para estabelecer o valor da rigidez de força. O valor de E determina a curvatura da curva, fixados o valor máximo e o coeficiente de reta da origem. Em outras palavras, E determina o valor para o qual μ_{max} é atingido e pode ser calculado por:

$$E = \frac{B \cdot s_{max} - \tan\left(\dfrac{\pi}{2C}\right)}{B \cdot s_{max} - \arctan(B \cdot s_{max})} \tag{5}$$

Os coeficientes podem ser chamados então de:

- B: coeficiente de rigidez;
- C: fator de forma;
- D: fator de valor máximo;
- E: fator de curvatura.

Um modelo deste tipo será utilizado no modelo, por representar de forma fiel toda a curva do coeficiente de atrito em função do escorregamento. Curvas típicas de escorregamento para diferentes tipos de solo têm a forma semelhante às das mostradas na Figura 15. O modelo será feito, entretanto, considerando apenas a condição de asfalto seco.

Condições normais de viagem apresentam escorregamento entre 3% e 10%, o que está dentro da faixa linear da curva. Observa-se ainda que para uma roda travada, a força transmitida não é a máxima possível. Assim, é desejável que se mantenha o escorregamento máximo na faixa dos 20% a 30%. Durante uma situação extrema e na ausência de sistemas ABS, porém, o travamento pode ocorrer, limitando a força máxima transmitida. Serão feitos estudos para as situações mais relevantes de frenagem e aceleração.
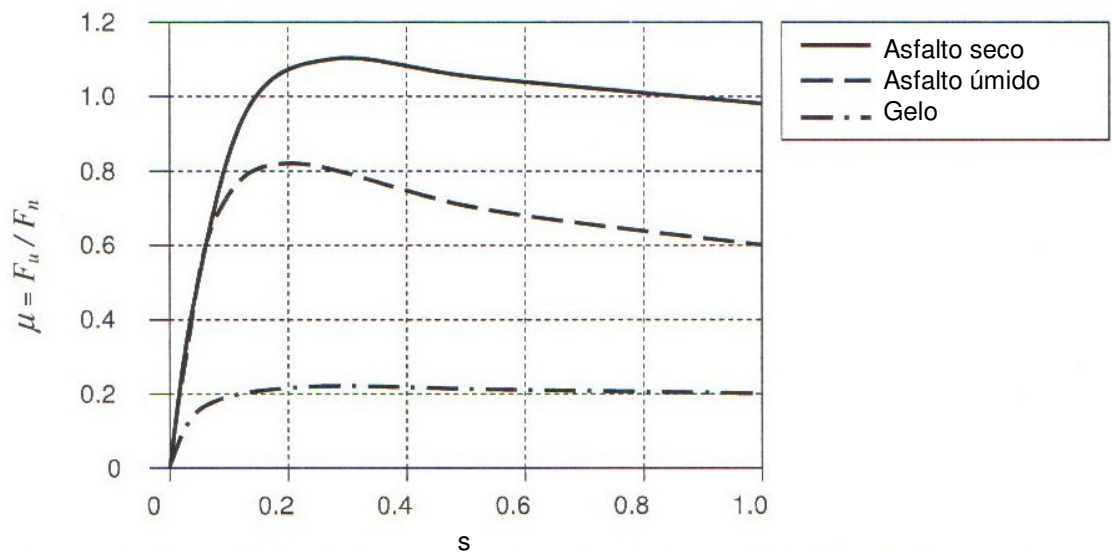
Figura 15 - Curva típica μ(s)

A Figura 16 mostra uma curva real de um pneu radial de caminhão.
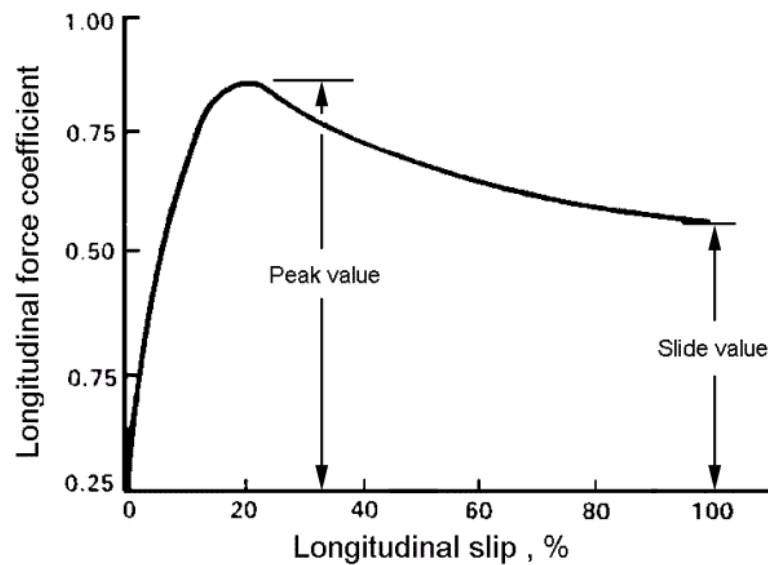
Figura 16 - Curva real de pneu radial[*]

Para esta curva tem-se, de acordo com a eq. (5):

---

[*] Fonte: www.tut.fi/plastics/tyreschool/moduulit/moduuli_10/hypertext/3/3_1.html#3_1_9. Acesso em 05/06/2009.

$$D = 0,88$$

$$C = 1,65$$

$$B = \frac{\tan \alpha}{C.D} = \frac{\left(\dfrac{0,50}{5}\right)}{0,88 \cdot 1,65} = 0,069$$

$$s_{\max} = 20 \Rightarrow E = \frac{0,069 \cdot 20 - \tan\left(\dfrac{\pi}{2 \cdot 1,65}\right)}{0,069 \cdot 20 - \arctan(0,069 \cdot 20)} = -0,056$$

Logo, da eq.(4), calcula-se a função a ser utilizada nos cálculos da força do pneu:

$$\mu(s) = 0,88 \cdot sen(1,65 \cdot \arctan(0,069 \cdot s + 0,056 \cdot (0,069 \cdot s -$$

$$\arctan(0,069 \cdot s)))) \qquad (6)$$

No caso de o escorregamento longitudinal e um ângulo de curva acontecerem simultaneamente, a determinação das forças longitudinais e laterais também obedece a relações matemáticas. Uma teoria que busca descrever estas relações é o círculo de Kamm. Esta teoria se baseia na idéia de uma força resultante máxima possível de ser transmitida pelo pneu e de que as forças máximas laterais e longitudinais são igualmente grandes. A soma dos vetores que representam as duas forças (na direção longitudinal e na direção lateral) deve então estar dentro de um círculo de raio igual à máxima força possível de ser transmitida. Na Figura 17, o círculo interno representa o atrito dinâmico e o externo, o atrito estático. Observa-se que o raio deste círculo depende do coeficiente de atrito e da força normal atuante no pneu.
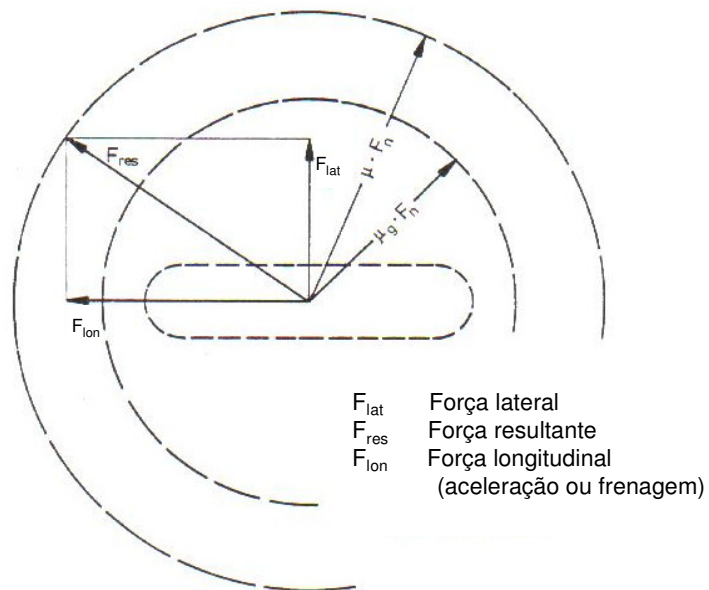
Figura 17 - Círculo de Kamm

Como a força máxima admissível é diferente nas duas direções, esta teoria evoluiu para uma elipse. A Figura 18 ilustra a elipse que determina as forças disponíveis, para um dado coeficiente de atrito. Observa-se que, quanto maior a força normal no pneu, maiores as forças laterais e longitudinais necessárias para fazer com que o pneu derrape.
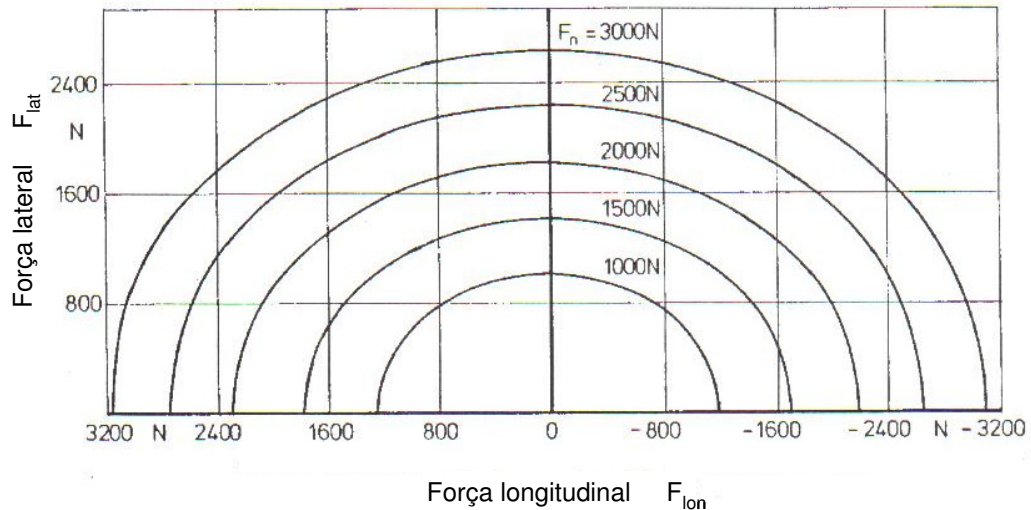
Figura 18 - Elipse de forças

3.9.3 Movimento vertical/longitudinal

Na criação do modelo matemático para o movimento longitudinal do veículo, é necessária a listagem de todas as forças que o influenciam. Estas forças são:

- Força motora ou de frenagem;
- Força de resistência à rolagem;
- Forças aerodinâmicas
- Forças internas.

O modelo de cada uma destas forças é melhor descrito nas seções seguintes.

3.9.3.1 Força motora ou de frenagem

As forças de frenagem e de aceleração serão modeladas como um torque atuante diretamente na roda. Assim, o modelo considera como positivo um momento de

aceleração aplicado na roda e como negativo um momento de frenagem aplicado na roda.

3.9.3.2 Força de resistência à rolagem

A força de resistência à rolagem aparece a partir do momento em que o veículo começa a se locomover. As deformações sofridas pelos pneus fazem com que haja uma perda de energia inerente ao movimento. Apesar da alta complexidade do fenômeno, segundo GILLESPIE (1992), a força total pode ser modelada em função do peso do veículo e de um coeficiente de resistência à rolagem, f_r.

$$R_x = f_r.P \tag{7}$$

Neste tipo de modelo, a força atua diretamente no centro de massa do veículo e o efeito da transferência de peso devido a acelerações não é levado em conta. Um modelo mais preciso leva em conta forças individuais de resistência à rolagem atuando em cada roda separadamente.

$$R_i = f_r.N_i \tag{8}$$

Este coeficiente de resistência à rolagem é um adimensional que expressa os complexos efeitos da interação pneu-solo. Alguns dos principais fatores que o influenciam são:

- Temperatura do pneu;
- Pressão do pneu;
- Tipo de solo;
- Velocidade;
- Material e formato do pneu;

- Escorregamento.

Para efeitos de modelagem dinâmica do veículo como um todo, pode-se considerar uma temperatura de trabalho estabilizada (tempo de viagem maior que 20 minutos), uma pressão de trabalho constante, e asfalto como tipo de solo. Assim, varia-se somente a velocidade do veículo. Uma equação que relaciona f_r com a velocidade, para veículos pesados, foi proposta por CLARK (1974) apud GILLESPIE (1992):

$$f_r = 0.0041 + 0.000092 \cdot V \qquad \text{Pneus radiais} \qquad\qquad (9)$$

$$f_r = 0.0066 + 0.0001 \cdot V \qquad \text{Pneus bias-ply} \qquad\qquad (10)$$

Nesta fórmula, V representa a velocidade do veículo, em m/s. Deseja-se ainda modelar esta força de forma que ela surja apenas quando o veículo estiver em movimento.

Um modelo alternativo clássico é o do deslocamento da força normal atuante no pneu, como proposto por POPOV et al. (2003) apud MIÉGE; POPOV (2004). Este modelo é mostrado na Figura 19. Ele considera a força normal atuante sempre com um deslocamento longitudinal "e", de forma que é gerado um momento contrário ao movimento de rolagem. O efeito é o mesmo da modelagem por força atuante no centro da roda, ou seja, frear o conjunto roda/pneu.
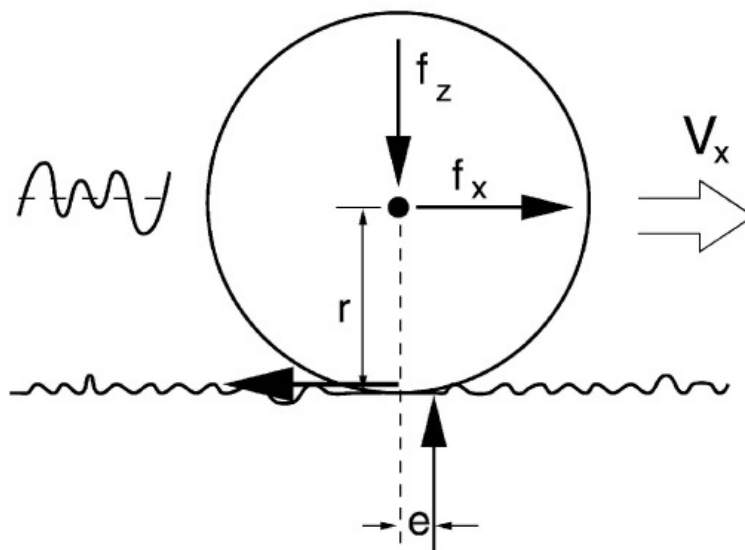
Figura 19 - Modelo de força de resistência à rolagem

Este modelo foi selecionado, por ser mais coerente com o efeito real causador da resistência à rolagem. Como não foi encontrada na literatura uma função que relacionasse o braço "*e*" e a velocidade do veículo, foram testadas algumas funções na fase de simulação, com os coeficientes obedecendo a proporção mostrada na eq.(9). Assim, para testar o modelo será usada a função mostrada na eq.(11):

$$e = 0.05 + 0.001 \cdot \dot{x} \tag{11}$$

Na etapa de simulação, serão testados múltiplos destes coeficientes, de forma a encontrar os coeficientes que melhor se aderem a dados reais.

3.9.3.3 Forças aerodinâmicas

Como resultado da interação da corrente de ar com o veículo, são impostas forças e momentos aerodinâmicos. Estas são:

- Força de arrasto;

- Força lateral;
- Força de sustentação (lift);
- Momento de rolagem (eixo longitudinal);
- Momento de pitch (eixo transversal);
- Momento de yaw (eixo vertical).

Para o estudo do movimento vertical/longitudinal de um veículo, a componente mais significativa é a força de arrasto. A força de sustentação e o momento de pitch aparecem com maior intensidade em situações onde o veículo é equipado com aerofólios e, por isso, serão desprezados. A força de arrasto é dada por:

$$R_{x,ar} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_A A \qquad\qquad (12)$$

, onde C_A é o coeficiente de arrasto e A é a área frontal.

Pesquisando-se a literatura, foram encontrados valores variados para o coeficiente de arrasto de caminhões. POTTER; WIGGERT (2004) fornecem um coeficiente de arrasto de 0,76 para caminhão com defletor e de 0,70 para caminhão com defletor e vedação. Os dados, porém, variam conforme os estudos, ficando dentro da faixa 0,7 – 1,06, como observado em MONTOYA; STEERS (1974) e ROY; SRINIVASAN (2000). HAMMACHE; BROWAND (2004) mostraram que o coeficiente de arrasto tem forte influência do tamanho do vão livre entre cavalo e carreta. Eles utilizam como parâmetro de estudo o "tamanho normalizado de vão", definido por $\dfrac{G}{\sqrt{A}}$, onde G é a largura do vão e A é a área frontal do caminhão. Para $\dfrac{G}{\sqrt{A}}$ menores do que 0,5, o coeficiente de arrasto se mantém aproximadamente constante. No intervalo entre 0,5 e 0,7, o coeficiente de arrasto da carreta aumenta abruptamente, devido à formação de vórtices no vão livre. Estes vórtices causam um aumento na força de arrasto da

carreta, o que é expresso pelo aumento do coeficiente de arrasto global do caminhão. Para o caminhão e a carreta selecionados, tem-se:

$$\left. \begin{array}{l} A = 2,486 \cdot 2,883 = 7,167 m^2 \\ G = 1,11 m \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{G}{\sqrt{A}} = \frac{1,11}{\sqrt{7,167}} = 0,41$$

Portanto, os vórtices não são formados no vão e pode-se considerar para os cálculos um coeficiente de arrasto relativamente baixo. Assim, será utilizado $C_A = 0,70$. HAMMACHE; BROWNAND (2004) mostram ainda que, para tal tamanho normalizado de vão, a força de arrasto divide-se em duas parcelas aproximadamente iguais para o cavalo e a carreta, como pode ser visto na Figura 20. Portanto, no modelo, a força será dividida em 50% para o cavalo e 50% para a carreta.
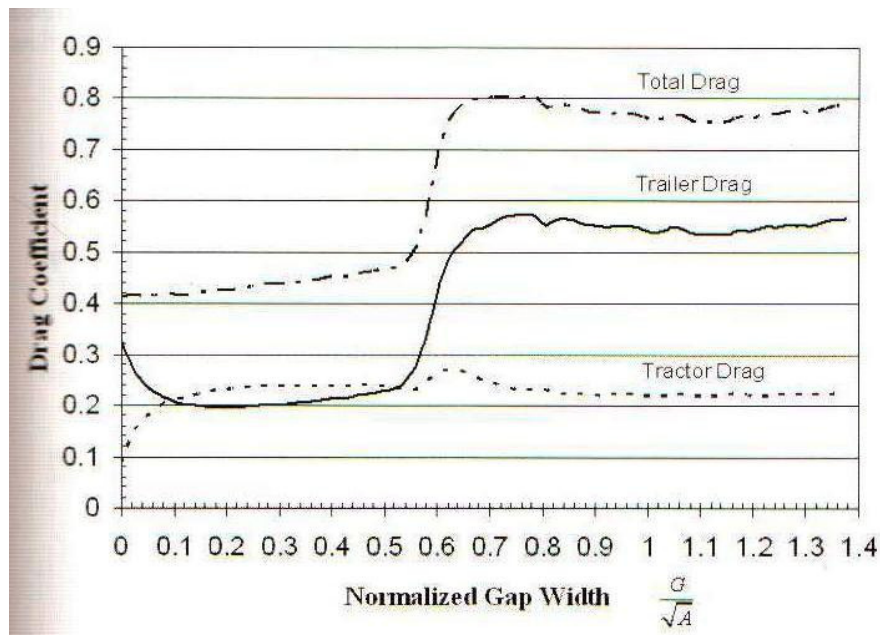
Figura 20 - Proporção das forças de arrasto

3.9.3.4 Modelo físico

A Figura 21 ilustra os modelos utilizados para cavalo e eixos dianteiros. A Figura 22 ilustra o modelo utilizado para a carreta e os eixos presos a ela.

Figura 21 - Modelo do cavalo e rodas
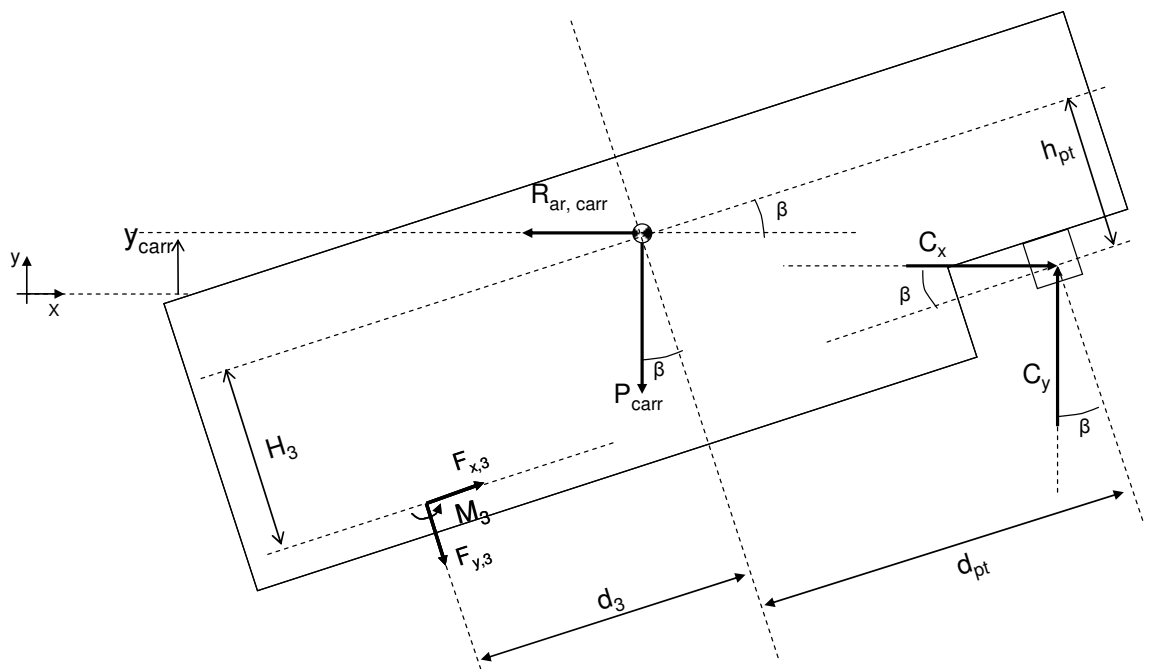
Figura 22 - Modelo da carreta

O modelo físico utilizado tem 12 graus de liberdade:

- x_{cav}: posição longitudinal do cavalo e dos dois eixos presos a ele. Esta coordenada é medida no referencial mostrado na figura, na direção x.
- x_{carr}: posição longitudinal do cavalo e dos três eixos presos a ele. Esta coordenada é medida no referencial mostrado na figura, na direção x.
- y_{cav}: posição vertical do cavalo, medido também no referencial mostrado na figura, na direção y;
- y_{carr}: posição vertical da carreta, medido também no referencial mostrado na figura, na direção y;
- y_1 e y_2: posição vertical dos eixos presos ao cavalo, sendo 1 o eixo da frente e 2 o de trás;
- y_3: posição vertical do eixo preso à carreta;
- α: ângulo de giro do cavalo, medido a partir da direção dada pelo eixo x mostrado na figura;

- β: ângulo de giro da carreta, medido a partir da direção dada pelo eixo x mostrado na figura;
- γ_1 e γ_2 : ângulo de giro dos eixos presos ao cavalo, sendo 1 o eixo da frente e 2 o de trás;
- γ_3: ângulo de giro do eixo preso à carreta.

As forças externas atuantes no modelo são:

- P_{cav}, P_{carr}, P_1, P_2 e P_3: força peso atuante em cada um dos corpos;
- $R_{ar,cav}$ e $R_{ar,carr}$: força de arrasto do ar, atuante na direção x, com sentido contrário ao movimento do veículo;
- N_1, N_2 e N_3: forças normais atuantes nos pneus. Correspondem à soma de todas as forças normais atuantes nos pneus de um mesmo eixo. Estas forças surgem devido à deformação do pneu e podem ser modeladas como a força gerada por uma mola (GILLESPIE, 1992);
- T_1, T_2 e T_3: forças de tração ou frenagem.

Por fim, as forças internas atuantes entre os corpos são:

- C_x e C_y: forças entre o cavalo e a carreta, transmitidas pelo mecanismo de quinta-roda e pino-rei;
- M_1, M_2 e M_3: momentos motores ou de frenagem aplicados diretamente nos eixos;
- $F_{x,i}$: são as forças longitudinais atuantes entre os eixos e o corpo que os prende (cavalo ou carreta). Para a suspensão por feixe de molas, a força é transmitida diretamente pelos parafusos de fixação;
- $F_{y,i}$: são as forças verticais atuantes entre os eixos e o corpo que os prende (cavalo ou carreta). A suspensão por feixe de molas faz ao mesmo tempo o papel

de mola e de amortecedor. Assim, o modelo utilizado para a medição destas forças é mostrado na Figura 23.
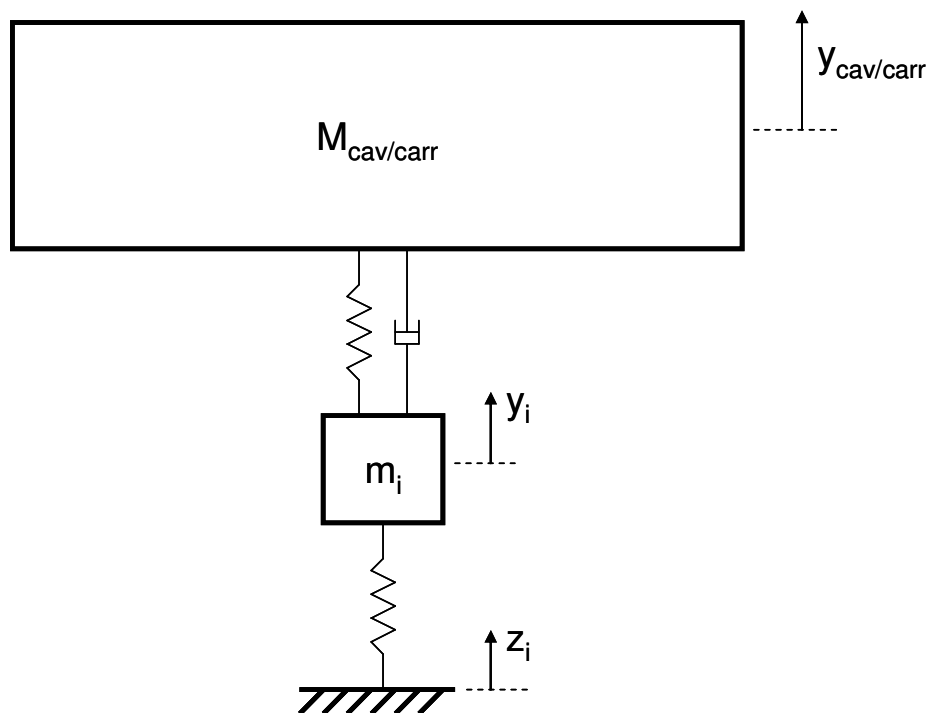
Figura 23 - Modelo da suspensão

3.9.3.5 Modelo dos pneus

Uma das maiores dificuldades da modelagem é a validade dos modelos adotados em função das condições do veículo. O pneu, por exemplo, quando está em contato com o solo, sofre ação da força normal e da força de tração. Caso o pneu suba a uma altura e o contato com o solo seja perdido, estas forças desaparecem. Tendo em vista estas descontinuidades existentes na vida real, foram feitos cinco modelos de pneus, que entram em ação dependendo dos valores das outras variáveis do modelo, como altura, velocidade, etc.

A primeira condição que foi colocada se refere ao momento aplicado aos eixos. O momento de frenagem age sempre nos sentido de travar o eixo. Assim, um momento negativo só atuará até o momento em que a velocidade de rotação do eixo for zero. Se a

velocidade de rotação for negativa, o momento deve se tornar positivo, de forma a frear o eixo. Assim, o momento a ser aplicado no modelo deve seguir as seguintes condições:

- Se $\dot{\gamma} \cdot r > 0 \Rightarrow M_{\text{mod}elo} = M$
- Se $\dot{\gamma} \cdot r \leq 0$ e $M \geq 0 \Rightarrow M_{\text{mod}elo} = M$
- Se $\dot{\gamma} \cdot r \leq 0$ e $M < 0 \Rightarrow M_{\text{mod}elo} = -M$

Para as forças atuantes nos pneus, foram colocadas 5 situações diferentes. Cada uma delas representa um modelo diferente, que é acionado dependendo das condições instantâneas do veículo. Condição I , válida para $\dot{x} \leq 0$, $y < 0$ e $\dot{\gamma} \cdot r > 0$:
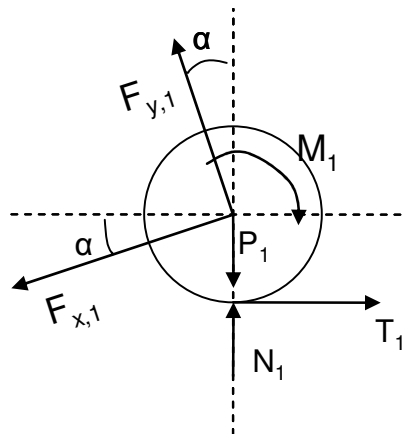
Figura 24 - Condição I – Modelo de Pneu

Condição II , válida para $\dot{x} \leq 0$, $y < 0$ e $\dot{\gamma} \cdot r \leq 0$:
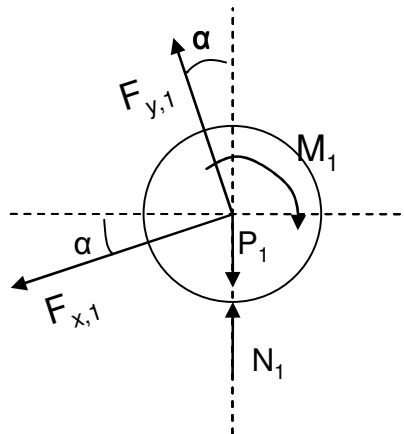
Figura 25 - Condição II – Modelo de Pneu

Condição III , válida para $\dot{x} \geq 0$ e $y \geq 0$:
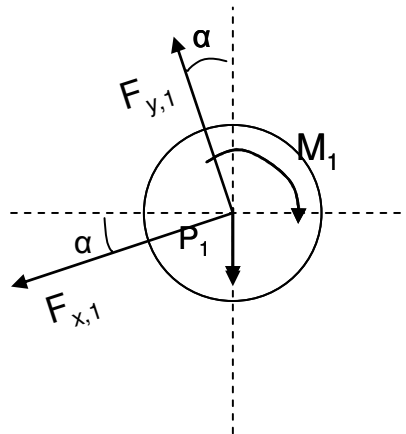
Figura 26 - Condição III – Modelo de Pneu

Condição IV , válida para $\dot{x} > 0$, $y < 0$ e $\dot{\gamma} \cdot r \geq \dot{x}$:
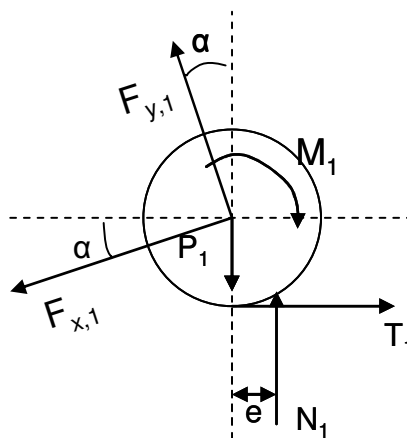
Figura 27 - Condição IV – Modelo de Pneu

Condição V , válida para $\dot{x} > 0$, $y < 0$ e $\dot{\gamma} \cdot r < \dot{x}$:
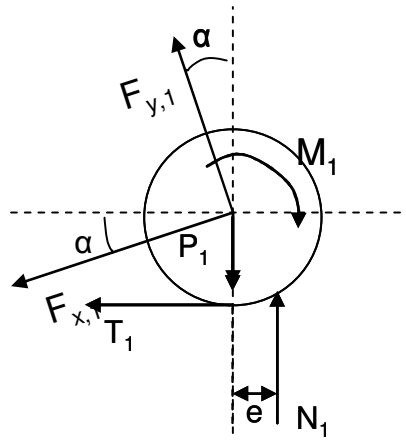
Figura 28 - Condição V – Modelo de Pneu

Como as forças atuantes variam para cada modelo, seriam necessário cinco modelos de equações diferentes para a simulação. Para evitar isto, foi criado um modelo matemático genérico para o pneu, no qual as forças atuantes são multiplicadas por fatores que podem assumir valores de 0, 1 ou -1, dependendo das condições existentes. Assim, realiza-se a manipulação matemática de um único conjunto de equações e a única coisa que varia durante a simulação é o valor destes fatores. Aplicando-se o TMB nas direções horizontal e vertical e o TMI no eixo, obtém-se o conjunto de equações genéricas:

$$m \cdot \ddot{x} = f_T \cdot T - F_x \cdot \cos\alpha - F_y \cdot sen\alpha \tag{13}$$

$$m \cdot \ddot{y} = f_N \cdot N + F_y \cdot \cos\alpha - F_x \cdot sen\alpha - P \tag{14}$$

$$I \cdot \ddot{\gamma} = M + f_R \cdot r \cdot T + f_E \cdot e \cdot N \tag{15}$$

Desta forma, tomando-se como base os modelos para cada condição apresentada acima, os fatores devem assumir os valores expostos na Tabela 2;

Tabela 2 - Valores dos Fatores

Condição	fT	fN	fR	fE
I	1	1	-1	0
II	0	1	0	0
III	0	0	0	0
IV	1	1	-1	-1
V	-1	1	1	-1

3.9.3.6 Cálculo do raio dos pneus

O catálogo do fabricante do caminhão informa o tamanho dos pneus utilizados. Será considerado o mesmo tamanho para todos os pneus, tanto do cavalo quanto da carreta. O modelo considerado será o *315/80 R 22.5*. Conforme a Figura 29, pode-se calcular o raio dos pneus:

$$2 \cdot r = D + 2 \cdot A \Rightarrow r = \frac{22,5 \cdot 0,0254 + 2 \cdot 0,8 \cdot 0,315}{2} \approx 0,53m \qquad (16)$$
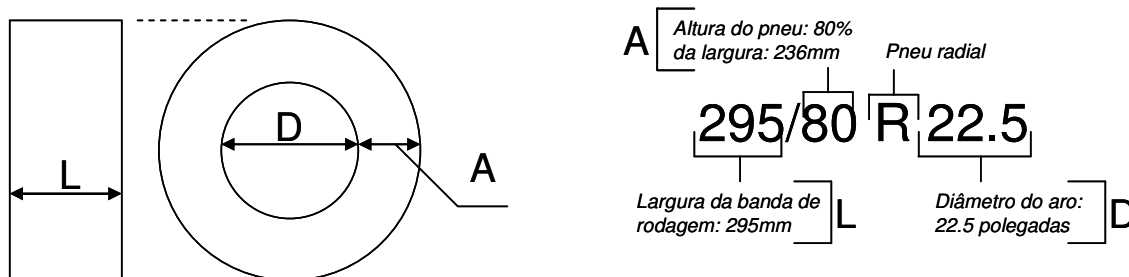
Figura 29 - Nomenclatura de pneus

3.9.3.7 Cálculo da posição do centro de massa

A posição do centro de massa do caminhão pode ser calculada facilmente com os dados do catálogo do fabricante. No catálogo, são dadas a distância entre eixos ($d_1+d_2=3,5m$), a tara no eixo dianteiro (4300kgf) e a tara no eixo traseiro (2160kgf). Com estes dados, fazendo-se o equilíbrio estático de momentos, tem-se:
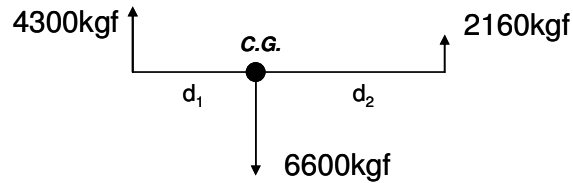
Figura 30 - Determinação da posição longitudinal do C.G.

$$\sum M_{eixo\_dianteiro} = 0 \Rightarrow 6600 \cdot d_1 = 2160 \cdot (d_1 + d_2) \Rightarrow$$

$$d_1 = \frac{2160 \cdot 3,5}{6600} = \frac{7560}{6600} \approx 1,15m \qquad (17)$$

Calcula-se então d_2 pela simples subtração de d_1 da distância entre eixos. Assim, d_2=2,35m.

3.9.3.8 Determinação das constantes do caminhão

Uma difícil tarefa na modelagem de veículos articulados pesados é a obtenção dos dados necessários para a criação do modelo. A quantidade de dados na literatura é relativamente escassa, sendo maior a quantidade de dados relativos a veículos de passeio. Alguns dados puderam ser obtidos diretamente dos catálogos dos fabricantes. Outros foram estimados com base em trabalhos semelhantes e outros foram ainda calculados com base em aproximações, como é o caso dos momentos de inércia dos eixos. As aproximações feitas foram:

- Momentos de inércia do cavalo e da carreta: foram estimados com base nos momentos de inércia de guinada fornecidos por GUTIÉRREZ (1999). Foi utilizada a proporção entre a massa do veículo estudado por GUTIÉRREZ e a massa do veículo escolhido no presente trabalho para se estimar o valor do momento de inércia;

- Momentos de inércia dos eixos: os eixos foram aproximados por cilindros e os conjuntos rodas/pneus foram aproximados por discos. Foram usadas massas e raios de mesma magnitude dos componentes reais;
- Altura do CG do cavalo: foi estimada com base nos dados fornecidos por GUTIÉRREZ (1999);
- Posição do CG da carreta: foi estimada com base nos dados fornecidos por GUTIÉRREZ (1999);
- Massa dos conjuntos eixo/roda/pneu: a massa dos pneus foi estimada em 70 kg e das rodas em 55 kg[*]. Foi considerado que o eixo dianteiro do cavalo tem somente um par de rodas, enquanto os outros eixos tem dois pares cada;
- Coeficientes de mola e de amortecimento para suspensão e pneus: foram tirados de YI; HEDRICK (1989). $N.m/s^2$.

A Tabela 3 apresenta os valores utilizados no modelo.

Tabela 3 - Constantes do modelo

Grandeza	Valor	Unidade	Fonte
m_{cav}	6660	kg	Catálogo Volvo
I_{cav}	22000	$N.m/s^2$	Estimado - Gutiérrez
m_{carr}	44360	kg	Catálogo Gotti
I_{carr}	200000	$N.m/s^2$	Estimado - Gutiérrez
m_1	325	kg	55kg/roda + 70kg/pneu
I_1	41	$N.m/s^2$	Aprox. roda por disco
m_2	650	kg	55kg/roda + 70kg/pneu
I_2	82	$N.m/s^2$	Aprox. roda por disco
m_3	650	kg	55kg/roda + 70kg/pneu
I_3	82	$N.m/s^2$	Aprox. roda por disco
m_4	650	kg	55kg/roda + 70kg/pneu
I_4	82	$N.m/s^2$	Aprox. roda por disco
d_1	1,15	m	Catálogo Volvo
H_1	0,5	m	Estimado - Gutiérrez
d_2	2,35	m	Catálogo Volvo
H_2	0,5	m	Estimado - Gutiérrez

[*] Fonte: www.pirelliclubtruck.com.br. Acesso em 29/05/09.

d_3	2,1	m	Estimado - Gutiérrez
H_3	0,785	m	Estimado - Gutiérrez
h_{pt}	2,2	m	Estimado - Gutiérrez
d_{pt}	6	m	Estimado - Gutiérrez
h_{pf}	0,2	m	Estimado - Gutiérrez
d_{pf}	1,875	m	Catálogo Volvo
ρ_{ar}	1,23	kg/m^3	Potter e Wiggert
C_a	0,7	-	Vários
A	7,167	m^2	Catálogo Volvo
k_1	350393	N/m	Yi; Hedrick
c_1	18250	N.s/m	Yi; Hedrick
k_2	350393	N/m	Yi; Hedrick
c_2	18250	N.s/m	Yi; Hedrick
k_3	350393	N/m	Yi; Hedrick
c_3	18250	N.s/m	Yi; Hedrick
k_{p1}	897007	N/m	Yi; Hedrick
k_{p2}	1794015	N/m	Yi; Hedrick
r	0,53	m	Catálogo Volvo

3.9.3.9 Equacionamento

As equações aplicadas são o TMB nas direções x e y e o TMA na direção z. Para cada corpo tem-se, então, 3 equações. O sistema é composto por cavalo, carreta e os 3 eixos, totalizando 15 equações.

Cavalo:

$$m_{cav} \cdot \ddot{x}_{cav} = (F_{x1} + F_{x2}) \cdot \cos\alpha + (F_{y1} + F_{y2}) \cdot sen\alpha - P_{cav} \cdot sen\theta - C_x - R_{ar,cav} \qquad (18)$$

$$m_{cav} \cdot \ddot{y}_{cav} = (-F_{y1} - F_{y2}) \cdot \cos\alpha + (F_{x1} + F_{x2}) \cdot sen\alpha - P_{cav} \cdot \cos\theta - C_y \qquad (19)$$

$$I_{cav} \cdot \ddot{\alpha} = H_1 \cdot F_{x1} + H_2 \cdot F_{x2} + C_x \cdot h_{pf} - d_1 \cdot F_{y1} + d_2 \cdot F_{y2} +$$
$$d_{pf} \cdot (C_y \cdot \cos\alpha - C_x \cdot sen\alpha) + h_{pf} \cdot (C_x \cdot \cos\alpha + C_y \cdot sen\alpha) + M_1 + M_2 \qquad (20)$$

Carreta:

$$m_{carr} \cdot \ddot{x}_{carr} = F_{x3} \cdot \cos\beta + F_{y3} \cdot sen\beta + C_x - P_{carr} \cdot sen\theta - R_{ar,carr} \qquad (21)$$

$$m_{carr} \cdot \ddot{y}_{carr} = -F_{y3} \cdot \cos\beta + F_{x3} sen\beta + C_y - P_{carr} \cdot \cos\theta \qquad (22)$$

$$I_{carr} \cdot \ddot{\beta} = H_3 \cdot F_{x3} + d_3 \cdot F_{y3} + d_{pt} \cdot \left(C_y \cdot \cos\beta - C_x \cdot sen\beta \right) +$$

$$h_{pt} \cdot \left(C_x \cdot \cos\beta + C_y \cdot sen\beta \right) + M_3 \tag{23}$$

Roda 1:

$$m_1 \cdot \ddot{x}_{cav} = f_{T1} \cdot T_1 - F_{x1} \cdot \cos\alpha - F_{y1} \cdot sen\alpha \tag{24}$$

$$m_1 \cdot \ddot{y}_1 = f_{N1} \cdot N_1 + F_{y1} \cdot \cos\alpha - F_{x1} \cdot sen\alpha - P_1 \tag{25}$$

$$I_1 \cdot \ddot{\gamma}_1 = M_1 + f_{R1} \cdot r \cdot T_1 + f_{E1} \cdot e \cdot N_1 \tag{26}$$

Roda 2:

$$m_2 \cdot \ddot{x}_{cav} = f_{T2} \cdot T_2 - F_{x2} \cdot \cos\alpha - F_{y2} \cdot sen\alpha \tag{27}$$

$$m_2 \cdot \ddot{y}_2 = f_{N2} \cdot N_2 + F_{y2} \cdot \cos\alpha - F_{x2} \cdot sen\alpha - P_2 \tag{28}$$

$$I_2 \cdot \ddot{\gamma}_2 = M_2 + f_{R2} \cdot r \cdot T_2 + f_{E2} \cdot e \cdot N_2 \tag{29}$$

Roda 3:

$$m_3 \cdot \ddot{x}_{caee} = f_{T3} \cdot T_3 - F_{x3} \cdot \cos\alpha - F_{y3} \cdot sen\alpha \tag{30}$$

$$m_3 \cdot \ddot{y}_3 = f_{N3} \cdot N_3 + F_{y3} \cdot \cos\alpha - F_{x3} \cdot sen\alpha - P_3 \tag{31}$$

$$I_3 \cdot \ddot{\gamma}_3 = M_3 + f_{R3} \cdot r \cdot T_3 + f_{E3} \cdot e \cdot N_3 \tag{32}$$

Há ainda duas equações referentes à quinta roda, que estabelece um ponto de contato entre cavalo e carreta. A Figura 31 mostra a configuração do conjunto cavalo, quinta-roda e carreta quando α=0 e β=0.
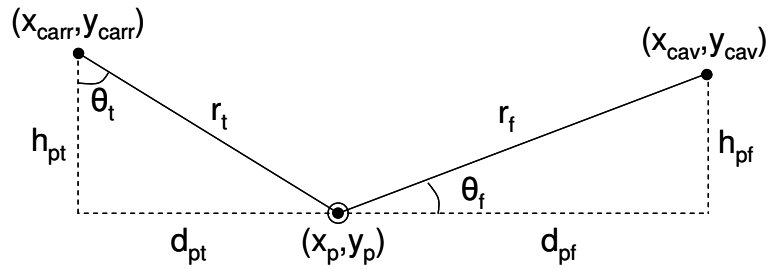
Figura 31 - Acoplamento cavalo-carreta: posição de equilíbrio

Da figura, percebe-se que:

$$r_t = \sqrt{{h_{pt}}^2 + {d_{pt}}^2} \tag{33}$$

$$\theta_t = \arctan\frac{d_{pt}}{h_{pt}} \tag{34}$$

$$r_f = \sqrt{{h_{pf}}^2 + {d_{pf}}^2} \tag{35}$$

$$\theta_f = \arctan\frac{h_{pf}}{d_{pf}} \tag{36}$$

A partir do momento que o cavalo e a carreta sofrem alguma rotação em torno do eixo de pitch, a configuração geométrica altera-se para a mostrada na Figura 32.
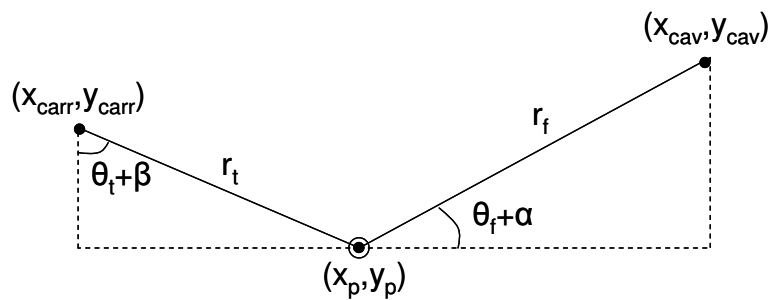
Figura 32 - Acoplamento cavalo-carreta: após rotação

Seguem então duas relações geométricas, em x e y, entre os centros de massa do cavalo e da carreta em função das variáveis do modelo. Primeiro, escrevendo a relação entre o CG da carreta e o ponto P, tem-se:

$$x_p = x_{carr} + r_t \cdot \sin(\theta_t + \beta) \tag{37}$$

$$y_p = y_{carr} - r_t \cdot \cos(\theta_t + \beta) \tag{38}$$

Analogamente, para o cavalo e o ponto P tem-se:

$$x_{cav} = x_p + r_f \cdot \cos(\theta_f + \alpha) \tag{39}$$

$$y_{cav} = y_p + r_f \cdot \sin(\theta_f + \alpha) \tag{40}$$

Substituindo-se as primeiras equações nas últimas:

$$x_{cav} = x_{carr} + r_t \cdot \sin(\theta_t + \beta) + r_f \cdot \cos(\theta_f + \alpha) \tag{41}$$

$$y_{cav} = y_{carr} - r_t \cdot \cos(\theta_t + \beta) + r_f \cdot \sin(\theta_f + \alpha) \tag{42}$$

Como se quer uma relação entre as acelerações, derivam-se as equações duas vezes em relação ao tempo:

$$\ddot{x}_{cav} = \ddot{x}_{carr} + r_t \cdot \ddot{\beta} \cdot \cos(\theta_t + \beta) - r_t \cdot \dot{\beta}^2 \cdot \sin(\theta_t + \beta) - r_f \cdot \ddot{\alpha} \cdot \sin(\theta_f + \alpha) -$$
$$r_f \cdot \dot{\alpha}^2 \cdot \cos(\theta_f + \alpha) \tag{43}$$

$$\ddot{y}_{cav} = \ddot{y}_{carr} + r_t \cdot \ddot{\beta} \cdot \sin(\theta_t + \beta) + r_t \cdot \dot{\beta}^2 \cdot \cos(\theta_t + \beta) + r_f \cdot \ddot{\alpha} \cdot \cos(\theta_f + \alpha) -$$
$$r_f \cdot \dot{\alpha}^2 \cdot \sin(\theta_f + \alpha) \tag{44}$$

Com estas duas equações, obtém-se, finalmente, um conjunto de 17 equações, que são dependentes:

- das variáveis referentes aos graus de liberdade (12 variáveis);
- das forças externas (forças peso, arrasto aerodinâmico, normais nos pneus e tração nos pneus);
- das forças internas;
- das constantes do modelo.

As forças externas podem ser todas escritas, para cada corpo i, em função das variáveis de estado, de entradas ou de constantes do modelo:

$$P_i = m_i \cdot g \tag{45}$$

$$R_{ar,i} = \rho_{ar} \cdot C_{A,i} \cdot A_i \cdot \frac{\dot{x}_i^{\,2}}{2} \tag{46}$$

$$N_i = k_p \cdot \left(y_i - z_i\right) \tag{47}$$

$$T_i = f\left(\dot{x}_i, \dot{\gamma}_i\right) \tag{48}$$

Da mesma forma, as forças internas podem ser escritas como:

$$F_{y,i} = k_i \cdot \left(y_{cav} \pm d_i \cdot \sin\alpha \pm y_i\right) + c_i \cdot \left(\dot{y}_{cav} \pm d_i \cdot \sin\alpha \pm \dot{y}_i\right), \text{ para a carreta;} \tag{49}$$

$$F_{y,i} = k_i \cdot \left(y_{carr} \pm d_i \cdot \sin\beta \pm y_i\right) + c_i \cdot \left(\dot{y}_{carr} \pm d_i \cdot \sin\beta \pm \dot{y}_i\right), \text{ para o cavalo;} \tag{50}$$

$$M_i = M_i(t), \text{ pois são entradas do modelo.} \tag{51}$$

Portanto, os únicos termos das equações que não são funções explícitas das variáveis de estado são as forças $F_{x,i}$, C_x e C_y, totalizando 5 forças. Assim, tem-se as 17 equações necessárias para determinar as 12 variáveis de estado e as 5 forças internas desconhecidas (12+5 = 17 incógnitas).

Deseja-se manipular as equações diferenciais de forma a se isolar as derivadas segundas e as forças internas desconhecidas. Para isso, as equações foram rearranjadas e colocadas na forma matricial $A \cdot x = B$, de forma a facilitar esta tarefa. Assim:

$$
A = \begin{bmatrix}
m_{cav} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\cos\alpha & -\cos\alpha & 0 & 1 & 0 \\
0 & m_{cav} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -sen\,\alpha & -sen\,\alpha & 0 & 0 & 1 \\
0 & 0 & I_{cav} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -H_1 & -H_2 & 0 & -h_{pf}\cdot\cos\alpha+d_{pf}\cdot sen\,\alpha & -d_{pf}\cdot\cos\alpha-h_{pf}\cdot sen\,\alpha \\
0 & 0 & 0 & m_{carr} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\cos\beta & -1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & m_{carr} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -sen\,\beta & 0 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{carr} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -H_3 & -h_{pt}\cdot\cos\beta+d_{pt}\cdot sen\,\beta & -d_{pt}\cdot\cos\beta-h_{pt}\cdot sen\,\beta \\
m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & sen\,\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\alpha & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & sen\,\alpha & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos\beta & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & sen\,\beta & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & 0 & r_f\cdot sen(\theta_f+\alpha) & -1 & 0 & -r_t\cdot\cos(\theta_t+\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & -r_f\cdot\cos(\theta_f+\alpha) & 0 & -1 & -r_t\cdot sen(\theta_t+\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}
$$

$$
x = \begin{bmatrix}
\ddot{x}_{cav} \\
\ddot{y}_{cav} \\
\alpha \\
\ddot{x}_{carr} \\
\ddot{y}_{carr} \\
\ddot{\beta} \\
\ddot{y}_1 \\
\ddot{\gamma}_1 \\
\ddot{y}_2 \\
\ddot{\gamma}_2 \\
\ddot{y}_3 \\
\ddot{\gamma}_3 \\
F_{x1} \\
F_{x2} \\
F_{x3} \\
C_x \\
C_y
\end{bmatrix}
\qquad
B = \begin{bmatrix}
(F_{y1}+F_{y2})\cdot\sin\alpha-R_{ar,cav} \\
(-F_{y1}-F_{y2})\cdot\cos\alpha-P_{cav} \\
-d_1\cdot F_{y1}+d_2\cdot F_{y2}+M_1+M_2 \\
F_{y3}\cdot\sin\beta-R_{ar,carr} \\
-F_{y3}\cdot\cos\beta-P_{carr} \\
d_3\cdot F_{y3}+M_3 \\
f_{T1}T_1-F_{y1}\cdot\sin\alpha \\
f_{N1}\cdot N_1+F_{y1}\cdot\cos\alpha-P_1 \\
M_1-f_{R1}\cdot r\cdot T_1+f_{E1}\cdot e\cdot N_1 \\
f_{T2}T_2-F_{y2}\cdot\sin\alpha \\
f_{N2}\cdot N_2+F_{y2}\cdot\cos\alpha-P_2 \\
M_2-f_{R2}\cdot r\cdot T_2+f_{E2}\cdot e\cdot N_2 \\
f_{T3}T_3-F_{y3}\cdot\sin\beta \\
f_{N3}\cdot N_3+F_{y3}\cdot\cos\beta-P_3 \\
M_3-f_{R3}\cdot r\cdot T_3+f_{E3}\cdot e\cdot N_3 \\
-r_f\cdot\dot{\alpha}^2\cdot\cos(\theta_f+\alpha)-r_t\cdot\dot{\beta}^2\cdot\sin(\theta_t+\beta) \\
-r_f\cdot\dot{\alpha}^2\cdot\sin(\theta_f+\alpha)+r_t\cdot\dot{\beta}^2\cdot\cos(\theta_t+\beta)
\end{bmatrix}
$$

Desta forma, para encontrar as equações diferenciais a serem integradas no programa de simulação, basta calcular:

$$A \cdot x = B \Rightarrow x = A^{-1} \cdot B \tag{52}$$

O cálculo manual de todas as equações seria inviável. Assim, decidiu-se pelo uso do software Maple para manipulação das equações. As constantes do modelo foram definidas já no ambiente do Maple, para fazer com que os coeficientes fossem numéricos. Isto diminui bastante o tamanho das equações, pois os cálculos dos coeficientes já podem ser realizados. Desta forma, foram obtidas as 17 equações, que podem ser vistas no Anexo A. A saída de cada uma destas equações é a derivada segunda de uma das variáveis. Assim, estas saídas devem ser integradas para encontrar a derivada primeira e, em seguida, integradas novamente para encontrar as variáveis.

3.10 Seleção do método de simulação

Observa-se que o sistema de equações desenvolvido na seção anterior é um sistema do tipo MIMO, com equações diferenciais ordinárias não-lineares e coeficientes invariantes no tempo. As condições iniciais são conhecidas e, desta forma, podem ser impostas. A primeira idéia para a simulação foi a utilização da função CSIM do software Scilab. Para a utilização da função CSIM, é necessário que o sistema de equações esteja na forma:

$$\dot{x} = A.x + B.u$$
$$y = C.x + D.u$$

Este sistema de equações é linear. Assim, verificou-se a necessidade de linearização de várias funções contidas nas equações de movimento. A primeira equação linearizada foi $\mu(s)$. Como já foi dito, a curva $\mu(s)$ apresenta um trecho linear seguido de um trecho altamente não linear. Portanto, foi necessário utilizar-se apenas do trecho

linear da curva $\mu(s)$. Além disso, sabe-se que a força de tração T é função da velocidade do veículo, da velocidade de rotação da roda e da força normal atuante no pneu:

$$\mu = K.s \Rightarrow \frac{T}{N} = K.\left(\frac{\dot{x} - \dot{\gamma}.r_e}{\dot{x}} \right) \Rightarrow T = f(\dot{x}, \dot{\gamma}, N) \tag{53}$$

Mas sabe-se também que $N = f(y, \dot{y}, z)$. Portanto, em última instância, $T = f(\dot{x}, \dot{\gamma}, y, \dot{y}, z)$. Seria então necessário linearizar T em quatro dimensões, para colocar as equações do movimento num formato possível de ser simulado.

Outras funções não lineares são as funções das forças aerodinâmicas. Tais forças são funções do quadrado da velocidade. Portanto, seria necessário linearizá-las.

Este conjunto de linearizações acabaria por tornar o modelo muito limitado e impreciso. Portanto, foram estudados outros métodos e programas de simulação. GARCIA (2005) lista uma série de linguagens e programas de simulação existentes para várias aplicações. O autor termina por apresentar a ferramenta MATLAB/SIMULINK como uma boa alternativa para a simulação de sistemas não-lineares. Assim, tendo em vista a qualidade dos resultados finais, decidiu-se por não mais utilizar a função CSIM, e sim implementar um modelo não linear e simulá-lo com a ferramenta SCILAB/SCICOS, que é análoga ao MATLAB/SIMULINK.

3.11 Simulação

Para a implementação das equações diferenciais, foram utilizados os seguintes blocos da ferramenta SCILAB/SCICOS:

- Bloco Integrador: para fazer as etapas de integração de cada variável;
- Bloco Mathematical Expression: para montar as equações diferenciais não lineares de cada variável. As entradas destes blocos são as derivadas primeiras e

segundas de cada variável, os momentos nas rodas e os fatores dos modelos de pneus;

- Bloco Entrada Degrau: para simular as entradas dos momentos nas rodas;
- Bloco Somatório: foi necessário utilizar blocos de somatório para montar possibilitar alguns testes de condição;
- Bloco Event Generator: para especificar os intervalos de integração;
- Bloco Scope: para monitorar os resultados.

O diagrama final de blocos e ligações pode ser visto no Anexo B.

4 RESULTADOS

4.1 Simulação 1

A primeira simulação foi feita considerando-se uma velocidade inicial nula do cavalo e da carreta. Os momentos de entrada nos eixos também foram nulos. O intuito desta simulação era verificar as alturas e ângulos de equilíbrio do cavalo, carreta e dos três eixos. Todos os corpos foram soltos de sua altura original, y=0. Os corpos então interagem até chegarem na posição de equilíbrio, conforme ilustrado nos gráficos abaixo.
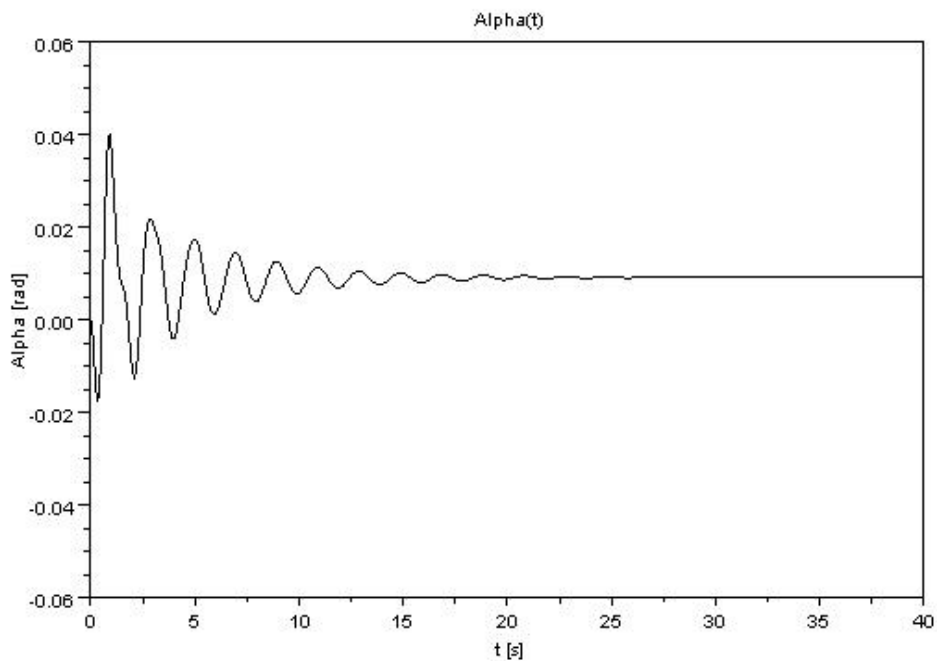
Figura 33 - α(t) - Simulação 1
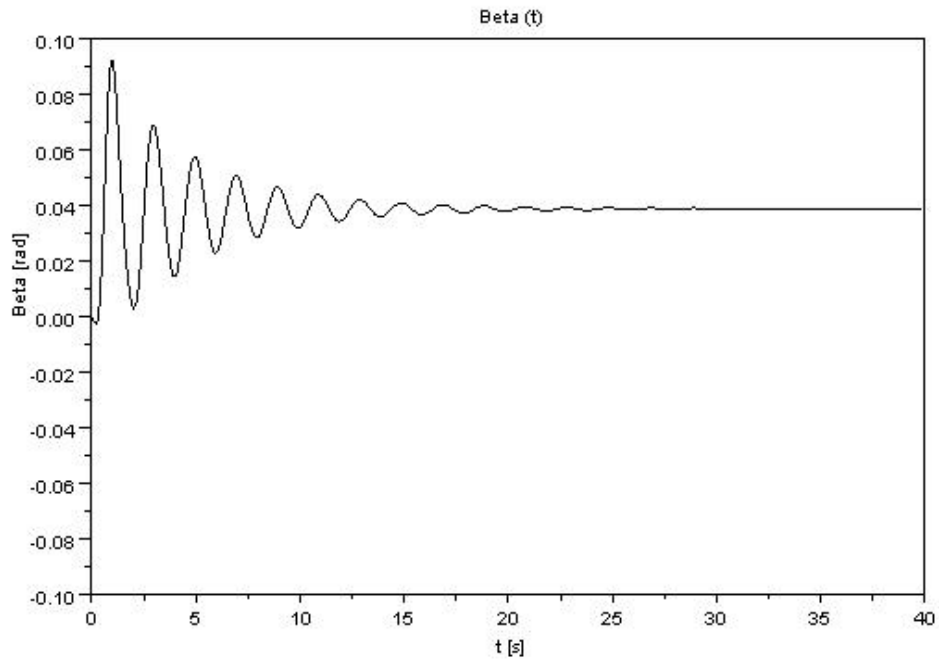
Figura 34 - β(t) - Simulação 1
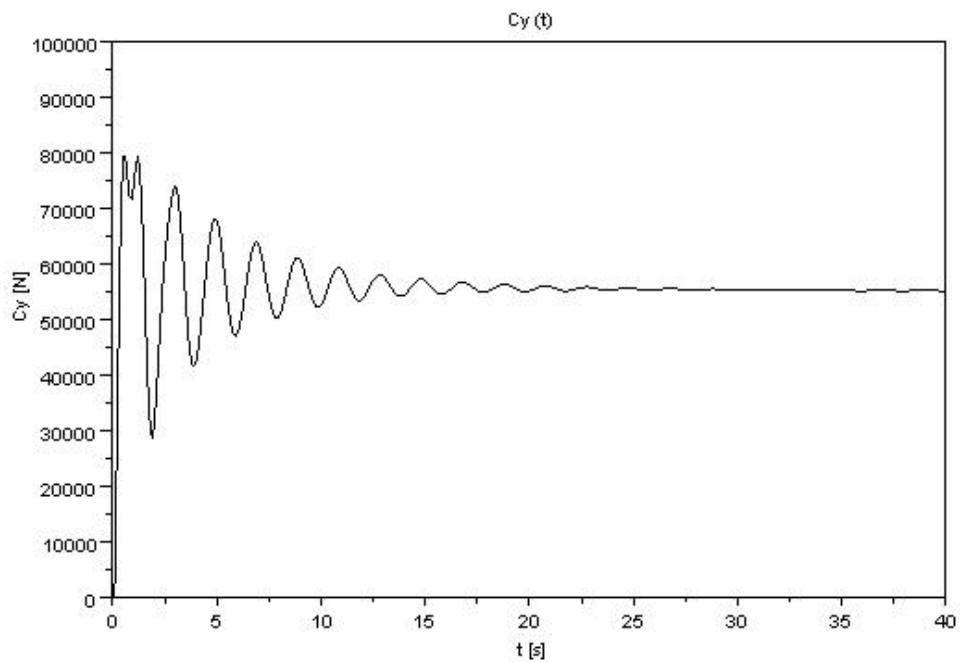
Figura 35 - Cy(t) - Simulação 1

65
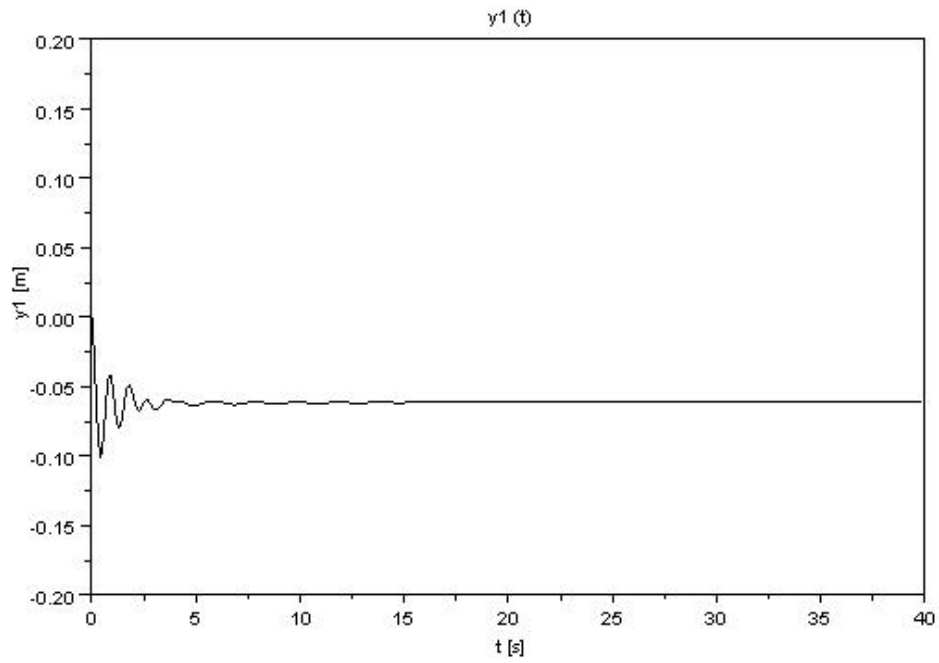
Figura 36 - y1(t) - Simulação 1
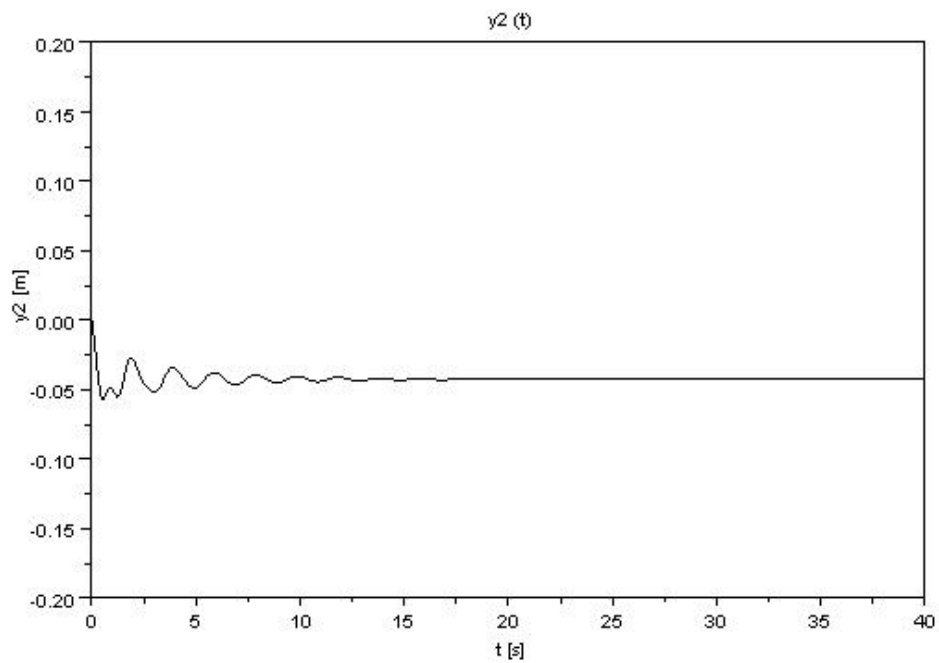
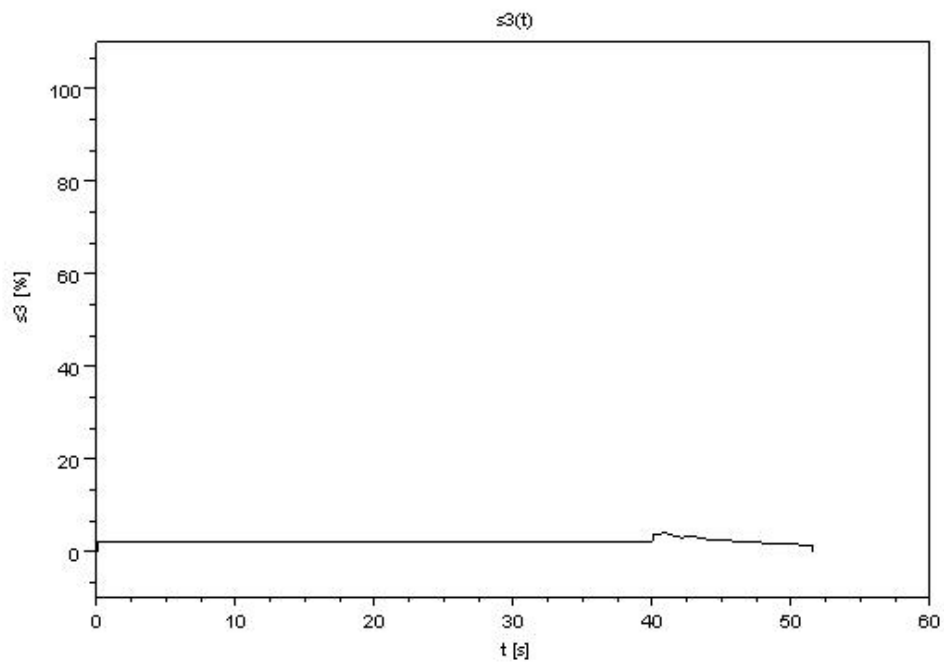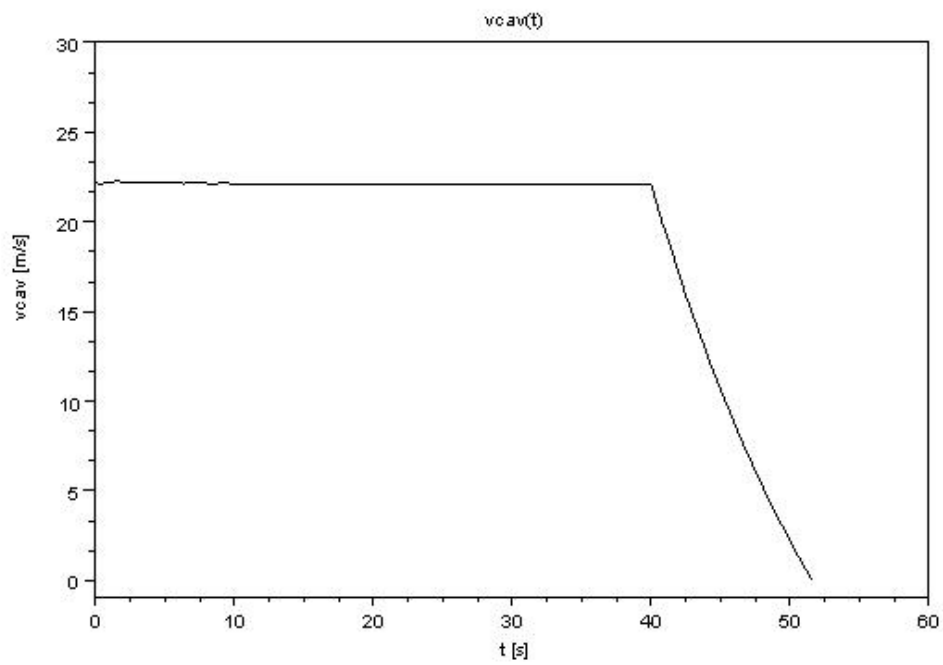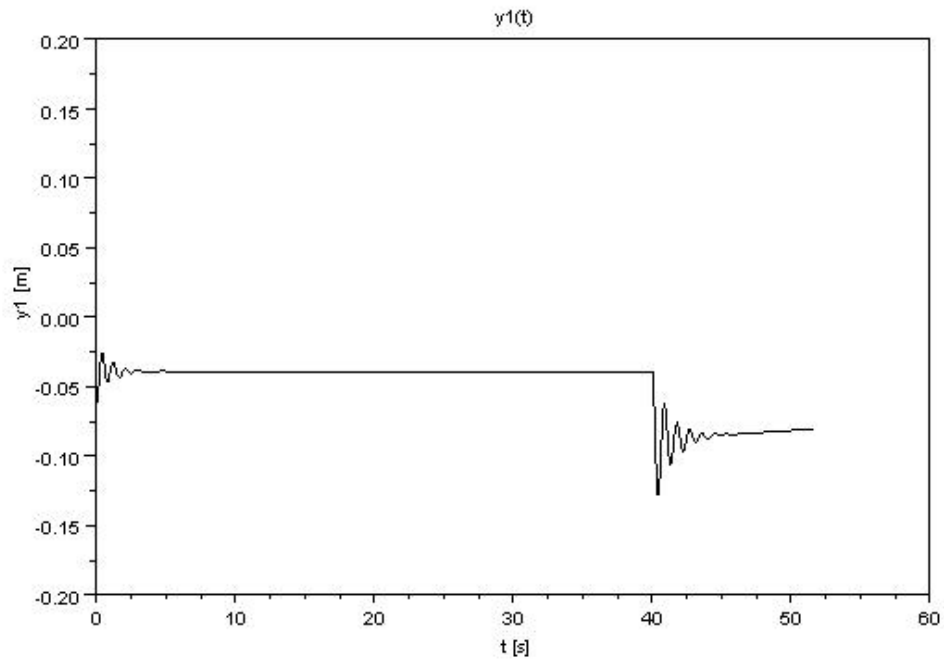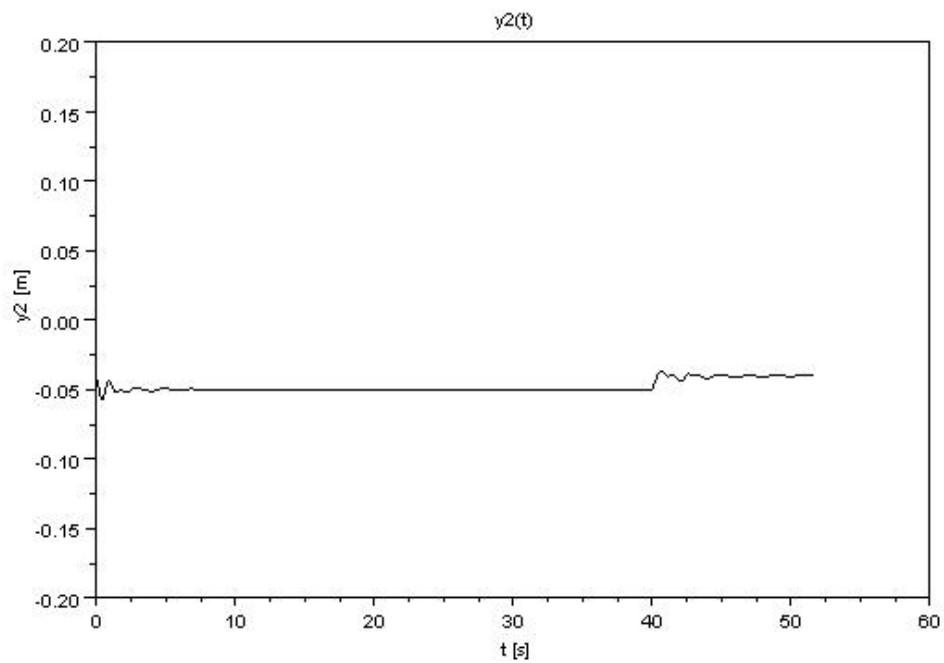**Figura 37 - y2(t) - Simulação 1**
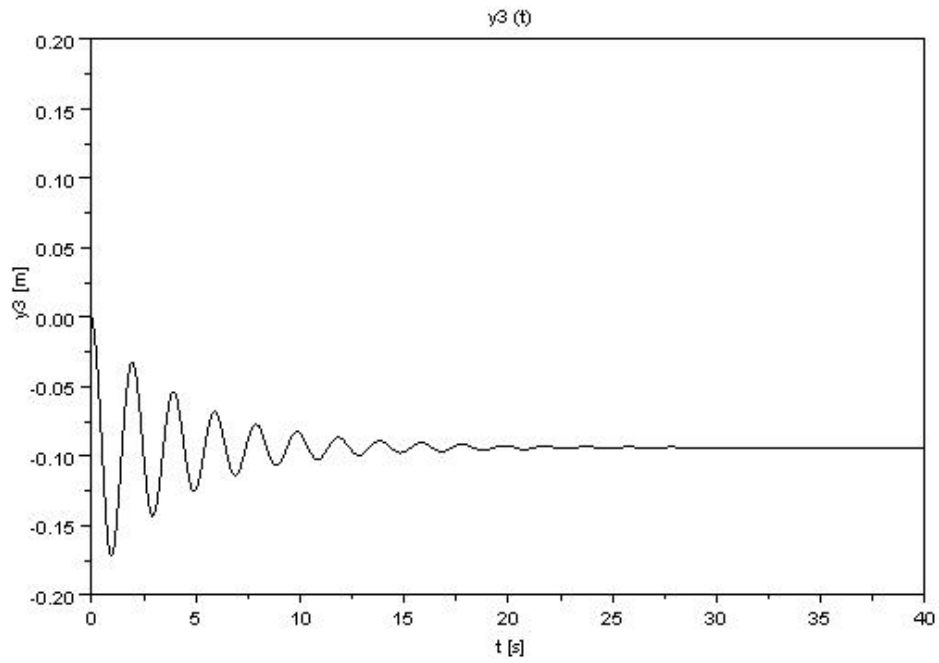
Figura 38 - y3(t) - Simulação 1
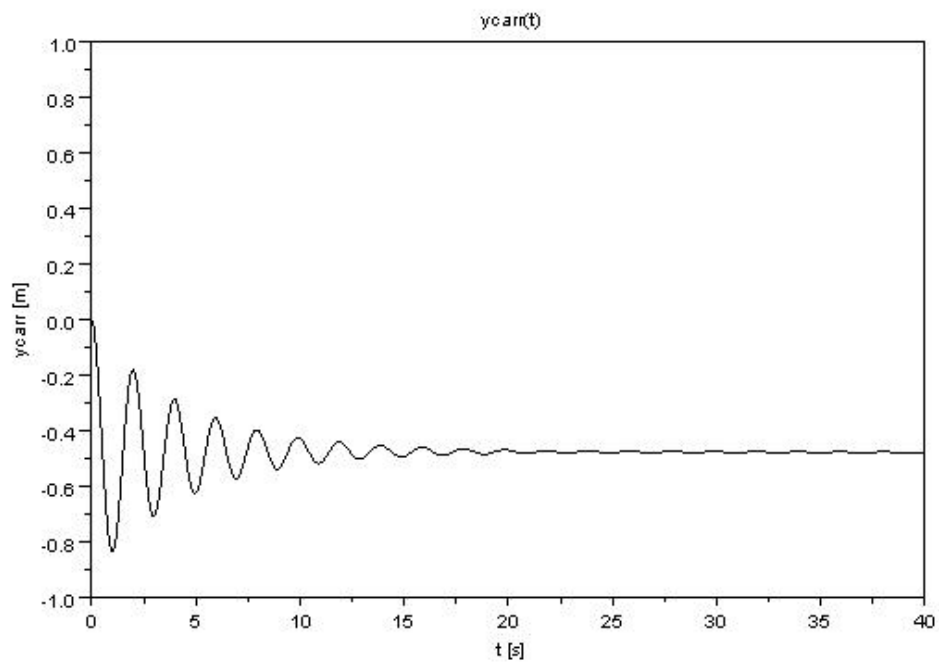
Figura 39 - ycarr(t) - Simulação 1
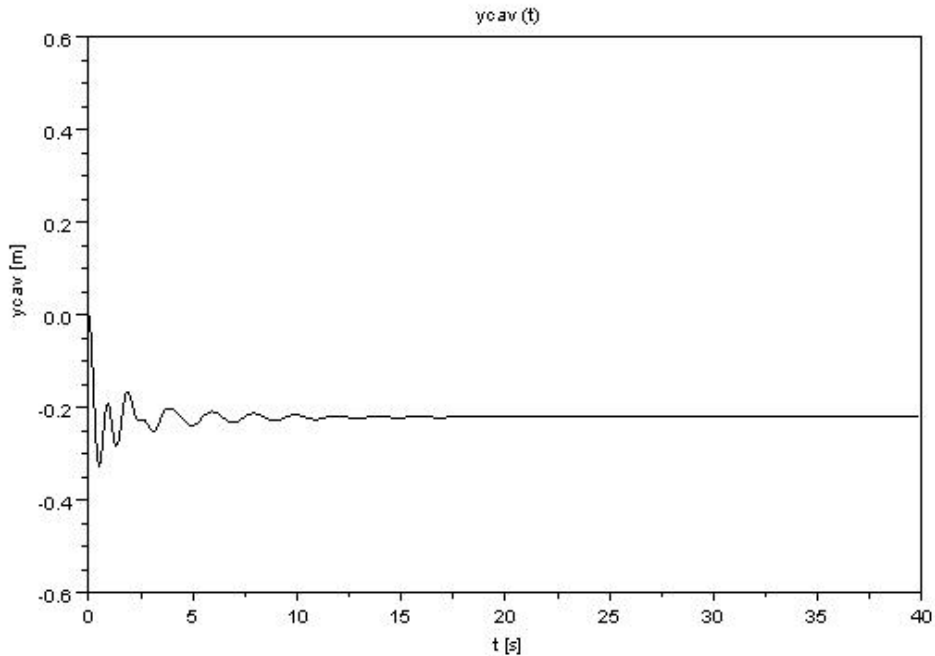
Figura 40 - ycav(t) - Simulação 1

4.2 Simulação 2

A segunda simulação foi realizada com velocidades iniciais da carreta e do cavalo de 80km/h ou 22,22m/s. Os eixos foram colocados numa condição inicial de velocidade de rotação compatível com esta velocidade, com escorregamento próximo de zero:

$$\dot{\gamma}_0 = \frac{v}{r} = \frac{22,22}{0,53} \cong 41,93 rad/s$$

Os corpos foram colocados inicialmente nas posições de equilíbrio registradas na simulação anterior. Os torques iniciais aplicados nos eixos dianteiros foram de 18000 N.m, que foi o necessário para manter o veículo com uma velocidade constante de 80km/h. Aos 40 segundos de simulação, foi aplicada então uma freada brusca nos dois

eixos do cavalo e no eixo da carreta. O torque de frenagem aplicado foi de 12000 N.m em cada eixo.
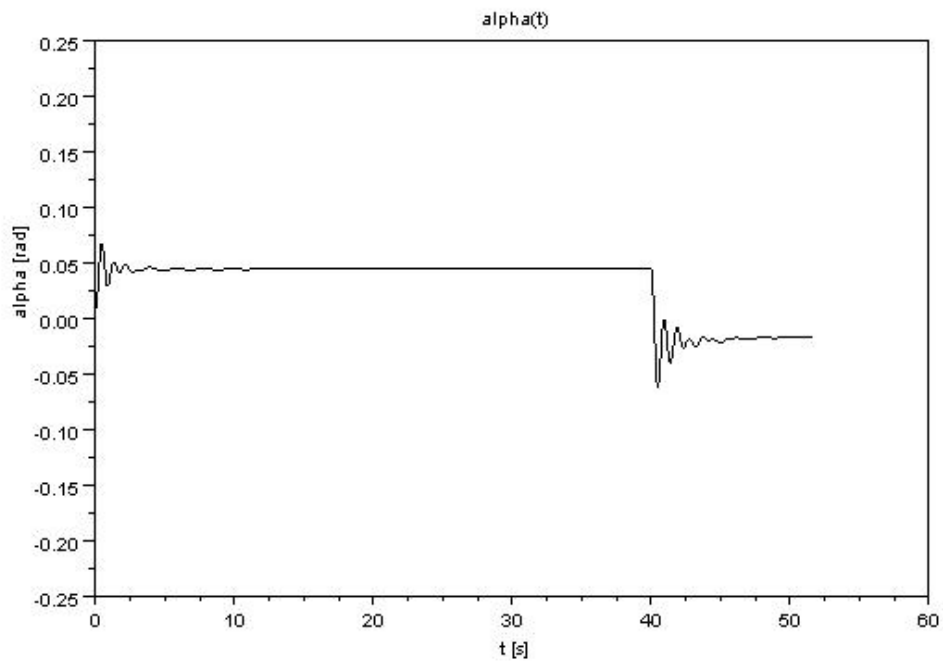
Figura 41 - α(t) - Simulação 2
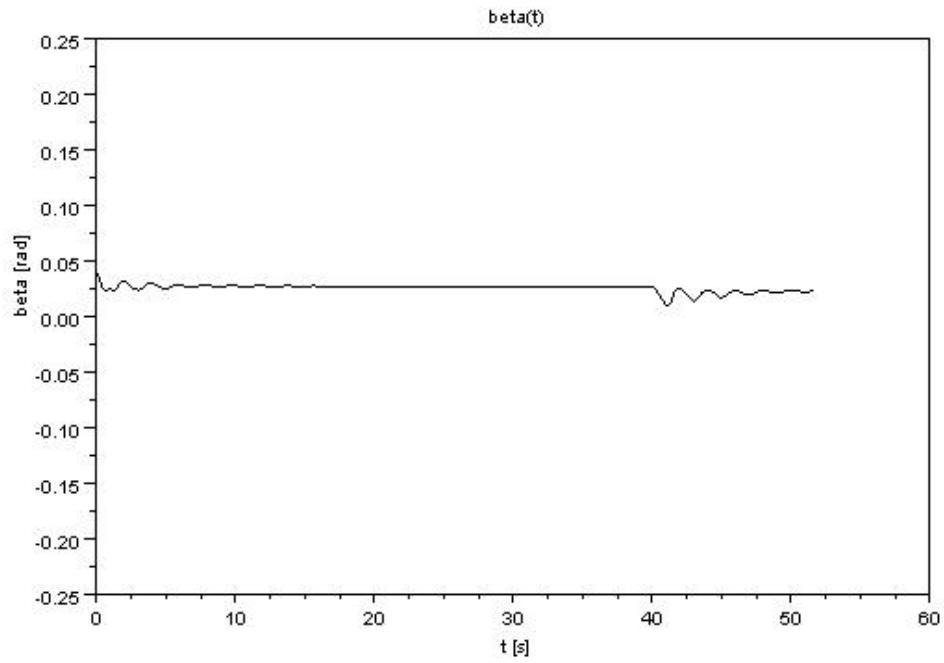
Figura 42 - β(t) - Simulação 2
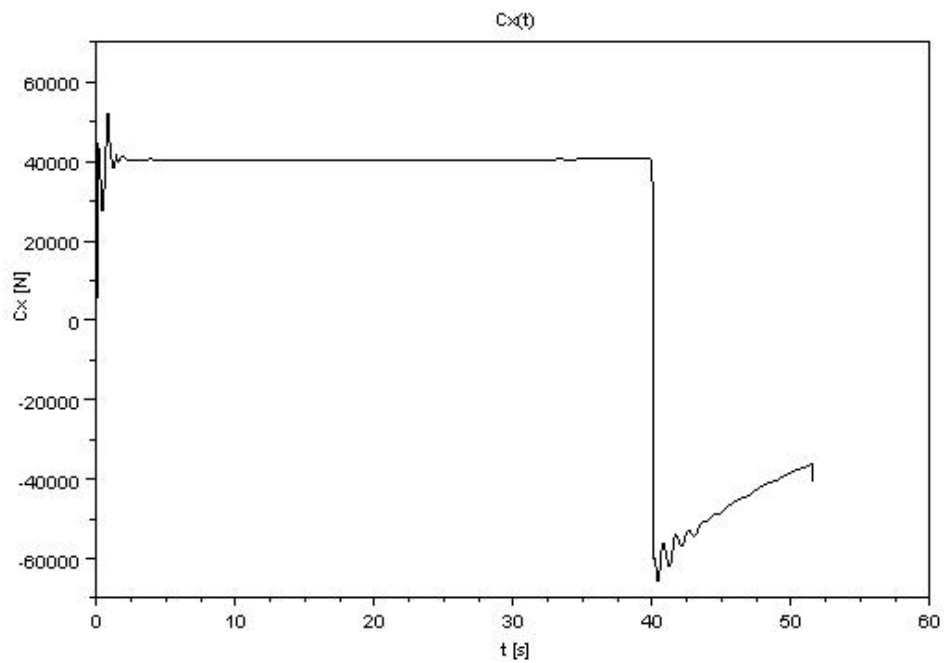
Figura 43 - Cx(t) - Simulação 2
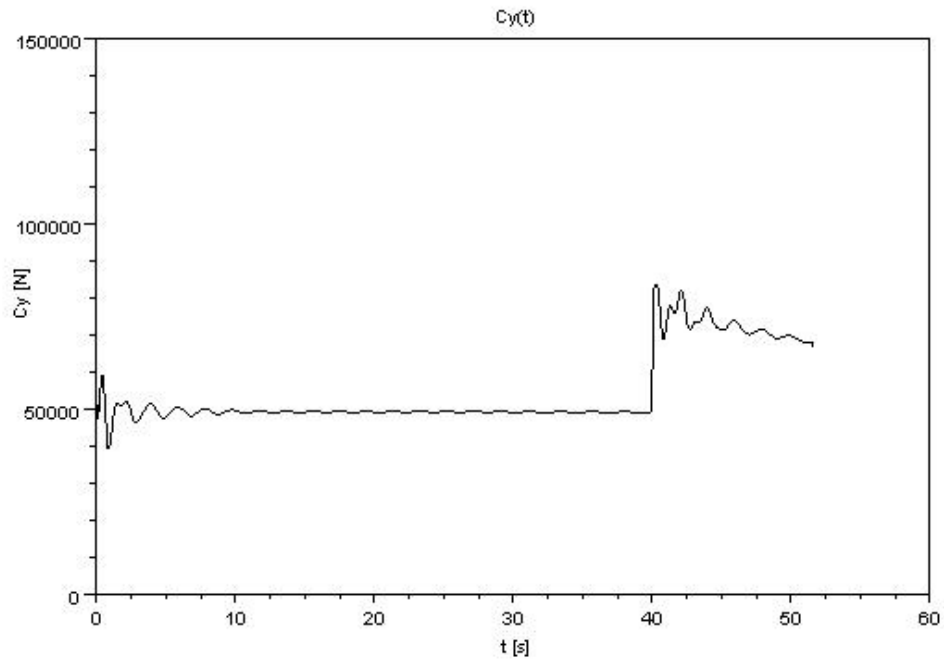
Figura 44 - Cy(t) - Simulação 2
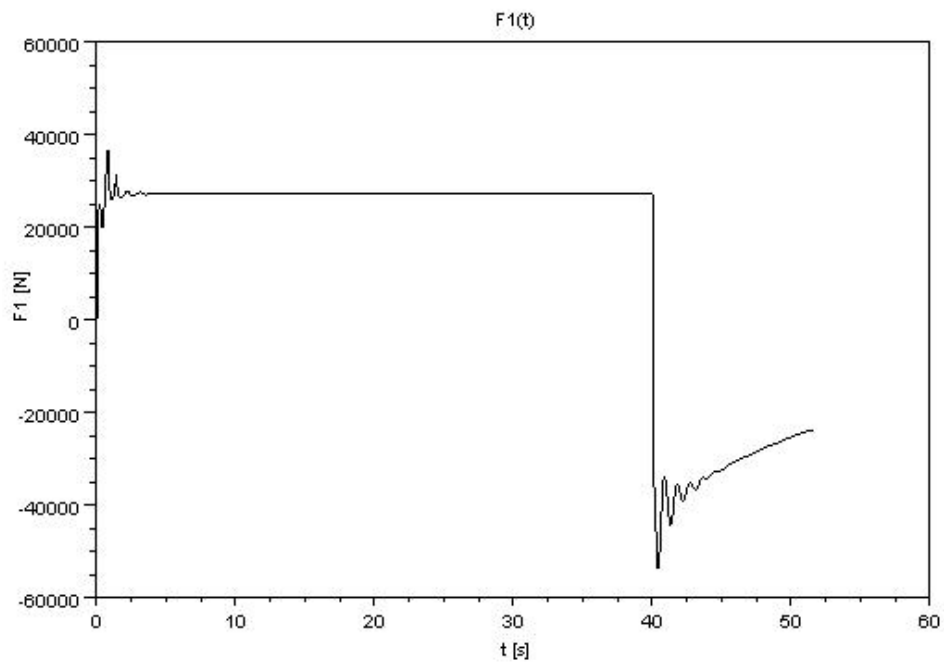
Figura 45 - F1(t) - Simulação 2

71
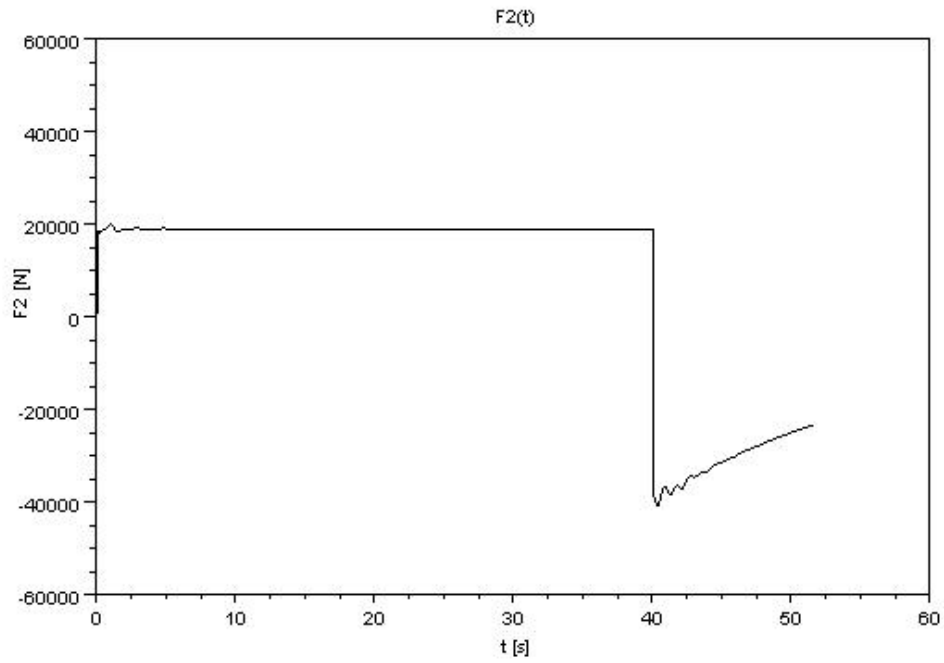
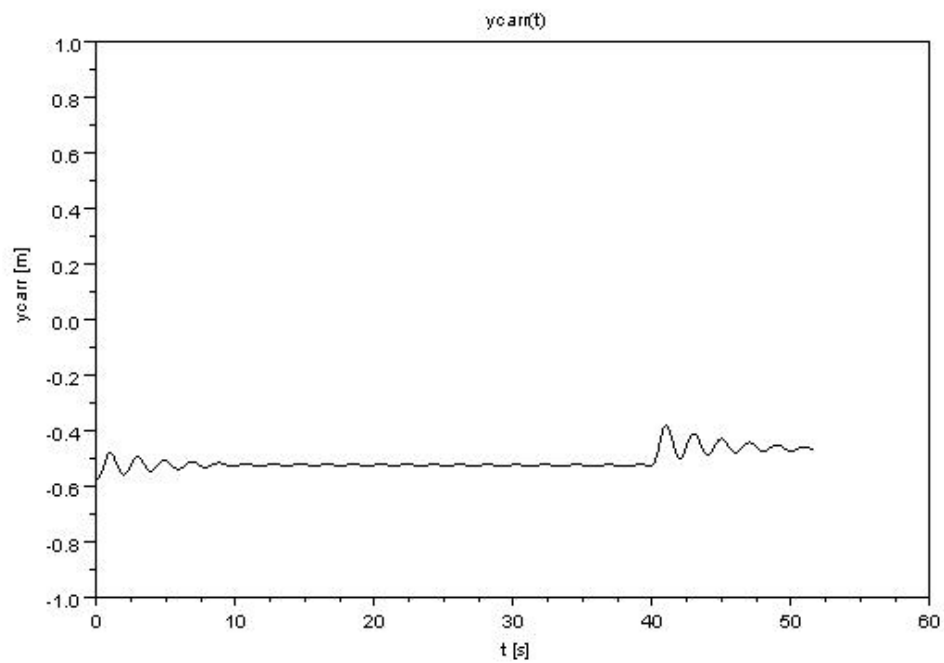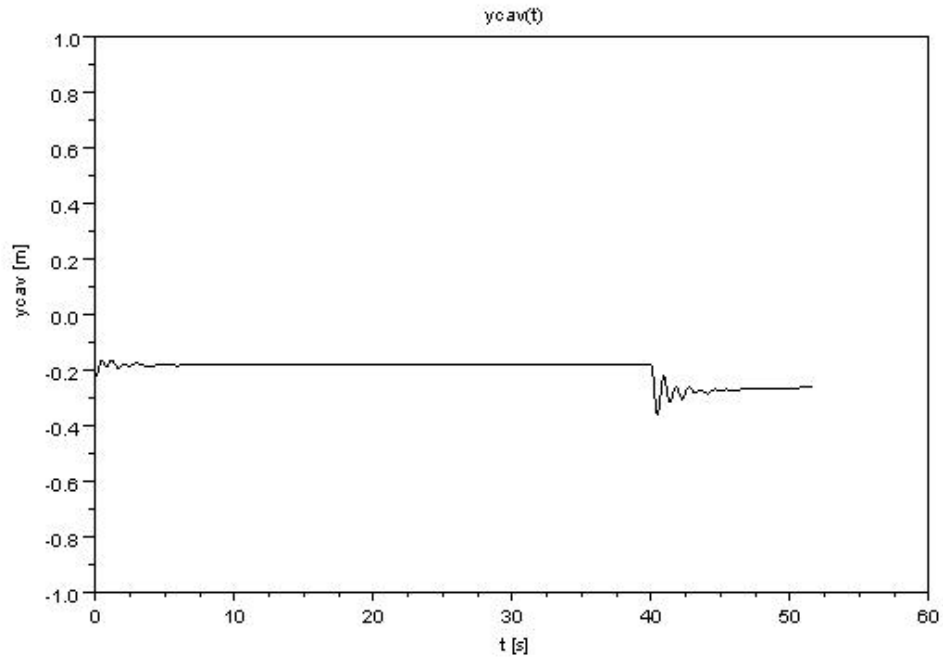**Figura 46 - F2(t) - Simulação 2**
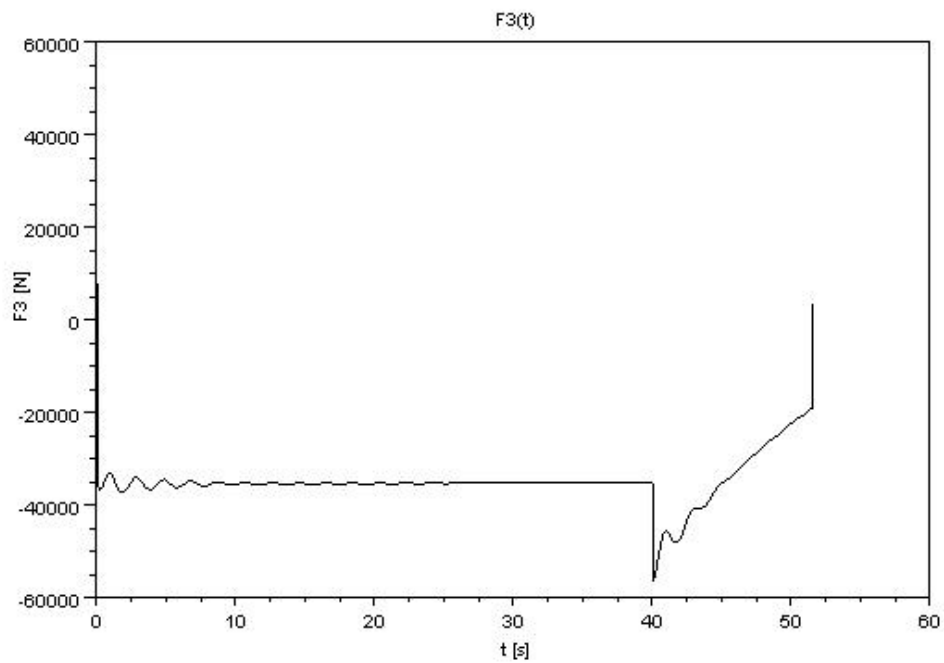
Figura 47 - F3(t) - Simulação 2

72
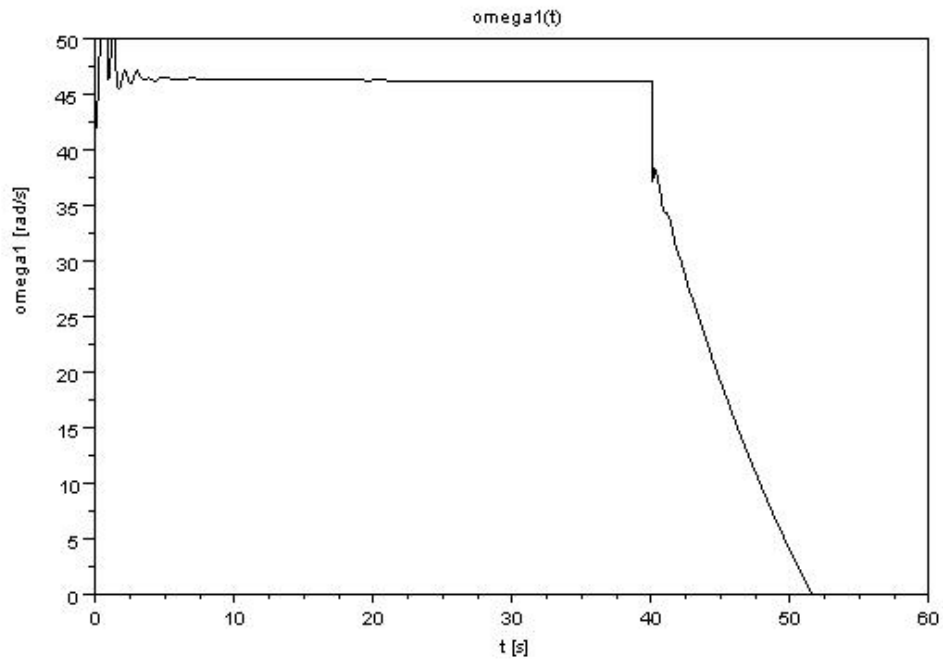
Figura 48 - ω1(t) - Simulação 2

Figura 49 - ω2(t) - Simulação 2

73
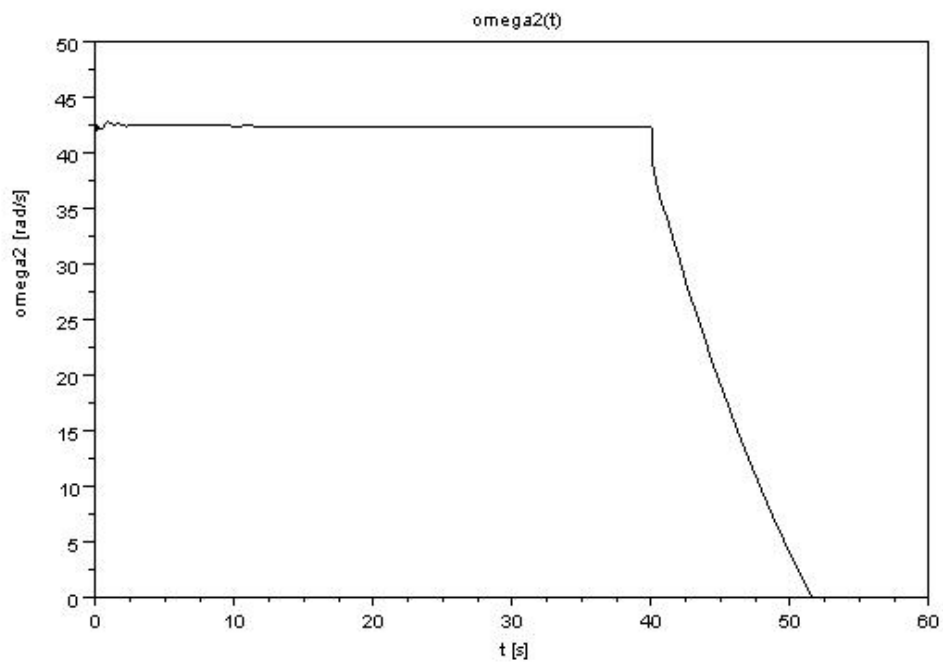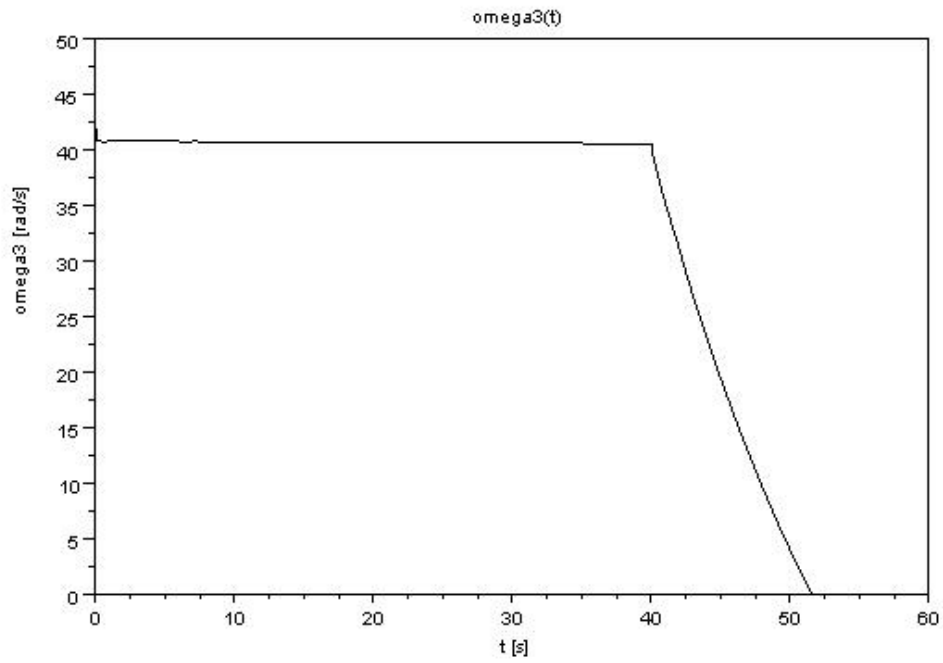
Figura 50 - ω3(t) - Simulação 2
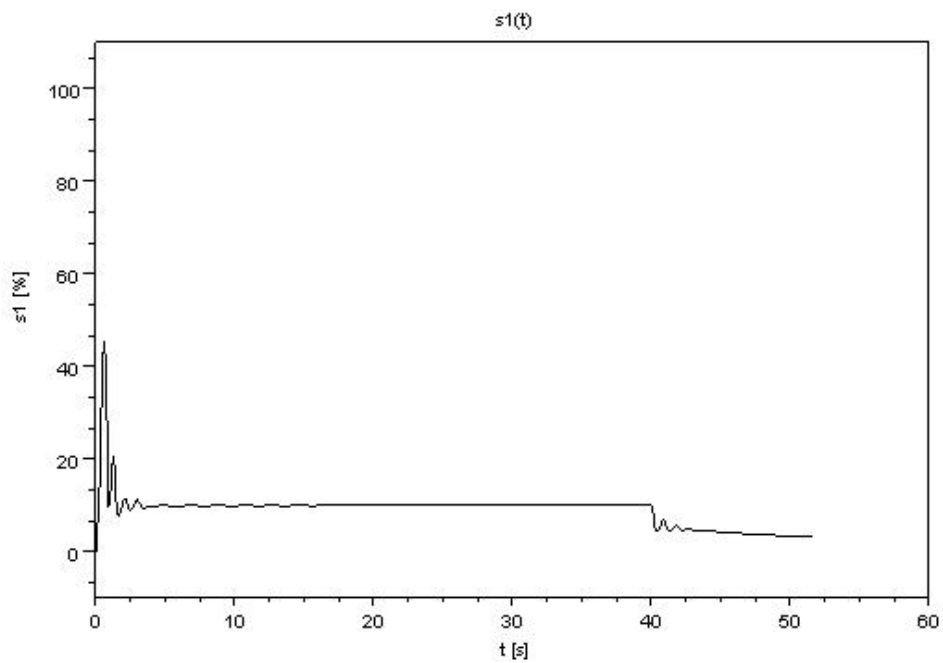
Figura 51 - s1(t) - Simulação 2
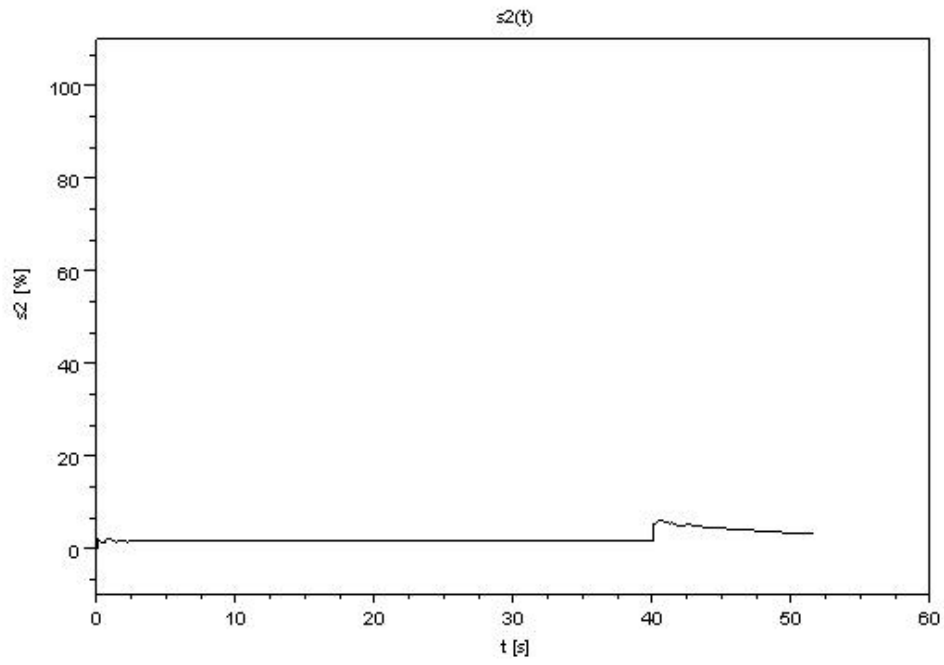
Figura 52 - s2(t) - Simulação 2

Figura 53 - s3(t) - Simulação 2

75
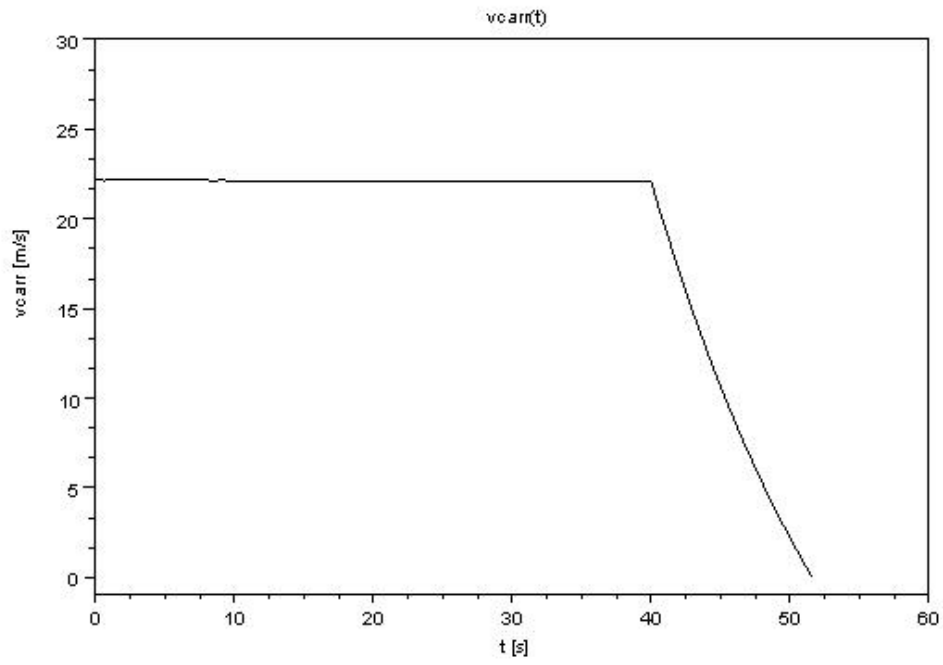
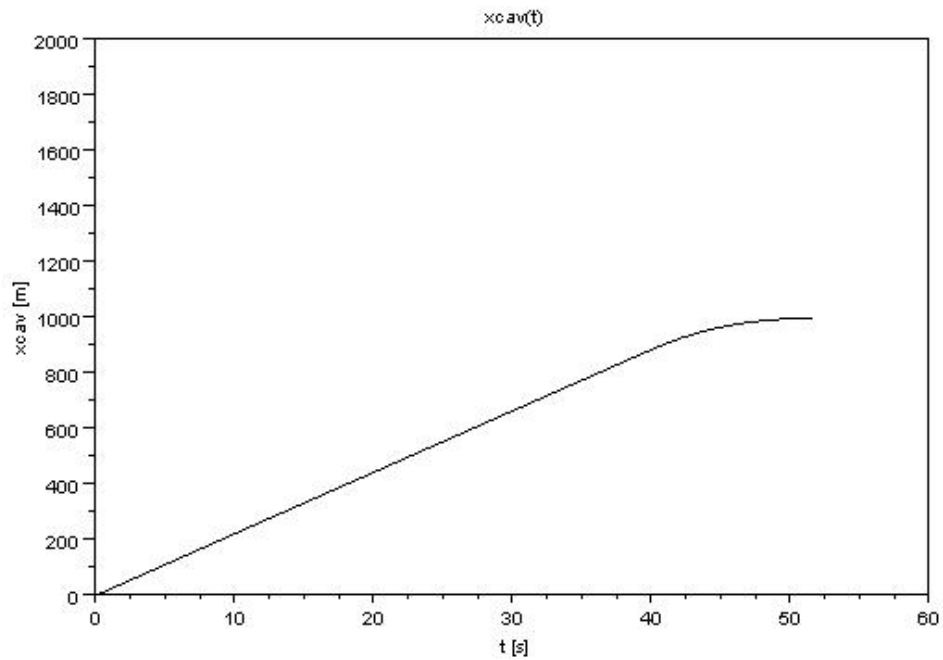**Figura 54 - vcarr(t) - Simulação 2**

Figura 55 - vcav(t) - Simulação 2

Figura 56 - y1(t) - Simulação 2

Figura 57 - y2(t) - Simulação 2
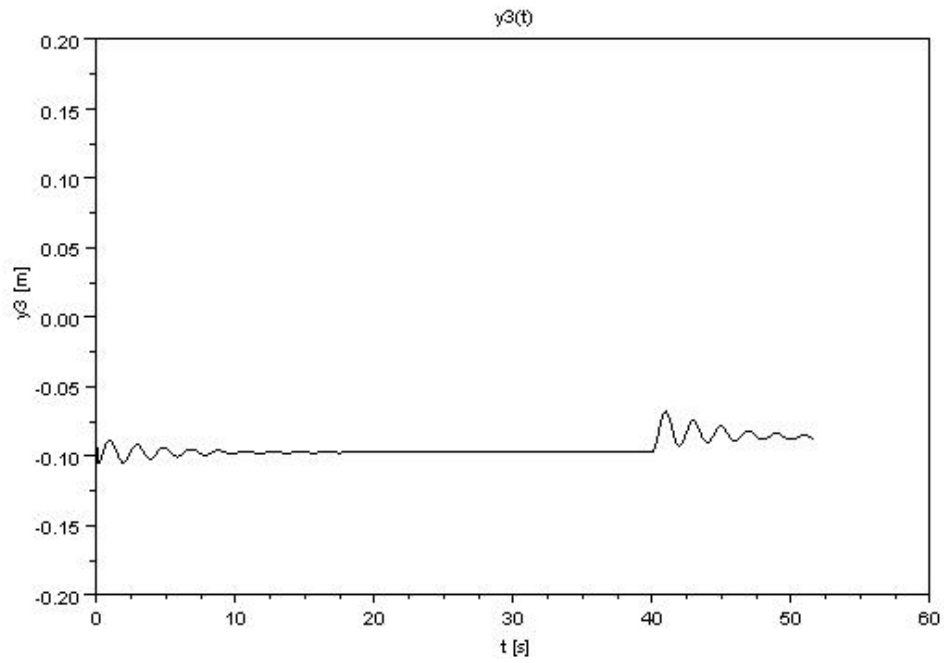
Figura 58 - y3(t) - Simulação 2

Figura 59 - ycarr(t) - Simulação 2
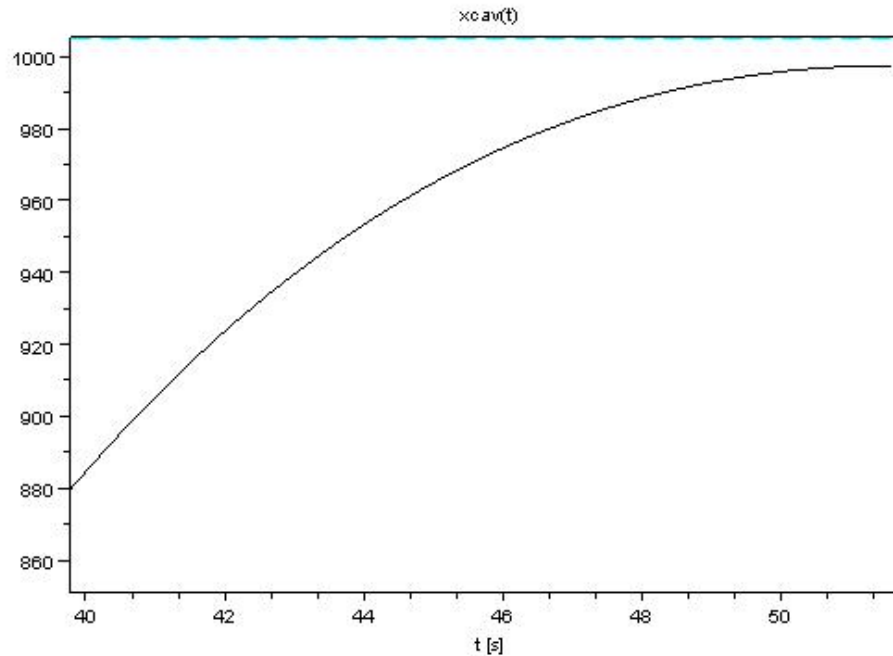
78

Figura 60 - ycav(t) - Simulação 2

**Figura 61 - xcav(t) - Simulação 2**

**Figura 62 - Detalhe xcav(t) - Simulação 2**

4.3 Simulação 3

Por fim, testou-se o torque de aceleração necessário para fazer com que os pneus derrapassem. O veículo foi solto com condições iniciais de velocidade nulas e esperou-se um tempo de 10 segundos, para que ele chegasse à sua posição de equilíbrio. Foram testadas entradas degrau de momento em cada eixo individualmente, de forma crescente, até que se obtivesse a derrapagem. As Figuras 63 a 68 mostram o resultado do escorregamento s1(t) do eixo 1 para torques, em N.m, de 16000, 16500, 16600, 16625, 16650 e 16700.
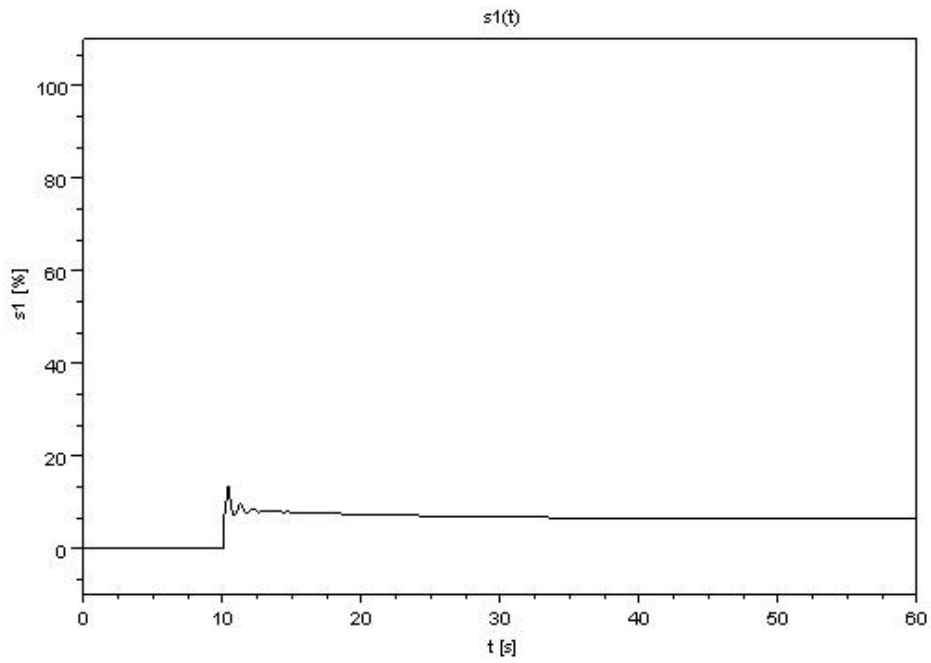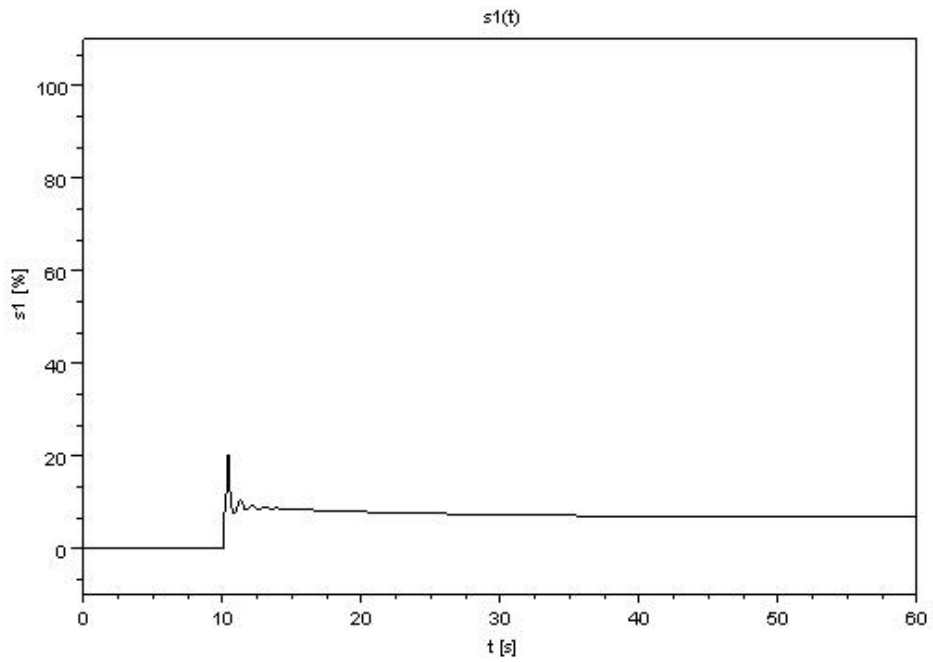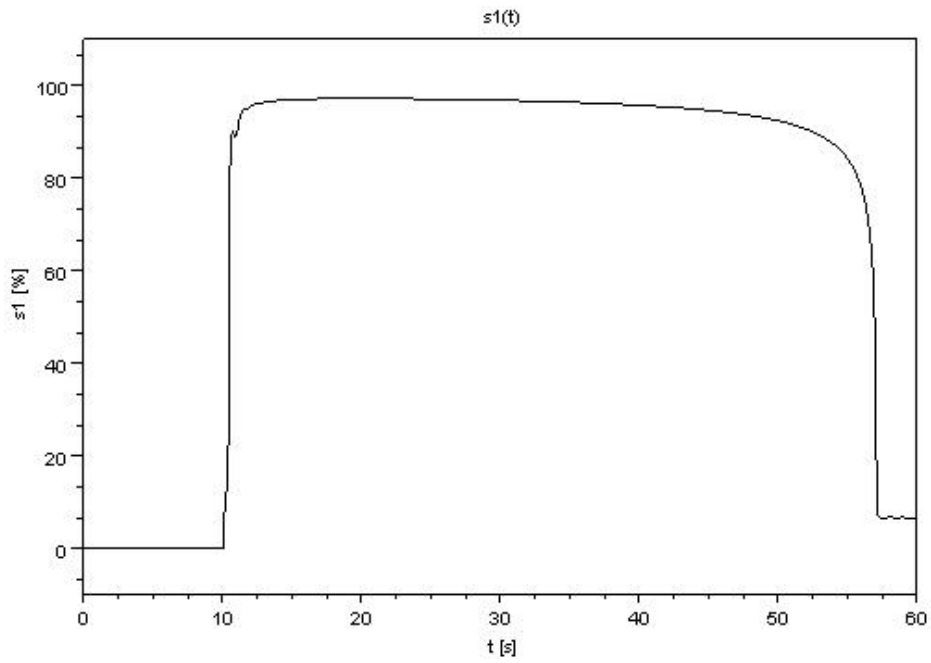
Figura 63 - s1(t) para T1 = 16000N.m - Simulação 3
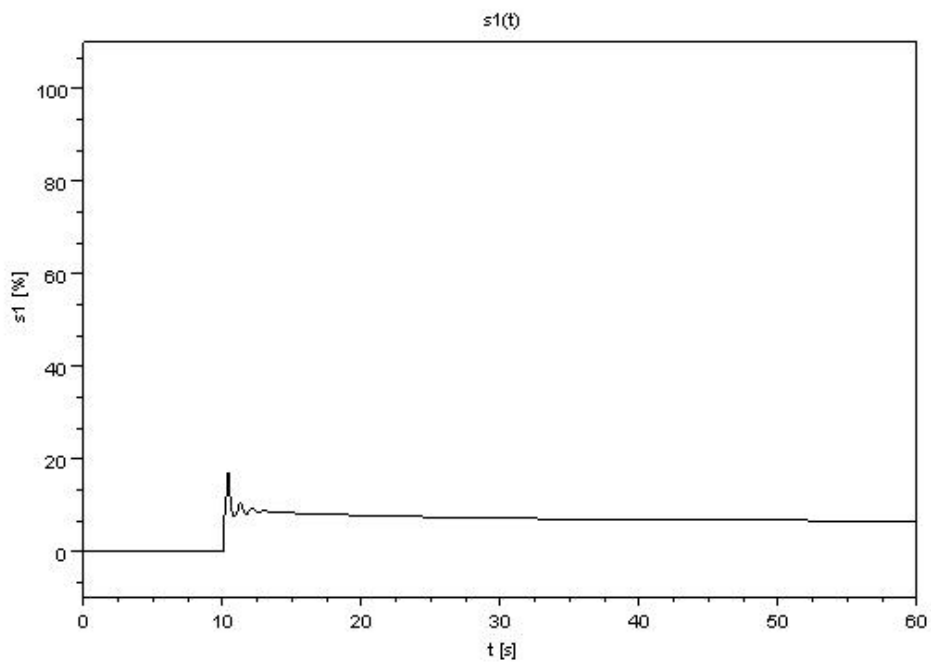
Figura 64 - s1(t) para T1 = 16500N.m - Simulação 3
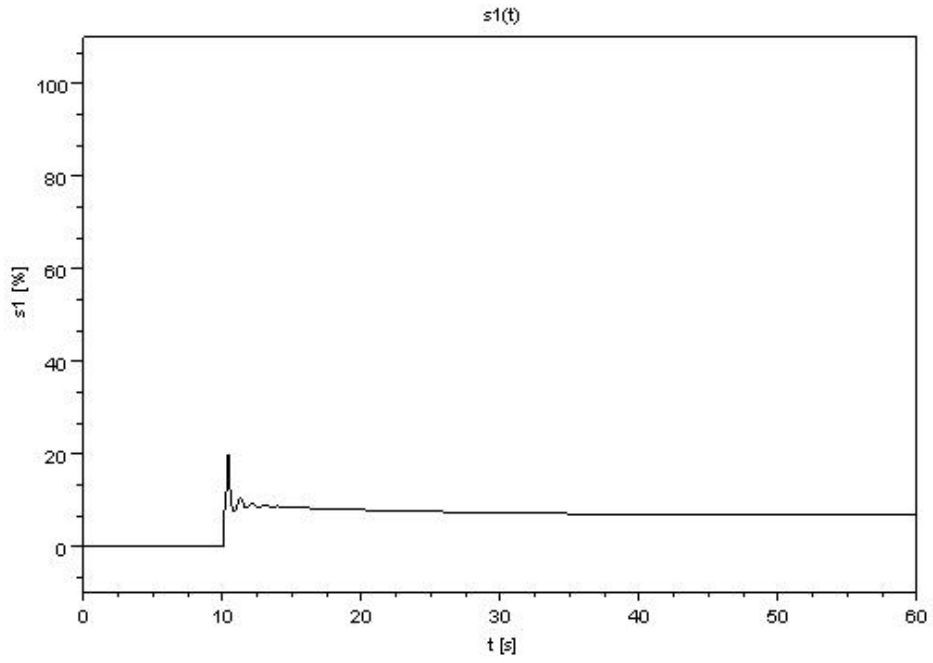
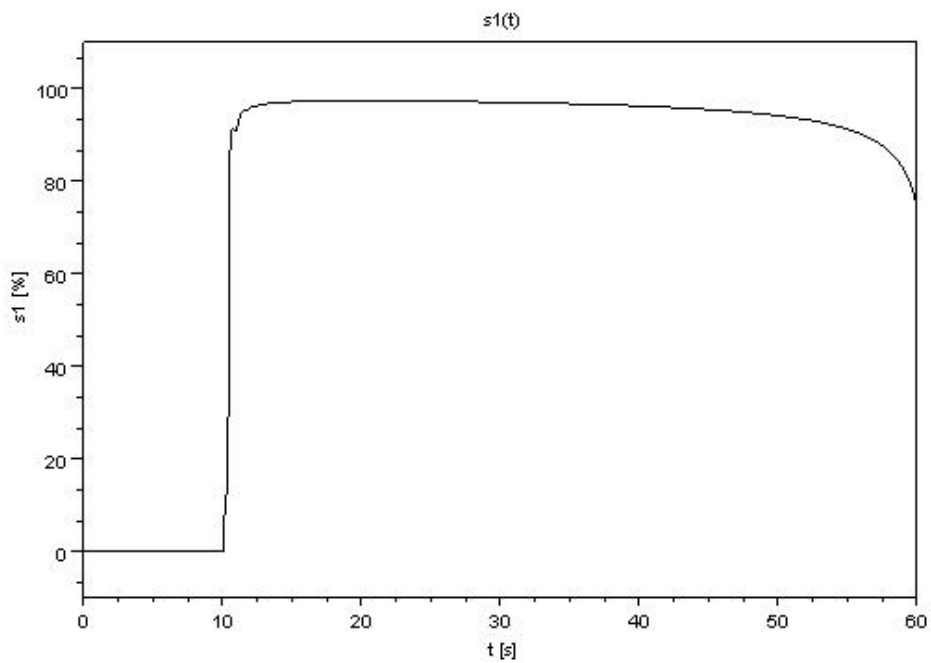**Figura 65 - s1(t) para T1 = 16600N.m - Simulação 3**

Figura 66 - s1(t) para T1 = 16625N.m - Simulação 3

82

Figura 67 - s1(t) para T1 = 16650N.m - Simulação 3

Figura 68 - s1(t) para T1 = 16700N.m - Simulação 3

83

Para os eixos 2 e 3, foram necessários torques de 36800N.m e 82000N.m, respectivamente, para causar a derrapagem. Os resultados da aplicação destes torques podem ser vistos nas Figuras 69 e 70.
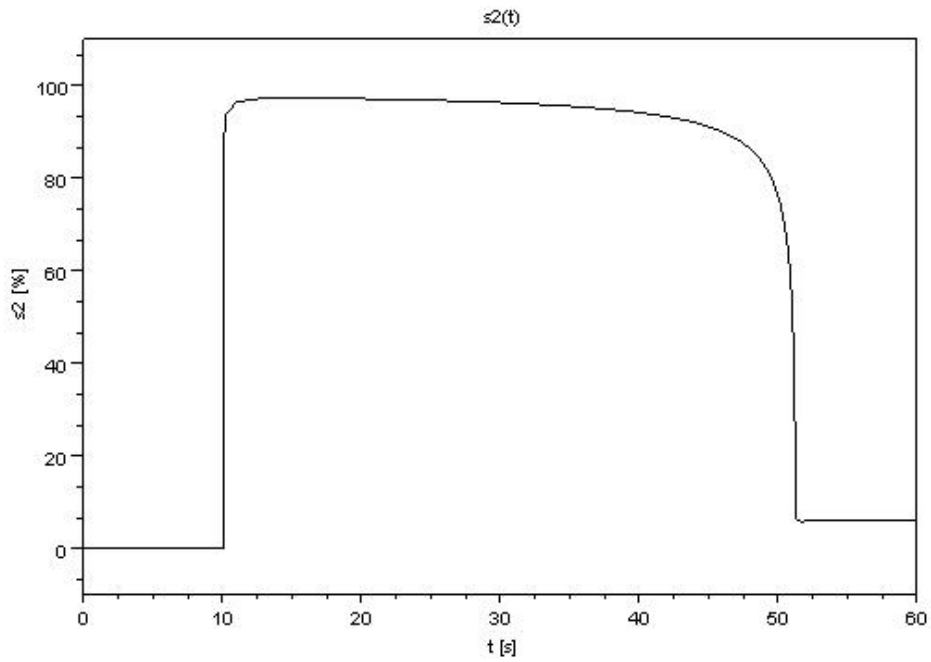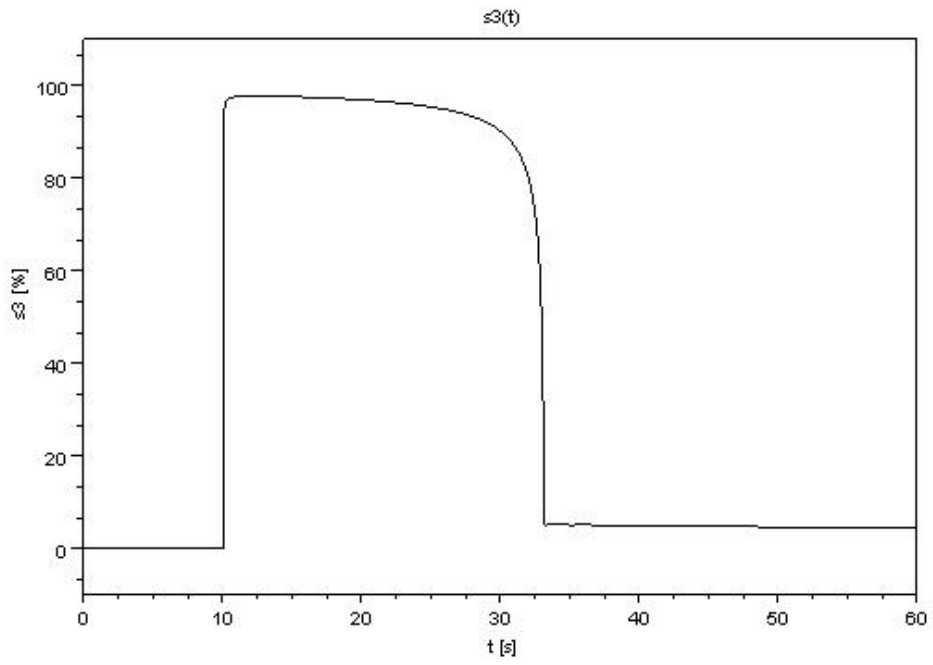

Figura 69 - s2(t) para T2 = 36800N.m - Simulação 3

Figura 70 - s3(t) para T3 = 82000N.m - Simulação 3

5 DISCUSSÃO

Na simulação 1, observa-se que os resultados obtidos são coerentes com o que se espera de um veículo real. Todos os corpos, pela ação do peso, descem, até que o sistema de suspensão e a elasticidade dos pneus forneça a força suficiente para equilibrá-los. Observa-se na Figura 33 e na Figura 34 que tanto $\alpha(t)$ quanto $\beta(t)$ equilibram-se com valores ligeiramente maiores que zero. De acordo com a convenção adotada, isto significa que tanto o cavalo quanto a carreta equilibram-se com a parte dianteira mais alta que a traseira. Por fim, a Figura 35 mostra que a força de sustentação observada no acoplamento entre carreta e cavalo se equilibra em aproximadamente 60000N. O valor positivo é coerente também com a realidade, pois indica que, de fato, o cavalo está sustentando a carreta.

Na simulação 2, observou-se mais uma vez comportamentos coerentes com a realidade. A Figura 41 mostra que, inicialmente, durante o período acelerado, o cavalo se equilibra num ângulo ligeiramente maior que o observado na simulação 1, quando o veículo não estava acelerado. Em seguida, após a frenagem, ocorre o efeito esperado de transferência de peso para o eixo dianteiro e o ângulo observado da carreta se inverte, ficando a frente da carreta mais baixa que a traseira.

A Figura 43 mostra que, durante a aceleração, a carreta é efetivamente puxada pelo cavalo, pois Cx > 0. Após a frenagem, esta situação se inverte. O valor de Cx transforma-se de 40000N para -60000N, ilustrando que a partir deste momento o cavalo passa a frear a carreta. Isto indica que, se as forças de frenagem forem igualmente distribuídas entre os eixos do veículo, a tendência é a carreta empurrar o cavalo durante a frenagem, o que pode desestabilizá-lo, causando o jackkniffing.

A Figura 44 mostra o efeito de transferência de peso da carreta sobre o cavalo. O valor de Cy cresce consideravelmente após a frenagem. As Figuras 45, 46 e 47 mostram que, durante o período de aceleração, os eixos 1 e 2 puxam a carreta, enquanto o eixo 3 é puxado pelo cavalo. Isto também é coerente com o esperado, pois só os dois eixos dianteiros oferecem tração ao caminhão. Em seguida, após a frenagem, os três eixos passam a atuar freando o veículo.

Os gráficos de 48 a 60 mostram que tanto os eixos como o veículo mantém suas velocidades antes da frenagem e, após a frenagem, têm suas velocidades reduzidas até pararem. Observa-se que a simulação roda até o momento em que o veículo pára. Neste momento, a simulação foi interrompida por problemas numéricos.

A Figura 61 mostra a distância percorrida durante a simulação. A Figura 62 mostra em detalhe a distância percorrida no período após a frenagem. Observa-se que , após o início da frenagem, o veículo percorre uma distância total de aproximadamente 120m.

Para a simulação 3, observa-se nas Figuras 63 a 66 que o escorregamento cresce até um determinado valor e, em seguida, cai ligeiramente e estabiliza em um valor baixo. Isto é coerente com a realidade. Quando o momento é aplicado, eixo é acelerado bruscamente, enquanto o veículo ainda não passou a acelerar. Assim, a velocidade de rotação do eixo aumenta e, consequentemente, o escorregamento aumenta. Com o aumento do escorregamento, aumenta a força de tração, que tende a frear eixo. Assim, após breves instantes, os momentos se equilibram no eixo, fazendo com que o mesmo diminua sua aceleração. Ao mesmo tempo, esta força de tração faz com que o veículo seja acelerado. Assim, o escorregamento passa a cair. Quando o escorregamento cai, a força de tração cai também e o eixo volta a acelerar, repetindo o processo. Este fenômeno ocorre rapidamente e faz com que o escorregamento oscile ligeiramente antes que se estabilize. Para torques a partir de 16650N.m observa-se um novo fenômeno. O eixo passa a derrapar, o que também é esperado. Como já foi discutido, a Figura 16 mostra que o coeficiente de atrito passa por um pico de escorregamento de aproximadamente 30%, caindo em seguida. O efeito observado nas Figuras 67 e 68 pode ser explicado justamente por esta curva do coeficiente de atrito. O fenômeno observado nas Figuras 63 a 66 e explicado anteriormente acontece enquanto a força de tração puder equilibrar o momento que está sendo aplicado. Enquanto um escorregamento maior significar uma força de tração maior, o pneu não derrapará. Porém, a partir de um certo torque aplicado, o valor de pico do coeficiente de atrito, combinado com a força normal atuante no pneu, gerará uma força de tração que não é suficiente para desacelerar o eixo. Assim, o escorregamento passará de 30%, fazendo com que a força de atrito não só pare

de crescer como diminua. Isto ocasiona então a derrapagem do pneu, pois o momento que resiste à aceleração do pneu diminui, enquanto o momento de aceleração permanece constante.

Por fim, mesmo após a derrapagem, acontece o fenômeno de diminuição do escorregamento após um período. Isto se explica pela aceleração gradual do veículo. Com o tempo, o veículo acelera, causando a diminuição leve do escorregamento. Esta diminuição do escorregamento faz com que a força de tração aumente ligeiramente, desacelerando um pouco mais o eixo e acelerando um pouco mais o veículo, o que faz com que o escorregamento diminua ainda mais. Este efeito aumenta, levando o coeficiente de atrito em direção ao seu pico, momento em que o pneu pára de derrapar e adere novamente ao solo, causando um brusco aumento da força de tração e a consequente desaceleração do eixo.

Como pôde ser visto nos gráficos apresentados, os resultados obtidos são qualitativamente coerentes com a realidade. Isto demonstra a coerência dos modelos adotados e as corretas proporções entre as constantes escolhidas. Quanitativamente, não foi possível validar o modelo pela falta de dados experimentais referentes a veículos de carga sob aceleração e frenagem. Mesmo que tais dados estivessem disponíveis na literatura, seria necessária uma nova construção das equações com as constantes corretas, para que o modelo de simulação pudesse ser quantitativamente validado.

Obviamente, o modelo criado jamais descreverá com perfeição a realidade, pois há, na realidade, uma série de fatores aleatórios que adicionam efeitos dinâmicos ao movimento. As próprias simplificações adotadas tendem a tornar o modelo imperfeito. No desenvolvimento do modelo foram adotadas algumas hipóteses simplificadoras:

- Suspensão aproximada por conjunto mola-amortecedor;
- Pneu aproximado por mola;
- Efeitos aerodinâmicos de lift e momento desprezados;
- Corpos do cavalo e carreta foram considerados rígidos torcionalmente;
- Rodas foram consideradas, junto com seus eixos, como um corpo único.

Além destas hipóteses, foram feitas aproximações das constantes necessárias para o modelo. Muitas das características de inércia dos corpos não estavam disponíveis e foram aproximadas para possibilitar o término do modelo. As constantes de mola e amortecedores, tanto da suspensão quanto dos pneus, para o movimento vertical, foram extraídos de trabalhos pré-existentes e não indicam com precisão os valores reais para o caminhão modelado. O coeficiente de arrasto também foi estimado. Como se vê, houve uma série de aproximações para as constantes do modelo, devido à escassez de dados na literatura.

Apesar das imperfeições, as hipóteses simplificadoras adotadas no modelo são razoáveis e são normais em trabalhos de modelagem dinâmica de veículos, como se pode observar em GUTIÉRREZ (1999). Já a aproximação das constantes por trabalhos semelhantes não deveria, intuitivamente, fazer com que o sistema se comportasse de forma totalmente inesperada. Portanto, conclui-se que o modelo criado é válido e, se for alimentado com dados válidos, pode produzir resultados muito úteis.

Para alguns tipos de simulação, foram observadas instabilidades quando as velocidades de rotação dos eixos, do cavalo ou da carreta ficavam próximos de zero. Isto se deve à descontinuidade entre os modelos adotados para os pneus. Como já foi mostrado, o modelo adotado varia conforme as condições instantâneas do veículo. Estas transições entre os modelos, que ocorrem principalmente quando da aproximação das velocidades a zero, fazem com que os cálculos se tornem muitas vezes instáveis, interrompendo a simulação. Para as principais simulações desejadas, isto não causou problemas, pois foi possível tirar as conclusões desejadas e os principais efeitos dinâmicos das manobras foram descritos com qualidade.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do trabalho foi um tanto quanto não linear, no que diz respeito à seqüência de atividades. O primeiro cronograma proposto foi logo alterado após o início das atividades. O problema de modelagem dinâmica acabou sendo dividido em vários problemas menores. Primeiro, diferenciou-se os movimentos longitudinais, laterais e verticais, por exemplo. Em seguida, surgiu a necessidade de estudo das interações entre os corpos. As forças entre pneu e solo, sozinhas, são um vasto campo de estudos, como pode ser visto em PACEJKA (2006). Soma-se a isto a complexidade das forças aerodinâmicas e a característica diferenciada das suspensões tipo tandem com feixe de molas. Este complexo cenário exigiu uma constante pesquisa da literatura existente. Em um momento, por motivos de prazo, foi necessário o início da modelagem. Foram utilizadas, então, as relações matemáticas das quais se dispunha naquela oportunidade. Isto exigiu a aproximação de algumas características do veículo, como foi o caso do mecanismo de suspensão. O mecanismo tandem com feixe de molas foi aproximado por um mecanismo tipo mola-amortecedor. Mais tarde, foi encontrado um trabalho que se dedica a modelagem mais precisa dos sistemas de suspensão utilizados em veículos pesados. Foi inviável, porém, a readaptação do modelo, pois isto exigiria um retrabalho imenso, o que poderia comprometer os prazos de entrega.

A idéia inicial era realizar a simulação com a função CSIM do Scilab, o que exigiria a linearização total do modelo. Porém, como foi discutido na seção 3.10, isto acarretaria uma total particularização do modelo para o entorno do estado de equilíbrio considerado. Assim, outra mudança feita durante o processo foi a mudança do método de simulação, visando possibilitar a implementação de equações não-lineares. Verificou-se, com as simulações, o sucesso do método adotado.

Pesquisou-se ainda os modelos existentes para o efeito slosh. Os modelos massa-mola apresentados em IBRAHIM (2005) poderiam ser incluídos dentro da carreta para simular um caminhão tanque com carga parcial.

Com a metodologia de modelagem e simulação já desenvolvida, validada qualitativamente e testada, seria relativamente simples a continuação deste trabalho com

o desenvolvimento de um modelo que incluísse o efeito slosh e que implementasse as equações características dos efeitos de suspensão tipo tandem.

Os rasultados apresentados poderiam ser utilizados para tornar mais segura a utilização de tais veículos. Poderiam ser feitas simulações semelhantes às realizadas para, por exemplo, dimensionar componentes, prever o comportamento dinâmico durante a frenagem, verificar a possibilidade de ocorrência de derrapagem, etc. Tais informações possibilitariam a otimização dos veículos em fase de projeto, visando maior segurança, estabilidade e durabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMSON, H. N. (1966). **The Dynamic Behavior of Liquids in Moving Containers with Application to Space Vehicle Technology.** Washington, EUA: NASA. SP-106.

Agência Nacional dos Transportes Terrestres (2008). **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres .** Brasil: Agência Nacional de Transportes Terrestres, Publicação Anual.

ALIABADI, S.; JOHNSON, A.; ABEDI, J. (2003). **Comparison of Finite Element and Pendulum Models for Simulation of Sloshing.** Elsevier: Computers & Fluids, Vol. 32, p.535-543.

ALIABADI, S.; TEZDUYAR, T. (2000). **Stabilized finite-element/interface-capturing technique for parallel computation of unsteady flows with interfaces.** Mechanical Engineering Compt. Method Applications, Vol. 190, p.243-261.

AMABILI, M. (1996). **Free Vibration of Partially Filled, Horizontal Cylindrical Shells.** Journal of Sound and Vibration, Vol. 191(5), p.757-780.

BISWAL, K. C.; BHATTACHARYYA, S. K.; SINHA, P. K. (2006). **Nonlinear sloshing in partially liquid filled containers with baffles.** International Journal of Numerical Methods in Engineering, vol. 68, 2006, pp. 317-337.

CAMPBELL, K. L.; BLOWER, D. (1989). **National Estimates of the Number of Trucks, Travel and Accident Experience of Tractor Semitrailers used to Transport Hazardous Materials.** Michigan, EUA: University of Michigan Transportations Research Institute. 21p.

CHADWICK, I.H. KLOTTER, K. (1955). **On the Dynamics of Anti-Roll Tanks.** Schiffstechnik, 8th Issue, Vol. 2, Hamburg, Germany. p.85-104.

DEVILLE, M.O. (1974). **Numerical Experiments on the MAC Code for a Slow Flow.** Journal of Computational Physics, Vol. 15, p.362-374.

DIXON, J. C. (1996). **Tires, Suspension and Handling.** 2nd Edition. Warrendale, EUA: SAE. 621p.

DJAVARESHKIAN, M. H. KHALILI, M. (2006). **Simulation of Sloshing with the Volume of Fluid Method.** EUA: Tech Science Press. FDMP, Vol. 2, No. 4, p.299-307.

ESHLEMAN, R. L; DESAI, S. D. (1972). **Articulated Vehicle Handling.** Chicago, EUA: IIT Research Institute. 494p.

ESMAEELI, A. (2005). **Phase Distribution of Bubbly Flows under Terrestrial and Microgravity Conditions.** FDMP: Fluid Dynamics & Materials Processing, Vol.1(1), p.63-80.

FLEISSNER, F.; D'ALESSANDRO, V.; SCHIEHLEN, W.; EBERHARD, P. (2009). **Sloshing cargo in silo vehicles.** Journal of Mechanical Science and Technology 23, p.968-973.

FRANCESCUTTO, A. CONTENTO, G. (1999). **An Investigation on the Applicability of Simplified Mathematical Models to the Roll-Sloshing Problem.** International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 9, No. 2.

GARCIA, C. (2005). **Modelagem e Simulação.** 2ª Edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 458p.

GILLESPIE, T. D. (1992). **Fundamentals of Vehicle Dynamics.** Warrendale, EUA: SAE. 495p.

GUTIÉRREZ, J. C. H. (1999). **Estudo da Estabilidade Direcional de Veículos Combinados Tipo Cavalo Semi-Reboque.** São Carlos, 1999. Tese de doutorado. 205p.

HAMMACHE, M.; BROWAND, F. **On the Aerodynamics of Tractor-Trailers.** In: MCCALLEN, R.; BROWAND, F.; ROSS, J. (2004). **The Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Buses, and Trains.** Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics Vol. 19. Alemanha: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 567p.

HEDRICK, J. K.; YI, K. (1991). **The Effect of Alternative Heavy Truck Suspensions on Flexible Pavement Response.** Berkeley, EUA: University of California Transportation Center. Working Paper 46.

HIRT, C.W.; NICHOLS, B.D.; ROMERO, N.C. (1975). **SOLA-A Numerical Solution Algorithm for Transient Fluid Flows.** Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-5852.

HIRT, C.W.; SHANNON, J.P. (1968). **Free-Surface Stress Conditions for Incompressible Flow Calculations.** Journal of Computational Physics, Vol. 2, p.403-411.

HOGEA, C.S.; MURRAY B.T.; SETHIAN J.A. (2005). **Implementation of the level set method for continuum-mechanics based tumor growth models.** FDMP: Fluid Dynamics & Materials Processing, Vol. 1(2), p.109-130.

HU, C.; CHEN, J. (2009). **Three-Dimensional Sloshing of Liquid in a Rectangular Parellelepiped Container due to Turning Motions.** Osaka, Japan. Proceedings of the Nineteenth International Offshore and Polar Engineering Conference.

IBRAHIM, R. A. (2005). **Liquid Sloshing Dynamics: Theory and Applications**. Reino Unido: Cambridge University Press. 970p.

JIMENEZ, E.; SUSSMAN M.; OHTA M. (2005). **A Computational Study of Bubble Motion in Newtonian and Viscoelastic Fluids.** FDMP: Fluid Dynamics & Materials Processing, Vol. 1 (2), p.97-108.

JOHNSON, A.; ALIABADI, S. (2000). **Application of automatic mesh generation and mesh multiplication technique to very large scale free-surface flow simulations.** British Columbia, Canadá: Proceeding of the 7th International Conference on Numerical Grid Generation in Computational Field Simulations.

JUN, L. (1985). **Application of Variable Blockage Method to Steady Flows over Curved Beds.** Imperial College: C.F.D.U. Report CFD/85/12.

JUN, L. (1986). **Computer Modeling of Flows with a Free Surface.** Londres, Inglaterra: University of London. Tese para obtenção de título de PhD.

LAPPA, M. (2005). **Coalescence and non-coalescence phenomena in multi-material problems and dispersed multiphase flows: Part 2, a critical review of CFD approaches.** FDMP: Fluid Dynamics & Materials Processing, Vol. 1(3), p.213-234.

LIDSTROM, M.; STRANDBERG, L. (1978). **Influence from liquid load motion on the lateral stability of road vehicles.** Budapest, Hungria: 17th International Congress Papers - FISITA, Vol. 3, p.1727-1735.

MARTIN, J.C.; MOYCE, W.J. (1952). **An Experimental Study of the Collapse of Liquid Columns on a Rigid Horizontal Plane.** Philosophical Transactions of the Royal Society of London, No. 244, p.312-324.

MAXWELL, T.T. (1977). Numerical **Modeling of Free-Surface Flows.** Londres, Inglaterra: University of London. Tese para obtenção de título de PhD.

MIÉGE, A. J. P.; POPOV, A. (2004). **Truck Tyre Modelling for Rolling Resistance Calculations Under a Dynamic Vertical Load.** Journal of Automobile Engineering. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, 2005. Vol. 219, No D4. p.441-456.

MCCALLEN, R.; BROWAND, F.; ROSS, J. (2004). **The Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Buses, and Trains.** Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics Vol. 19. Alemanha: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 567p.

NICHOLS, B.D.; HIRT, C.W. (1971). **Improved Free Surface Boundary Conditions for Numerical Incompressible-Fluid Calculations.** Journal of Computational Physics, Vol. 8, p.434-448.

NICHOLS, B.D.; HIRT, C.W. (1975). **Methods for Calculating Multidimensional Transient Free Surface Flows Past Bodies.** Los Alamos Scientific Laboratory Report LA-UR-75-1932.

PACEJKA, H. B. (2006). **Tyre and Vehicle Dynamics.** 2nd Edition. Reino Unido: Butterworth-Heinemann. 642p.

PAL, N. C.; BHATTACHARYYA, S. K.; SINHA, P. K. (2001). **Experimental investigation of slosh dynamics of liquidfilled containers.** Experimental Mechanics, vol. 41, no. 1, p.63-69.

PAL, P. (2009). **Sloshing of Liquid in Partially Filled Container - An Experimental Study.** Research Paper. International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, No. 6.

POPP, K; SCHIELEN, W. (2001). **Fahrzeugdynamik.** Stuttgart, Alemanha: B. G. Teubner Stuttgart. 308p.

POTTER, M. C.; WIGGERT, D. C. (2004). **Mecânica dos Fluidos.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning. 688p.

ROMERO, J.A.; LOZANO, A.; ORTIZ, W. (2007). **Modelling of liquid cargo - vehicle interaction during turning manoeuvres.** Besançon, France: 12th IFToMM World Congress.

ROZEMA, G. (2004). **Modeling and Simulation of Vehicles Carrying Liquid Cargo.** Holanda: University of Groningen. Tese de Mestrado. 66p.

RUMOLD, W. (2001). **Modeling and Simulation of Vehicles Carrying Liquid Cargo.** Multibody System Dynamics 5, p.351-374.

UMTRI. (2001). **The Mechanics of Heavy-Duty Trucks and Truck Combinations.** Michigan, EUA: The University of Michigan Engineering Summer Conferences.

WARNITCHAI, P.; PINKAEW, T. (1998). **Modeling of Liquid Sloshing in Rectangular Tanks with Flow-Dampening Devices.** Elsevier: Engineering Structures, Vol. 20, No. 7, p.593-600.

WIEDEMANN, J. (2007). **Fahreigenschaften des Kraftfahrzeugs I.** Stuttgart, Alemanha: Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen. Apostila didática.

YI, K.; HEDRICK, J. K. (1989). **Active and Semi-Active Heacy Truck Suspensions to Reduce Pavement Damage.** Berkeley, EUA: University of California Transportation Center. Reprint No. 27.

ANEXO A

As equações implementadas foram:

- Equação para $\ddot{x}_{cav}$:

$\ddot{x}_{cav}$ =(-.3992550450e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-

113.4247287*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.2070838517e14*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.6566619453e14*sin(alpha(t))*cos(alph

a(t))+.4815490287e14*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1380987736e15*sin(alpha(t))*cos(alph

a(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2833277130e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.157600976

7e15*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-

117.6612794*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))+.3880327743e14*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))

^2-

.4888433952e14*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2+.2355581170e14*sin(alpha(t))^2*cos(a

lpha(t))^2-.4712419396e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4-

.4888433952e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-.2730056051e-

9*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))^2-

.1329770748e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.1923433326e1

4*cos(beta(t))^2+.3927510730e14*cos(beta(t))^4+.3829945388e14*cos(alpha(t))^2+.24

44216974e14*cos(alpha(t))^4+96.09797297*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t)

)^2+.1335258595e15*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.3382648649e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-

.4141677033e14*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.7985100901e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.3992550450e14*sin(alph

a(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^4-

.1512951413e15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.4141677033e14*sin(alpha(

t))*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2-.2050552820e15)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*((350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t))+(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t))-1.542696750*diff(xcav(t),t)^2)+112725.3380*(-.1616193182e-3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-4+.1320000000e-3*cos(beta(t))^2-.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))-65268.0)+1/6660*(-.2014101596e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2+.3011961822e17*sin(alpha(t))^2*cos(al

pha(t))-.2862723190e16*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

413231.2114*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.8904819550e17*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-

.9104163122e17*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.8904819550e17*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-

.6377400000e17*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.6687840000e17*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))-.9156469000e16*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.7808416970e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.7032644245e17*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.2195976803e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3562992735e18*sin(alpha(t))+

.1678876326e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.5491243404e17*cos(alpha(t))^3-.1087375238e18*cos(alpha(t))-

.1427107782e18*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.7893677820e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))+.7527264545e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))-.8188516222e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.7757727300e16*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.8394245450e16*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))+.2775512828e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(420471.60*ycav(t)-2398440.084*alpha(t)+402951.95*y1(t)+21900.00*diff(ycav(t),t)-124921.2500*diff(alpha(t),t)+20987.50*diff(y1(t),t)-823423.55*y2(t)-42887.50*diff(y2(t),t)+M1+M2)-

1/6660*(10000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.2270540104e17*cos(alpha(t))^2-

10000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.3847385032e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+10000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-109300.7112*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.4541080212e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.6993949300e16*cos(beta(t))^2+.9014850089e17+.3778119928e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2355347523e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.1571145176e17*cos(beta(t))^4-

.3708854824e17*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.2188786294e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-

3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-

350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-

1.542696750*diff(xcarr(t),t)^2)-16924.04758*(-.1616193182e-

3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-4+.1320000000e-3*cos(beta(t))^2-

.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-217364.0)-1/6660*(.9506123085e17*cos(beta(t))-.1012430899e18*sin(beta(t))+.9939473990e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-.3134496483e17*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.3234528000e17*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2-.3817723200e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3-.3817723200e17*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.3644473796e17*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.3234528000e17*cos(beta(t))^5-.3612191759e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2+.3441845010e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3+.2082949772e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.9329247900e17*cos(beta(t))^3-.3021634774e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.4012167249e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.1149315378e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.3134496483e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))+.1149315378e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.5633107622e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.1997000322e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.3667982748e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.9386849990e16*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.5026772210e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(735825.3*ycarr(t)-

1545233.13*beta(t)-735825.3*y3(t)+38325.0*diff(ycarr(t),t)-80482.50*diff(beta(t),t)-38325.0*diff(y3(t),t)+M3)+(-.4141677034e14*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.7985100904e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.3992550452e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4+.6513019462e14*sin(alpha(t))-.2132187599e15*cos(alpha(t))+.6685299965e13*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-.3382648650e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2+.1507660195e15*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2-79.07235070*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.2356701458e14*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))+96.09797300*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.4141677034e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2+.4007151664e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.7695660359e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-.7288912980e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-117.6612794*cos(alpha(t))^6*sin(alpha(t))-.4712419398e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^4-.1402308520e14*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))+.3844154151e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-.1982124539e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1092435855e15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.4888433954e14*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-.1329770748e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))-.3992550452e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-113.4247287*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.4888433954e14*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))^2-.2730056052e-9*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))^2+.4242200898e14*cos(alpha(t))^3+.3448726946e14*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.3166859051e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.7472448036e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1388056226e15*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.1379184828e15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-.2339507601e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.3463475770e13*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))-.1689104625e14*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))-

.1289501417e14*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.4472946197e14*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))+.2444216975e14*cos(alpha(t))^5)/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))+(-.4141677034e14*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.7985100904e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.3992550452e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4+.6513019462e14*sin(alpha(t))-.2132187599e15*cos(alpha(t))+.6685299965e13*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-.3382648650e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2+.1507660195e15*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2-79.07235070*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.2356701458e14*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))+96.09797300*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.4141677034e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2+.4007151664e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.7695660359e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-.7288912980e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-117.6612794*cos(alpha(t))^6*sin(alpha(t))-.4712419398e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^4-.1402308520e14*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))+.3844154151e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-

.1982124539e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1092435855e1
5*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
.4888433954e14*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-
.1329770748e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))-
.3992550452e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-
113.4247287*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
.4888433954e14*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))^2-.2730056052e-
9*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))^2+.4242200898e14*cos(alpha(t))^3+.3448726946e14*c
os(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.3166859051e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.74
72448036e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1388056226e15*cos(alpha(t))^3*
cos(beta(t))*sin(beta(t))-.1379184828e15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-
.2339507601e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.3463475770e13*cos(bet
a(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))-
.1689104625e14*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))-
.1289501417e14*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.4472946197e14*cos(beta(
t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))+.2444216975e14*cos(alpha(t))^5)/cos(alpha(t))/(.100
7211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-
15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-
3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-
1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-
(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-
42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))-
1/6660*(.1647715672e18*cos(beta(t))-
.4109863266e17*sin(beta(t))+.7802487089e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-

.2460579739e17*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.4110249656e17*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2-.4851340124e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3-.4851340124e17*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.1032970814e18*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.4110249656e17*cos(beta(t))^5-.4045827497e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2-.4270895381e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-.2885769437e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.6624064675e17*cos(beta(t))^3-.2371983298e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.8790111840e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.3257560094e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2460579739e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))+.3257560094e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.9334091938e16*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.4643768960e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.5149906565e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.2660560247e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.1875938486e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t)))/cos(beta(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))-1/6660*(.5000000000e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1007211590e22*cos(alpha(t))^2+.3998987499e22-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.3102515910e21*cos(beta(t))^2+.1675

974000e22*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1044832161e22*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.

6969600000e21*cos(beta(t))^4-

.1645248000e22*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.9709456000e21*cos(beta(t))^2*sin(beta(t

))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

1.885636497*(.9943592006*cos(alpha(t))-

.1060649814*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2-

6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.9388763160*cos(beta(t))+.3442546490*sin(beta(t))))-

750750750.8*(.1616193182e-3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-

4+.1320000000e-3*cos(beta(t))^2-.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124

6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e2

2*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

1.885636497*(.1060649814*cos(alpha(t))+.9943592006*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2+6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.3442546490*cos(beta(t))-.9388763160*sin(beta(t))))

- Equação para $\ddot{y}_{cav}$:

$\ddot{y}_{cav}$ =11272533.80*(-3916363637.-
.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-
.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*((350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)
-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-
18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t))+(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-
350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-
18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t))-
1.542696750*diff(xcav(t),t)^2)+(.2969817097e18*cos(alpha(t))^2-
.3024659432e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2917338329e18*
cos(beta(t))^2+.2471685875e18*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1138628600e18-
.1281306306e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.2562612613e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.2562612613e18*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
728014.9470*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.3024659432e18*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-
(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-
350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-
18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-
350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-
18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))-65268.0)+750750750.8*(345867477.1*cos(alpha(t))-
110194989.7*cos(alpha(t))^3-96627272.70*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-
101330909.1*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-70650398.67*sin(alpha(t))-
110194989.7*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+101330909.1*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-
96627272.70*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(420471.60*ycav(t)-
2398440.084*alpha(t)+402951.95*y1(t)+21900.00*diff(ycav(t),t)-
124921.2500*diff(alpha(t),t)+20987.50*diff(y1(t),t)-823423.55*y2(t)-
42887.50*diff(y2(t),t)+M1+M2)-1692404.758*(-3916363637.-
.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-
.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-
735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-
18250*diff(y3(t),t))-1.542696750*diff(xcarr(t),t)^2-
16924.04758/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-217364.0)-750750750.8*(-33350391.47*sin(beta(t))+38788636.38*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+14222500.01*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2+49008000.*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-127306588.3*cos(beta(t))-14222500.01*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+38788636.38*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+49008000.*cos(beta(t))^3)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(735825.3*ycarr(t)-1545233.13*beta(t)-735825.3*y3(t)+38325.0*diff(ycarr(t),t)-80482.50*diff(beta(t),t)-38325.0*diff(y3(t),t)+M3)+(.1512329715e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-.3024659433e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3297709610e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.2108970888e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.8734244040e17*sin(alpha(t))-.1694951163e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+.2562612613e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.2562612613e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-728014.9472*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2-

.3024659433e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.8568279257e17*cos(alpha(t))-.4136448563e17*cos(alpha(t))^3+.8276645811e17*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1785379893e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))+(.1512329715e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-.3024659433e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3297709610e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.2108970888e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.8734244040e17*sin(alpha(t))-.1694951163e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+.2562612613e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.2562612613e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-728014.9472*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2-.3024659433e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.8568279257e17*cos(alpha(t))-.4136448563e17*cos(alpha(t))^3+.8276645811e17*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1785379893e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-

1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-

(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-

42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))-750750750.8*(-

118604605.2*sin(beta(t))+30449079.56*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+403115

18.82*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2+62276509.94*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

108764264.4*cos(beta(t))-

40311518.82*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+30449079.56*cos(alpha(t))^2*cos
(beta(t))+62276509.94*cos(beta(t))^3)/cos(beta(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-

1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-

sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-

38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))-.7507507508e11*(-3916363637.-

.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-

.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-

1.885636497*(.9943592006*cos(alpha(t))-

.1060649814*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2-

6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.9388763160*cos(beta(t))+.3442546490*sin(beta(t))))-

750750750.8/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-
.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124
6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-
1.885636497*(.1060649814*cos(alpha(t))+.9943592006*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^
2+6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.3442546490*cos(beta(t))-.9388763160*sin(beta(t))))

- Equação para $\ddot{\alpha}$:

$\ddot{\alpha}$ =(.3810862216e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-
.3985147811e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.4980473814e14*sin(alpha(t))+
.2675113990e13*cos(alpha(t))^3-.1830102542e14*cos(alpha(t))-
.2907694186e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-
.4522465191e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+.1337059994e14*cos(alpha(t))^4*sin(al
pha(t))-
.9545378990e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1164823925e1
3*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.8080347172e13*sin(alpha(t))
*cos(beta(t))^2+1000.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.1374845189e13*sin(alpha(t))^2
*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-
.1405399763e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.1521882155e14*cos(alp
ha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1744044897e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t
))+.9201684960e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))-
.8170533816e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.1337059994e14*sin(alpha(t))^3*cos(a
lpha(t))^2-
.1147837838e14*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.7796036040e13*cos(beta(t))^4*sin(alph
a(t))-
.2068006334e14*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.1354796478e14*cos(beta(t))

^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.5751928749e13*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t)))))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*((350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t))+(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t))-1.542696750*diff(xcav(t),t)^2)+(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(33.35843443*cos(alpha(t))-10.86967650*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-7.382609886*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-10.34112141*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-1.815840968*sin(alpha(t))+7.382609886*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-10.86967650*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-10.34112141*cos(alpha(t))^3)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-

350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-

350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))-

65268.0)+(1000.*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

2600.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

2200.*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.4982256561e13*cos(beta

(t))^4*sin(alpha(t))^2+300.*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^3-

3000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.3139268418e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))+30000.*sin

(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1208653909e14*cos(beta(t))^3*sin(b

eta(t))+.1486986302e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+264.3807218*cos(alpha(t))^5*s

in(alpha(t))+.5120100000e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-

.4098617802e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2-

.7270732801e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4+3000.*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin

(beta(t))*sin(alpha(t))+.1517866969e14*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))^2+.7589334845e

13*sin(alpha(t))^4*cos(alpha(t))^2+.2616873683e13*sin(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+40

00.*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))-

8000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.3705288023e13*cos(beta

(t))^2+.7132889359e13*cos(beta(t))^4+.8124340762e14*cos(alpha(t))^2-

.4098617802e14*cos(alpha(t))^4+1029.091477*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(bet

a(t))^2+.1248155702e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.1208653909e14*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))^2*sin(beta(t))+800.*sin(alpha(t))^3*cos(a

lpha(t))*cos(beta(t))^2+.1248155704e14*sin(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.6995

045918e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))^2-

.5257943436e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-

10000.*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.1208653908e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))-

10000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^4+20000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*c

os(beta(t))^2+.7589334846e13*cos(alpha(t))^6+.2872060109e14*sin(alpha(t))^2-

.8936894327e14)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(420471.60*ycav(t)-

2398440.084*alpha(t)+402951.95*y1(t)+21900.00*diff(ycav(t),t)-

124921.2500*diff(alpha(t),t)+20987.50*diff(y1(t),t)-823423.55*y2(t)-

42887.50*diff(y2(t),t)+M1+M2)-(-

.4365474135e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2+.2007398457e13*cos(alpha(t))^4*sin(al

pha(t))-

.5983111905e13*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2618426287e13*sin(alpha(t))*

cos(beta(t))*sin(beta(t))+.7477447158e13*sin(alpha(t))+.2284881684e13*cos(alpha(t))^

3*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.2110000545e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-

.1433097929e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1748811387e1

2*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2064127361e12*sin(alpha(t))

^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.6789814725e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+.1213144999e13*sin(alpha(t))*cos(beta(

t))^2+.5721447780e13*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.2747629155e13*cos(alpha(t))+.8635673006e12*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t

))-

.3104806623e13*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.2034027174e13*cos(beta(t))

^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.1381497336e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alph

a(t))+.4016289260e12*cos(alpha(t))^3-

.1723309288e13*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.1170459874e13*cos(beta(t))^4*sin(alph

a(t))+.2007398457e13*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-

100.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2-

.1226685193e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-

3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-

350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-

1.542696750*diff(xcarr(t),t)^2)-(-

.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124

6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(5.008277124*

cos(alpha(t))-1.631921674*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

1.108390032*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

1.552566919*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-

.2726217502*sin(alpha(t))+1.108390032*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

1.631921674*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

1.552566919*cos(alpha(t))^3)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-217364.0)-(-.9795301516e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.8775708600e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-.3602360290e12*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.3315480734e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.2671445867e13*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.2409634254e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))-.3547789364e13*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))*sin(beta(t))-.4540030637e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.2671445866e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-.2599267164e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.5637573160e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-.2474535751e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3-.3547789364e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*sin(alpha(t))+.4009674167e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-.2671445866e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-.2409634254e13*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))*sin(beta(t))+.5800964935e13*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.5136178641e13*sin(alpha(t))*cos(beta(t))+.8775708580e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.3315480730e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-1000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.1728468316e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))-.9405576048e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))+.2000323200e14*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))-.5981818944e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^3-.2671445866e13*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))+.5731370472e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3-.3547789364e13*cos(beta(t))^5*cos(alpha(t))+.2409634254e13*cos(beta(t))^5*sin(alpha(t))-.9795301513e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^5-.6363079636e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))-

.1032747442e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.5907850905e13*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))+.8139826805e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-.3547789364e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))-.2409634254e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*cos(alpha(t))-.2866698181e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.1276047875e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.9795301512e12*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))+.9795301518e12*cos(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2+.8863095608e13*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(735825.3*ycarr(t)-1545233.13*beta(t)-735825.3*y3(t)+38325.0*diff(ycarr(t),t)-80482.50*diff(beta(t),t)-38325.0*diff(y3(t),t)+M3)+(.5751928744e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-.1288917370e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.5645210877e14*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.1092022420e14*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1169281324e14*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))^2-200.*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^3-.8696327319e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1569634209e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.8293530885e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.6043269546e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.4554355366e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-200.*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))+.2560050000e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-.8170533808e13*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2-.2736335404e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2-.1511374478e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4-

.3001098223e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))*sin(alpha(t))+.7589334849e13*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))^2+.3794667424e13*sin(alpha(t))^4*cos(alpha(t))^2-.3122318049e14*sin(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.4239811114e14*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))-.4136012668e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.1852644012e13*cos(beta(t))^2+.3566444680e13*cos(beta(t))^4+.2232067838e14*cos(alpha(t))^2-.1781797502e14*cos(alpha(t))^4+.1092022420e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-.3361069957e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.1179519829e14*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))^2*sin(beta(t))-.1288917372e14*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.4888841262e14*sin(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.7980855419e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))^2+.6572713243e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2+.1521882155e14*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.2913407950e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))-.5751928754e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^4+.9422346197e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.4099716898e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.3794667425e13*cos(alpha(t))^6+.2180516307e14*sin(alpha(t))^2-.4468447164e14)/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t)))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))+(.5751928744e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-

.1288917370e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.5645210877e14*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.1092022420e14*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1169281324e14*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))^2-200.*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^3-

.8696327319e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1569634209e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.8293530885e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.6043269546e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.4554355366e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-

200.*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))+.2560050000e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-

.8170533808e13*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2-

.2736335404e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2-

.1511374478e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4-

.3001098223e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))*sin(alpha(t))+.7589334849e13*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))^2+.3794667424e13*sin(alpha(t))^4*cos(alpha(t))^2-

.3122318049e14*sin(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.4239811114e14*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))-

.4136012668e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.1852644012e13*cos(beta(t))^2+.3566444680e13*cos(beta(t))^4+.2232067838e14*cos(alpha(t))^2-

.1781797502e14*cos(alpha(t))^4+.1092022420e14*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-.3361069957e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.1179519829e14*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))^2*sin(beta(t))-

.1288917372e14*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.4888841262e14*sin(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.7980855419e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))^2+.6572713243e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2+.1521882155e14*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.2913407950e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))-

.5751928754e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^4+.9422346197e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.4099716898e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.3794667425e13*cos(alp

ha(t))^6+.2180516307e14*sin(alpha(t))^2-

.4468447164e14)/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-

(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-

42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))-(-

.2776329625e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2-

.1421107421e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3+.6120128224e13*sin(alp

ha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.4362890648e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.2097085005e13*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.3062022764e13*cos(bet

a(t))^3*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))-

.4508323938e13*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))*sin(beta(t))-

.6636532647e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.2097085005e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-

.6405898857e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.4073007399e13*sin(beta(t

))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-

.1736097828e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3-

.4508323938e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*sin(alpha(t))+.9513045535e13*sin(beta(

t))*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-

.2097085005e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-

.3062022765e13*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))*sin(beta(t))+.2288041035e13*sin(alpha(t

))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.1150934740e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))-

.1421107424e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.4362890645e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+1200.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.1397010521e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))-

.6265640855e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))+.2142398490e14*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))-.5922413064e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^3-

.2097085005e13*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))+.1734005181e14*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3-

.4508323938e13*cos(beta(t))^5*cos(alpha(t))+.3062022764e13*cos(beta(t))^5*sin(alpha(t))-.2776329625e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^5-

.2552871807e14*sin(beta(t))*cos(alpha(t))-

.2450217415e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.3424517966e13*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))+.5710782573e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-.4508323938e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))-

.3062022765e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*cos(alpha(t))-

.2525120989e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.1985006344e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.2776329626e13*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))+.2776329625e13*cos(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2+.1390753684e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t)))/cos(beta(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))-

(.2538034235e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.2654108441e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3316995558e18*sin(alpha(t))+

.1781625916e17*cos(alpha(t))^3-.1218848293e18*cos(alpha(t))-

.1936524327e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-

.3011961812e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+.8904819556e17*cos(alpha(t))^4*sin(al

pha(t))-

.6357222416e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.7757727276e1

6*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.5381511215e17*sin(alpha(t))

*cos(beta(t))^2+1000000.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.9156469012e16*sin(alpha(t

))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.9359962416e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.1013573515e18*cos(alp

ha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1161533901e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t

))+.6128322183e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))-

.5441575517e17*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.8904819555e17*sin(alpha(t))^3*cos(a

lpha(t))^2-

.7644600001e17*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.5192160000e17*cos(beta(t))^4*sin(alph

a(t))-

.1377292218e18*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.9022944546e17*cos(beta(t))

^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.3830784546e17*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t

)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

1.885636497*(.9943592006*cos(alpha(t))-

.1060649814*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2-

6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.9388763160*cos(beta(t))+.3442546490*sin(beta(t))))-(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(222167.1732*cos(alpha(t))-72392.04546*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-49168.18183*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-68871.86855*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-12093.50085*sin(alpha(t))+49168.18183*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-72392.04546*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-68871.86855*cos(alpha(t))^3)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1.885636497*(.1060649814*cos(alpha(t))+.9943592006*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2+6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.3442546490*cos(beta(t))-.9388763160*sin(beta(t))))

- Equação para $\ddot{x}_{carr}$:

$\ddot{x}_{carr}$ =-1/44360*(.6004485736e18+.1512329715e18*cos(alpha(t))^2-100000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.2562612613e18*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+100000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-728014.9472*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.3024659433e18*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.4658432300e17*cos(beta(t))^2+.2516477479e18*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1568817059e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.1046486487e18*cos(beta(t))^4-.2470342343e18*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.1457876277e18*cos(beta(t))^2*sin(beta(t

$))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-$

$.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*$

$cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-$

$.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t$

$))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-$

$4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-$

$.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-$

$15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-$

$3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-$

$3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*((350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-$

$350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-$

$18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t))+(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-$

$350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-$

$18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t))-1.542696750*diff(xcav(t),t)^2-16924.04759*(-$

$.1616193182e-3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-4+.1320000000e-$

$3*cos(beta(t))^2-.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-$

$.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124$

$6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e2$

$2*cos(alpha(t))^2-$

$.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*$

$cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-$

$.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t$

$))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-$

$4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-$

$.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-$

$15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-$

$3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-$

$(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-$

$350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-$

$18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-$

350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))-65268.0)-1/44360*(-.2014101596e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2+.3011961822e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-.2862723190e16*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-413231.2114*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.8904819550e17*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-.9104163122e17*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.8904819550e17*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-.6377400000e17*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.6687840000e17*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))-.9156469000e16*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.7808416970e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.7032644245e17*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.2195976803e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3562992735e18*sin(alpha(t))+.1678876326e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.5491243404e17*cos(alpha(t))^3-.1087375238e18*cos(alpha(t))-.1427107782e18*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.7893677820e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))+.7527264545e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))-.8188516222e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.7757727300e16*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.8394245450e16*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))+.2775512828e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(420471.60*ycav(t)-2398440.084*alpha(t)+402951.95*y1(t)+21900.00*diff(ycav(t),t)-

124921.2500*diff(alpha(t),t)+20987.50*diff(y1(t),t)-823423.55*y2(t)-
42887.50*diff(y2(t),t)+M1+M2)+(-
.5994225879e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-
17.02905079*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
.3109058729e13*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.9858810992e13*sin(alpha(t))*cos(alph
a(t))+.2408591174e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2073349486e14*sin(alpha(t))*cos(alph
a(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.5158144990e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.294562138
4e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-
17.66510642*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))+.3032688524e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))
^2-
.7339262876e13*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2+.5309620205e12*sin(alpha(t))^2*cos(a
lpha(t))^2-.7075002971e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4-
.7339262876e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-.4098776668e-
10*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))^2-
.1996454729e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.1995272448e1
3*cos(beta(t))^2+.3891682094e13*cos(beta(t))^4+.2852723001e13*cos(alpha(t))^2+.36
69631436e13*cos(alpha(t))^4+14.42769387*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t)
)^2+.2495648412e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
.5078548242e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-
.6218117457e13*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
.1198845176e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.5994225879e13*sin(alph
a(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^4-
.2271473492e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.6218117457e13*sin(alpha(
t))*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2-.4228963596e14)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

129

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-1.542696750*diff(xcarr(t),t)^2)+2540.896233*(-.1616193182e-3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-4+.1320000000e-3*cos(beta(t))^2-.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-217364.0)+1/44360*(.9506123085e17*cos(beta(t))-.1012430899e18*sin(beta(t))+.9939473990e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-.3134496483e17*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.3234528000e17*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2-.3817723200e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3-.3817723200e17*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.3644473796e17*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.3234528000e17*cos(beta(t))^5-.3612191759e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2+.3441845010e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3+.2082949772e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.9329247900e17*cos(beta(t))^3-.3021634774e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.4012167249e17*cos(alpha

(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.1149315378e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.3134496483e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))+.1149315378e17*sin(alph

a(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.5633107622e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.1997000322e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.3667982748e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.9386849990e16*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.5026772210e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(735825.3*ycarr(t)-

1545233.13*beta(t)-735825.3*y3(t)+38325.0*diff(ycarr(t),t)-80482.50*diff(beta(t),t)-

38325.0*diff(y3(t),t)+M3-

1/44360*(.4976650392e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1418489076e18*cos

(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.2210980401e18*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.4452409777e17*cos(alpha(t

))^4*sin(alpha(t))-

.4854416045e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.5125309799e18*sin(alpha(t))^2*cos(alp

ha(t))+.1853599643e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.3479867588e18*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.5460798116e18*cos(alpha(t))-

.2428371115e18*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))-

.1124943680e18*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.8908854580e17*sin(alpha(t)

)*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-

.1558112062e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.8588079440e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.4452409777e17*sin(alpha

131

(t))^3*cos(alpha(t))^2+.1786891885e18*cos(alpha(t))^3+.7276164865e17*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.1569563171e18*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))+.4337670962e18*sin(alpha(t))-.1921755526e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.1320094943e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-206615.6056*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2-.1813161893e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2+.1852560167e18*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t)))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))-1/44360*(.4976650392e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1418489076e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.2210980401e18*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.4452409777e17*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-.4854416045e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.5125309799e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+.1853599643e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.3479867588e18*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.5460798116e18*cos(alpha(t))-.2428371115e18*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))-.1124943680e18*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.8908854580e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-.1558112062e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.8588079440e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.4452409777e17*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2+.1786891885e18*cos(alpha(t))^3+.7276164865e17*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.1569563171e18*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))+.4337670962e18*sin(alpha(t))-.1921755526e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.1320094943e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-206615.6056*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2-.1813161893e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2+.1852560167e18*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))+(-.6218117457e13*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-17.66510642*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))+14.42769387*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-.4060742075e14*cos(beta(t))-.9264795460e12*sin(beta(t))-.4098776668e-10*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))^2-.5078548242e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2+.6218117457e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^3+.5994225879e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^5-.5997656102e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.2951712115e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-.9120440706e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2-.1093629424e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3+.3465840770e13*cos(beta(t))^3*sin(bet

a(t))^2+.1767312830e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.2763768624e13*cos(alpha(t))^2*
cos(beta(t))+.1046837006e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.1957256011e14*sin(alpha(t))
*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-
.5994225879e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2-
.1996454730e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))-
.7339262877e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-
17.02905079*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.4900596455e
13*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))-
.1198845176e14*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.3443572980e12*cos(beta
(t))^3+.4464068135e13*cos(beta(t))^5-
.3663743070e13*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.2575874023e14*cos(alpha
(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.1161771250e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta
(t))+.2328608688e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-
.2324944712e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3-
.7343462791e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.1981540090e12*cos(alpha(
t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-
.5546843415e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))+.7343462791e12*sin(alph
a(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))-.7339262877e13*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^3-
.7075002971e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^5+.3669631436e13*cos(alpha(t))^4*cos(
beta(t)))/cos(beta(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-
15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-
3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-
1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-
sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-

38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))+1/44360*(.5000000000e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1007211590e22*cos(alpha(t))^2+.3998987499e22-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.3102515910e21*cos(beta(t))^2+.1675974000e22*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1044832161e22*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.6969600000e21*cos(beta(t))^4-.1645248000e22*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.9709456000e21*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1.885636497*(.9943592006*cos(alpha(t))-.1060649814*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2-6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.9388763160*cos(beta(t))+.3442546490*sin(beta(t))))+112714156.9*(-.1616193182e-3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-4+.1320000000e-3*cos(beta(t))^2-.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-
15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-
3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-
1.885636497*(.1060649814*cos(alpha(t))+.9943592006*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^
2+6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.3442546490*cos(beta(t))-.9388763160*sin(beta(t))))

- Equação para $\ddot{y}_{carr}$:

$\ddot{y}_{carr}$ =-1692404.759*(-3916363637.-
.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-
.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*((350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)
-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-
18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t))+(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-
350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-
18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t))-1.542696750*diff(xcav(t),t)^2-
16924.04759/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-
.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124

6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))-65268.0)-112714156.9*(345867477.1*cos(alpha(t))-110194989.7*cos(alpha(t))^3-96627272.70*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-101330909.1*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-70650398.67*sin(alpha(t))-110194989.7*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+101330909.1*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-96627272.70*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(420471.60*ycav(t)-2398440.084*alpha(t)+402951.95*y1(t)+21900.00*diff(ycav(t),t)-124921.2500*diff(alpha(t),t)+20987.50*diff(y1(t),t)-823423.55*y2(t)-42887.50*diff(y2(t),t)+M1+M2)+254089.6233*(-3916363637.-.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-1.542696750*diff(xcarr(t),t)^2)+(.2599066438e17*cos(alpha(t))^2-.4541080212e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2587237412e17*

cos(beta(t))^2+.2192011158e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.7606507350e17-.1923692516e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.3847385032e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.3847385032e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-109300.7112*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.4541080212e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-217364.0)+112714156.9*(-33350391.47*sin(beta(t))+38788636.38*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+14222500.01*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2+49008000.*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-127306588.3*cos(beta(t))-14222500.01*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+38788636.38*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+49008000.*cos(beta(t))^3)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(735825.3*ycarr(t)-1545233.13*beta(t)-735825.3*y3(t)+38325.0*diff(ycarr(t),t)-80482.50*diff(beta(t),t)-38325.0*diff(y3(t),t)+M3-112714156.9*(-650933749.6*sin(alpha(t))-55097494.86*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+237812601.7*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+110244922.2*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+114129479.7*cos(alpha(t))-55097494.86*cos(alpha(t))^3+110244922.2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-237812601.7*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*co

s(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-

789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t))))*y1(t)-

(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-

350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))-112714156.9*(-650933749.6*sin(alpha(t))-

55097494.86*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+237812601.7*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+

110244922.2*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+114129479.7*cos(alpha(t))-

55097494.86*cos(alpha(t))^3+110244922.2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

237812601.7*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*co

s(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-

1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-

(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-

42887.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))+(.2724907990e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2-

.4541080212e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.2270540106e1

7*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.2625636947e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.7311421042

e17*sin(beta(t))-

.1580488283e17*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.3847385032e17*sin(alpha(t))

*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.3847385032e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

109300.7112*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.4541080212e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.1225927236e17*cos(beta(t))-

.4543678857e16*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.3432042331e16*cos(alpha(t)

)^2*cos(beta(t))+.7019444313e16*cos(beta(t))^3)/cos(beta(t))/(.1007211590e22*cos(al

pha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-

1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-

sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-

38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))+.1127141569e11*(-3916363637.-

.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-

.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-

1.885636497*(.9943592006*cos(alpha(t))-

.1060649814*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2-

6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.9388763160*cos(beta(t))+.3442546490*sin(beta(t))))+

112714156.9/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1.885636497*(.1060649814*cos(alpha(t))+.9943592006*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2+6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.3442546490*cos(beta(t))-.9388763160*sin(beta(t))))

- Equação para $\ddot{\beta}$:

$\ddot{\beta}=$-

(.2379770530e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.1492413513e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.5472182881e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.5059703877e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2-.4706451177e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))-.1725698765e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2701201686e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.5732317120e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3+.1112545983e14*cos(beta(t))-.1635593119e14*sin(beta(t))-.1305087728e14*cos(beta(t))^3-.5507481604e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.4536989154e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.5167935440e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-.4706451176e13*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.3127552212e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.1409436941e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.4856648651e13*cos(beta(t))^5+.9619831264e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.1725698765e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))-.5732317121e13*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.4856648651e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t

))^2+.6024275152e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*((350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t))+(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t))-1.542696750*diff(xcav(t),t)^2)-(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1.334694070*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-12.22847113*cos(beta(t))+4.599099100*cos(beta(t))^3+3.640074735*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-2.361915664*sin(beta(t))+4.599099100*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+3.640074735*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+1.334694070*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))-65268.0)-(-.9795301505e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.1597629000e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-.2825900884e13*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.2936762591e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.2671445865e13*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.3103765746e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))-.2959693363e13*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))*sin(beta(t))-.3810545683e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.2671445865e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-.3928282146e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.5414288980e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-.2675978069e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3-.2959693364e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*sin(alpha(t))+.2202497076e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-.2671445865e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-.3103765745e13*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))*sin(beta(t))+.4500268609e13*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.9350479070e13*sin(alpha(t))*cos(beta(t))+.1597629000e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.2936762592e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.1746000925e14*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))-.8697542943e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))+.1856412339e14*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))-.5919239944e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^3-.2671445865e13*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))+.4533150221e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3-

.2959693363e13*cos(beta(t))^5*cos(alpha(t))+.3103765746e13*cos(beta(t))^5*sin(alpha(t))-.9795301505e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^5-.6486901906e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))-.5672838060e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.9472314005e13*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))+.8802458408e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-.2959693364e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))-.3103765746e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*cos(alpha(t))-.2778436991e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.1195516051e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.9795301505e12*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))+.9795301505e12*cos(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2+.9583175710e13*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(420471.60*ycav(t)-2398440.084*alpha(t)+402951.95*y1(t)+21900.00*diff(ycav(t),t)-124921.2500*diff(alpha(t),t)+20987.50*diff(y1(t),t)-823423.55*y2(t)-42887.50*diff(y2(t),t)+M1+M2)+(.3572874610e11*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.2240638863e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.8215675826e12*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.7596399416e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2-.7066042570e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))-.2590882275e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.4055456088e12*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.8606229033e12*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3+.1670323770e13*cos(beta(t))-.2455601931e13*sin(beta(t))-.1959396813e13*cos(beta(t))^3-.8268671660e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.6811620323e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.7758893140e11*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-

.7066042567e12*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.4695558549e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.2116061771e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.7291541930e12*cos(beta(t))^5+.1444275838e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.2590882276e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))-

.8606229036e12*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.7291541934e12*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2+.9044560984e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-

3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-

350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-

1.542696750*diff(xcarr(t),t)^2)+(-

.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

.2003846371*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-

1.835924655*cos(beta(t))+.6904869252*cos(beta(t))^3+.5465035557*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-

.3546068151*sin(beta(t))+.6904869252*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.5465035557*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.2003846371*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

145

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-217364.0)+(-.6647596490e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^3+.6647596503e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-.6895892265e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.6895892260e12*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.2186684278e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.2532003804e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.5632110000e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.1024420890e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.6370249460e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-3.918120603*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))-.6984201170e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-.6874995610e12*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2-1.600031250*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.5632110000e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^4+1000.*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-.9091086650e-11*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))^2+.1264246915e12*cos(alpha(t))^4*sin(beta(t))^2+.3863116958e12*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))^2+.1501115040e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^4+.3002230080e13*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))^2+.5632109999e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^3-.1024420892e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))^3+.5632110000e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.1123983687e14*cos(beta(t))^2-.6984201168e13*cos(beta(t))^4+.5192069565e12*cos(alpha(t))^2+.8139242525e12*cos(alpha(t))^4+.1264246916e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.1354348873e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.5632110009e12*cos(alpha(t))^2*co

s(beta(t))^2*sin(beta(t))^2+.6895892266e12*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2186684279e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*sin(beta(t))^2+.9403489450e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))^2-

.6895892258e12*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.6647596490e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.6647596496e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^4-

.2851443926e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.6895892258e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.3977346067e13*sin(beta(t))^2+.1501115040e13*cos(beta(t))^6-.9830583760e13)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(735825.3*ycarr(t)-

1545233.13*beta(t)-735825.3*y3(t)+38325.0*diff(ycarr(t),t)-80482.50*diff(beta(t),t)-

38325.0*diff(y3(t),t)+M3)-(-

.4897650755e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.6745240584e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-

.2276322328e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.1659170915e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.1335722933e13*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.7284199987e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.3376801968e13*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.4119002313e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.1335722933e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-

.1777499840e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))-

.3467051020e12*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-

.3001551723e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.3376801967e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*sin(alpha(t))-

.1382288659e14*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-

.1335722933e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-

.7284199989e13*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))*sin(beta(t))-

.1360702289e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.5481139574e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))+.6745240584e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.1659170916e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+3000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.8967981684e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))+.5334971600e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-

.3768815577e13*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))-

.2442826427e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^3-

.1335722933e13*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))-

.2793128765e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3+.3376801967e13*cos(beta(t))^5*cos(alpha(t))+.7284199988e13*cos(beta(t))^5*sin(alpha(t))-

.4897650755e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^5-

.1959938214e14*sin(beta(t))*cos(alpha(t))+.3560277016e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.3883381330e14*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))+.9873412085e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.3376801970e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))-

.7284199988e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*cos(alpha(t))-

.2766725125e13*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.3276378570e13*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.4897650754e12*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))+.4897650754e12*cos(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2+.1441141911e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t)))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))-(-.4897650755e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.6745240584e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-.2276322328e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.1659170915e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.1335722933e13*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.7284199987e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.3376801968e13*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.4119002313e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.1335722933e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-.1777499840e14*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))-.3467051020e12*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2-.3001551723e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.3376801967e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*sin(alpha(t))-.1382288659e14*sin(beta(t))*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-.1335722933e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-.7284199989e13*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))*sin(beta(t))-.1360702289e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.5481139574e14*sin(alpha(t))*cos(beta(t))+.6745240584e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.1659170916e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+3000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.8967981684e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))+.5334971600e13*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-.3768815577e13*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))-.2442826427e13*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^3-.1335722933e13*cos(alpha(t))^5*cos(beta(t))-

.2793128765e13*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3+.3376801967e13*cos(beta(t))^5*cos(alpha(t))+.7284199988e13*cos(beta(t))^5*sin(alpha(t))-.4897650755e12*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^5-.1959938214e14*sin(beta(t))*cos(alpha(t))+.3560277016e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.3883381330e14*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))+.9873412085e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.3376801970e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))-.7284199988e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3*cos(alpha(t))-.2766725125e13*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.3276378570e13*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.4897650754e12*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))+.4897650754e12*cos(beta(t))*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2+.1441141911e14*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))+(.5825380606e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^3+.7797860035e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-.1247931800e13*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.5413275424e12*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.1716547158e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.7059225753e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1201014529e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.4479154954e13*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.5357933260e12*cos(alpha(t))^2*cos(beta

(t))^2-3.075724673*cos(alpha(t))^5*sin(alpha(t))-
.8268861898e13*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2-
.5396871550e12*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))^2-
1.256024531*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.5197095670e12*cos(alpha(t))^2*cos(bet
a(t))^4-.5181764543e12*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))*sin(alpha(t))-
.7136503020e-
11*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))^2+.3583316102e12*cos(alpha(t))^4*sin(beta(t))^2-
.9768033950e12*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))^2+.1907529499e13*cos(beta(t))^2*sin(be
ta(t))^4+.3815058999e13*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))^2+.1019228392e13*sin(alpha(t))*
cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^3-.4009599098e13*cos(beta(t))*sin(beta(t))^3-
.6345059426e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.1049359572e1
4*cos(beta(t))^2-
.7441994733e13*cos(beta(t))^4+.4075774609e12*cos(alpha(t))^2+.6389305382e12*co
s(alpha(t))^4+.3583316104e12*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-
.4310882067e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2173443898e13*cos(alpha(t
))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2+.1247931799e13*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))^3*sin(
alpha(t))-
.3957186022e13*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*sin(beta(t))^2+.7381739215e12*sin(alpha(
t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))^2+.1652767140e12*cos(alpha(t))^4*cos(beta(t))*sin(
beta(t))+.1521649771e13*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))-
.1593257080e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^4+2255381000.*sin(alpha(t))*
cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-
.1652767143e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.4576087920e13*sin(bet
a(t))^2+.1907529499e13*cos(beta(t))^6-
.7717008252e13)/cos(beta(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))+(.1584927178e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.9939473996e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+.3644473796e17*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.3369762782e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2-.3134496483e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))-.1149315377e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.1799000322e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.3817723200e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3+.7409556241e17*cos(beta(t))-.1089305017e18*sin(beta(t))-.8691884262e17*cos(beta(t))^3-.3667982750e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.3021634775e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.3441845000e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-.3134496482e17*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.2082949772e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.9386850002e16*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.3234528000e17*cos(beta(t))^5+.6406807619e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.1149315377e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))-.3817723200e17*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.3234528000e17*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2+.4012167250e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1.885636497*(.9943592006*cos(alpha(t))-.1060649814*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2-6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.9388763160*cos(beta(t))+.3442546490*sin(beta(t))))+(-8889.062500*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-81441.61770*cos(beta(t))+30630.*cos(beta(t))^3+24242.89773*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-15730.35832*sin(beta(t))+30630.*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+24242.89773*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+8889.062500*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2)*(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1.885636497*(.1060649814*cos(alpha(t))+.9943592006*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2+6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.3442546490*cos(beta(t))-.9388763160*sin(beta(t))))

- Equação para $\ddot{y}_1$:

$\ddot{y}_1$=-9.800000000-.3076923077e-2*sin(alpha(t))/cos(alpha(t))*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))-2760.021539*fN1*y1(t)+.3076923077e-2*(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))

- Equação para $\ddot{\gamma}_1$:

$\ddot{\gamma}_1$ =.2439024390e-1*M1-10204.00158*fR1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t))))*y1(t)-21878.21951*fE1*e*y1(t)

- Equação para $\ddot{y}_2$:

$\ddot{y}_2$ =-9.799999997-.1538461538e-2*sin(alpha(t))/cos(alpha(t))*(-1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))-2760.023076*fN2*y2(t)+.1538461538e-2*(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))

- Equação para $\ddot{\gamma}_2$:

$\ddot{\gamma}_2$ =.1219512195e-1*M2-10204.00727*fR2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-21878.23171*fE2*e*y2(t)

- Equação para $\ddot{y}_3$:

$\ddot{y}_3$ =-9.799999997-.1538461538e-2*sin(beta(t))/cos(beta(t))*(-1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))-2760.023076*fN3*y3(t)+.1538461538e-2*cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))

- Equação para $\ddot{\gamma}_3$:

$\ddot{\gamma}_3$ =.1219512195e-1*M3-10204.00727*fR3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-21878.23171*fE3*e*y3(t)

- Equação para F_{x1}:

F_{x1} =1./cos(alpha(t))*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))

- Equação para F_{x2}:

F_{x2} =1./cos(alpha(t))*(-1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))

- Equação para F_{x3}:

F_{x3} =1./cos(beta(t))*(-1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))

- Equação para C_x:

C_x =-(.6004485736e18+.1512329715e18*cos(alpha(t))^2-100000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.2562612613e18*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+100000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-728014.9472*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.3024659433e18*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.4658432300e17*cos(beta(t))^2+.2516

477479e18*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1568817059e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.

1046486487e18*cos(beta(t))^4-

.2470342343e18*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.1457876277e18*cos(beta(t))^2*sin(beta(t

))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-

3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*((350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-

350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t))+(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-

350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t))-1.542696750*diff(xcav(t),t)^2-750750751.0*(-

.1616193182e-3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-4+.1320000000e-

3*cos(beta(t))^2-.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124

6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e2

2*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))-65268.0)-(-.2014101596e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2+.3011961822e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))-.2862723190e16*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-413231.2114*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2+.8904819550e17*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-.9104163122e17*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.8904819550e17*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2-.6377400000e17*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.6687840000e17*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))-.9156469000e16*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.7808416970e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.7032644245e17*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.2195976803e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3562992735e18*sin(alpha(t))+.1678876326e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.5491243404e17*cos(alpha(t))^3-.1087375238e18*cos(alpha(t))-.1427107782e18*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.7893677820e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t))+.7527264545e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))-.8188516222e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.7757727300e16*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.8394245450e16*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))+.2775512828e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(420471.60*ycav(t)-2398440.084*alpha(t)+402951.95*y1(t)+21900.00*diff(ycav(t),t)-124921.2500*diff(alpha(t),t)+20987.50*diff(y1(t),t)-823423.55*y2(t)-42887.50*diff(y2(t),t)+M1+M2)+(10000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.2270540104e17*cos(alpha(t))^2-10000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.3847385032e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))+10000000.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-109300.7112*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.4541080212e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.6993949300e16*cos(beta(t))^2+.9014850089e17+.3778119928e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.2355347523e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.1571145176e17*cos(beta(t))^4-.3708854824e17*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.2188786294e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-1.542696750*diff(xcarr(t),t)^2)+112714156.9*(-.1616193182e-3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-4+.1320000000e-3*cos(beta(t))^2-.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-217364.0)+(.9506123085e17*cos(beta(t))-.1012430899e18*sin(beta(t))+.9939473990e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-.3134496483e17*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.3234528000e17*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))^2-.3817723200e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3-.3817723200e17*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.3644473796e17*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.3234528000e17*cos(beta(t))^5-.3612191759e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2+.3441845010e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3+.2082949772e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.9329247900e17*cos(beta(t))^3-.3021634774e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.4012167249e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.1149315378e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.3134496483e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))+.1149315378e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.5633107622e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.1997000322e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.3667982748e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-.9386849990e16*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-.5026772210e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(735825.3*ycarr(t)-

1545233.13*beta(t)-735825.3*y3(t)+38325.0*diff(ycarr(t),t)-80482.50*diff(beta(t),t)-

38325.0*diff(y3(t),t)+M3-

(.4976650392e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1418489076e18*cos(alpha(t))

*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.2210980401e18*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.4452409777e17*cos(alpha(t

))^4*sin(alpha(t))-

.4854416045e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.5125309799e18*sin(alpha(t))^2*cos(alp

ha(t))+.1853599643e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.3479867588e18*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.5460798116e18*cos(alpha(t))-

.2428371115e18*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))-

.1124943680e18*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.8908854580e17*sin(alpha(t)

)*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-

.1558112062e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-

.8588079440e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.4452409777e17*sin(alpha

(t))^3*cos(alpha(t))^2+.1786891885e18*cos(alpha(t))^3+.7276164865e17*cos(beta(t))^

4*cos(alpha(t))+.1569563171e18*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))+.4337670962e18*sin(alp

ha(t))-.1921755526e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

.1320094943e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

206615.6056*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2-

.1813161893e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2+.1852560167e18*cos(beta(t))^2*sin(bet

a(t))^2*cos(alpha(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t)))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))-(.4976650392e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1418489076e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.2210980401e18*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.4452409777e17*cos(alpha(t))^4*sin(alpha(t))-.4854416045e18*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+.5125309799e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+.1853599643e18*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.3479867588e18*cos(alpha(t))^3*cos(beta(t))^2+.5460798116e18*cos(alpha(t))-.2428371115e18*cos(beta(t))^3*cos(alpha(t))*sin(beta(t))-.1124943680e18*cos(beta(t))^3*sin(alpha(t))*sin(beta(t))+.8908854580e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2-.1558112062e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.8588079440e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*sin(alpha(t))+.4452409777e17*sin(alpha(t))^3*cos(alpha(t))^2+.1786891885e18*cos(alpha(t))^3+.7276164865e17*cos(beta(t))^4*cos(alpha(t))+.1569563171e18*cos(beta(t))^4*sin(alpha(t))+.4337670962e18*sin(alpha(t))-.1921755526e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-.1320094943e18*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-206615.6056*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))^2-.1813161893e18*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))^2+.1852560167e18*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^2*cos(alpha(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-

(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-

42887.50*diff(alpha(t),t)-

18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))+(.1647715672e18*cos(beta(t))-

.4109863266e17*sin(beta(t))+.7802487089e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))-

.2460579739e17*cos(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))+.4110249656e17*cos(beta(t

))^3*sin(beta(t))^2-.4851340124e17*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))^3-

.4851340124e17*cos(beta(t))^4*sin(beta(t))+.1032970814e18*sin(beta(t))*sin(alpha(t))

*cos(alpha(t))+.4110249656e17*cos(beta(t))^5-

.4045827497e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2-

.4270895381e17*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^3-

.2885769437e16*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.6624064675e17*cos(beta(t))^3-

.2371983298e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^3+.8790111840e16*cos(alpha

(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.3257560094e17*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2460579739e17*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2*sin(beta(t))+.3257560094e17*sin(alph

a(t))^2*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+.9334091938e16*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))+.4643

768960e17*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-

.5149906565e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2*sin(beta(t))-

.2660560247e17*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2+.1875938486e1

7*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t)))/cos(beta(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-

sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-

38325.0*diff(beta(t),t)-

18250*diff(y3(t),t)))+(.5000000000e12*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1007211590e22*co

s(alpha(t))^2+.3998987499e22-

.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2+.3102515910e21*cos(beta(t))^2+.1675

974000e22*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1044832161e22*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))^2+.

6969600000e21*cos(beta(t))^4-

.1645248000e22*cos(beta(t))^3*sin(beta(t))+.9709456000e21*cos(beta(t))^2*sin(beta(t

))^2)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t

))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-

4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-

15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-

3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

1.885636497*(.9943592006*cos(alpha(t))-

.1060649814*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2-

6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.9388763160*cos(beta(t))+.3442546490*sin(beta(t))))+.

5000000000e13*(-.1616193182e-3*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))-.8304545454e-

4+.1320000000e-3*cos(beta(t))^2-.1558000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-

.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124

6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-

.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)/(-.5124941180e-3+.3750000000e-15*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1616193182e-3*cos(alpha(t))^2+.1558000000e-3*cos(beta(t))^2+.1320000000e-3*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-1.885636497*(.1060649814*cos(alpha(t))+.9943592006*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2+6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.3442546490*cos(beta(t))-.9388763160*sin(beta(t))))

- Equação para C_y:

C_y=-.7507507510e11*(-3916363637.-

.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*((350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t))+(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t))-1.542696750*diff(xcav(t),t)^2)-750750751.0/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*

cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-
.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124
6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-
(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-
350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-
18250*diff(y1(t),t))*cos(alpha(t))-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-
350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-
18250*diff(y2(t),t))*cos(alpha(t))-65268.0)-
.5000000000e13*(345867477.1*cos(alpha(t))-110194989.7*cos(alpha(t))^3-
96627272.70*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-
101330909.1*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))-70650398.67*sin(alpha(t))-
110194989.7*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+101330909.1*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2-
96627272.70*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-
.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t
))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-
4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-
.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(420471.60*ycav(t)-
2398440.084*alpha(t)+402951.95*y1(t)+21900.00*diff(ycav(t),t)-
124921.2500*diff(alpha(t),t)+20987.50*diff(y1(t),t)-823423.55*y2(t)-
42887.50*diff(y2(t),t)+M1+M2)+.1127141569e11*(-3916363637.-
.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-
.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-
.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*
cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-

.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-1.542696750*diff(xcarr(t),t)^2)+112714156.9/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.1246400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-cos(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t))-217364.0)+.5000000000e13*(-33350391.47*sin(beta(t))+38788636.38*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+14222500.01*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2+49008000.*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-127306588.3*cos(beta(t))-14222500.01*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+38788636.38*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+49008000.*cos(beta(t))^3)/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(735825.3*ycarr(t)-1545233.13*beta(t)-735825.3*y3(t)+38325.0*diff(ycarr(t),t)-80482.50*diff(beta(t),t)-38325.0*diff(y3(t),t)+M3)-.5000000000e13*(-650933749.6*sin(alpha(t))-

55097494.86*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+237812601.7*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+110244922.2*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+114129479.7*cos(alpha(t))-55097494.86*cos(alpha(t))^3+110244922.2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-237812601.7*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-789366.16*fT1*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s1(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s1(t))))*y1(t)-(350393*ycav(t)+402951.95*alpha(t)-350393*y1(t)+18250*diff(ycav(t),t)+20987.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y1(t),t))*sin(alpha(t)))-.5000000000e13*(-650933749.6*sin(alpha(t))-55097494.86*sin(alpha(t))^2*cos(alpha(t))+237812601.7*sin(alpha(t))*cos(beta(t))^2+110244922.2*sin(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+114129479.7*cos(alpha(t))-55097494.86*cos(alpha(t))^3+110244922.2*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-237812601.7*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/cos(alpha(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-1578733.20*fT2*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s2(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s2(t))))*y2(t)-(350393*ycav(t)-823423.55*alpha(t)-350393*y2(t)+18250*diff(ycav(t),t)-42887.50*diff(alpha(t),t)-18250*diff(y2(t),t))*sin(alpha(t)))+.5000000000e13*(-118604605.2*sin(beta(t))+30449079.56*sin(beta(t))*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+403115

18.82*sin(beta(t))*cos(alpha(t))^2+62276509.94*cos(beta(t))*sin(beta(t))^2-108764264.4*cos(beta(t))-40311518.82*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))+30449079.56*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))+62276509.94*cos(beta(t))^3)/cos(beta(t))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-1578733.20*fT3*sin(1.65*arctan(.72864e-1*s3(t)-.56e-1*arctan(.69e-1*s3(t))))*y3(t)-sin(beta(t))*(350393*ycarr(t)-735825.3*beta(t)-350393*y3(t)+18250*diff(ycarr(t),t)-38325.0*diff(beta(t),t)-18250*diff(y3(t),t)))+.5000000000e15*(-3916363637.-.1292954546e11*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1056000000e11*cos(beta(t))^2-.1246400000e11*cos(beta(t))*sin(beta(t)))/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-1.885636497*(.9943592006*cos(alpha(t))-.1060649814*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^2-6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.9388763160*cos(beta(t))+.3442546490*sin(beta(t))))+.5000000000e13/(.1007211590e22*cos(alpha(t))^2-.2014423182e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.1007211591e22*cos(beta(t))^2+.8533500000e21*cos(beta(t))*sin(beta(t))+.3836369400e22-.8533500000e21*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1706700000e22*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))*cos(beta(t))^2-.1706700000e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))*sin(beta(t))-4848579547.*cos(alpha(t))^3*sin(alpha(t))-

.2014423182e22*cos(alpha(t))^2*cos(beta(t))^2)*(-
.4099952944e13+3.*sin(alpha(t))*cos(alpha(t))+.1292954546e13*cos(alpha(t))^2+.124
6400000e13*cos(beta(t))^2+.1056000000e13*cos(beta(t))*sin(beta(t)))*(-
1.885636497*(.1060649814*cos(alpha(t))+.9943592006*sin(alpha(t)))*diff(alpha(t),t)^
2+6.390618123*diff(beta(t),t)^2*(.3442546490*cos(beta(t))-.9388763160*sin(beta(t))))
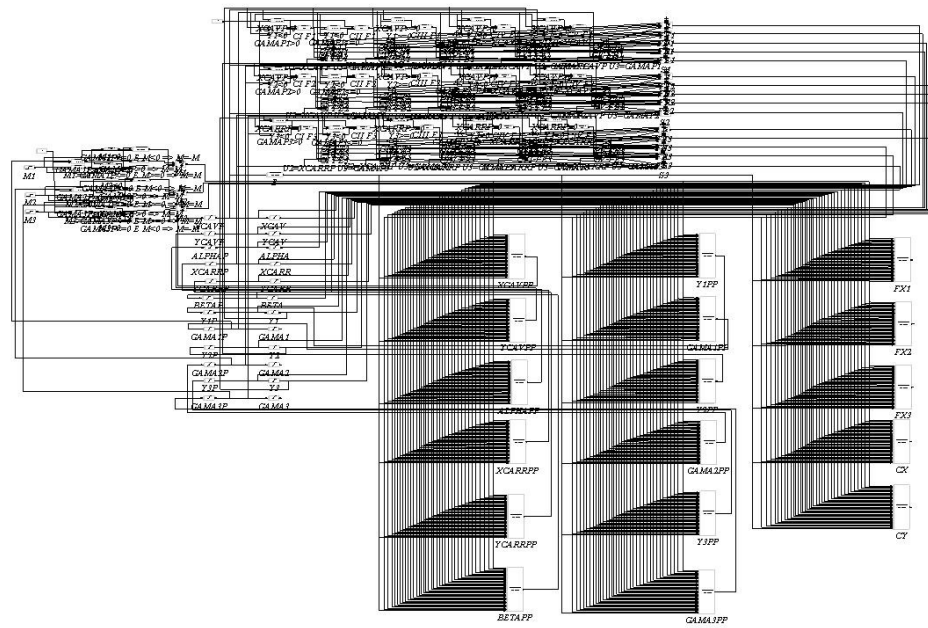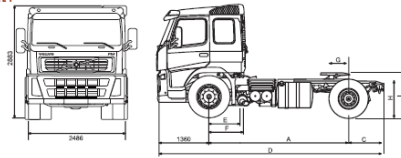
ANEXO B

Figura 71 - Diagrama de blocos no SCILAB/SCICOS

APÊNDICE

VOLVO FM 4X2T
Especificação Técnica

Dimensões (mm)

Cabine

A - Entre-eixos	3500	3700
C - Balanço traseiro	960 (mola) / 825 (ar)	960 (mola) / 825 (ar)
D - Comprimento total	5820 (mola) / 5685 (ar)	6020 (mola) / 5685 (ar)
E - Distância eixo dianteiro - final da cabine	865	865
F - Distância eixo dianteiro - implemento (mín)	1015	1015
G - Posição da quinta roda	475	475
H - Altura do chassi no eixo de tração*	960	960
I - Altura da quinta roda	1205	1205
Bitola eixo traseiro	2486	2486
Altura sem climatizador */**	2683	2683
Raio de giro	7050	7400

* Pneu 295/80R22,5 - Roda de Aço - Suspensão RST PAR1 - L2H1 - FST PAR - RAL13 - RAL7,1 - Carga Nominal
** Para veículos com climatizador, acrescentar 148mm na altura

Pesos (Kgf)

Tara no eixo dianteiro	4500	4540
Tara no eixo traseiro	2160	2250
Tara no eixo chassi	6660	6790

Peso para veículos standard, em ordem de marcha, sem estepe e sem motorista. Tolerância de 3%. (Ref. NBR 5070)

Caixa de Mudanças

	VT2214B	AT2512C (I-Shift)
Tipo	Manual e Sincronizada	Eletrônica - Automatizada
Relações de Transmissão	Baixa C) 16,96 1ª) 11,13 2ª) 7,16 3ª) 4,68 4ª) 2,97 5ª) 1,91 6ª) 1,25 Ré Red) 15,06 Ré) 4,02 / Alta 13,51 8,92 5,74 3,75 2,38 1,53 1,00 12,09 3,22	1ª) 14,94 2ª) 11,73 3ª) 9,04 4ª) 7,09 5ª) 5,54 6ª) 4,35 7ª) 3,44 8ª) 2,70 9ª) 2,28 10ª) 1,63 11ª) 1,27 12ª) 1,00 Ré 1) 17,48 Ré 2) 13,73 Ré 3) 4,02 Ré 4) 3,16
Capacidade de óleo (l)*	13,5	13

* Para caixa com tomada de força acrescentar 0,6 litros

Motor

Tipo	Motor diesel, 6 cilindros, com injeção direta, gerenciamento eletrônico, comando de válvulas no cabeçote e 24 válvulas
Potência	370 cv - 275kW (1900 rpm)
Torque	1770 Nm - 180 kgfm (1000-1400 rpm)
Cilindrada	10,85 dm³ (litros)
Emissões	Euro III / CONAMA fase P5
Sistema de lubrificação*	36 litros
Sistema de arrefecimento	19 litros

* Para troca de óleo e filtros

Suspensão

Suspensão traseira

	RAD-L90 RST PAR1 RAL13	RAD-A4 RST-A/R2 RAL19
Tipo	Parabólica	Pneumática
Nº de elementos elásticos	2 feixes de 3 lâminas	4 bolsas de ar
Amortecedores	2 de dupla ação	2 de dupla ação
Barra estabilizadora	sim	sim

Suspensão Dianteira

	FST-PAR RAL7,1
Tipo	Parabólica
Nº de elementos elásticos	2 feixes de 2 lâminas
Amortecedores	2 de dupla ação
Barra estabilizadora	sim

Freio Motor

	VEB 390
Descrição	Projeto exclusivo Volvo, Trabalha com 2 dos 4 tempos do motor (compressão e exaustão), conjugando o freio motor convencional de escape a um dispositivo interno de controle de compressão no tempo de compressão. Potência máxima de 390 cv a 2400 rpm, porém com uma alta entrega de potência (270 cv) a 1600 rpm.
Potência	390cv

Eixos

Eixo traseiro

	RS1356SV
Tipo	Simples velocidade, sem redução nos cubos e com carcaça fundida
Relações de redução	3,10:1/3,44:1/3,57:1
Capacidade de óleo (l)	9
Bloqueio de diferencial	sim

Eixo Dianteiro

	FATYPE 71
Tipo	Eixos de aço forjado em perfil "I", tratados termicamente. Cubos lubrificados a graxa, livres de manutenção.

Chassi

	FRAME 77
Tipo	Longarinas retilíneas, com perfil "C", em aço estrutural de alta resistência e baixo peso
Material	LNE80
Bitola (mm)	850
Altura da alma (mm)	266
Largura da alma (mm)	90
Espessura da longarina (mm)	7
Espessura do reforço (mm)	-

Cabine

Tipo	Cabine fechada em aço de alta resistência, com chapas galvanizadas, tratamento anticorrosivo eletroforético (eletrodeposição)	
	L1EH1 (Estendida)	L2H1 (Leito)
Altura interna (mm)	1550	1550
Comprimento interno (mm)	1910	2230
Largura interna (mm)	2430	2430
Tipo de suspensão dianteira	mola/ amortecedor ou pneumática	mola/ amortecedor ou pneumática
Tipo de suspensão Traseira	mola/ amortecedor ou pneumática	mola/ amortecedor ou pneumática

Capacidade de carga (kgf)

	FST-PAR RAL7,1 RST-PAR1 RAL13 RS1356 SV 4x2	RST-PAR RAL7,1 RST-A/R2 RAL19 RS1356 SV 4x2
Eixo dianteiro	7100	7100
Eixo traseiro	13000	13000
PBT - Técnico	20100	20100
PBT - Legal	16000	16000
CMT - Técnico	56000	56000
CMT - Homologado	56000	56000

Rodas e Pneus

Tipo	aço / alum.	aço / alum.	aço
Aro	8,26x22,5	9,00x22,5	8,00x22
Pneu	295/80R22,5	315/80R22,5	11,00R22

Embreagem

	CS43B-O (I-Shift)	CS43B-OR (caixa manual)
Tipo	Monodisco de fricção a seco tipo push-type (somente para caixa I-Shift)	Monodisco reforçado de fricção a seco tipo pull-type
Diâmetro do disco (mm)	430	430

Direção

Tipo	Hidráulica com relação progressiva
Diâmetro do volume (mm) / Ângulo de giro da roda	450 / 50°
Capacidade de óleo (l)	4,5

Tanque de Combustível

Material	Plástico
Capacidade (l)*	280 (RFUEL280)
	420 (RFUEL420)
	480 (RFUEL280 + LFUEL200)
	560 (RFUEL280 + LFUEL 280)
	700 (RFUEL420 + LFUEL280)

* Consultar guia de referência para obter detalhes das configurações possíveis de tanques, que variam conforme modelo, pacote de acabamento, etc.

Equipamentos Elétricos

Tensão normal	24V
Alternador	80A / 24V
Bateria	2x170 Ah / 12V (em série)
Motor de partida	Melco 5,5 kW
Faróis	2x70W

Freios

	Circuito duplo de freio a ar comprimido, freio de estacionamento tipo molas acumuladoras, freio a tambor tipo Z-CAM ou freio a disco	
Área de frenagem	Tambor	Disco
Eixo dianteiro (cm²)	2235	750,8
1° Eixo tração (cm²)	2579	750,8
Total (cm²)	4814	1501,6

1ª troca de óleo de caixa e eixo com até 400.000 km

* Troca de óleo de caixa e eixo com a utilização de óleo sintético.

Figura 72 - Especificações técnicas Volvo FH 4x2T

Gotti
IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS

Especificação Técnica

► Descrição
► Dimensões e Pesos
► Chassi
► Acoplamento e Articulação
► Suspensão
► Eixos
► Freios

► Caixa de Carga
► Pára-Lamas
► Para-Choques
► Sistema Elétrico
► Aparelho de Levantamento Mecânico
► Sistema de Descarga
► Acessórios

► Pintura
► Opcionais

Semi-reboque Tanque
Modelo : SR – TQ - TL - 03

Descrição

Semi-Reboque Tanque para transporte de combustíveis como gasolina, álcool, óleo diesel, óleos vegetais entre outros produtos. Tanque em aço carbono em chapa estrutural, com suspensão em tandem de 03 eixos com rodado duplo e levantamento pneumático no primeiro eixo. Pino-rei para acoplamento em caminhão trator tipo 6x2 ou 4x2. Material usado como exemplo abaixo para transporte: Gasolina

Dimensões e Peso para Semi-reboque (35m3)
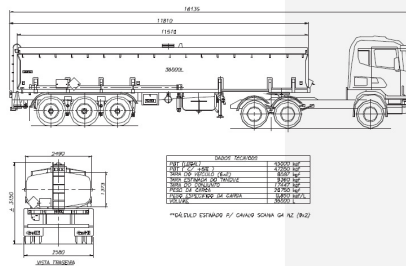
NOTA: Este equipamento está sujeito a alteração de suas características técnicas sem notificação prévia. A capacidade volumétrica e dimensões do equipamento podem variar de acordo com a densidade do produto transportado.Para outras capacidades volumétricas, entrar em contato com Departamento Comercial ou de Engenharia, pois temos outras configurações a ser fornecidas.

Chassi
Modelo Auto-portante, construído com vigas tipo "U" com travessas e reforços. O material de construção mecânica é de chapa em Aço Estrutural LNE 38 para atender todas as cargas solicitadas do conjunto (Dinâmicas e Estáticas).

Acoplamento e Articulação
Sistema formado por Mesa do Pino Rei em chapa de aço COSARCOR 500 DE 9,52mm de espessura. Pino Rei Universal de 2", de acordo com a NBR 5548 (ISO 337).

Suspensão
Tipo tandem-balancim, com feixes de molas semi-elípticas. Feixes de 11 lâminas com sistema de compensação de cargas através de balancins em chapa e fixados por pinos. Suspensão tandem de 03 eixos com rodado duplo e levantamento pneumático no 1oeixo. Braços tensores fixos e reguláveis para alinhamento dos eixos. Feixes de molas fixados ao eixo através de grampos tipo "U" em aço ABNT 1045. Levantador do 1° eixo pneumático. Suportes da suspensão e balança Modelo Gotti.

Eixos
Tubular redondo com 127 mm de diâmetro, com capacidade de suportar 13000 kgf cada um. Montado com 02 rolamentos cônicos tipo 32218 em cada ponteira facilitando a centragem do cubo e absorvendo todos esforços axiais e radiais.

Freios
O semi-reboque está equipado com freio de serviço e estacionamento pneumáticos, de acordo com a Resolução 777/93 do CONTRAN, do tipo "S" came e lonas de 16,5"x8". Com duas linhas de ar comprimido (SAE J 1394 B), sendo uma de emergência e outra de serviço. Com reservatório de ar de 120 litros, com válvula relê de emergência RE4, e uma descarga rápida para cada eixo. Com câmaras de freio do tipo 30/30 e câmara dupla tipo Spring Brake no 2° eixo de cada semi-reboque.

Caixa de Carga
Tanque com seção Semi-Elíptica, contendo quebra-ondas interno e construído em aço estrutural tipo ABNT 6655 LN 28. Unido ao chassi por meio de berços e fixado por solda elétrica, constituindo-se num sistema auto-portante. Os componentes que fazem parte do tanque são: Cabeçeiras, Costado, Quebra-ondas, Fundo e respectivos reforços. Todos os materiais de construção mecânica são acompanhados do Certificado de Qualidade e garantia do produto.

Espessura das chapas:
- Costado   3,35mm
- Quebra-Onda   3,35mm
- Cabeceira   4,25mm
- Fundo   4,75mm
- Reforços do Costado 4,25mm

Pára-lamas
Envolvente, fornecido em plástico Polipropileno para maior resistência e fixados ao chassi através de suportes.

Pára-choques
Pára-choque traseiro construído em chapa de aço ABNT 6656 LNE 38 de 6,3mm de espessura, com resistência de acordo com a NBR 9182, soldado ao chassi, com largura de 2300 mm.

Sistema Elétrico
Diferença de potencial = 24V. Sinalização e iluminação conforme Resolução CONTRAN 680/87 e 692/93. Conexão elétrica (tomada) entre reboque e veículo de tração de acordo com NBR 7332/82. Cabo elétrico tipo SAE J 1067 embutido em blindagem metálica, com caixa de passagem e inspeção.

Aparelho de Levantamento Mecânico
Pé de apoio e levantamento dianteiro tipo mecânico telescópico de duas velocidades, capacidade de levantamento de 23000 kgf (carga estática 50000 kgf), para sustentação do semi-reboque quando estiver desacoplado. Eliminando assim, qualquer trabalho do operador.

Sistema de Descarga
A descarga é feita por gravidade ou por bottom loading. (Sistema de Bombeamento não fornecido).

Acessórios
Aparelho de Levantamento Mecânico, Caixa de Ferramentas, Extintor de Incêndio, Mangueira de Descarga, Mangote Metálico, Levantamento Pneumático, Suporte de estepe duplo, Pára-barro nos pára-lamas, Faixas Refletivas, Corote para água e Suporte p/ simbologias e Cones de Sinalização.

Pintura
Chassis e Caixa de Carga: Superfície tratada é jateada com granalha de aço no grau SA 2.1/2, depois de pintada com duas demãos de primer anti-corrosivo e acabamento com duas demãos de tinta esmalte sintético linha automotiva no chassis e na caixa de carga

Opcionais
Aparelho de Levantamento Hidráulico, Levantamento Pneumático no 3oeixo, Suspensão Pneumática, Bottom Loading, Serpentina entre outros.

Figura 73 - Especificações técnicas Semi-reboque Tanque Gotti