

**Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica**

**PROJETO DE CAMINHÃO TANQUE PARA
TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS**

**Elaborado por:
ALEXANDRE THOMÉ SUMAN
ÁVILO OLIVA JÚNIOR**

Orientadores:



**Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de Souza
Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha**

**São Paulo
1999**

**Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica**

**PROJETO DE CAMINHÃO TANQUE PARA
TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEIS**

Elaborado por:

ALEXANDRE THOMÉ SUMAN

ÁVILO OLIVA JÚNIOR

Orientadores:

Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de Souza

Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha

**São Paulo
1999**

DEDICATÓRIA

À nossos pais, irmãos, namoradas e amigos mais próximos que dividiram conosco momentos de alegria e preocupação no decorrer de nossas vidas acadêmicas.

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores e amigos Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza e Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batalha da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que tanto nos acrescentaram, contribuindo e nos apoiando durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Marcelo Leal Alves da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que nos auxiliou pacientemente na modelagem do Tanque de Combustíveis.

Aos profissionais da companhia Esso Brasileira de Petróleo Ltda., que nos ajudaram quanto ao fornecimento de informações técnicas relevantes para o sucesso deste estudo.

À todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	PÁGINAS
1. INTRODUÇÃO	2
1.1. Objetivos do Trabalho	2
1.2. O Caminhão Escolhido	3
1.3. Fatores da Escolha do Tema	4
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	6
2.1. Características dos Caminhões	6
2.1.1. Alternativas de Construção	6
2.1.2. O Veículo Motor	8
2.1.3. A Carreta	9
2.1.4. O Tanque	11
3. EXIGÊNCIAS PARA O PROJETO DE CAMINHÕES	14
3.1. Legislação Brasileira de Pesos e Dimensões	14
3.1.1. Peso Bruto Total	14
3.1.2. Carga por Eixo	14
3.1.3. Dimensões dos Veículos	16
3.1.4. Relação Peso / Potência	18
3.1.5. Limites de Peso e Dimensões em Países do Mercosul	18
3.2. Normas Técnicas	20
3.2.1. Classificação do Produto	20
3.2.2. Relação de Exigências Para o Veículo de Transporte	24
3.2.2.1. Definições	24
3.2.2.2. Exigências	25
4. ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO	36
5. PRÉ-SELEÇÕES	40
5.1. Material	40
5.2. Suspensão	40
5.2.1. Benefícios da Suspensão a Ar	42
5.2.2. Pré-Seleção do Tipo de Suspensão	44
5.3. Pneus	45
5.3.1. Influência de Pneus Extralargos	46
5.3.2. Pré-Seleção do Tipo de Pneu	49
6. SELEÇÃO DO VEÍCULO MOTOR	51
6.1. Características de Operação	51
6.2. Seleção de Características Básicas do Cavalo Mecânico	53
6.3. Alternativas de Escolha do Veículo Motor	53
6.4. Escolha do Veículo Motor	56
6.5. Características do Volvo EDC Gold TD123E	59

SUMÁRIO

7. LIMITE DE PESO DA CARRETA	63
7.1. Peso Total Máximo da Carreta	63
7.2. Tara Máxima da Carreta	64
8. SELEÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO	65
8.1. Recomendação pela Norma	65
9. DIMENSIONAMENTO DO TANQUE	66
9.1. Áreas de Seção e Comprimentos Máximos e Mínimos	66
9.2. Parâmetros Gerais para o Dimensionamento do Tanque	67
9.3. Metodologia de Dimensionamento do Tanque	68
10. PROJETO UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS	76
10.1. Parâmetros Iniciais para a Modelagem	76
10.2. Modelagem Propriamente Dita	77
10.2.1. Programa de Elementos Finitos Adotado	77
10.2.2. Simplificações Adotadas para a Modelagem	77
10.2.3. Definição de Coordenadas	78
10.2.4. Construção do Tanque	78
10.2.5. Obtenção da Malha de Elementos Finitos	80
10.2.6. Verificação da Eficiência da Malha Obtida	82
10.2.7. Carregamento Estático Real	87
10.2.8. Discussão dos Resultados	90
10.2.9. Análise do Tanque sob Efeitos da Aceleração	96
10.2.10. Especificação Final	99
10.2.10.1. Coeficiente de Segurança	99
10.2.10.2. Ponderações sobre os Resultados Obtidos	99
10.2.10.3. Conclusão da Análise de Elementos Finitos Feita no Tanque	101
11. ESPECIFICAÇÕES PRELIMINARES DE FABRICAÇÃO	104
12. CONCLUSÕES	106
13. BIBLIOGRAFIA	109
APÊNDICES	111
Apêndice I	
Apêndice II	

I - LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Caminhão Tanque;
- Figura 2 – Veículo Motor e Carreta Unidos Permanentemente;
- Figura 3 – Detalhe da Mesa de Acoplamento do Veículo Motor para o Pino Rei;
- Figura 4 – Detalhe do Pino Rei de uma Carreta;
- Figura 5 – Veículo Motor e Carreta Unidos por Pino Rei;
- Figura 6 – Tanque Autoportante;
- Figura 7 – Painéis de Segurança;
- Figura 8 – Comparação entre Volumes Entregues por Tipo de Carreta 01/99 à 06/99;
- Figura 9 – Suspensão Convencional (Feixe de Molas);
- Figura 10 – Suspensão Pneumática;
- Figura 11 – Pneu com Rodado Duplo;
- Figura 12 – Pneu Extralargo;
- Figura 13 – Dimensões do Cavalo;
- Figura 14 – Esquema de Apoios no Carregamento Estático;
- Figura 15 – Posicionamento dos Apoios na Carreta a Ser Modelada;
- Figura 16 – Disposição Longitudinal dos Costados e Apoios no Tanque;
- Figura 17 – Áreas do Tanque;
- Figura 18 – Áreas do Tanque - Detalhe para Configuração do Tampo e Apoios;
- Figura 19 – Malha de Elementos Finitos Obtida;
- Figura 20 – Detalhe da Malha;
- Figura 21 – Aplicação das Condições de Contorno nos Elementos – Vinculações e Pressão Unitária Aplicada na Casca Externa e Tamos;
- Figura 22 – Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Vista Isométrica Simulação Estática – Pressão Unitária Uniforme;

I - LISTA DE FIGURAS (Cont.)

- Figura 23 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Fronteira entre Casca Elíptica e Tampo – Simulação Estática –
Pressão Unitária Uniforme;
- Figura 24 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Tampo
Dianteiro em Detalhe – Simulação Estática – Pressão Unitária
Uniforme;
- Figura 25 - Esquema Geométrico da Seção Elíptica;
- Figura 26 - Aplicação do Gradiente de Pressões no Tanque;
- Figura 27 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Vista
Lateral Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado;
- Figura 28 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Tampo Simulação Estática – Gradiente de Pressões
Aplicado;
- Figura 29 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Fundo do Tanque Simulação Estática – Gradiente de
Pressões Aplicado;
- Figura 30 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe da Junção da 1ª Braçadeira com o Fundo do Tanque –
Simulação Estática - Gradiente de Pressões Aplicado;
- Figura 31 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Fundo do Tanque Simulação Estática – Gradiente de
Pressões Aplicado - Espessura de chapa = 5 mm;
- Figura 32 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe da Junção da 1ª Braçadeira com o Fundo do Tanque —
Simulação Estática Gradiente de Pressões Aplicado – Espessura
de chapa = 5 mm;
- Figura 33 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Tampo Dianteiro Simulação Estática – Gradiente de
Pressões Aplicado - Espessura de chapa = 5 mm;

I - LISTA DE FIGURAS (Cont.)

- Figura 34 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Fundo do Tanque Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado Espessura de chapa = 7 mm;
- Figura 35 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe da Junção da 1ª Braçadeira com o Fundo do Tanque —
Simulação Estática Gradiente de Pressões Aplicado – Espessura de chapa = 7 mm;
- Figura 36 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Tampo Dianteiro Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado Espessura de chapa = 7 mm;
- Figura 37 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Fundo do Tanque Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado Espessura de chapa = 8 mm;
- Figura 38 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe da Junção da 1ª Braçadeira com o Fundo do Tanque –
Simulação Estática Gradiente de Pressões Aplicado – Espessura de chapa = 8 mm;
- Figura 39 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Tampo Dianteiro Gradiente de Pressões Aplicado –
Simulação Estática Espessura de chapa = 8 mm;
- Figura 40 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Tampo Dianteiro Simulação Dinâmica – Espessura de chapa = 3 mm;
- Figura 41 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Tampo Dianteiro Simulação Dinâmica – Espessura de chapa = 5 mm;
- Figura 42 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Tampo Dianteiro Simulação Dinâmica – Espessura de chapa = 7 mm;

I - LISTA DE FIGURAS (Cont.)

- Figura 43 - Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa –
Detalhe do Tampo Dianteiro Simulação Dinâmica – Espessura de
chapa = 8 mm;
- Figura 44 - Gráfico de Reforço x Tensão;

II – LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Pesos Máximos Permitidos;
- Tabela 2 – Dimensões Máximas Permitidas;
- Tabela 3 – Dimensões Máximas Permitidas no Mercosul;
- Tabela 4 – Cargas Máximas Permitidas nos Países da América Latina e Central;
- Tabela 5 – Especificações Mínimas de Material: Aço;
- Tabela 6 – Especificações Mínimas de Material: Ligas de Alumínio;
- Tabela 7 – Vazões de Ar Determinadas de Suspiros de Emergência x Áreas Expostas ao Fogo;
- Tabela 8 – Resultados Comparativos entre Tipos de Suspensão;
- Tabela 9 – Tipos de Tração de Cavalos e suas Aplicações;
- Tabela 10 – Escolha de Veículo Motor;
- Tabela 11 – Matriz de Decisão;
- Tabela 12 – Tara Máxima da Carreta;
- Tabela 13 – Limite de Resistência Mecânica sob Tração das Ligas de Alumínio Submetidas à Recozimento;
- Tabela 14 – Parâmetros Gerais do Tanque;
- Tabela 15 – Volume por Compartimento do Tanque;
- Tabela 16 – Exemplo de Dimensionamento de Tanque para $L = 6m$.
- Tabela 17 – Exemplo de Raios Máximo e Mínimo do Tanque Elíptico;
- Tabela 18 – Exemplo de Momentos de Inércia e Torsão para $L=9m$ e $V = 30.000L$;
- Tabela 19 – Exemplo de Cálculo de Resistência dos Materiais;
- Tabela 20 – Exemplo de Coordenadas do Tanque, para Linha Elástica com $L=10m$;
- Tabela 21 – Exemplo de Cálculo de Flecha Total do Tanque para $L=10m$ e $V=30.000L$;
- Tabela 22 – Exemplo de Verificação do Critério de Resistência para o Tanque com $L=10m$;

II – LISTA DE TABELAS (Cont.)

- Tabela 23 - Matriz das Possíveis Soluções de Projeto do Tanque;
- Tabela 24 - Matriz de Decisão do Tanque;
- Tabela 25 - Comparação de Resultados da Análise Estática – Tensão no Tampo Dianteiro;
- Tabela 26 - Resultados da Simulação Estática com Gradiente de Pressão Aplicado;
- Tabela 27 - Resultados da Simulação Dinâmica;
- Tabela 28 - Cálculo da Tensão de Projeto na Junção do Tampo Dianteiro com o Fundo do Tanque;
- Tabela 29 - Cálculo da Tensão de Projeto na Junção da 1ª Braçadeira com o Fundo do Tanque, Variando com as Diferentes Espessuras de Reforço;

RESUMO

Este trabalho corresponde ao estudo e elaboração de projeto de um Caminhão Tanque para Transporte de Combustíveis. Seu principal enfoque é o estudo de esforços e solicitações no tanque de armazenamento de combustíveis, e o tratamento destes dados para o dimensionamento coerente da estrutura em questão.

Para que os objetivos deste trabalho pudessem ser alcançados ao longo de um ano, ficou evidente a necessidade de uma divisão do projeto em duas metades. A primeira consistiu no pré projeto do caminhão como um todo, incluindo as escolhas e pré seleções pertinentes ao projeto. A segunda parte, tratou do dimensionamento das estruturas e sistemas principais(tanque e chassi), para que com base nestes dados pudessem ser efetuadas as seleções definitivas dos sistemas auxiliares estudados na primeira metade do trabalho.

Este relato corresponde aos resultados alcançados neste estudo, onde obteve se um levantamento completo e detalhado dos sistemas envolvidos no projeto e suas operações. Acrescentou-se ainda as aplicações do tipo de caminhão escolhido, seleção do cavalo, pré-seleção de suspensão, pneus e material, e até aspectos de segurança e econômicos relacionados ao tema, como a compartimentação da carreta e características operacionais da mesma. Com base nestes dados, foi realizado o dimensionamento do tanque e sua verificação através do Método de Elementos Finitos. Foi incluído neste trabalho, também, as especificações preliminares de fabricação da carreta.

Na primeira parte, ficou definido que o caminhão a ser projetado seria uma carreta de trinta, a trinta e dois mil litros, utilizada na distribuição regional de combustível para autôpostos. Esta carreta seria elíptica, de alumínio, auto-portante e ligada ao veículo motor através de pino rei. Possuiria suspensão à ar e pneus de rodado duplo. Atenderia as exigências federais envolvidas neste tipo de projeto, e teria como veículo motor o Volvo EDC Gold TD123E.

Na segunda parte deste trabalho, foi tratada a modelagem do tanque, elemento chave do trabalho. Esta modelagem foi realizada através do Método de Elementos Finitos, propiciando a perfeita análise dos esforços envolvidos nas estruturas em questão.

Finalizando, foi levantado as especificações preliminares de fabricação do projeto.

ABSTRACT

This production consists of a study and design of a Fuel Distribution Tanker . Its focus can be described as the analysis of forces and stresses the storage tank is submitted to, and the handling of those data in order to get to the accurate dimension of the structures involved.

In fact, it is easy to notice that this piece of work had to be divided in two, so the objectives established could be reached. The first half consisted in a basic design of the truck as whole, with the pre-selection of options related to the project. The second part handled the main systems and structures design(tank and frame). Thereafter, based on those data, the final selections of those auxiliary systems studied in the first part of this production had been made.

Actually, this report consists of the results aimed in this research, in which a complete and detailed survey of the systems and structures involved had been made. It is also mentioned the applications of that kind of tanker, the selection of the motive vehicle, the pre-selection of suspension and brake systems, the options for material and tires, and even some safety and economical aspects as the number of chambers in the wagon and some of its operational characteristics. Based on those data, the design of the Tanker had been made. This design was checked by the Finite Elements Method. It was also included in this piece of work, the preliminary manufacturing specifications.

In the first part of the production, the tanker was defined as a wagon that should contain a tank for thirty to thirty two thousand liters, applied to local fuel stations distribution. The tank should have the elliptical shape and a self standing frame. The wagon should be built in some aluminum alloy and attached to the motive vehicle by a pin. It should have an air suspension and double wheel tires. The chosen motive vehicle was the Volvo EDC Gold TD123E.

During the second part, the modeling of the tank had been done, key element to this study. This modeling had been reached through the finite elements method, which provided us the perfect analysis of the strengths acting in this frame.

Based on the final designing of the tank, developed from the accurate analysis of that structure, the final auxiliary systems selections had been handled. These systems depend very hard on the static and dynamic wagon loads, and they can be described as the final suspension system as well as the tires final model .

Finally , the preliminary manufacturing specifications were listed.

1.Introdução

1.1. Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo a realização de um estudo e conseqüente elaboração de um projeto de um caminhão tanque para transporte de combustíveis, tendo como principal enfoque o estudo de esforços e solicitações no tanque de armazenamento de combustíveis, para a obtenção de dados que possam ser utilizados para um dimensionamento coerente da estrutura.

Para que possamos atingir nossos objetivos, fica evidente que é necessário analisarmos o caminhão como um todo e fazermos as escolhas pertinentes do projeto, caracterizando assim uma otimização dos projetos atualmente utilizados.

O estudo a ser realizado não abrange somente o tanque de combustíveis, mas também um levantamento completo e detalhado desde as aplicações do tipo de caminhão escolhido, solicitações estruturais, seleção do cavalo, seleção de suspensão, freios, compartimentação da carreta e demais equipamentos.

Após este complexo levantamento de dados, faremos a modelagem do tanque, elemento chave do trabalho. Esta modelagem será necessária para que através do método de elementos finitos, possamos analisar perfeitamente os esforços envolvidos nestas estruturas e, assim, reforçar as partes criticamente solicitadas.

Finalizando, citaremos as especificações preliminares de fabricação do projeto e possíveis melhoras de caráter complementar, como equipamentos eletrônicos de controle, a serem efetuados no projeto final, complementos estes que garantiriam operações mais perfeitas e seguras .

1.2. O Caminhão Escolhido

O caminhão escolhido para este estudo é um caminhão tanque de transporte de combustíveis, utilizado na distribuição regional de autopostos.

Este caminhão possui grande taxa de trabalho, uma vez que roda quase 20 horas ao dia. As solicitações estruturais podem ser consideradas aquelas causadas por transitar em vias locais repletas de imperfeições, como aquelas encontradas na região da Grande São Paulo.



Figura 1 – Caminhão Tanque

1.3. Fatores da Escolha do Tema

Ao efetuarmos esta escolha do tema deste trabalho, levamos em conta alguns fatores decisivos:

- O Brasil pode ser considerado um país essencialmente rodoviário, e devido a esta característica, podemos considerar que a maior parte da movimentação efetiva de produtos no Brasil é realizada por meio de caminhões. Deste modo, grande parcela da economia está relacionada indiretamente ao uso de caminhões, e portanto, este mercado nos pareceu atraente.
- Sendo o Brasil, um país em acelerado desenvolvimento, qualquer ramo relacionado ao crescimento brasileiro pode ser considerado um mercado atraente. O transporte rodoviário de cargas, e em especial de combustíveis, faz com que este mercado torne-se um dos mais competitivos, já que é intimamente ligado a evolução tecnológica brasileira e ao atual aumento de poder aquisitivo da população. Esta ligação se verifica ao relacionarmos o desenvolvimento de tecnologia agregado ao aumento de poder aquisitivo brasileiro após o plano real, como critério facilitador de compra de veículos e portanto elevatório no consumo de combustíveis, que por sua vez, podem ser considerados bens complementares. Não esquecendo ainda que um aumento no poder aquisitivo brasileiro, elevaria o poder de compra da população, portanto aqueceria a parte da economia baseada em circulação

mercadorias e conseqüentemente, o mercado de combustíveis que pode ser considerado no caso brasileiro, como pilar principal da circulação de produtos.

- A rede de distribuição de combustíveis em autopostos, pode ser considerada como alicerce principal das vendas de combustíveis no Brasil, e portanto, sendo o mercado principal de aplicação deste trabalho. Acreditamos ainda que pelo fato de residirmos na Grade São Paulo e trabalharmos num terminal de distribuição de combustíveis de uma multinacional de renome, torne-se mais fácil chegarmos ao nível de informações, detalhamento e especificações requeridos para este projeto.

2. Considerações Iniciais

2.1. Características dos Caminhões

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um projeto de caminhão-tanque para transporte e distribuição de combustíveis, fica necessário estabelecermos algumas características construtivas possíveis para tal projeto.

2.1.1. Alternativas de Construção

Ao iniciarmos o estudo de um projeto de caminhão tanque, logo nos deparamos com a primeira possibilidade construtiva, que é a união do veículo motor à carreta que deve transportar o tanque de armazenamento de combustíveis. Atualmente, existem duas alternativas de projeto viáveis, que levam em conta várias características de projeto e futura utilização do caminhão. São elas:

- Utilização de um único chassi tanto para o veículo motor quanto para a carreta. Esta utilização de um único chassi configura o que chamamos de um caminhão com veículo motor e carreta unidos permanentemente. A união destes dois elementos simplifica bem o projeto, mas também limita suas aplicações, uma vez que afeta a versatilidade, manobrabilidade e capacidade de carga do veículo;

- Utilização de um pino rei para a união do veículo motor à carreta. Esta alternativa está intrinsecamente relacionada a grandes cargas e a grande frequência de uso, uma vez que a manutenção da carreta é totalmente separada da do veículo motor.

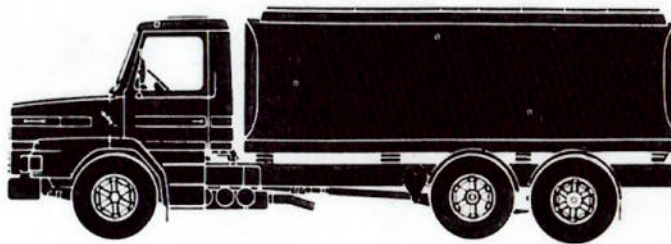


Figura 2 – Veículo Motor e Carreta Unidos Permanentemente

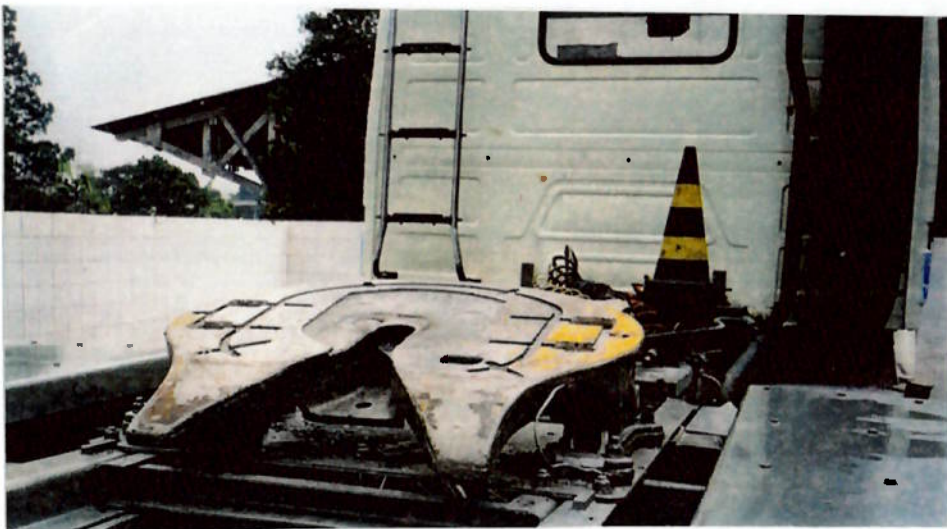


Figura 3 – Detalhe da Mesa de Acoplamento do Veículo Motor para o Pino Rei

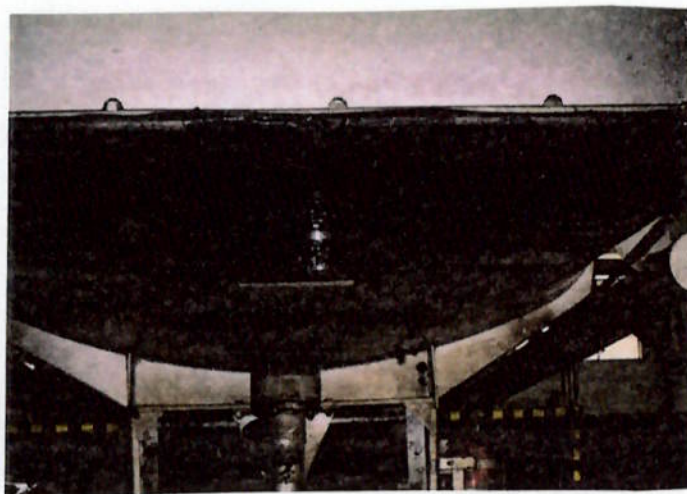


Figura 4 – Detalhe do Pino Rei de Uma Carreta

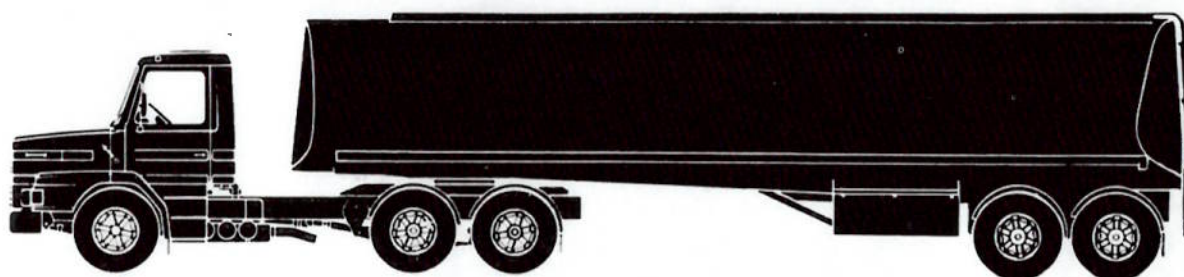


Figura 5 – Veículo Motor e Carreta Unidos por Pino Rei

2.1.2. O Veículo Motor

Quando abordamos o veículo motor de um caminhão tanque, torna-se necessário recordarmos que as características que iremos observar estarão diretamente relacionadas à forma construtiva deste caminhão, e esta por sua vez, diretamente relacionada à carga a ser transportada e as solicitações estruturais pelas quais o caminhão deverá passar.

Notamos então, que ao optarmos por um caminhão em que o veículo motor estará permanentemente unido à carreta, estaremos conferindo a ele uma capacidade de carga restrita e assim sendo, observaremos um veículo

motor com a presença de um único eixo, e portanto, menos potente. A capacidade de carga deste tipo de veículo motor também estão descritas nas regulamentações nacionais em vigor, as quais serão tratadas posteriormente.

Ao considerarmos a opção de utilizarmos o veículo motor unido à carreta através de um pino rei, estaremos basicamente separando o projeto em duas partes. Poderíamos então, selecionar um veículo motor já existente que se adaptaria a carreta a ser projetada, quanto a carga, solicitações, utilizações e etc. Como já foi citado, a utilização desta alternativa estaria conferindo ao caminhão uma capacidade de carga maior, e portanto, o veículo motor deste caminhão deverá ser mais potente, utilizando de dois a três eixos, conforme a carga e a legislação em vigor.

2.1.3 A Carreta

Analisando apenas a carreta, notaremos que sua principal característica é a forma construtiva pela qual se dá a união do tanque de armazenamento de combustíveis ao chassi da carreta ou do veículo motor.

Ao optarmos por utilizar um caminhão com veículo motor unido permanentemente à carreta estaríamos perdendo flexibilidade de projeto, já que a única forma possível de fixação do tanque ao chassi seria através de um sub-chassi na parte inferior do tanque, fixado ao chassi do veículo motor.

Optando pela alternativa de utilização de veículo motor unido à carreta por um pino rei, estaremos agregando ao projeto uma outra possibilidade quanto a união do tanque ao chassi, que não só a de utilização de um sub-chassi atrelado ao chassi da carreta. Seria a utilização de um tanque auto-

portante, que nada mais é que um tanque sem chassi, mas em que sua estrutura reforçada age como tal. A principal vantagem desta alternativa seria a possibilidade de transporte de uma maior capacidade de carga, uma vez que economizamos em peso ao descartarmos o chassi e possibilitamos a construção de uma estrutura mais leve.

Porém, ao optarmos por um tanque auto-portante, estamos conferindo a empresa que fará uso de tal caminhão, uma menor flexibilidade operacional, já que outro tanque não poderá ser fixado ao chassi da carreta, que como já foi dito, não existe. Esta perda de flexibilidade, associada a um maior custo de fabricação acarreta na larga utilização desta alternativa apenas por empresas grandes e com ramos de atuação bem definidos e especializados.



Figura 6 – Tanque Autoportante

Ao analisarmos o número de eixos possíveis na carreta, notamos a existência de inúmeras possibilidades, as quais serão determinadas pela carga a ser transportada, e com base na Lei da Balança, que será explanada a posteriori.

2.1.4 O Tanque

O Formato do tanque esta diretamente relacionado ao produto a ser transportado, à maneira com que se dará a retirada do produto e a solicitação estrutural do mesmo. Ao optarmos por um tanque cilíndrico, estaremos conferindo ao tanque maior resistência à pressões internas, sendo portanto a melhor opção para descarga através de injeção de pressão. Mas ao mesmo tempo estaremos conferindo ao caminhão uma estabilidade física menor que com o emprego de um tanque elíptico, que proporciona um centro de gravidade mais próximo do solo. Por esta razão, quando se trata de produtos que sofrerão descarga por gravidade, é mais empregada a utilização de tanques elípticos, e quando se trata de produtos que sofrerão descarga por pressão, a alternativa mais utilizada é a de tanque cilíndrico.

Os materiais e a espessuras a serem utilizados no tanque têm relação direta às características físicas e químicas dos produtos a serem transportados. Ou seja, ao grau de agressão do meio, a densidade do produto, coeficiente de expansão térmica, volume a ser transportado, meio de descarga, e etc. Na parte deste trabalho em que será realizada a escolha de materiais, citaremos

maiores informações a respeito das características essenciais e as formas de efetuarmos estas escolhas e dimensionamentos.

Um último detalhe, de fundamental importância no projeto deste elemento, é a compartimentação que será implementada. Este tipo de decisão é de fundamental importância, levando-se em conta a periodicidade e volume das vendas no decorrer do dia. Como sabemos, na grande maioria dos casos, um mesmo auto-tanque costuma realizar entregas em mais de um posto de serviços por viagem, considerando ainda que, por questões de segurança e normas das próprias companhias do ramo, não se pode circular pelas ruas com compartimentos parcialmente completos (haveria a perigosa geração de cargas estáticas).

Atualmente, temos disponível na nossa empresa as seguintes configurações:

- Volume de 40.000 L, com 6 compartimentos sendo, 2 de 8.000 L (extremos do auto-tanque) e 4 de 6.000 L (intermediários);
- Volume de 36.000 L, com 4 compartimentos sendo, 2 de 10.000 L (extremos do auto-tanque) e 2 de 8.000 L (intermediários);
- Volume de 32.000 L, com 6 compartimentos sendo, 2 de 6.000 L (extremos do auto-tanque) e 4 de 5.000 L (intermediários);
- Volume de 32.000 L, com 4 compartimentos de 8.000 L;

Sendo que além das carretas de 40.000 L, que são tanques auto-portantes de alumínio, as outras carretas são de aço, e apresentam sub-chassi adicional.

Uma última observação a ser considerada é o fato de que a maioria das empresas do ramo de distribuição de combustíveis utiliza normalmente, junto com sua própria frota, o serviço de transportadoras terceirizadas. Considerando ainda que, estas últimas apresentam na sua composição uma grande maioria de carretas de aço de 15.000 L de 3 compartimentos de 5.000 L cada.

3. Exigências para o Projeto do Caminhão

3.1. Legislação Brasileira de Pesos e Dimensões

Segundo o decreto 62.127/68, alterado pelo Decreto 98.933/90 e outros decretos posteriores, está regulamentado no código nacional de trânsito limites de pesos e dimensões, bem como demais obrigatoriedades correlatas, pertinentes ao transporte de cargas através das rodovias brasileiras.

3.1.1. Peso Bruto Total

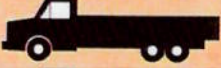
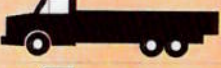
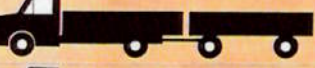
Segundo o Artigo 79 do decreto acima mencionado, nenhum veículo poderá transitar com peso bruto total combinado superior ao fixado pelo fabricante, nem ultrapassar a capacidade máxima de tração da unidade tratora. Além disso, de acordo com o artigo 82, o Peso Bruto Total (PBT) por unidade ou combinação de veículos não poderá exceder o valor de 45 toneladas. Para caminhões com PBT maior que este limite uma autorização especial deverá ser previamente obtida (isso acontecerá para o caso de treminhões).

3.1.2. Carga por Eixo

O que causa a deterioração do pavimento são as cargas transmitidas diretamente pelos eixos ao pavimento. Sendo assim, não há relação direta entre o PBT e o desempenho dos pavimentos. Veículos pesados podem ser

pouco danosos aos pavimentos, desde que a carga total seja distribuída por um número suficiente de eixos.

Tabela 1 – Pesos Máximos Permitidos

PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS (artigo 82)		Por eixo	PBTC
		(6+10)	16
		(6+17)	23
		(6+13,5)	19,5
		(6+25,5)	31,5
	 	(6+10+10)	26
		(6+10+17)	33
		(6+10+20)	36
		(6+17+17)	40
		(6+17+20)	43
		(6+10+25,5)	41,5
		(6+10+30)	46
		(6+17+25,5)	48,5
		(6+13,5+25,5)	45
		(6+17+30)	53
		(6+10+10+10)	36
		(6+10+10+17)	43
		(6+17+10+10)	43
		(6+17+10+17)	50

Fonte: ref. Bibl. [6]

Desta maneira, o código de leis fixou valores máximos permitidos por eixo, relacionando-os com os tipos de veículos, conforme a tabela 1.

Tanto para o PBT quanto para o peso bruto transmitido por eixo fica permitida uma tolerância máxima de 5% sobre os limites estabelecidos, no caso de pesagens obrigatórias em balanças do D.E.R ou D.E.R.S.A.

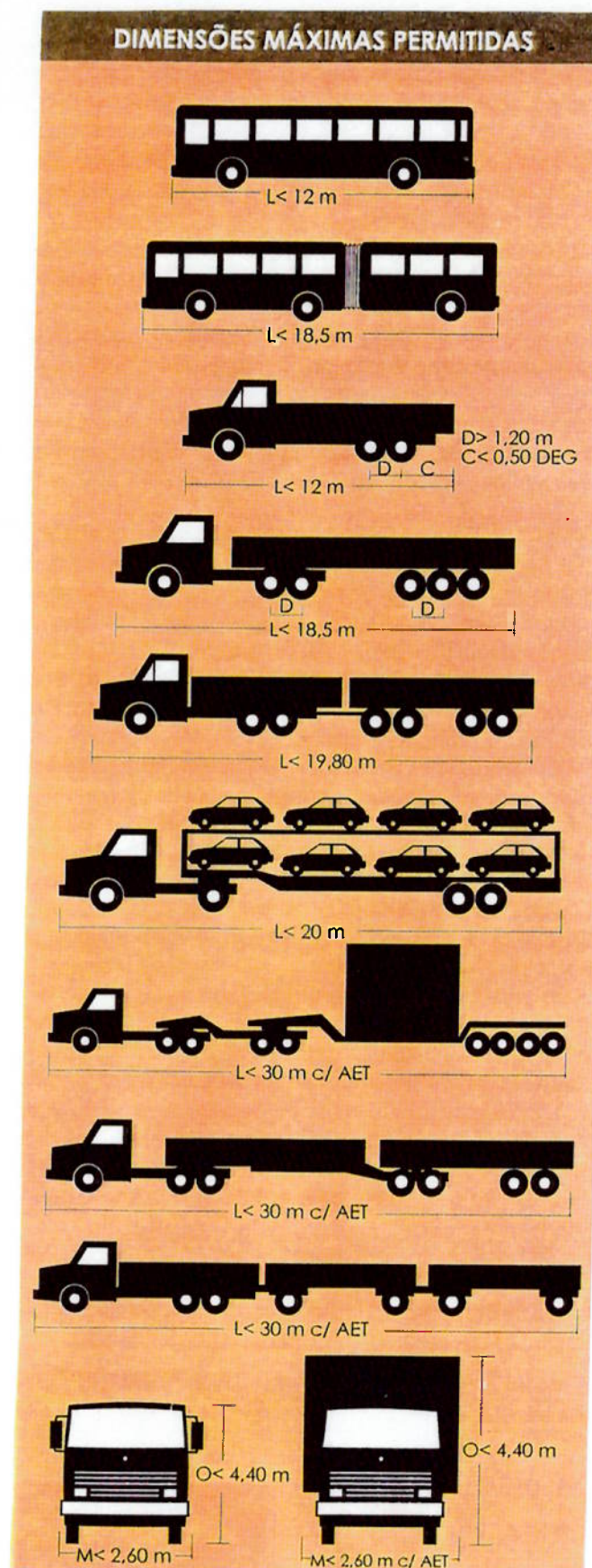
3.1.3.Dimensões dos Veículos

A limitação no comprimento e na largura dos veículos tem como finalidade deixar uma folga suficientemente segura em ultrapassagens no mesmo sentido ou em sentido contrário. Já quanto a altura dos veículos, preocupa-se em aumentar a estabilidade do mesmo em curvas e possibilitar a sua passagem sob pontes e viadutos.

Da mesma maneira que os pesos máximos permitidos por eixo, o comprimento, largura e alturas máximas também dependem do tipo de veículo e podem ser observados na tabela 2.

O balanço máximo permitido da distância entre eixos (medida de um eixo externo ao outro) é de 60% ou 3.50 m no caso de caminhões.

Tabela 2 – Dimensões Máximas Permitidas



Fonte: ref. Bibl. [6]

3.1.4. Relação Peso/Potência

De acordo com a PORTARIA No 01/89 do INMETRO, com base no artigo 79 do RCNT, o limite mínimo da relação potência/peso para veículos de transporte de carga é de 5,71 cv / t (4,2 kW / t).

3.1.5. Limites de Peso e Dimensões em Países do Mercosul

Devido a proximidade e atual aquecimento das relações entre Brasil e países do Mercosul, é interessante selecionarmos um caminhão compatível com as leis de limites para pesos e dimensões destes países. Estes valores podem ser observados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Dimensões Máximas Permitidas no MercoSul

DIMENSÕES MÁXIMAS NO MERCOSUL E NA ARGENTINA (em m)	
Caminhão simples	13,20
Reboque	8,60
Caminhão com reboque	20,00
Caminhão com semi -reboque	18,00
Caminhão com semi - reboque e reboque	20,50
Altura máxima	4,10
Largura máxima	2,60

Fonte: ref. Bibl. [6]

Tabela 4 – Cargas Máximas Permitidas nos Países da América Latina e Central

TABELA 5 CARGA POR EIXO NOS PAÍSES DA AMÉRICA LATINA					
País	Dianteiro	Simplex	T. duplo	T. triplo	PBT
Argentina	6,0	10,5	18,0	25,5	45,0
Bolívia	6,0	11,0	18,0	25,0	45,0
Brasil	6,0	10,0	17,0	25,5	45,0
Chile	7,0	11,0	18,0	25,0	45,0
Colômbia	6,0	10,0	20,0	24,0	50,0
Costa Rica (1)	4,0	8,0	16,0		32,5
El Salvador		8,0		14,5	33,0
Equador	5,3	11,0	19,0		46,4
Guatemala	5,0	8,0		14,5	31,25
Guianá		8,25		12,4	
Haiti		12,0		20,0	
Honduras		8,0		14,5	25,0
Martinica		13,0		21,0	38,0
México	4,0-5,5	8,0-10,0	14,0-18,0	22,5	46,0
Nicarágua (2)	4,0	8,0	14,5	18,0	34,0
Panamá (3)	4,0-5,0	10,0	16,4	22,0	47,9
Paraguai	6,0	10,5	18,0	25,0	45,0
Peru	4,0-6,0	10,0-11,0	16,0-18,0	23,0	45,0
Rep. Dominicana	5,0	9,0		14,5	30,0
Uruguai	6,0	10,0	18,0		42,0
Venezuela	7,0	13,0	20,0	23,0	48,0

Fonte: ref. Bibl. [6]

3.2. Normas Técnicas

De acordo com o Decreto No 96.044, de 18 de maio de 1988, foi aprovado o regulamento para o transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, assim como estipuladas algumas novas providências.

Todo o transporte , por vias públicas , de produto que seja perigoso ou que represente risco para a saúde das pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente, fica submetido às regras e procedimentos estabelecidos no " *Regulamento para Transporte de Cargas Perigosas* ". Uma vez que os produtos de interesse para nosso projeto em questão (gasolina, álcool, diesel – tanto em versão comum, como aditivada) se encontram especificados dentro da portaria do Ministério de transportes, alguns pré-requisitos devem ser obedecidos. A seguir temos uma relação dessa exigências, bem como enquadramento desses produtos perigosos dentro das diversas classes existentes.

3.2.1. Classificação do Produto

- De acordo com a Relação de Produtos Perigosos, encontramos nosso produto definido da seguinte forma: **No ONU: 1203, Definição: Combustível para Motores, inclusive Gasolina, Classe de Risco: 3, No de Risco: 33, Grupo de Embalagem: II, EPI: 1, Guia: 27**
- A classificação adotada para os produtos considerados perigosos, feita com base no tipo de risco que apresentam e conforme as

Recomendações de Produtos Perigosos das Nações Unidas, sétima edição revista, 1991, compõe-se das seguintes classes definidas:

- Classe1: Explosivos;
- Classe2: Gases (Inflamáveis, Não Inflamáveis Não Tóxicos, Tóxicos);
- **Classe3: Líquidos Inflamáveis;**
- Classe4: Sólidos Inflamáveis (Substâncias sujeitas a combustão instantânea, Substâncias que em contato com a água emitem gases inflamáveis);
- Classe5: Substâncias Oxidantes (Peróxidos orgânicos);
- Classe6: Substâncias Tóxicas Venenosas (Substâncias Infectantes);
- Classe7: Materiais Radioativos;
- Classe8: Corrosivos;
- Classe9: Substâncias Perigosas Diversas.

Como foi visto anteriormente nossos produtos se enquadram na Classe3, a qual apresenta a seguinte descrição:

Líquidos Inflamáveis são líquidos, misturas de líquidos , ou líquidos contendo sólidos em suspensão que produzem vapores inflamáveis a temperaturas de até 60,5 °C, em teste de vaso fechado, ou até 65,6 °C, em teste de vaso aberto (limites do ponto de fulgor – “flashing point”), conforme normas brasileiras ou internacionais aceitas. Esses limites de temperatura foram obtidos para produtos em estado quimicamente puro

portanto, no caso de outras substâncias, ou impurezas, adicionadas ao produto deve-se obter um novo ponto fulgor, real, o qual deve ser então adotado.

- Os números que indicam o tipo e a intensidade de risco, são formados por dois ou três algarismos. A importância do risco é registrada da esquerda para a direita. O número de risco **33** tem o seguinte significado: Líquido muito inflamável (Pto. De Fulgor < 23°C)
- De acordo com as características de cada produto é ainda especificado um kit de EPI – Equipamento de Proteção Individual, que deverá ser obrigatoriamente utilizado quando do manuseio do mesmo. O grupo de **EPI 1** consiste de luva e capacete de boa resistência de material adequado ao(s) produto(s) transportado(s), e óculos de segurança para produtos químicos;
- Finalmente, temos para cada grupo de produtos um guia pré-determinado, contendo informações sobre riscos potenciais, além de procedimentos de emergência e de primeiros socorros no caso de acidentes. O **guia 27** possui as seguintes informações:

- Riscos Potenciais

- Fogo ou explosão: Produto inflamável/combustível pode inflamar-se com o calor, fagulha ou chamas. Vapores podem deslocar-se até uma fonte de ignição e provocar retrocesso de chamas. Os recipientes podem explodir com o calor do fogo. Há riscos de explosão do vapor em ambientes fechados ou abertos ou em rede

de esgotos. O escoamento para a rede de esgotos pode criar riscos de fogo ou explosão;

- Riscos para a saúde: Pode ser venenoso se inalado ou absorvido pela pele. Os vapores podem provocar tontura ou sufocação. O contato pode causar queimaduras ou irritação na pele e nos olhos. O fogo pode ocasionar a emissão de gases irritantes ou venenosos. As águas residuais de controle do fogo e as águas de diluição podem causar poluição;

- Ação de Emergência: Manter as pessoas afastadas, isolar a área de risco e impedir a entrada. Manter-se com o vento pelas costas, afastar-se de áreas baixas

- Fogo: Utilizar para incêndio de pequenas proporções pó químico, CO₂, halon, neblina de água ou espuma normal. Para incêndio de grandes proporções utilizar neblina de água ou espuma normal recomendadas. Esfriar lateralmente com água, os recipientes que estiverem expostos às chamas, mesmo após a extinção do fogo. Manter-se longe dos tanques
- Derramamento ou Vazamento: Eliminar todas as fontes de ignição, impedir fagulhas, chamas e não fumar na área de risco. Estancar os vazamentos se isto puder ser feito sem risco. Para pequenos derramamentos, absorver com areia ou outro material absorvente não combustível e guardar em recipiente para posterior descarte. Para grandes derramamentos, confinar o fluxo longe do derramamento, para posterior descarte.

- Primeiros Socorros: remover a vítima para lugar fresco e solicitar assistência médica de emergência, se não estiver respirando fazer respiração artificial, se a respiração é difícil, administrar oxigênio. Em caso de contato com o produto, lavar imediatamente os olhos com água corrente, durante pelo menos 15 minutos; lavar a pele com água e sabão. Remover e isolar imediatamente, roupas e calçados contaminados.

3.2.2. Relação de exigências para o veículo de transporte

3.2.2.1. Definições

Antes de listarmos as exigências para a construção de carros-tanque para líquidos inflamáveis, é interessante definirmos alguns termos que serão amplamente usados a posteriori, inclusive com o intuito de facilitar a compreensão sobre a função de alguns . Tanto estas definições quanto as exigências requeridas se encontram na Norma Técnica **NB-212**, sendo elas:

- Antepara: chapa colocada no sentido transversal do tanque de carga, dividindo-o em compartimentos estanques;
- Caminhão-tanque: qualquer veículo automotriz, equipado com tanque de carga montado sobre o chassis e usado para transporte de líquidos inflamáveis ou asfalto;
- Compartimento: espaço estanque em um tanque de carga;

- Quebra-onda (chicana): chapa colocada no sentido transversal de um tanque de carga, sem dividi-lo em compartimentos estanques;
- Tanque de carga: qualquer recipiente com capacidade líquida superior a 400 litros, utilizando no transporte de líquidos inflamáveis ou asfalto e montado permanentemente sobre um veículo. Não se aplica a qualquer recipiente usado unicamente para conter o combustível destinado ao motor do próprio veículo;
- Tanque-reboque: qualquer veículo sem meio próprio de propulsão, equipado com tanque de carga, utilizando no transporte de líquidos inflamáveis ou asfalto, e construído de tal forma que todo o seu peso repouse sobre suas próprias rodas;
- Tanque semi-reboque: qualquer veículo sem meio próprio de propulsão, equipado com tanque de carga utilizado no transporte de líquidos inflamáveis ou asfalto, e conduzido de tal forma que quando rebocado por um trator ou cavalo mecânico ligado ao mesmo por meio da "quinta roda", parte de seu peso é distribuído sobre o veículo trator;
- Carro-tanque: qualquer caminhão-tanque, tanque-reboque ou trator e tanque semi-reboque combinados.

3.2.2.2.Exigências

Não se pode esquecer que no projeto de carro-tanque deverá levar-se em consideração a relação estrutural entre o tanque de carga, o equipamento propulsor e os suportes de sustentação, tendo-se em mente o peso, a temperatura da carga, desempenho na estrada, freios e rigidez requerida.

Estão listadas abaixo uma série de exigências, sem as quais o projeto de um carro-tanque tornar-se-ia incompleto:

- Todo carro tanque para líquidos inflamáveis deverá ter nas partes laterais e traseiras do tanque a palavra **INFLAMÁVEL**, na forma da legislação vigente;
- Durante as operações de carga, transporte, descarga, transbordo, limpeza e descontaminação, os veículos e equipamentos utilizados no transporte de produto perigoso deverão portar rótulo de risco e painéis de segurança específicos de acordo com as NBR-7500 e NBR-8286;



Figura 7 – Painéis de Segurança

- Os tanques e os chassis deverão ser interligados eletricamente. Deverá haver na estrutura dos tanques pontos para a ligação do cabo-terra da plataforma de carregamento;
- Deverão portar o conjunto de equipamentos para situações de emergência indicados por Norma Brasileira ou, na inexistência desta, o recomendado pelo fabricante do produto.
- Os materiais empregados na construção dos tanques de carga deverão ser compatíveis com as características químicas dos líquidos inflamáveis a serem transportados;
- A espessura das chapas de um tanque de carga será determinada pela capacidade volumétrica do tanque em litros por centímetro linear, pela distância entre anteparas, quebra-ondas ou outros reforços dos costados, bem como pelo raio de curvatura do tanque no caso das chapas do costado. Se o formato da seção transversal for outro que não o circular, o raio considerado deverá ser o maior para a seção transversal considerada;
- A espessura das chapas das cabeceiras jamais será inferior à maior espessura exigida para as chapas do costado;
- As válvulas de descarga e conexões, que se salientam do chassi na parte posterior do veículo, deverão ser protegidas adequadamente contra colisões por meio de pára-choques. Quando estas estiverem na parte lateral do veículo devem ser protegido por "mata-cachorros";

- Os materiais a serem utilizados na construção das unidades de transporte deve obedecer as especificações mínimas encontradas nas tabela abaixo:

Tabela 5 - Especificações Mínimas de Material: Aço

	Aço ABNT 1003	Aço ABNT 1005	Aço Inox
Ponto de escoamento (MPa)	175	315	225
Resistência a ruptura (MPa)	315	525	420
Alongamento 51 mm (%)	20	25	20

Fonte: Ref. Bibl. [7]

Tabela 6 - Especificações Mínimas de Material: Ligas de Alumínio

	Alumínio ASTM B209-62		
	5052	5086	5154
Ponto de escoamento (MPa)	66	97	179
Resistência a ruptura (MPa)	170 - 210	240 - 300	200 - 280
Alongamento 51 mm (%)	14	15	12

Fonte: Ref. Bibl. [7]

- Juntas:

- As juntas devem ser soldadas de acordo com a técnica adequada que assegure sejam as resistências das juntas no mínimo de 85% da resistência do metal soldado;

- b) Sempre que forem usadas chapas de aço inoxidável em combinação com chapas de outros tipos de aço, as juntas soldadas serão feitas com eletrodos e varetas de enchimento de aço inoxidável da chapa;
 - c) Nos tanques de carga construídos em ligas de alumínio as juntas do costado do tanque, cabeceiras e anteparas deverão ser soldadas pelo processo de arco elétrico, em gás inerte, de acordo com a técnica adequada que assegure seja a resistência de cada junta não inferior a 85% da resistência do material soldado. Para enchimento deverá ser usada uma das seguintes ligas: RGR40A, E-GR40A (liga 5154) e R-GM50A (liga 5356) conforme a especificação nº B 285-61 da ASTM.
- Anteparas e quebra-ondas:
- a) Todo tanque de carga com capacidade total excedendo a 14.000 litros, será dividido em compartimentos que não excedam a 10.000 litros;
 - b) Todos os tanques e compartimentos com mais de 2 metros de comprimento serão dotados de quebra-ondas, cujo número será determinado de tal modo que a distância entre quaisquer dois quebra-ondas adjacentes, ou entre uma cabeceira e uma antepara ou o quebra-ondas mais próximo não exceda de 1,5m;

- c) A área da seção transversal de qualquer quebra-ondas não poderá ser inferior a 80% da área da seção transversal do tanque e a espessura do quebra-ondas não será inferior à determinação para cabeceiras e anteparas do tanque no qual seja instalado.

- Válvulas de saída:

- a) Válvulas e torneiras de drenos deverão ter a extremidade livre rosqueada, ou deverão ser projetadas permitindo a conexão de mangotes de descarga sem que haja vazamentos;
- b) Cada compartimento deverá ter canalização de saída individual com duas válvulas, sendo uma na extremidade da tubulação de descarga e outra de fechamento rápido na saída do tanque.

- Suspiros e válvulas de pressão e vácuo:

- a) Cada tanque de carga ou compartimento deverá ser provido com um ou mais suspiros verticais com abertura mínima de $3,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Os suspiros deverão ser regulados para abrir a pressão não superior a 0,7 MPa (1 psi). Os suspiros a vácuo ou pressão deverão ser projetados de modo a evitar a perda de líquido através dos mesmos, no caso de tombamento do veículo. Se o tanque for projetado para ser carregado e descarregado com a

tampa superior fechada, os suspiros deverão ser projetados de modo a limitar o vácuo a 2,1 MPa (3 psi), com base na maior vazão de transferência do produto;

- b) Todos os suspiros deverão ligar diretamente o espaço de vapor do tanque ao exterior. Não poderão ser instaladas válvulas de bloqueio entre o tanque e o suspiro.

- Suspiros de emergência para exposição ao fogo:

- a) Cada compartimento do tanque de carga deverá ser provido de um ou mais suspiros com capacidade suficiente para limitar a pressão interior do tanque a 3,5 MPa (5 psi). Essa capacidade total do suspiro de emergência não deverá ser inferior à determinada pela *tabela z*, usando-se a superfície externa do tanque ou compartimento como área exposta ao fogo;

Tabela 7: Vazões de Ar Determinadas de Suspiros de Emergência x Áreas Expostas ao Fogo.

Area Exposta (m ²)	Vazão de Ar (m ³ /h)	Area Exposta (m ²)	Vazão de Ar (m ³ /h)
2	480	28	6400
3	720	30	6700
4	960	35	7100
5	1200	40	7700
6	1400	45	8200
7	1700	50	8800
8	1900	55	9300
9	2200	60	9800
10	2400	65	10300
12	2900	70	10800
15	3600	75	11200
18	4300	80	11600
20	5200	85	12100
23	5700	90	12500
25	5900	95	12900

- b) Cada tanque ou compartimento deverá ser equipado com um ou mais suspiros acionados por pressão, regulados para abrir a 2,1 MPa (3 psi). A capacidade mínima de ventilação para estes suspiros deverá ser de 2,8 m³ /min de ar a pressão de 3,5 MPa (5 psi), obtidos a 1 atm e à temperatura de 15,5 °C;

- c) Os dispositivos que atuam por pressão deverão ser projetados de modo a evitar vazamentos de líquidos em caso de oscilações ou tombamento do veículo, mas devem funcionar em caso de elevação de pressão com o veículo tombado;
 - d) Se os suspiros acionados por pressão exigidos no item b) não cobrirem a capacidade total de ventilação exigida em a), a capacidade adicional necessária deverá ser obtida com a instalação de suspiros fusíveis, cada um com a área mínima de 8 cm^2 . Os suspiros fusíveis devem apresentar ponto de fusão não superior a $121 \text{ }^\circ\text{C}$ quando a pressão no tanque estiver entre 2,1 e 3,5 MPa.
- Deverão estar equipados com tacógrafo, ficando os discos utilizados à disposição do expedidor, do contratante, do destinatário e das autoridades com jurisdição sobre as vias n, durante 3 meses, salvo em caso de acidente, hipótese que serão conservados por um ano.
 - Só poderão circular pelas vias públicas portando os seguintes documentos:
 - a) Certificado de Capacitação para o transporte de Produtos Perigosos a Granel, do veículo e dos equipamentos, expedido pelo INMETRO ou entidade por ele credenciada;
 - b) Certificado de Aferição da carreta, contendo discriminação de compartimentação bem como seus respectivos volumes;

- c) Documento Fiscal do produto transportado, contendo diversas informações a respeito do mesmo (número e nome apropriado para o embarque, classe, declaração de correto acondicionamento do produto entre outras);
 - d) Ficha de Emergência e Envelope para Transporte, emitidos pelo expedidor, de acordo com as NBR-7503, NBR-7504, NBR-8285, preenchidos conforme instruções fornecidas pelo fabricante ou importador do produto transportado, contendo: orientação do fabricante do produto, quanto ao que deve ser feito em caso de emergência , acidente ou avaria. Telefone de emergência da corporação de bombeiros e dos órgãos de policiamento de trânsito, da defesa civil e do meio ambiente ao longo do itinerário.
-
- Deverá portar extintores de incêndio portáteis e com capacidade suficiente de combater princípio de incêndio, tanto do motor ou de qualquer outra parte da unidade de transporte, quanto do carregamento (NBR-12710 e NBR-13095);
 - os tanques destinados ao transporte de produtos perigosos, bem como todos os seus dispositivos que entrem em contato com o produto (bombas, válvulas e, inclusive, seus lubrificantes), não devem ser atacados pelo conteúdo , nem formar com este combinações nocivas ou perigosas;

- Devem transportar dois calços com as seguintes dimensões mínimas:

- base inferior: 150 mm;
- largura: 200 mm;
- altura: 150 mm.

Note que as dimensões desses calços devem ser apropriadas ao peso do veículo e ao diâmetro das rodas, e compatíveis com o material transportado, os quais devem ser colocados de forma a evitar deslocamento do veículo em qualquer dos sentidos possíveis;

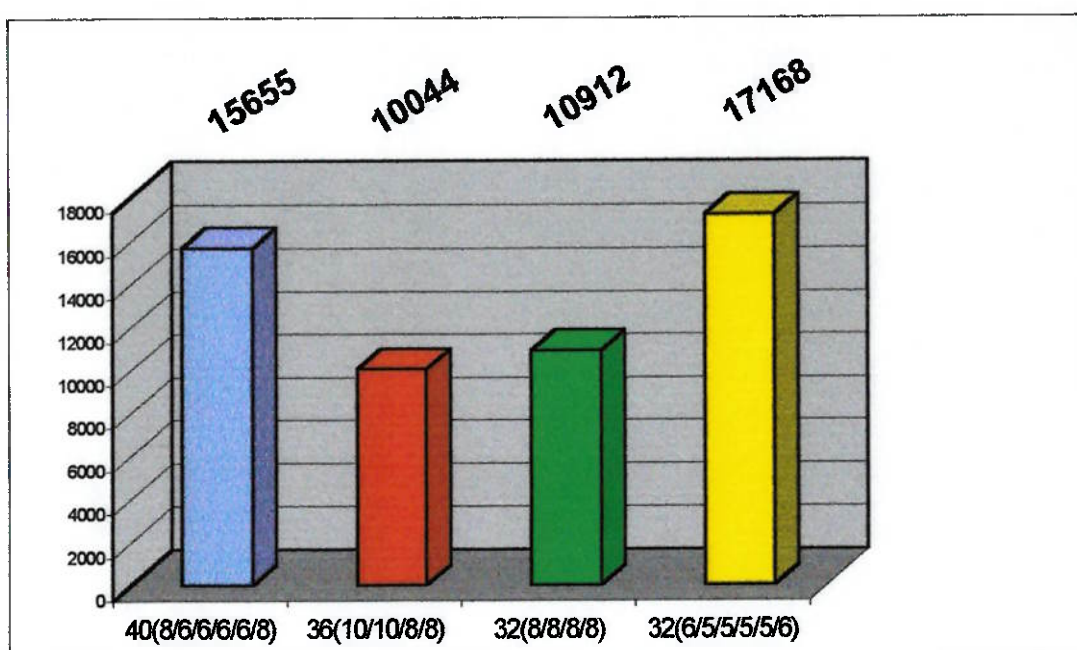
- Deve ainda possuir um jogo de ferramentas adequado para reparos em situações de emergência durante a viagem, uma lanterna média ou grande, caixa de primeiros socorros, ficha ou cartão telefônico;
- São requeridos os seguintes dispositivos de sinalização: 50 m de fita e/ou corda para isolamento de área, material para advertência (4 placas auto-portantes com dimensões mínimas de 340 mm x 470 mm), com a inscrição "PERIGO AFASTE-SE" com 6 dispositivos para sustentação da corda e/ou da fita, para caminhões e seus rebocados, além de 10 cones;

4. Especificações de Projeto

O caminhão projetado deverá obedecer as exigências legais e as normas técnicas descritas no item anterior e, portanto, no seu projeto serão levados em conta os seguintes fatores:

- União do veículo motor e carreta: acoplados por pino rei, propiciando assim uma maior capacidade de carga (eixo(s) extra(s) no veículo motor), e maior manobralidade (existe uma certa liberdade de rotação entre as duas partes);
- União tanque-chassi: tanque auto-portante, possibilitando uma maior capacidade de carga, uma vez que estamos economizando em peso. Esse tipo de união se encaixa perfeitamente ao projeto em questão pois, só é recomendado para empresas grandes e com ramos de aplicação bem definidos;
- Número de eixos na carreta: três em tandem, possibilitando assim maior capacidade de carga;
- Tanque: formato elíptico, pois tratamos com produtos cuja descarga é feita por gravidade, além de propiciar maior estabilidade ao caminhão, que passa a operar com centro de gravidade mais próximo ao solo;

- **Compartimentação e Capacidade de Carga :** Observando-se o gráfico abaixo, referente ao resultado dos últimos seis meses de nossa companhia distribuidora de combustíveis, pode-se constatar que as carretas mais eficiente são aquelas possuidoras de compartimentação 6/5/5/5/5/6, totalizando 32.000 L .



**Figura 6 - Comparação entre Volumes Entregues por Tipo de Carreta
01/99 à 06/99**

Este resultado, acrescido do fato que ultimamente a maioria dos postos de vendas tem preferido trabalhar com estoque mínimo, sendo esta uma tendência que deve provavelmente se manter, optaremos pela escolha de compartimentos de 5.000 L.

Resta-nos agora duas opções: ou uma carreta com 6 compartimentos de 5.000 L, totalizando 30.000 L, ou uma de 6 compartimentos, dentre eles 2 de 6.000 L e 4 de 5.000 L, totalizando 32.000 L.

Obviamente, temos como objetivo transportar o maior volume possível, e partimos ainda da comodidade do fato de nossa Central de Atendimento ter a liberdade, prevista em contrato, de conferir até 2.000 L a mais em um pedido feito por um posto de vendas; todavia, essa escolha só poderá ser efetuada posteriormente, após algumas análises de esforços sobre eixos e dimensões da carreta;

- Medidas do caminhão: as dimensões escolhidas não serão necessariamente as máximas e sim um resultado otimizado entre a geometria da seção transversal e comprimento do tanque, assim sendo temos:

Pesos Máximos:

PBT total: 41,5 ou 45 t (máximo permitido)

Carga no eixo dianteiro do veículo motor: 6 t

Carga no eixo traseiro do veículo motor: 10 ou 17 t

dependendo do tipo do eixo (simples ou duplo em tandem)

Carga nos eixos da carreta: 25,5 t

Dimensões máximas:

Altura: 4,40 m

Largura: 2,60 m

Comprimento: 18,5 m

- Potência mínima do veículo motor:

$$\begin{aligned} \text{Pot}_{\min}(\text{cv}) &= (\text{relação mínima de pot/peso normalizada}) * (\text{peso}) = \\ &= 5,71 * 45 = 256,95 \text{ cv} \end{aligned}$$

- Vida útil: Segundo a norma NB-760 especifica valor mínimo de vida útil de 5 anos mas, para efeito deste projeto será adotado o dobro, ou seja, 10 anos para o tanque, pois a vida útil do conjunto suspensão e eixos existentes no mercado também é de 10 anos

5. Pré-Seleções

5.1. Material

Uma vez que temos indicados pela norma de construção de carros-tanque para líquidos inflamáveis, apenas alguns tipos de aço (carbono e ligados) e algumas ligas de alumínio – magnésio (apresentam boa soldabilidade), partimos para uma pré-seleção do material. Esta escolha baseou-se no peso específico dos materiais e respectivas resistências a esforços aplicados

Uma vez que a densidade média para ligas de alumínio é $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$, e para aços $\rho = 7,87 \text{ g/cm}^3$, acrescido do fato que o aço resiste a tensões de ordem 2,5 vezes maior que o alumínio, optamos por selecionar neste primeiro momento, **ligas de alumínio**. Este material será capaz de resistir as mesmas solicitações, só que conferindo menor esforço à suspensão ^[1]. Esta escolha também contribuirá para a diminuição do peso morto de nossa carreta.

5.2. Suspensão

Nesta seção, trataremos de efetuar a seleção do tipo de suspensão a ser utilizado no caminhão, dentre as existentes no mercado. Gostaríamos de esclarecer ainda, que não se trata da escolha propriamente dita, mas sim uma

pré escolha que será devidamente refinada ao definirmos exatamente as cargas e solicitações em que esta estrutura estará submetida.

Atualmente no mercado brasileiro, existem principalmente dois tipos de suspensões: a com feixes de molas(convencionais), e a suspensão pneumática.

A suspensão convencional é mais utilizada por ter um custo relativamente menor e apresentar manutenção mais fácil e barata. Já a pneumática, vem tendo uma grande aceitação frente a convencional de feixes de molas, quando empregadas por grandes empresas que possuem frotas próprias de caminhões. Isto ocorre pois, apesar de apresentar um custo inicial bem mais alto, ela acaba por poupar manutenções em eixos e estruturas do caminhão, reduzindo portanto, custos de manutenção e de parada do veículo os quais estariam atrelados a um melhor amortecimento dos esforços dinâmicos causados pelo solo.

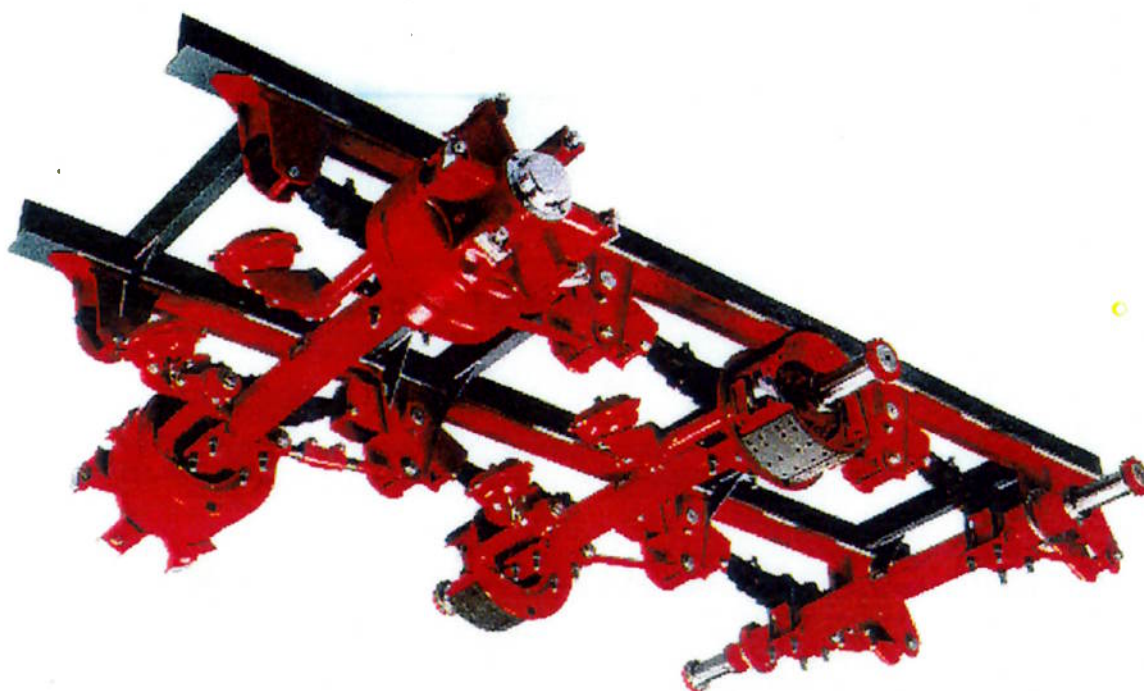


Figura 9 – Suspensão Convencional (Feixe de Molas)

5.2.1. Benefícios da Suspensão a Ar

Constituída por bolsas de borracha interligadas, contendo ar comprimido, válvulas pneumáticas, peças fundidas em aço nodular e molas parabólicas, a suspensão a ar opera como se o veículo estivesse sempre carregado, compensa as maiores solicitações por meio de aumento de pressão, e mantém o chassi sempre nivelado.



Figura 10 – Suspensão Pneumática

Apesar de mais cara, a suspensão a ar fornece mais conforto, maior estabilidade e mais proteção as cargas. Além disso, deteriora menos o pavimento porque apresenta oscilações menos intensas e, no caso dos

conjuntos em tandem, porque distribui de maneira mais uniforme as cargas entre os eixos.

Para a mesma carga estática, a suspensão pneumática apresenta fator dinâmico sensivelmente menor que o do feixe de molas. A suspensão comum é mais rígida, ou menos elástica que a pneumática. O resultado disto é que a frequência natural da carroçaria na suspensão pneumática é menor do que convencional. Isto significa que a suspensão que se utiliza de feixes de molas fica submetida a um número de ciclos de carregamento sensivelmente maior e de maior amplitude quando comparada a pneumática.

Segundo Gillespie ^[6], a redução proporcionada pela suspensão a ar em relação às convencionais é moderada e situa-se na faixa de 20%.

Já com base nos relatórios realizados pela EDE (Embraer) sobre um ensaio com extensômetros nos eixos de um semi-reboque Recrosul equipado com suspensão pneumática, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 8 – Resultados Comparativos entre Tipos de Suspensão

	Suspensão Mecânica	Suspensão Pneumática	Diferença (%)
Carga Estática	8.000 Kg	8.000 Kg	--
Carga Dinâmica	7.002 Kg	3.032 Kg	- 56,69
Total por Eixo	15.002 Kg	11.032 Kg	- 26,46

Podemos notar que o amortecimento proporcionado pelo sistema pneumático de suspensão é muito significativo na redução do impacto incidente sobre os eixos e, por conseqüência, sobre a estrutura do tanque.

Através deste mesmo estudo, pode se concluir ainda que a suspensão pneumática é capaz de reduzir a deterioração dos pavimentos em cerca de 4% e recomendam estudos para incentivar o seu uso. Entre tais incentivos, sugerem cobrança de IPVA e pedágios mais baixos. Ressalta-se ainda que existe a tendência de ampliação de carga por eixo permitida para veículos que se utilizem de suspensões pneumáticas, como ocorre na Europa.

5.2.2. Pré Seleção do Tipo de Suspensão

Para que possamos efetuar uma escolha coerente, devemos considerar alguns parâmetros de projeto submetidos a estrutura em questão.

O caminhão a ser projetado, é um caminhão de distribuição de combustíveis em autopostos situados principalmente em áreas metropolitanas, onde os esforços dinâmicos causados pelas irregularidades do solo são enormes, e conseqüentemente, os gastos prováveis com manutenção de rodas, pneus, estruturas e suspensão são altos.

Considerando ainda que os prováveis compradores deste veículo seriam grandes empresas de petróleo, que possuem verba suficiente para empregar num projeto deste e que ainda contam em sua totalidade, com grande frota de caminhões e oficinas próprias para efetuar eventuais manutenções, acreditamos que seria mais econômico a longo prazo, o emprego de uma suspensão pneumática. Pois estas oficinas teriam reduções abruptas nos gastos com reparos de rodas, pneus, chassis, estruturas e etc.

Com base nos estudos feitos pela Embraer, e atrelado as condições de projeto e venda deste veículo, consideramos que o emprego de uma suspensão pneumática seria mais viável.

Acrescentamos ainda que, com esta escolha, provavelmente estaríamos agindo em favor da segurança, e de um projeto estrutural do tanque e acessórios mais econômico, devido as menores solicitações em que estes equipamentos estariam submetidos.

Destacamos ainda que a escolha do modelo propriamente dito, depende de alguns fatores de projeto que ainda não foram definidos, como peso e características do tanque. Detalhes como estes podem mudar drasticamente a escolha de um modelo para outro similar .

Com isso, gostaríamos de esclarecer que a suspensão a ser empregada neste veículo será do tipo pneumática, mas seu modelo e fornecedor serão definidos a posteriori, quando todos os parâmetros necessários estiverem definidos.

5.3. Pneus

Assim como na seção anterior deste trabalho, por existirem parâmetros de projeto ainda não desenvolvidos, esta seção visa obter apenas uma pré seleção dos tipos de pneus a serem utilizados nesta carreta. Deixando para que a seleção do modelo em si seja efetuada após o dimensionamento correto de todo o tanque.

Atualmente no mercado brasileiro existe um dilema entre a utilização de pneus “supersingle”(extralargo) ou de rodados duplo. Abaixo tentaremos explicitar a influência no projeto da utilização de pneus extralargo.

5.3.1. Influência de Pneus Extralargos

Lançados na Alemanha em 1973, os pneus extralargos substituem um conjunto de dois pneus comuns. Essa substituição traz indiscutíveis vantagens para o frotista. Entre elas:

- Reduz o peso morto;
- Economiza combustível;
- Reduz o custo operacional dos pneus, aumenta sua durabilidade e facilita sua manutenção;
- Permite a eliminação dos eixos das carretas e a construção de carroçarias autoportantes e rebaixadas .



Figura 11 – Pneu com Rodado Duplo



Figura 12 – Pneu Extralargo

Por este motivo, o uso deste pneu vem se difundindo enormemente. Mas como a largura do pneu extralargo é menor que a dos dois pneus que substitui, ele suporta uma pressão mais elevada, para uma mesma carga por eixo. Pode-se esperar, portanto, que sua utilização aumente o desgaste aos pavimentos.

A literatura técnica internacional ratifica este raciocínio. Dezesseis anos atrás já era de conhecimento geral na Europa que um eixo com rodagem dupla produz uma solicitação da estrada inferior à do eixo com rodagem "supersingle". Eisenmann, assim como o TRB-SR 227, confirmam que o uso de pneus extralargos é mais danoso para as estradas que os pneus comuns.

Embora as tabelas de fatores de equivalência de carga sejam aplicadas até hoje indistintamente a eixos de dois ou quatro pneus, Fernandes Júnior relaciona resultados de pesquisas indicando que o fator de equivalência de carga para um eixo com pneu extralargo varia de 2.1 até 10 vezes o de um eixo com rodado duplo.

Baseados em cálculos de deformações horizontais na camada inferior do revestimento e deformações verticais no topo do subleito, realizado pelo programa Elsym 5, concluem que, para pavimentos pouco espessos, como os brasileiros, a operação com pneu extralargo tem efeito destrutivo relativamente maior sobre o revestimento do que sobre as câmaras inferiores da estrutura.

Para um eixo de 10 toneladas, o roda simples provoca uma deformação horizontal de tração 10 vezes maior à do eixo duplo. Para se obter a equivalência de deformações entre um pneu single inflado a 140 psi e um conjunto de rodas duplas com pneus normais, seria necessário reduzir a carga

por eixo do pneu extralargo para 6 toneladas. Levando-se em conta apenas a deformação vertical de compressão, uma redução para 9 toneladas seria suficiente. Como a destruição do revestimento abre a estrutura a infiltração de água, bem como produz ondulações que aumentam as cargas dinâmicas, o potencial destrutivo do pneu extralargo, adquire importância ainda maior.

Ressaltamos ainda, que devido a presença de sulcos nos pneus extralargos, estes apresentam desgaste maior que os de rodado duplo para uma mesma grandeza de ordem de trabalho. Este desgaste é ainda maior quando estes pneus são utilizados em pavimentos como os brasileiros.

5.3.2. Pré Seleção do Tipo de Pneu

Como estamos tratando de um caminhão de transporte de combustíveis que opera na faixa superior da Lei da Balança, devemos considerar que a distribuição de carga na área de contato com o solo se faz muito importante.

Devemos considerar também, que a aplicação deste caminhão prevê o seu uso em pavimentos extremamente irregulares, o que acarreta grandes deformações dos pneus extralargos, e conseqüentemente um enorme desgaste do pneu e também do pavimento.

Finalmente, devemos analisar a questão do desgaste, no que tange ao custo de troca destes pneus. Estes pneus podem ser considerados caros, e ao mesmo tempo mais baratos que dois pneus normais. Sua manutenção é mais simples, mas ao mesmo tempo mais freqüente.

Considerando estes fatores, associados as características das empresas alvo deste projeto, e aos altos custos de parada de frotas para este tipo de

companhia, acreditamos que a utilização de rodados duplos seria mais vantajosa. Pois apesar de ter algumas desvantagens, a sua utilização neste projeto praticamente se igualaria a utilização de extralargos. Só que com a vantagem de caracterizar um custo de operação bem menor.

Assim como na seção anterior, gostaríamos de esclarecer que a seleção do modelo propriamente dito só será realizada após definição exata de todos os parâmetros do projeto do tanque que possam influenciar esta decisão.

6. Seleção do Veículo Motor

6.1. Características de Operação

Como sabemos, tanto no Brasil como em qualquer outra parte do mundo, o transporte rodoviário depende não só do equipamento, mas também das características das estradas e dos tipos de carga a serem transportados. Por esta razão é que hoje a filosofia básica de seleção de cavalos para carretas consiste na “Adequação do Produto às Características da Operação”.

As estradas existentes no país podem ser agrupadas em três tipos básicos:

- *Estradas Asfaltadas e Bem Conservadas* - Este tipo engloba vias que provocam baixas vibrações no veículo. Estão incluídas nesta categoria as estradas principais e as vias bem conservadas de zonas urbanas.
- *Estradas Asfaltadas Esburacadas ou não Pavimentadas* – Este tipo de via provoca maiores vibrações, nas quais o chassi pode estar submetido a choques mais violentos. Tais estradas existem fora da rede principal e incluem vias secundárias ou vias públicas com manutenção precária.

- *Estradas Não Pavimentadas e Mal Cuidadas* – Este tipo de superfície submete o chassi a esforços muito elevados na forma de choques e torções. Tais vias incluem as estradas de minas, canteiros de obras e operações fora de estrada.

Para que possamos refinar a quantidade de modelos de cavalos a serem analisados, é necessário que criemos alguma base de dados que possa restringir sucessivamente os possíveis veículos motores.

A tabela abaixo foi levantada pela Scania e reflete uma base de dados para a escolha do tipo de tração do cavalo a ser utilizado(4x2, 6x2 e 6x4):

Tabela 9 – Tipos de Tração de Cavalos e suas Aplicações

Carga por Eixo (t)	Estrada Conservadas	Estradas Esburacadas	Estradas Não Pavimentadas
0-10	4x2	4x2	6x4
10-20	4x2	4x2	6x4
20-30	6x2	6x2	6x4
30-40	6x4	6x4	6x4

Fonte: Ref. Bibl. [5]

6.2 Seleção de Características Básicas do Cavalo Mecânico

Para que possamos restringir os modelos de cavalo a serem analisados, devemos estabelecer, ao menos aproximadamente, algumas características importantes desta carreta. Sua Carga Máxima Rebocável e a carga aplicada por eixo.

Como já foi relatado, a Lei da Balança estabelece que a carga máxima rebocável para este caso é de 45 toneladas, os pesos máximos permitidos no eixo dianteiro e traseiro do veículo motor é respectivamente 6 e 10 toneladas e acrescenta ainda que para esta aplicação devemos utilizar aproximadamente 5,71cv/t.

Com base nestes dados, totalizamos portanto, um mínimo de **257cv** de potência para o cavalo.

Considerando que as vias públicas nas quais esta carreta estaria transitando são mal cuidadas, e ainda que a carga por eixo não ultrapassa 20 toneladas, chegamos a conclusão de que o modelo que se adapta melhor a esta aplicação é o de tração **4x2**.

6.3 Alternativas de Escolha de Veículo Motor

Para que pudéssemos efetuar uma escolha correta do cavalo a ser utilizado, analisando não só características operacionais como as descritas acima, mas também características econômicas relacionadas com custo, foi

necessário a consulta à diferentes empresas fornecedoras de veículos motores extrapesados.

Dentre as diversas empresas no ramo de cavalos extrapesados, entramos em contato com a Scania, Mercedes-Benz e Volvo, onde solicitamos catálogos de modelos de Veículos Motores que atendessem as características operacionais descritas na seção anterior (4x2 e mínimo de 257cv).

Os modelos que atendem as características deste projeto e que foram analisados neste trabalho serão citados abaixo:

- Volvo

FH12 Globetrotter – Reconhecido mundialmente como um dos melhores caminhões do mundo, possui motorização única, e chega ao Brasil com opção de escolha apenas quanto a Suspensão Traseira, que pode ser à base de Molas ou à Ar. Seus sistemas são em sua totalidade eletrônicos, o que dificulta a manutenção, mas seu conforto é indiscutível. Seu ponto fraco é seu preço, que por ser um caminhão importado, chega perto dos US\$ 140,000.00, o que representa cerca de R\$ 250.000,00.

EDC Gold – Caminhão extrapesado que atende todas as características necessárias do projeto. Este caminhão tem três opções de motorização e pode ser quase que totalmente customizado. Sua manutenção não tem segredos e seu preço gira em torno de R\$ 170.000,00.

- Mercedes-Benz

LS-1938 – Caminhão novo da linha Mercedes, atende todas as características necessárias, demonstra ter um desempenho invejável, mas não apresenta opção de suspensão à ar. Seus sistemas são todos eletrônicos e seu preço alcança a marca de R\$ 230.000,00

- Scania

GA 4x2 NZ – Caminhão altamente versátil, com diversas opções de motorização e mecânica relativamente simples. Tem bom desempenho com os motores de maior potência e é o modelo nacional de melhor dirigibilidade, de acordo com pesquisa realizada com motoristas de frota. Seu preço base é de R\$ 150.000,00, mas se a escolha envolver sistemas mais complexos como a suspensão à ar, este preço atinge o valor de R\$ 180.000,00.

Gostaríamos de esclarecer que a obtenção de preços dos modelos é relativamente difícil, pois envolve a escolha de diversos equipamentos opcionais e normalmente tem como base o dólar. Portanto os valores citados acima são apenas comparativos, e podem sofrer grandes variações.

Com base na tabela abaixo, podemos ter uma melhor idéia das características operacionais de cada modelo:

Tabela 10 - Escolha de Veículo Motor

Modelo	Motor		Freios	Susp. Diant	Susp Tras.	Peso (kg)	Preço (R\$)
	Nomenci	Pot Máx(cv)					
LS-1938	OM-457LA	380	Ar / ABS	Molas	Ar	7.290	230.000,00
GA4x2NZ	DSC9 12	260	Ar / ABS	Molas	Molas	6.342	140.000,00
	DSC11 75	362	Ar / ABS	Molas	Molas	6.494	150.000,00
	DSC11 74	320	Ar / ABS	Molas	Molas	6.643	160.000,00
	DSC12 02	360	Ar / ABS	Molas	Molas	6.846	170.000,00
	DSC12 05	420	Ar / ABS	Molas	Ar	7.074	180.000,00
FH-12	D12A380	326	Ar / ABS	Molas	Molas	6.977	230.000,00
	D12A380	326	Ar / ABS	Molas	Ar	7.230	250.000,00
EDC Gold	D10A	320	Ar	Molas	Molas	6.450	150.000,00
	TD123E	356	Ar	Molas	Molas	6.600	160.000,00
	TD123E	356	Ar / ABS	Molas	Ar	7.040	170.000,00
	TD123ES	405	Ar / ABS	Molas	Molas	7.040	170.000,00
	TD123ES	405	Ar / ABS	Molas	Ar	7.110	180.000,00

Fonte: Ref. Bibl. [8], [9], [10] e [11]

6.4. Escolha do Veículo Motor

Com base nos dados relatados na seção anterior podemos facilmente notar que existem alguns modelos que não se adaptariam a aplicação desejada. O motivo desta não adaptação recairia principalmente, no fato destes modelos não apresentarem suspensão traseira a Ar, o que tornaria a pré seleção de suspensão para a carreta, que foi já realizada, praticamente sem valor.

Ao analisarmos a tabela apresentada na seção anterior, notaremos que os modelos que apresentam suspensão traseira pneumática e atendem as características operacionais de projeto são o Mercedes-Benz LS-1938, o Scania GA4x2NZ (DSC12 05) e os Volvo EDCGold (TD123E e TD123ES) e FH-12.

Para realizarmos uma escolha mais coerente foi elaborada uma matriz de decisão que levou em conta diversos fatores técnicos e econômicos destes modelos.

Tabela 11 – Matriz de Decisão

ATRIBUTO	Peso	LS-1938		GA-4x2NZ		EDC (123E)		EDC (123ES)		FH-12	
		Nota	NxP	Nota	NxP	Nota	NxP	Nota	NxP	Nota	NxP
Potência Motor	0,07	8	0,56	10	0,7	7	0,49	9	0,63	6	0,42
Consumo Combustível	0,03	4	0,12	2	0,06	5	0,15	3	0,09	6	0,18
Sist. Transmissão	0,03	9	0,27	7	0,21	9	0,27	9	0,27	9	0,27
Suspensão Dianteira	0,03	7	0,21	5	0,15	5	0,15	6	0,18	9	0,27
Suspensão Traseira	0,10	8	0,8	8	0,8	8	0,8	8	0,8	8	0,8
Sist. Freios	0,05	7	0,35	7	0,35	7	0,35	7	0,35	7	0,35
Chassi	0,05	7	0,35	7	0,35	8	0,4	8	0,4	8	0,4
Cabine	0,05	9	0,45	6	0,3	7	0,35	7	0,35	10	0,5
Dimensões	0,03	7	0,21	8	0,24	7	0,21	7	0,21	8	0,24
Peso	0,08	2	0,16	5	0,4	6	0,48	4	0,32	3	0,24
Segurança	0,10	9	0,9	8	0,8	7	0,7	7	0,7	9	0,9
Manutenção	0,10	1	0,1	8	0,8	7	0,7	7	0,7	1	0,1
Conforto	0,03	9	0,27	8	0,24	5	0,15	5	0,15	10	0,3
Dirigibilidade	0,05	7	0,35	7	0,35	7	0,35	7	0,35	8	0,4
Preço	0,20	4	0,8	7	1,4	9	1,8	7	1,4	2	0,4
Soma	1		5,9		7,15		7,35		6,9		5,77

A prévia eliminação daqueles modelos que atendiam as características operacionais desejadas mas não tinham opção de escolha de suspensão traseira, caracterizou um refinamento de escolha, para que pudéssemos levantar a Matriz de Decisão em questão, e fosse possível a análise de cada item contido na mesma.

Através da análise desta matriz, concluímos que tanto o Volvo EDC(123E) quanto o Scania GA4x2NZ obtiveram bons resultados, mas o **Volvo EDC Gold TD123E** obteve um diferencial de pontuação considerável, com desempenho praticamente igual, o que acabou pesando consideravelmente para que fosse o modelo escolhido para esta aplicação.

6.5. Características do Volvo EDC Gold TD123E

Para realizarmos o correto dimensionamento da carreta de transporte de combustíveis em questão, muitas vezes, é necessário que tenhamos todos os dados referentes ao veículo motor escolhido. Dados estes que estarão relacionados abaixo:

• Motor TD123E

Tipo	Diesel, 6 cilindros em linha, injeção direta, 4 tempos, turbo-alimentado, com resfriador do ar de admissão. Camisas úmidas e substituíveis. Cabeçotes individuais e intercambiáveis. Filtro separador de água do combustível.
Potência (kW / cv / rpm)	262 / 356 / 1.900
Torque (Nm / kgfm / rpm)	1.600 / 163 / 1.200
Cilindrada Total (dm ³)	12,0
Taxa da Compressão	17,8 : 1
Faixa econômica (rpm)	1.200 – 1.700
Consumo Específico (g / kWh)	195

• Transmissão

Embreagem	Modelo	KFD 215 ^A
	Tipo	Bidisco a seco, pull-type
	Acionamento	Hidropneumático
	Diâmetro Disco	380 mm (15,0")
	Área de Fricção	2.570 cm ²
	Força da Placa	15.800 N
Caixa de Mudanças	Modelo	ZF16S 165
	Tipo	Manual, totalmente sincronizada, com 8 marchas básicas (baixas-L) e 8 marchas intermediárias (altas-H) selecionadas através de botão na alavanca

- Suspensão

Dianteira	Modelo	FFJ-K2 / FAT 6.7
	Tipo	Feixe de molas semi-elípticas com pino rosqueado na extremidade anterior e jumelo na posterior
	Barra Estabilizadora	Standard
	Peso Bruto Máximo	6.700 kgf
Traseira	Modelo	RST-AIR
	Tipo	Suspensão à Ar com 4 bolsas de ar, barras de reação em "V" fixadas em mancais de borracha, amortecedores de dupla ação, barra de reação e ajuste de altura.
	Peso Bruto Máximo	13.000 kgf

- Sistema de Freio

Tipo	Totalmente Pneumático, com 3 circuitos independentes: eixo dianteiro, eixo traseiro e freio de estacionamento. Válvula de proteção de 4 vias(havendo vazamento em um dos circuitos, somente este deixa de atuar. Com secador de ar
Válvula Sensora de Carga	Standard
Freio Motor (tipo)	Êmbolo flutuante
Freio Estacionamento	Atua no eixo de tração
Sistema ABS	Standard

- Chassi

Quadro Principal	Modelo	PRO 99R
	Tipo	Longarinas em perfil "U" dobradas. Quadro tipo escada, rebitado e aparafusado, completamente retilíneo
	Material	LN 28
Quadro Aux. (reforço)	Standard / Material	LN 28

- Cabine

Modelo	ELHH
Tipo	Cabine simples, inteiramente de aço, galvanizada, dotada de isolamento termoacústico em lã de vidro e proteção anticorrosiva. Pára-brisa laminado com vidros verdes.
Equipamentos	Espelho bipartido anti-embaçante com aquecimento. Suspensão de dois conjunto de molas helicoidais, amortecedores telescópicos de dupla ação e barra estabilizadora. Banco do motorista com amortecimento pneumático.
Segurança	Cinto de três pontos retrátil, encosto de cabeça, farol de milha/neblina incorporados ao pára-choque e farol luz do dia. Ar quente, ar-condicionado e coluna de direção ajustável. Pára-sol externo. Levantador elétrico dos vidros.
Painel de Instrumentos	Tacógrafo eletrônico, tacômetro, manômetro do circuito de freio dianteiro e traseiro, indicador de nível de combustível, indicador de temperatura do líquido de arrefecimento do motor, manômetro do turbocompressor, manômetro de óleo lubrificante. Rádio AM/FM com toca-fitas. Todos os instrumentos são independentes e seus indicadores atuam na mesma direção, possuindo iluminação translúcida. Luzes de aviso: bloqueio do diferencial, temperatura e nível do líquido de arrefecimento, freio de estacionamento, pressão de ar nos freios, split na posição alta, indicadores de direção, obstrução do filtro de ar, carga nas baterias, pressão de óleo lubrificante e luz alta.

• Dimensões – Cabine (mm)

A	4.250	I	2.750
B	-	J	2.840
C	-	K	1.035
D	1.492	L	1.290
E	1.100	M	2.011
F	6.842	N	1.822
G	1.500	O	2.456
H	450	Raio de Giro	6.988

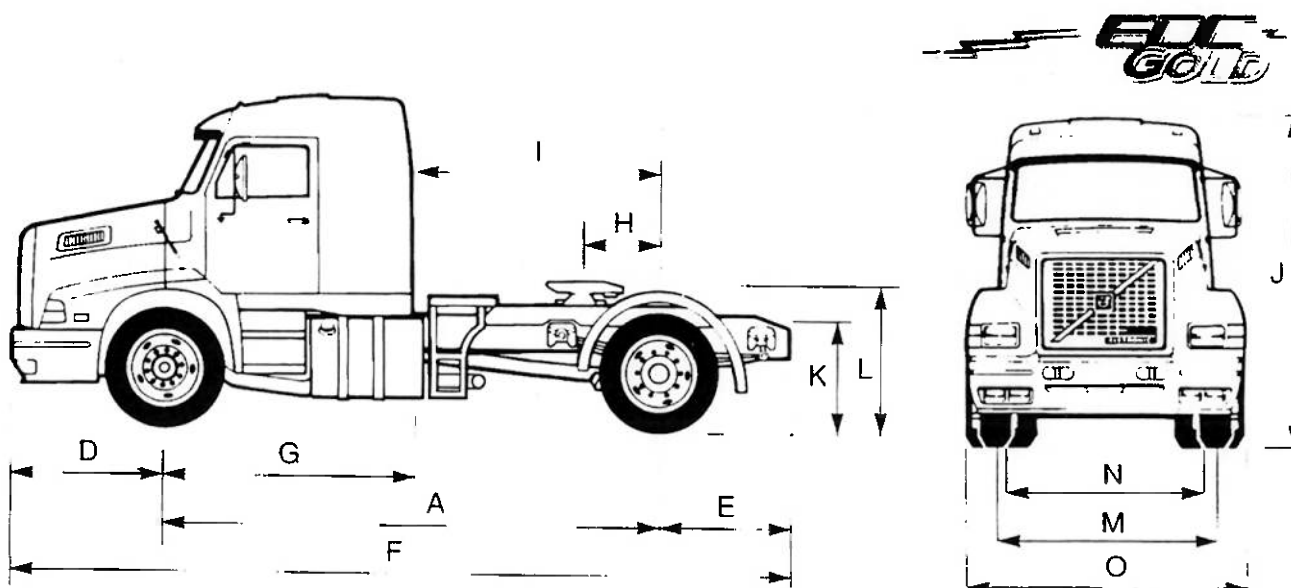


Figura 13 – Dimensões do Cavalo

7. Limite de Peso da Carreta

7.1. Peso Total Máximo da Carreta

A partir dos limites estabelecidos pela lei da balança e das características do veículo motor selecionado, podemos calcular o peso máximo que a carreta poderá ter, para então podermos dimensioná-la.

O veículo motor escolhido – Volvo EDC Gold TD123E 4x2 - possui os seguintes pesos:

Eixo Dianteiro = 4.350 Kgf

Eixo Traseiro = 2.250 Kgf

Peso Total = 6.700 Kgf

A Lei da Balança regula os pesos máximos permitidos por eixo, para este tipo de veículo em:

Carga Limite Eixo Dianteiro = 6.000 Kgf

Carga Limite Eixo Traseiro = 10.000 Kgf

Com estes dados, podemos chegar na carga útil máxima para cada eixo do cavalo. A carga útil nos eixos serão os limites de carga para os mesmos, deduzidos dos valores de peso em cada eixo:

Carga Útil Eixo Dianteiro = 6.000 – 4.350 = 1.650 Kgf

Carga Útil Eixo Traseiro = 10.000 – 2.250 = 7.750 Kgf

Ao somarmos estas cargas úteis, chegamos ao valor de **9.400 Kgf**, que corresponde ao limite de carga no pino-rei do cavalo motor.

Sabemos, ainda pela Lei da Balança, que o limite de carga nos eixos traseiros de uma carreta com a configuração desejada é de **25.500 Kgf**.

Através da soma dos limites de carga no pino-rei e dos eixos da carreta, podemos chegar ao **Peso Total Máximo** que a carreta poderá ter quando carregada para que se possa respeitar a legislação em vigor: **34.900 Kgf.**

7.2. Tara Máxima da Carreta

Para chegarmos a Tara Máxima da carreta, devemos atentar para dois dados de extrema importância neste estudo: o *Volume* a ser transportado e os *Produtos*.

Como já foi dito, esta carreta visa o transporte local de combustíveis, e portanto, deverá estar apta a transportar os diferentes tipos (aditivados ou comuns) de Gasolina, Álcool e Diesel. Os produtos referidos, quando aditivados, apresentam um ligeiro incremento em sua densidade com relação aos comuns, e portanto, devemos utilizar suas densidades para efeito de cálculo. As densidades máximas da Gasolina, Álcool e Diesel aditivados são, respectivamente: **0,75 Kg/l; 0,81 Kg/l; 0,85 Kg/l.**^[1]

Como podemos notar, a densidade do Diesel Aditivado é a mais elevada, e portanto será o valor utilizado para o cálculo da Tara Máxima da Carreta.

Também já foi levantado o estudo de transporte de dois volumes possíveis: 30.000 L e 32.000 L de combustível, e por este motivo, estaremos calculando a Tara Máxima para estes dois tipos de carreta.

Tabela 12 – Tara Máxima da Carreta

	Volumes (Diesel Aditivado)	
	30.000 L	32.000 L
Densidade Máxima Diesel Aditivado (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total Máxima (Kgf)	25.500	27.200
Peso Total Máximo Carreta (Kgf)	34.900	34.900
Tara Máxima da Carreta (Kgf)	9.400	7.700

8. Seleção da Liga de Alumínio

8.1. Recomendação pela Norma

Segundo a Norma ABNT – 212, Construção de Carros-Tanque para Líquidos Inflamáveis, são recomendadas as seguintes ligas de alumínio, para a construção do tanque:

- **5052** ⇒ 2,5% de Mg e 0,025% de Cr
- **5454** ⇒ 2,7% de Mg , 0,12% de Cr e 0,8% de Mn
- **5154** ⇒ 3,5% de Mg e 0,25% de Cr

A escolha destas ligas em específico, advém do fato delas possuírem boas características de soldabilidade. A família das ligas de Alumínio 5xxx, é caracterizada por não ser afetada por tratamento térmico^[13] e, dentre as três alternativas acima citadas, a que melhor se aplica para o caso de nosso projeto é a liga 5454, pois é a que possui o maior limite de resistência mecânica sob tração.

Tabela 13 – Limite de Resistência Mecânica sob Tração das ligas submetidas apenas à recozimento ^[13]

	Ligas de Alumínio		
	5052	5454	5154
S_{ut} (MPa)	195	250	240

9. Dimensionamento do Tanque

9.1. Áreas de Seção e Comprimentos Máximos e Mínimos

Para dimensionarmos o Tanque, necessitamos considerar alguns parâmetros e variar outros. Alguns dos parâmetros de maior flexibilidade de alteração são o Comprimento da Carreta e a Área de Seção da mesma. Estes parâmetros também exercem grande influência em outros parâmetros importantes de projeto, como o Momento de Inércia da Seção, a Flecha, as Tensões e etc. Por este motivo, determinaremos primeiramente, os extremos dos mesmos para então estudarmos os efeitos de suas variações nos demais parâmetros de projeto.

- **Comprimento Máximo** - devemos lembrar que a legislação brasileira limita o comprimento deste tipo de caminhão em 18,50 m. Como o cavalo-motor selecionado ocupará aproximadamente 2,80 m e devemos deixar uma certa folga para garantir o perfeito funcionamento do conjunto quando da necessidade de efetuar uma curva, podemos considerar que o comprimento máximo da carreta será de $L_{\max} = 15,00$ m.

- **Área Mínima de Seção** – uma vez fixado o valor do comprimento máximo da carreta, pode-se facilmente chegar ao valor da mínima área de seção para cada volume de tanque. Tendo $L_{\max} = 15,00$ m e sabendo que o Volume a ser transportado dividido pelo máximo comprimento da carreta, nos resulta as mínimas áreas de seção para 30.000 L e 32.000 L respectivamente:

$$A_{\min 30} = 2,00 \text{ m}^2 \text{ e } A_{\min 32} = 2,13 \text{ m}^2$$

- **Área Máxima de Seção** - O cálculo da máxima área de seção esta intimamente ligado ao cálculo do comprimento mínimo, pois para que possamos obter um, torna-se necessário alcançarmos o outro. Deve-se lembrar que a legislação brasileira também fixa limites para a altura e largura do

caminhão. A altura máxima do caminhão não deverá ultrapassar 4,40m e a largura 2,60m.

Devido as dimensões do conjunto Roda-Suspensão sabemos que o tanque deve distar no mínimo 1,30m do chão.

Com todos estes valores, podemos calcular a área máxima de seção elíptica para os Tanques:

$$A = a \cdot b \cdot \pi$$

$$A_{\max} = \pi \cdot (2,60 / 2) \cdot (3,10 / 2) =$$

$$A_{\max} = 6,33 \text{ m}^2$$

• **Comprimento Mínimo** - para o cálculo do comprimento mínimo, devemos apenas tomar o valor do Volume a ser transportado e dividi-lo pela Área Máxima de Seção:

$$L_{\min 30} = 4,80 \text{ m e } L_{\min 32} = 5,10 \text{ m}$$

9.2. Parâmetros Gerais Para o Dimensionamento do Tanque

Uma vez determinado os Comprimentos Máximo e Mínimo, e as Área de Seção correspondentes aos mesmos, analisaremos os casos intermediários, estabelecendo Parâmetros Gerais para o Dimensionamento e escolha do Tanque mais apropriado.

Primeiramente variamos os Comprimentos do Tanque e obtemos as Áreas de Seção respectivas para os dois volumes de Tanque estudados (30.000L e 32.000L) .

Num segundo momento, definimos qual seria o volume carregado por compartimento para cada tipo de tanque. Este assunto já foi tratado na primeira parte do referido trabalho.

Através das tabelas abaixo, podemos observar os parâmetros descritos acima:

Tabela 14 – Parâmetros Gerais

Comprimentos (m)	Área da Seção Elíptica (m ²)	
-	30.000	32.000
6	5,00	5,33
7	4,29	4,57
8	3,75	4,00
9	3,33	3,56
10	3,00	3,20
11	2,73	2,91
12	2,50	2,67
13	2,31	2,46
14	2,14	2,29
15	2,00	2,13

Tabela 15 – Volumes por Compartimento

Volume (L)	30.000	32.000
Nº Compartimentos	6	6
Vol 1(l)	5.000	6.000
Vol 2(l)	5.000	5.000
Vol 3(l)	5.000	5.000
Vol 4(l)	5.000	5.000
Vol 5(l)	5.000	5.000
Vol 6(l)	5.000	6.000

9.3. Metodologia do Dimensionamento do Tanque

A Metodologia do Dimensionamento do Tanque baseia-se na escolha do melhor dimensionamento possível dentre os considerados aceitáveis para cada comprimento. Para que possamos alcançar este objetivo, devemos analisar comprimento a comprimento, estabelecendo parâmetros gerais que possam restringir o número de soluções possível.

Com os Parâmetros Gerais fixados (Área de Seção e Volume por Compartimento), e analisando sempre o pior caso (produto de maior densidade = Diesel – 0,85 kg/l)^[1], podemos chegar a Carga Total suportada pelo tanque, a Carga Distribuída no mesmo, e ainda ao comprimento de cada compartimento.

Tabela 16 – Exemplo para Comprimento de 6m (L=6m)

Volume (L)	30.000	32.000
Area de Seção (m ²)	5,00	5,33
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	4250	4533
L1(m)	1	1,13
L2(m)	1	0,94
L3(m)	1	0,94
L4(m)	1	0,94
L5(m)	1	0,94
L6(m)	1	1,13

Uma vez obtidos os dados acima, e com base na Legislação Brasileira que limita o tamanho dos caminhões podemos determinar os raios máximos e mínimos que formam a elipse do tanque. Com estes extremos fixados, podemos variar de 5 em 5 cm a combinação destes raios, analisando os Momentos de Inércia e Torção das seções formadas por eles:

Tabela 17 – Exemplo Raios Máximos e Mínimos do Tanque com L = 6m

Volume (L)	30.000	32.000
Area Seção p/ L=6 (m ²)	5,00	5,33
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	1,027	1,095
R2 Min (m)	1,224	1,306

Tabela 18 – Exemplo de Momentos de Inércia e Torsão para L=9m e V = 30.000L

R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0.700	1.516	3.48E-04	7.47E-05	0.0282
0.750	1.415	3.04E-04	8.57E-05	0.0328
0.800	1.326	2.67E-04	9.75E-05	0.0374
0.850	1.248	2.36E-04	1.10E-04	0.0418
0.900	1.179	2.11E-04	1.23E-04	0.0458
0.950	1.117	1.89E-04	1.37E-04	0.0495
1.000	1.061	1.71E-04	1.52E-04	0.0526
1.050	1.011	1.55E-04	1.68E-04	0.0553
1.100	0.965	1.41E-04	1.84E-04	0.0574
1.150	0.923	1.29E-04	2.01E-04	0.0591
1.200	0.884	1.19E-04	2.19E-04	0.0603
1.250	0.849	1.10E-04	2.37E-04	0.0611
1.300	0.816	1.01E-04	2.56E-04	0.0615

Com os valores acima, podemos chegar ao primeiro parâmetro que restringe as soluções possíveis para cada comprimento: **Razão entre R1 e R2 (R1/R2).**

Ao tratarmos da forma do tanque, chegamos a conclusão que o formato elíptico seria o melhor para esta aplicação, mas não determinamos a razão de elipsidade do mesmo. Ao analisarmos a influência do centro de gravidade mais próximo ao solo e a variação dos Momentos de Inércia e Torção com a variação da razão R1/R2, podemos concluir que o projeto apresentará maior confiabilidade, rigidez e segurança com $1,5 < R1/R2 < 2,0$.

Para darmos continuidade ao processo de dimensionamento, devemos escolher a melhor combinação de raios(R1/R2) para cada volume (30.000L e 32.000L) em cada comprimento (de L=6 à L=15). Esta escolha deve basear-se nos valores da razão R1/R2 próxima a 1.6 e aos maiores valores de Momentos de Inércia e Torção. Notamos ainda que com o uso deste parâmetro, alguns dos comprimentos estudados não apresentaram nenhuma solução viável.

Partindo da combinação R1/R2, da Área de Seção, de seus Momentos de Inércia e Torção, do Comprimento do Tanque, do número de divisórias especificado em norma, e das características do material em questão (Densidade e Módulo de Elasticidade), podemos calcular o Peso Estrutural do Tanque e a Carga Distribuída Total (Produto e Estrutural).

Com base nestes números e auxílio da Resistência dos Materiais, podemos chegar as Reações nos Apoios, o Momento Máximo na Seção, a Máxima Flecha e consequentemente ao dimensionamento da solução escolhida.

Tabela 19 – Exemplo de Cálculo de Resist. Materiais para L=10m

Volume (L)	30.000	32.000
Espessura	0.0087	0.0089
E	6.90E+10	6.90E+10
R1	1.250	1.300
R2	0.764	0.784
Mi(x)	1.05E-04	1.16E-04
Mi(y)	2.81E-04	3.18E-04
I(t)	0.0571	0.0644
Área Chapa Seção	0.0553	0.0585
Comprimento	10	10
NºDivisórias	7	7
Área Chapa Divisórias	21.00	22.40
Volume Total Chapa	0.7355	0.7844
Densidade Material	2700	2700
Peso Chapeamento	1985.92	2117.90
Peso/Metro Tanque	198.59	211.79
Carg. Distr. Total	2748.59	2931.79
Reações Apoios	13742.96	14658.95
Mom Máx Cent (Kgf.m)	34357.40	36647.38
Flecha Max Carg. Simp	4.93E-02	4.77E-02

Podemos considerar o Tanque como sendo uma casca elíptica biapoiada em seus extremos, submetida a um carregamento de flexo-torção.

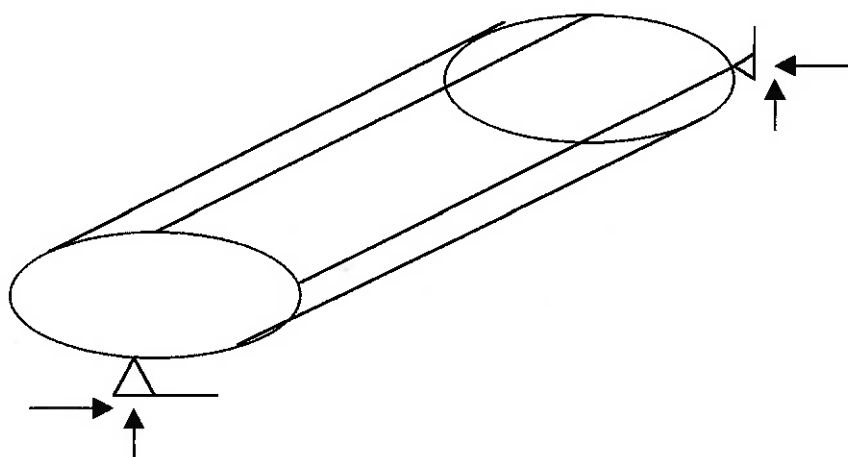


Figura 14 – Esquema de Apoios no Carregamento Estático

Devido a existência de anteparas no tanque, o mesmo sofrerá uma deformação total devido ao carregamento total e uma deformação local devido ao carregamento de cada compartimento. Este Carregamento pode ser analisado através da somatória de duas Equações de Linha Elástica. Para que se possa utilizar equações de Linha Elástica, é necessário definirmos as coordenadas dos pontos a serem analisados que apresentem maior flecha. Estes pontos serão os pontos intermediários das anteparas, que sofrerão a deformação devido ao carregamento total acrescido da maior deformação local, pois situam-se no centro do vão entre-anteparas.

Tabela 20 – Exemplo de Coordenadas para Linha Elástica com L= 10m

Coordenadas Pontos		
Pontos	30.000	32.000
P1	0,0000	0,0000
P2	0,8333	0,9375
P3	1,6667	1,8750
P4	2,5000	2,6563
P5	3,3333	3,4375
P6	4,1667	4,2188
P7	5,0000	5,0000
P8	5,8333	5,7813
P9	6,6667	6,5625
P10	7,5000	7,3438
P11	8,3333	8,1250
P12	9,1667	9,0625
P13	10,0000	10,0000

Com as Coordenadas dos pontos a serem analisados, podemos chegar a Flecha Total através da soma das Flechas Simples (Devido Carregamento Total) e Flecha Local (Devido ao Carregamento Local). Com base na Flecha Total, podemos estabelecer outro parâmetro de corte. **Flecha Máxima < 8cm**, restringindo ainda mais o leque de possibilidades a serem julgadas.

Tabela 21 – Exemplo de Cálculo de Flecha Total para L=10m e V = 30.000L

Pontos	Flecha Simples (m)	Flecha Local (m)	Flecha Total (m)
P1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
P2	1.30E-02	1.58E-05	1.30E-02
P3	2.49E-02	0.00E+00	2.49E-02
P4	3.51E-02	1.58E-05	3.51E-02
P5	4.28E-02	0.00E+00	4.28E-02
P6	4.76E-02	1.58E-05	4.77E-02
P7	4.93E-02	0.00E+00	4.93E-02
P8	4.76E-02	1.58E-05	4.77E-02
P9	4.28E-02	0.00E+00	4.28E-02
P10	3.51E-02	1.58E-05	3.51E-02
P11	2.49E-02	0.00E+00	2.49E-02
P12	1.30E-02	1.58E-05	1.30E-02
P13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

O último parâmetro de corte de soluções passa a ser o próprio **Critério de Resistência** quanto a solicitação submetida à estrutura. Através da Resistência dos Materiais, chegamos as tensões de flexão e torção às quais a estrutura está submetida, convertemos a uma tensão de comparação e verificamos o critério de resistência comparando com o valor da Máxima Tensão Admissível para o material em questão:

Tabela 22 – Exemplo de Verificação do Critério de Resistência para L=10M

Volume	30000	32000
Tensão Max Adm.	2.50E+08	2.50E+08
Tensão Flexão Max.	2.49329E+08	2.47783E+08
Momento Torsor Max	3.43574E+04	3.81133E+04
Tensão Torção Max.	1.14882E+06	1.11019E+06
Tensão de Comparação	2.49337E+08	2.47790E+08
Resultado	Ok	Ok

Com base na utilização destes três parâmetros de restrição às possíveis soluções, pode-se partir para a análise do melhor caso dentre todos aqueles que satisfazem as condições pré estabelecidas.

9.4. Resultados e Análise das Possíveis Soluções

Todos o procedimento descrito na Metodologia acima pode ser acompanhado através do **Apêndice 1** deste trabalho. Apêndice este que contém todos os cálculos necessários para o dimensionamento de cada possível solução para cada comprimento.

Uma vez que cada solução esteja dimensionada e os parâmetros de refinamento de soluções estejam definidos, podemos chegar as possíveis soluções para o problema proposto:

Tabela 23 – Matriz das Possíveis Soluções

	L (m)	Vol. (L)	R1/R2	Espess. (m)	Peso (Kg)	Tensão Total	Flecha Máx.(m)
1	9	30.000	1.593	0.0080	1801.29	2.471E+08	3.70E-02
2	10	30.000	1.636	0.0087	1985.92	2.493E+08	4.93E-02
3	10	32.000	1.659	0.0089	2117.90	2.478E+08	4.77E-02
4	11	30.000	1.800	0.0096	2245.18	2.495E+08	6.56E-02
5	11	32.000	1.687	0.0097	2465.80	2.452E+08	6.05E-02
6	12	30.000	1.810	0.0103	2450.82	2.491E+08	8.16E-02
7	12	32.000	1.841	0.0106	2749.15	2.460E+08	7.88E-02

Para que possamos dar continuidade ao estudo abordado neste trabalho, devemos selecionar a melhor solução para o problema proposto e então analisá-la e otimizá-la através do Método de Elementos Finitos. Para escolhermos a melhor solução dentre as propostas, utilizamos do recuso da Matriz de Decisão, estabelecendo pesos aos critérios por nós considerados importantes e chegando a melhor alternativa.

Ao definirmos os pesos de cada critério, consideramos de maior importância os itens Custo, Razão R1/R2 e Volume Transportado, pois estes itens refletem diretamente o objetivo da realização deste projeto de caminhão tanque.

Tabela 24 – Matriz de Decisão

Critérios	Pesos	Soluções													
		1		2		3		4		5		6		7	
		Nota	Total	Nota	Total	Nota	Total	Nota	Total	Nota	Total	Nota	Total	Nota	Total
Comp.	0,1	6	0,6	7	0,7	7	0,7	8	0,8	8	0,8	8	0,8	8	0,8
Volume	0,15	5	0,75	5	0,75	8	1,2	5	0,75	8	1,2	5	0,75	8	1,2
R1/R2	0,15	9	1,35	9	1,35	8	1,2	6	0,9	7	1,05	5	0,75	4	0,6
Espess.	0,05	10	0,5	9	0,45	9	0,45	8	0,4	8	0,4	7	0,35	7	0,35
Peso	0,1	10	1	9	0,9	8	0,8	8	0,8	7	0,7	7	0,7	6	0,6
Tensões	0,05	8	0,4	8	0,4	8	0,4	8	0,4	8	0,4	8	0,4	8	0,4
Flecha	0,05	10	0,5	9	0,45	9	0,45	8	0,4	8	0,4	7	0,35	7	0,35
Dirigib.	0,1	7	0,7	8	0,8	8	0,8	9	0,9	9	0,9	8	0,8	8	0,8
Dimens.	0,05	8	0,4	8	0,4	8	0,4	8	0,4	8	0,4	8	0,4	8	0,4
Preço	0,2	10	2	9	1,8	9	1,8	10	2	10	2	9	1,8	9	1,8
TOTAL	1		8,2		8		8,2		7,75		8,25		7,1		7,3

Com base na Matriz de Decisão acima, fica definido que a melhor solução para o problema proposto é a de número 5, que corresponde as seguintes características:

Comprimento da Carreta :	11 m
Volume Transportado:	32.000 L
Razão R1/R2:	1,687
Espessura Mínima de Chapa:	0,0097 m
Peso do Tanque:	2465,80 Kg
Tensão Máxima na Seção Crítica:	1,738E+08 Pa
Flecha Máxima na Seção Crítica:	6,05E-02 m

10 . Projeto do Tanque Utilizando Modelo de Elementos Finitos

10.1. Parâmetros iniciais para a modelagem

Para podermos iniciar a modelagem do tanque utilizando-se um modelo de elementos finitos, precisamos da pré definição de alguns parâmetros como por exemplo: comprimento do tanque, geometria da seção elíptica do mesmo, compartimentação e posicionamento de pontos de apoio (pino – rei e braçadeiras).

Todas estas propriedades, com exceção do posicionamento dos pontos de apoio, foram determinadas no item anterior do projeto, através de escolha em matriz de decisão, resultando nos seguintes valores:

Comprimento do tanque (m):	11m
Área da seção transversal (m²):	2,91
Parâmetros geométricos da seção	R1 = 1,250
Nº de compartimentos:	6
Volume útil (L):	32.000

Visando evitar o super - dimensionamento do tanque iniciaremos a modelagem utilizando 3 mm como espessura de chapa.

Sendo assim, só nos resta definir a posição dos pontos de apoio para iniciarmos a modelagem do tanque de combustível. A localização de tais posições, que pode ser observada na figura abaixo, foi determinada através de uma analogia com o que existe hoje, em termos de tanque auto-portante, no mercado. Com o objetivo de simplificar um pouco o modelo iremos dotá-lo, além do pino-rei, de apenas três braçadeiras: uma no início do ' sub-chassi' , e os outros dois na outra extremidade do mesmo.

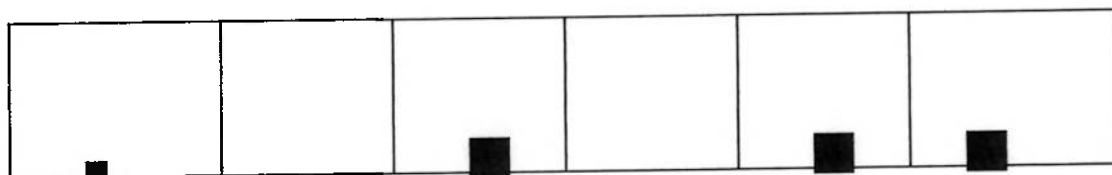


Figura 15: Posicionamento dos Apoios na Carreta a Ser Modelada

10.2. Modelagem propriamente dita

10.2.1. Programa de elementos finitos adotado

O programa escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi o ANSYS 5.4, tal escolha advém do fato da equipe envolvida neste projeto já ser familiarizada com tal programa, através de trabalhos anteriormente realizados. Lembrando-se que qualquer outro 'software' desta mesma linha seria capaz de nos trazer respostas similares.

10.2.2. Simplificações adotadas para a modelagem

Antes de tudo, vale ressaltar que algumas simplificações serão adotadas nesta etapa, a fim de facilitar a elaboração de um modelo não muito complexo, mas com soluções coerentes. São elas:

- O tanque é composto por sucessão de seções elípticas de mesma geometria, ou seja, não existe variação no formato da seção de ponta a ponta no tanque;

- Todo o volume interno do tanque simulado estará preenchido por combustível, considerando que a boca de visita, será posteriormente instalada na região superior do tanque;
- O tanque será simulado visando o pior caso de carregamento, em relação ao produto que transportará, ou seja, estará carregado com óleo diesel (densidade superior ao álcool e à gasolina).

10.2.3. Definição de coordenadas

De maneira a possibilitar o correto entendimento sobre a disposição espacial da carreta, orientaremos os eixos X, Y, Z, de origem no ponto central da seção elíptica do tanque, da seguinte maneira:

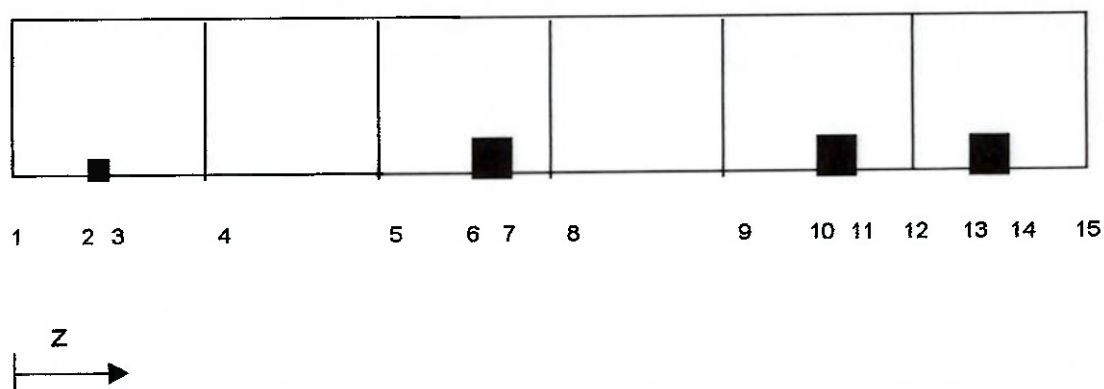
- eixo X: direção horizontal, assumindo valores positivos à direita;
- eixo Y: direção vertical, assumindo valores positivos para cima;
- eixo Z: direção longitudinal, assumindo valores positivos de acordo com a regra da mão direita.

10.2.4. Construção do tanque

No ANSYS, a construção do tanque será dividida em duas etapas:

- Construção da casca elíptica externa
- Construção dos tampos e costados

O resultado destas etapas pode ser visto na figura a seguir, contendo também a exata posição longitudinal de cada um dos costados, e também das braçadeiras de apoio e pino-rei.



	Coordenada Z		Coordenada Z	Nº	Coordenada Z
1	0	6	4,12	11	8,28
2	1,04	7	4,28	12	8,94
3	1,16	8	5,50	13	9,62
4	2,06	9	7,22	14	9,78
5	3,78	10	8,12	15	11

Figura 16: Disposição Longitudinal dos Costados e Apoios no Tanque

Uma vez construídas as linhas base do tanque, podemos criar todas as áreas necessárias.

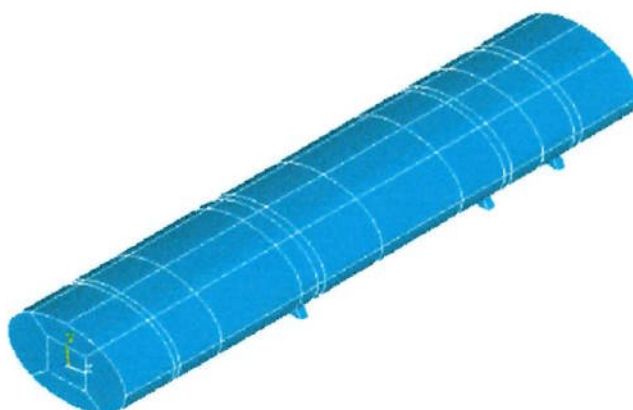


Figura 17: Áreas do Tanque

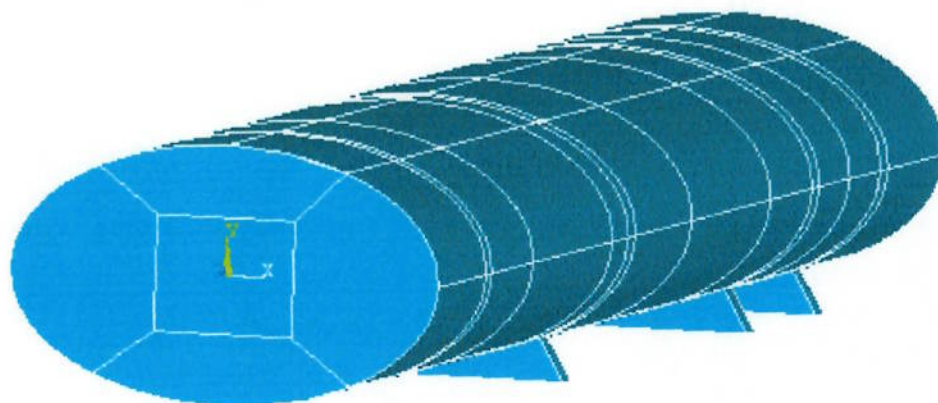


Figura 18: Áreas do Tanque – Detalhe para Configuração do Tampo e Apoios

10.2.5.Obtenção da malha de elementos finitos

Esta etapa é considerada a mais crítica de todo o projeto pois, uma malha mal desenvolvida implicará em resultados totalmente distorcidos. Por este motivo é que ao obtermos a malha devemos, antes de aplicarmos as condições de contorno pertinentes a nosso projeto, realizar alguns testes para sabermos qual a precisão que ela apresenta.

Logicamente este teste só poderá ser feito com base em resultados analíticos previamente calculados, que serão observados na próxima etapa do trabalho.

Desta maneira, as propriedades dos elementos desta malha que será submetida a testes são as seguintes:

Tipo de elemento utilizado ^[14] :	Shell 63
Espessura da casca (chapa):	3 mm
Módulo de elasticidade do material (Liga de Alumínio - 5454) ^[11] :	E = 69 GPa
Coefficiente de Poisson ^[11] :	0,3
Densidade do material (Liga de Alumínio – 5454) ^[11] :	2700 kg/m ³
Nº de nós	4593

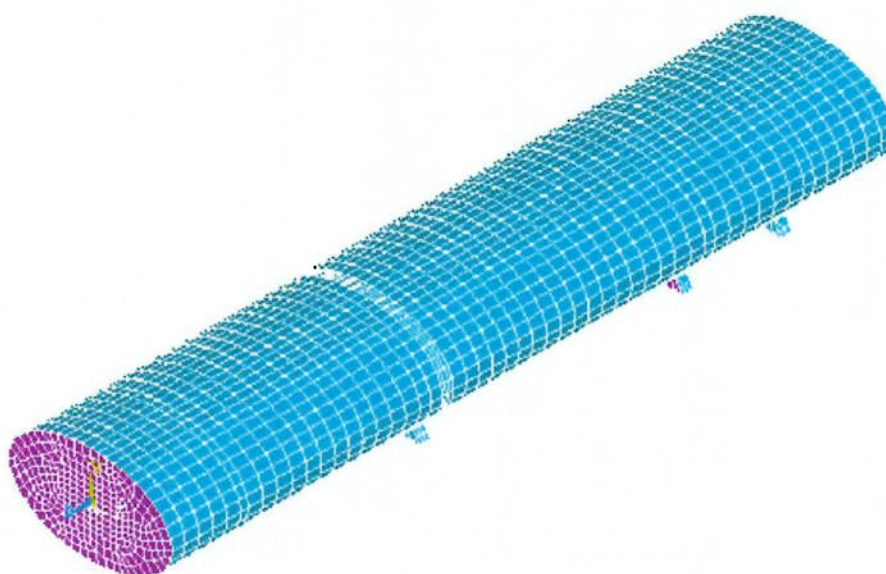


Figura 19: Malha de Elementos Finitos Obtida

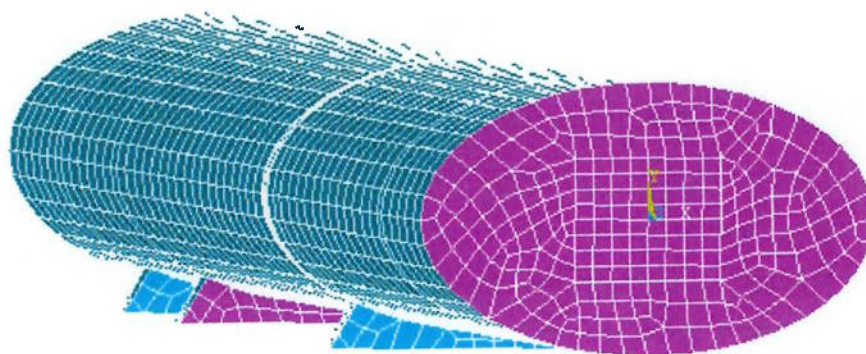


Figura 20: Detalhe da Malha

10.2.6. Verificação da eficiência da malha obtida

Para verificar a eficiência da malha desenvolvida devemos primeiramente aplicar nela as seguintes condições de contorno:

- Restrição de movimento na direção **Y** dos nós das bases dos braços de apoio;
- Restrição de movimento na direção **X** do nó central da 1ª travessa da base do último braço de apoio;
- Restrição de movimento na direção **Y** dos nós da posição do pino-rei;
- Restrição de movimento na direção **Z** do nó central da parte dianteira na região referente ao pino-rei;

- Aplicarmos pressão unitária em todos os elementos da casca elíptica;
- Aplicarmos pressão unitária, direcionada para fora do tanque, nos dois tampos (extremidades do tanque).

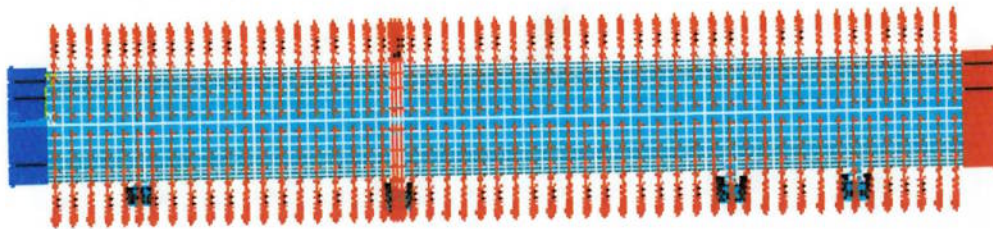


Figura 21: Aplicação das Condições de Contorno nos Elementos – Vinculações e Pressão Unitária Aplicada na Casca Externa e Tampos .

Após a aplicação destas condições, chegaremos a valores de tensões nos elementos que podem ser comparados com resultados analíticos. Estes valores podem ser observados nas figuras a seguir, que mostram respectivamente: tensões em todo o tanque (vista lateral), detalhe das tensões, na região mais crítica, para este caso: fronteira entre casca elíptica e tampo, e tensões no tampo.



Figura 22: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Vista Lateral
Simulação Estática – Pressão Unitária Uniforme

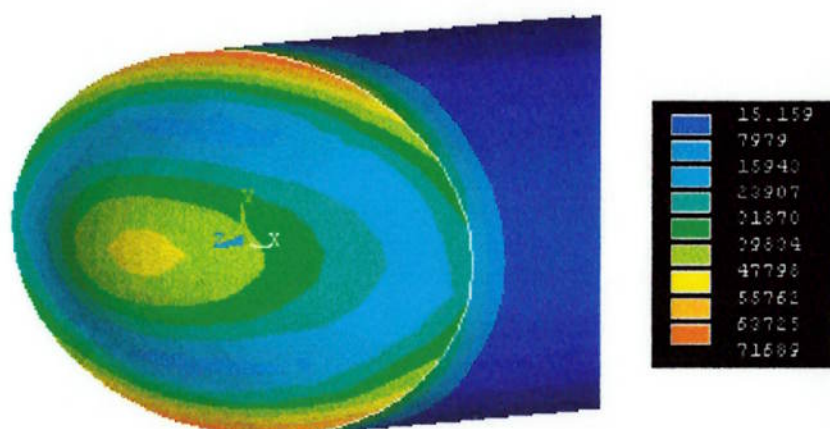


Figura 23: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa
Fronteira entre Casca Elíptica e Tampo – Simulação Estática
Pressão Unitária Uniforme

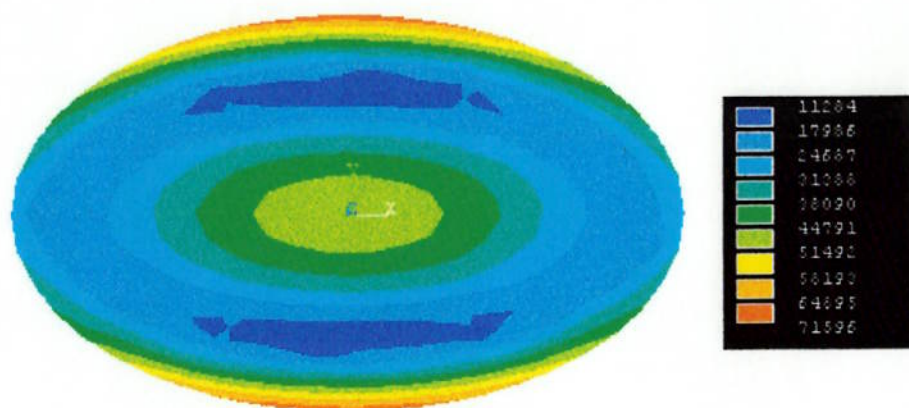


Figura 24: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Tampo Dianteiro em Detalhe Simulação Estática – Pressão Unitária Uniforme

Para o caso de uma placa elíptica fixa, de espessura t , carregada uniformemente por toda sua superfície por uma carga q , temos os seguintes valores de tensão para os seus pontos extremos ^[12]:

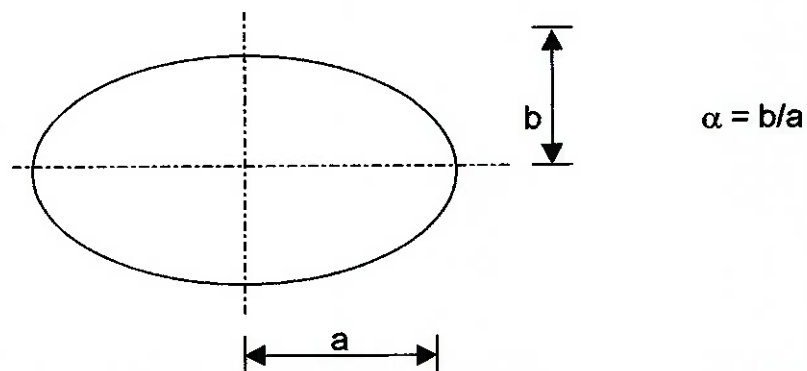


Figura 25: Esquema geométrico da seção elíptica

$$\sigma_b = \frac{6.q.b^2}{t^2.(3 + 2.\alpha^2 + 3.\alpha^4)} \quad (1)$$

$$\sigma_a = \frac{6.q.b^2.\alpha^2}{t^2.(3 + 2.\alpha^2 + 3.\alpha^4)} \quad (2)$$

Desta maneira, podemos verificar a eficiência da malha obtida, calculando e comparando as tensões em tais pontos.

Tabela 25 – Comparação de Resultados da Análise Estática – Tensão no Tampo Dianteriro

	Resultado Analítico (Pa)	Resultado Numérico (Pa)	Diferença (%)
σ_b	89834,56	82303,70	8,38
σ_a	31551,39	33619,13	6,55

Como pode ser visto na Tabela 25, os resultados se apresentam bastante coerentes, verificando uma diferença inferior a 9%, o que é plenamente aceitável. Precisão maior poderia ser obtida com um maior refinamento da mesma malha, sendo isto considerado dispensável para o estudo em questão, uma vez que até este momento uma série de simplificações já foram adotadas.

A última verificação que deve ser efetuada é se a somatória das reações nas direções Z e X apresentam valores próximos de zero. Este critério foi obedecido, e os resultados podem ser observado no **apêndice 2**

10.2.7. Carregamento real estático

O carregamento que será agora simulado trata-se de um caso real estático, onde o tanque encontra-se completamente carregado com óleo diesel (maior densidade entre a dos produtos comumente transportados).

Para este caso, o que ocorrerá, diferentemente do teste anteriormente executado, é que a distribuição de pressões não apenas na casca elíptica, mas também nos tampos e costados, se dará sob a forma de um gradiente de pressões.

O valor máximo desta variação linear de pressões, de acordo com a coordenada Y, e que será no fundo do tanque, deve ser calculado segundo a fórmula abaixo:

$$P_{\max} = \rho_{\text{diesel}} \cdot g \cdot h_{\text{total}}$$

Onde,

$$\begin{aligned}\rho_{\text{diesel}} &= 850 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ h_{\text{total}} &= 1,4816 \text{ m (altura do tanque)}\end{aligned}$$

Resultando em :

$$P_{\max} = 12,34 \text{ kPa}$$

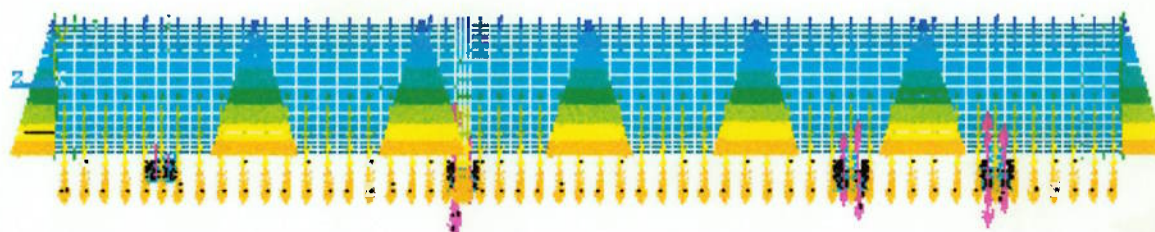


Figura 26: Aplicação do Gradiente de Pressões no Tanque

Uma vez aplicadas estas novas condições de contorno, novos resultados poderão ser obtidos e apurados.

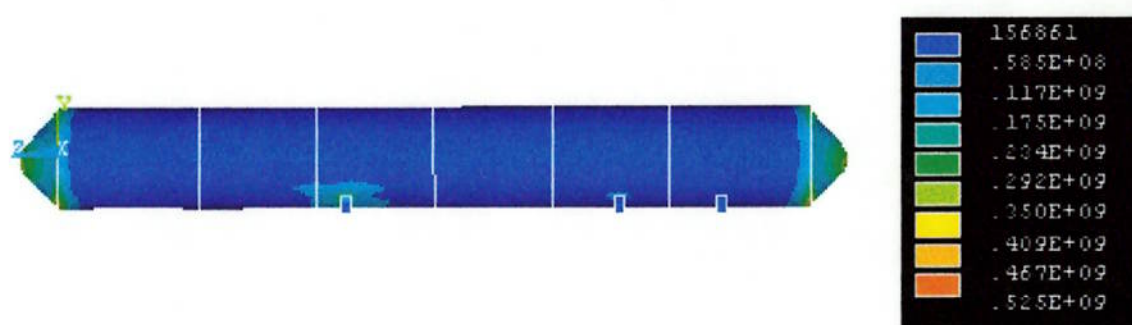


Figura 27: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Vista Lateral
Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado

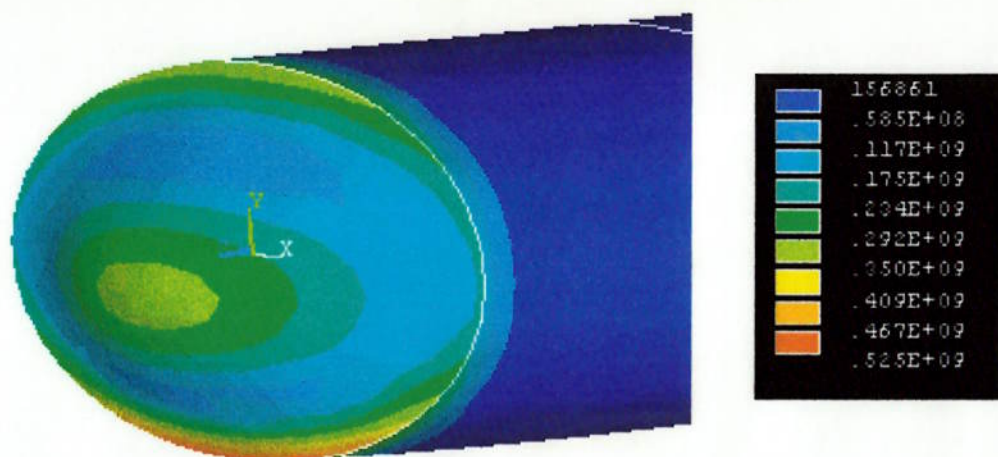


Figura 28: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Tampo
Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado

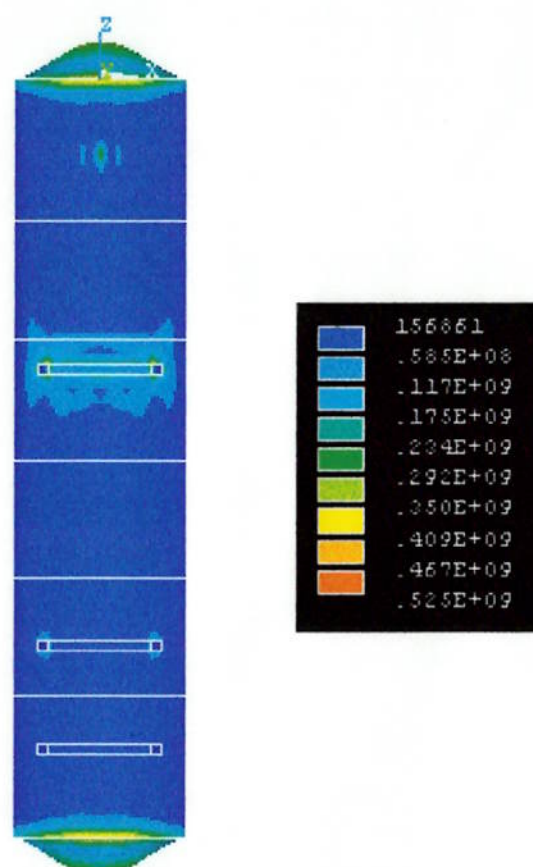


Figura 29: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe da Junção da 1ª
Braçadeira com o Fundo do Tanque – Simulação Estática
Gradiente de Pressões Aplicado

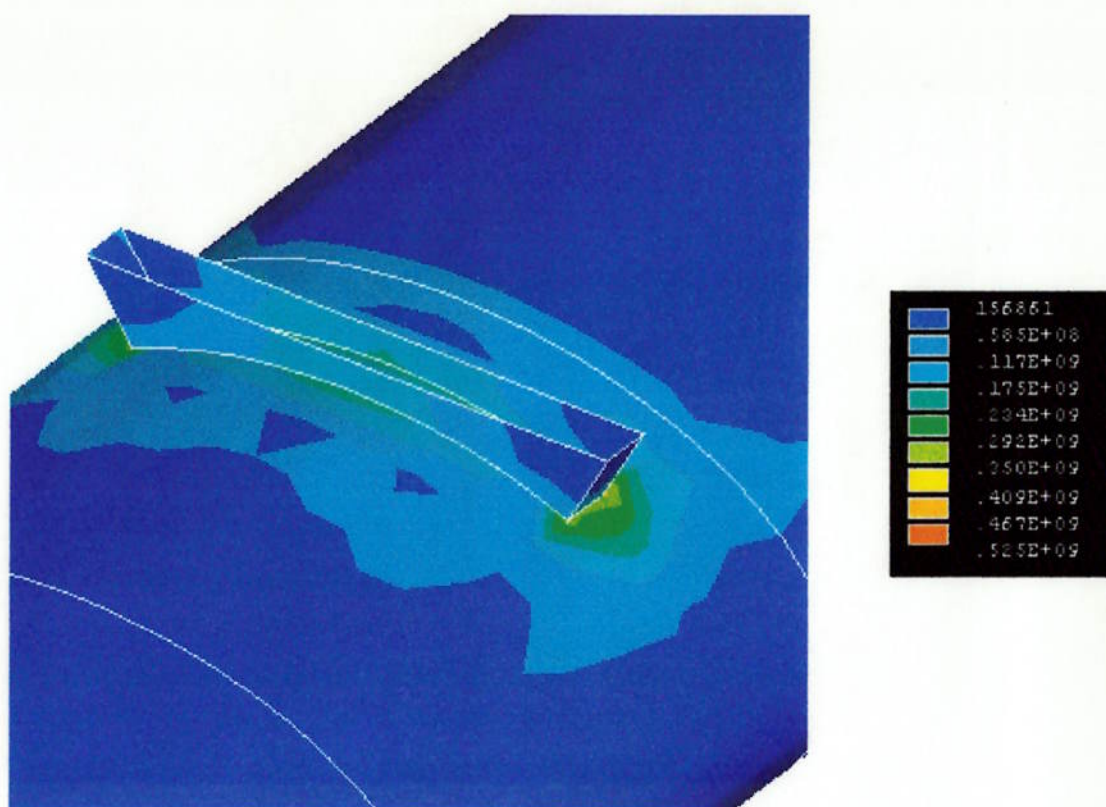


Figura 30: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa
 Detalhe do Fundo do Tanque – Simulação Estática
 Gradiente de Pressões Aplicado

10.2.8. Discussão sobre resultados

Ao examinarmos os resultados obtidos podemos identificar três regiões críticas em nosso modelo, ou seja, regiões sujeitas a elevadas tensões, sendo elas:

- a junção entre os tampos (tanto o dianteiro quanto o traseiro), com o fundo do tanque;
- a junção entre a primeira braçadeira e o fundo do tanque.

Como pudemos perceber, as tensões encontradas no ensaio anterior (espessura de chapa – 3mm), resultou em tensões máximas bem superiores à admissível, que para o nosso caso foi adotada como sendo igual a tensão de ruptura do material, igual a 250 MPa.

Desta maneira, realizamos agora testes com espessuras maiores: 5mm, 7mm e 8mm.

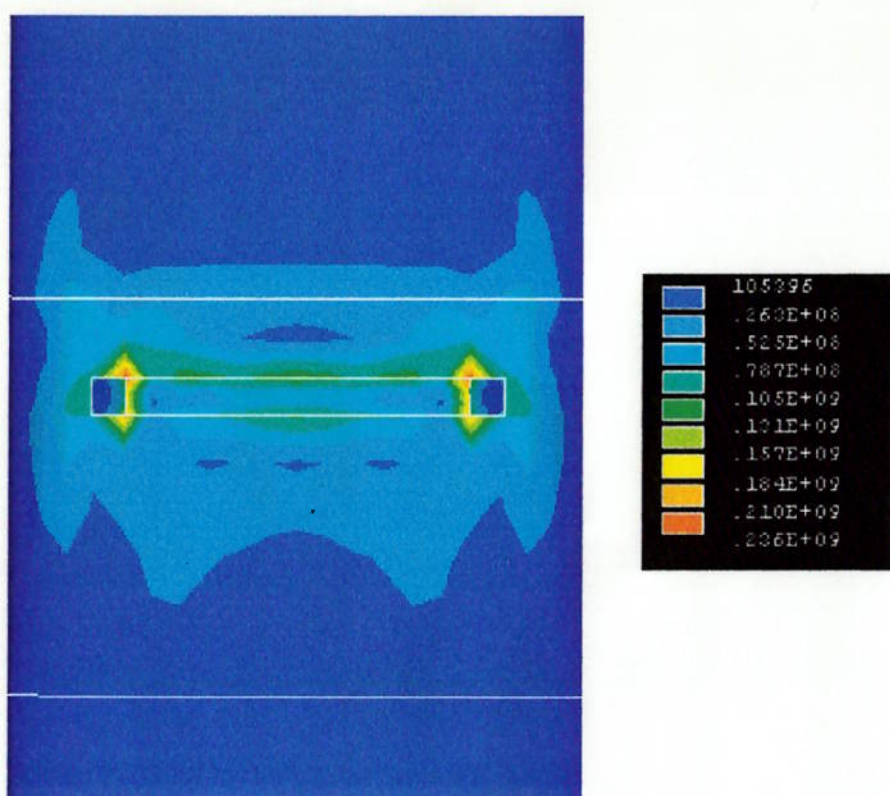


Figura 31: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Fundo do Tanque – Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado
Espessura de chapa = 5 mm

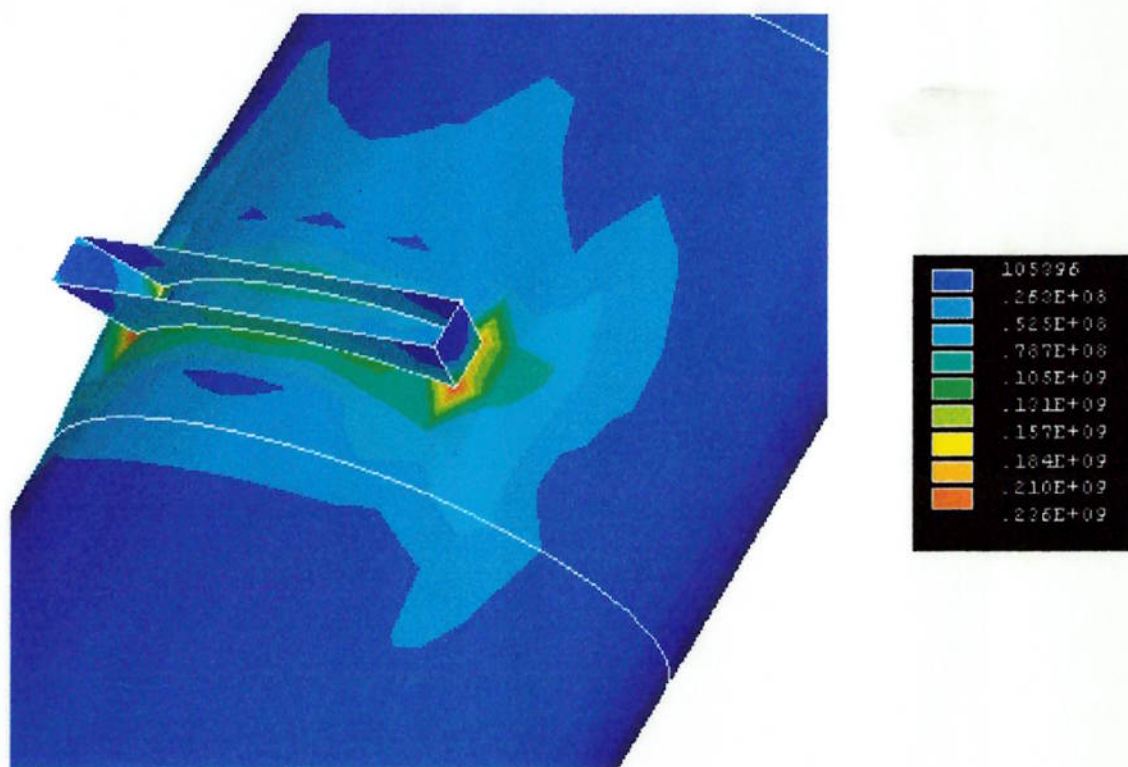


Figura 32: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe da Junção da 1ª Braçadeira com o Fundo do Tanque — Simulação Estática
Gradiente de Pressões Aplicado – Espessura de chapa = 5 mm

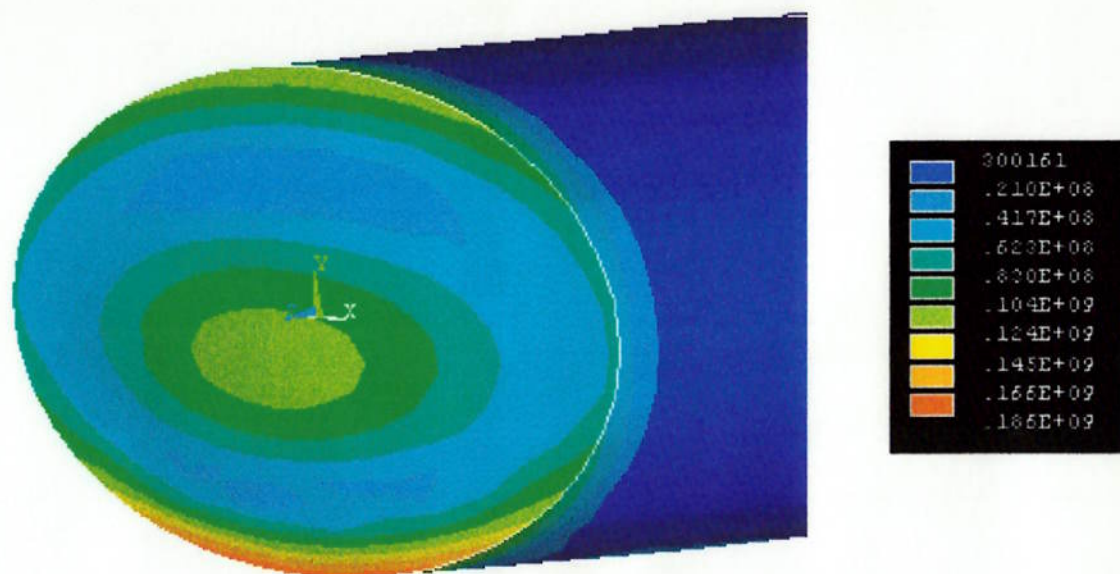


Figura 33: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Tampo Dianteiro
 Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado
 Espessura de chapa = 5 mm

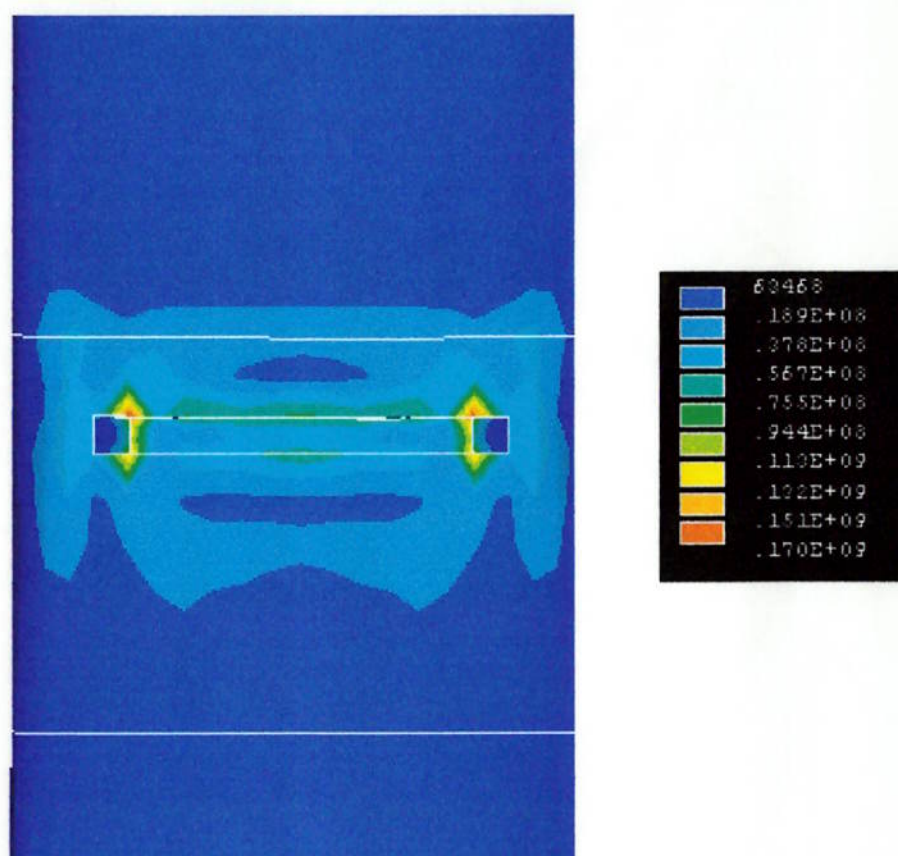


Figura 34: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Fundo do
 Tanque – Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado
 Espessura de chapa = 7 mm

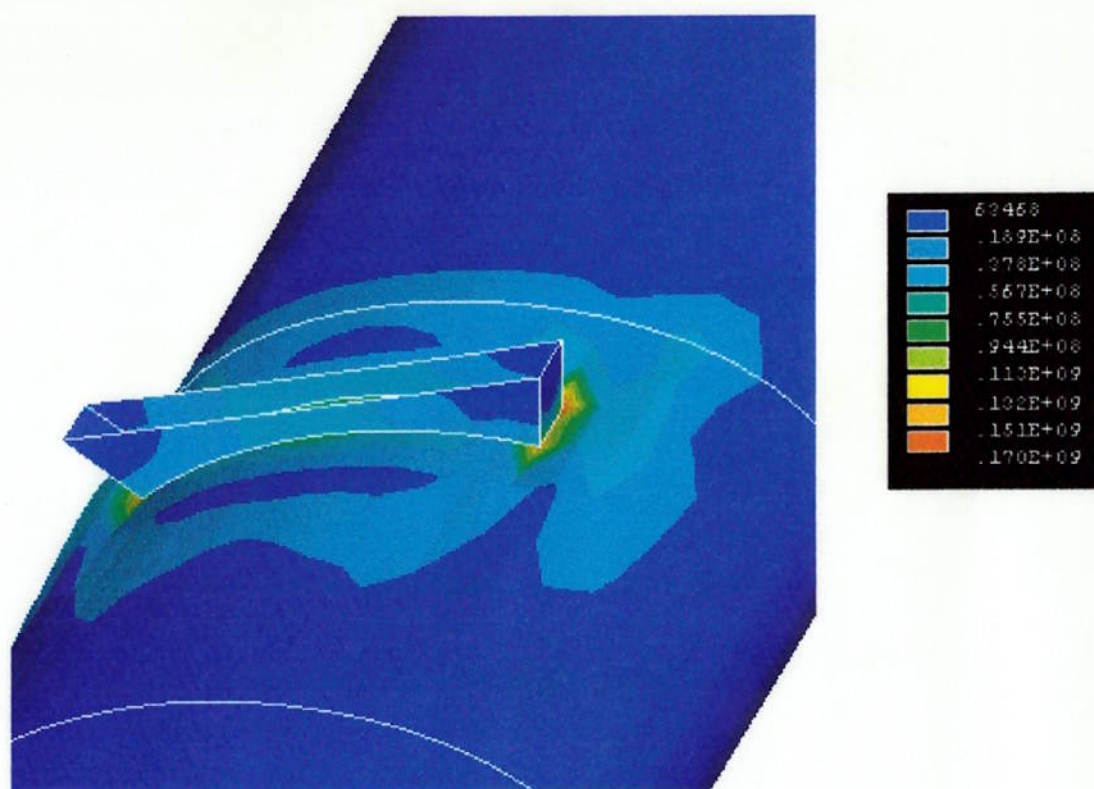


Figura 35: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe da Junção da 1ª Braçadeira com o Fundo do Tanque — Simulação Estática
Gradiente de Pressões Aplicado – Espessura de chapa = 7 mm

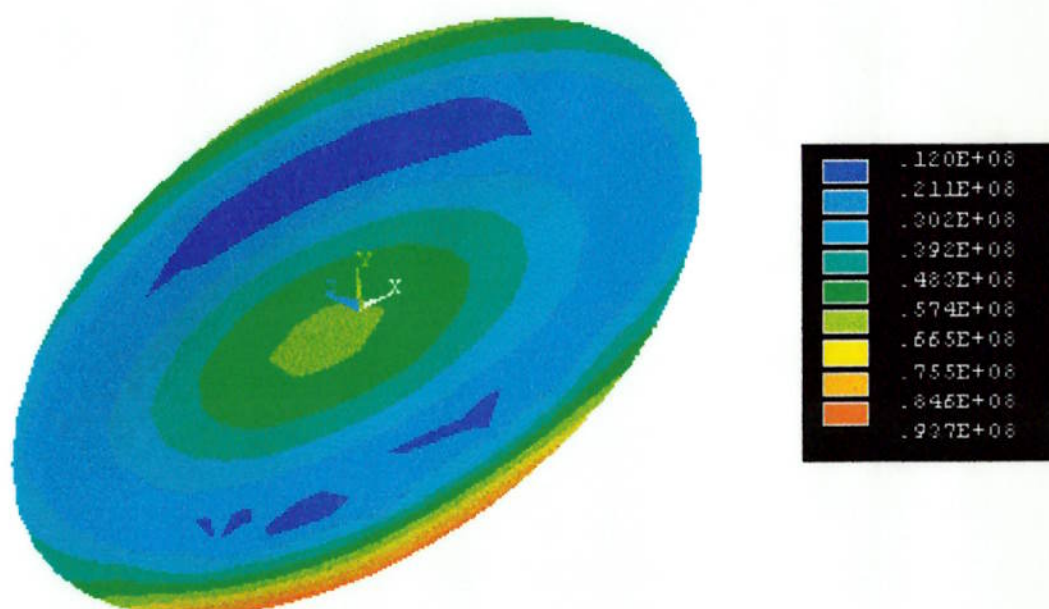


Figura 36: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa– Detalhe do Tampo Dianteiro
Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado
Espessura de chapa = 7 mm

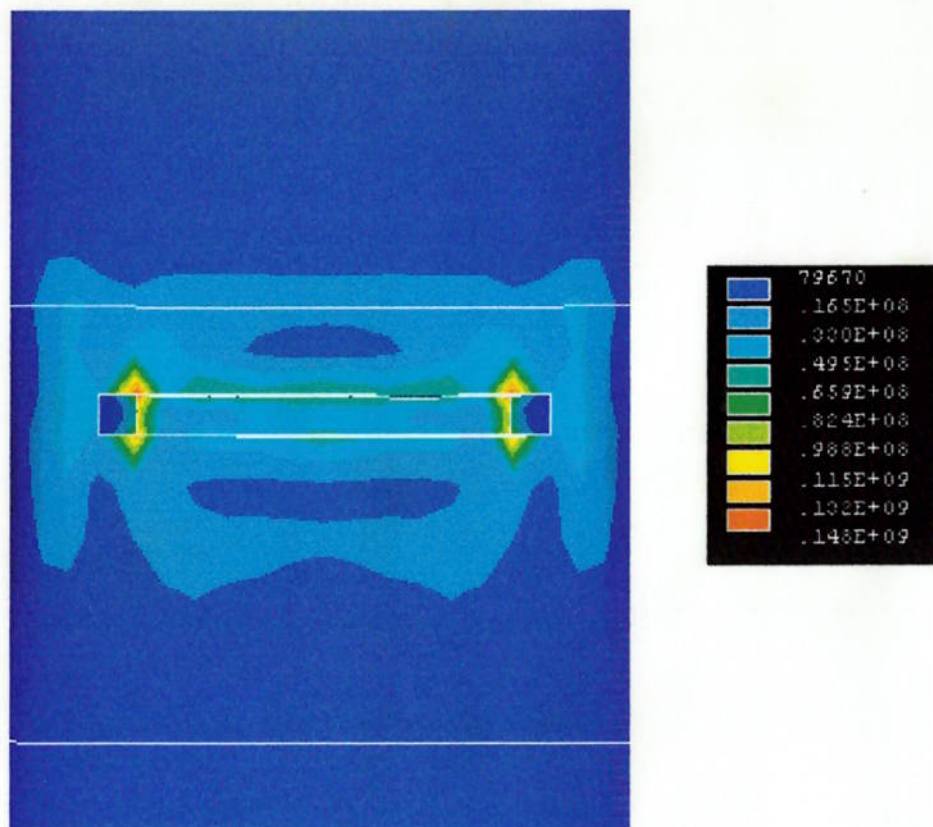


Figura 37: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Fundo do Tanque – Simulação Estática – Gradiente de Pressões Aplicado
Espessura de chapa = 8 mm

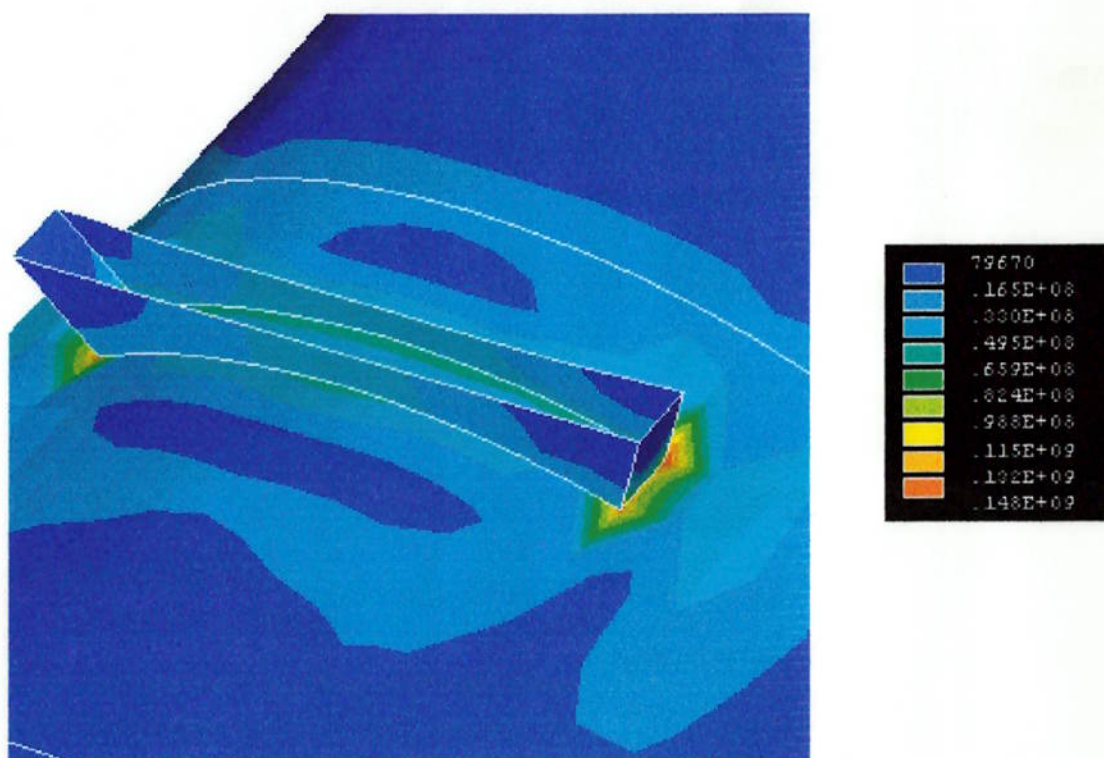


Figura 38: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe da Junção da 1ª Braçadeira com o Fundo do Tanque – Simulação Estática
Gradiente de Pressões Aplicado – Espessura de chapa = 8 mm

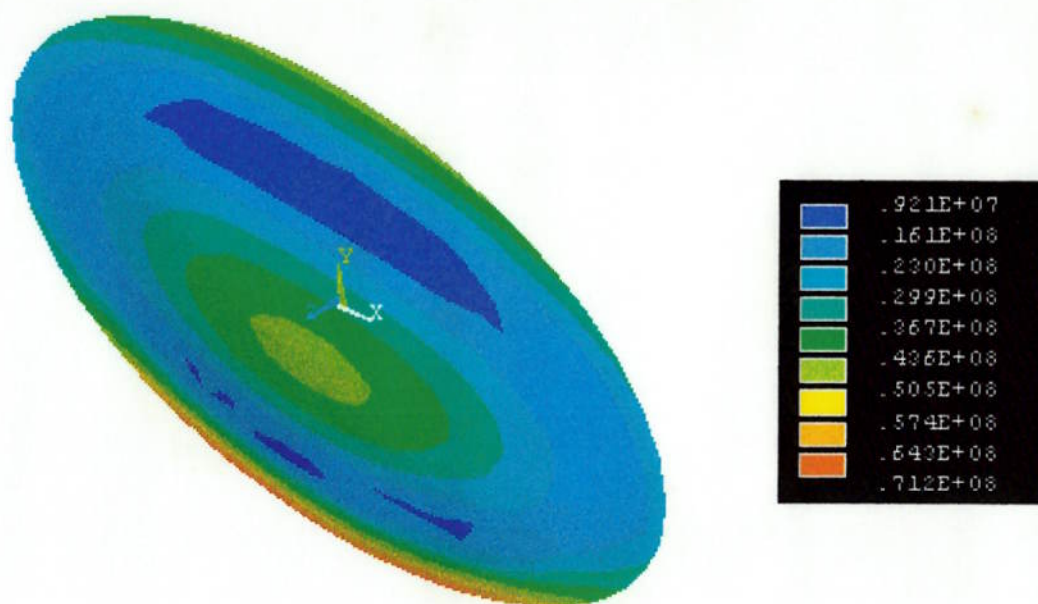


Figura 39: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Tampo Dianteiro
 – Gradiente de Pressões Aplicado – Simulação Estática
 Espessura de chapa = 8 mm

Tabela 26 – Resultados da Simulação Estática com Gradiente de Pressão Aplicado

Espessuras de Chapas de Alumínio								
	3 mm		5 mm		7 mm		8 mm	
$\sigma_{\text{máx}}$ (Mpa)	595	380	186	236	93,7	170	71,2	148
Local	Junção do tampo com o fundo do tanque	Junção da 1ª braçadeira com o fundo do	Junção do tampo com o fundo do tanque	Junção da 1ª braçadeira com o fundo do	Junção do tampo com o fundo do tanque	Junção da 1ª braçadeira com o fundo do	Junção do tampo com o fundo do tanque	Junção da 1ª braçadeira com o fundo do
σ_{adm} (Mpa)	250	250	250	250	250	250	250	250
$\sigma_{\text{máx}} / \sigma_{\text{adm}}$	2,38	1,52	0,744	0,944	0,375	0,68	0,285	0,592

10.2.9. Análise do Tanque sob Efeitos da Aceleração

Logicamente, não podemos deixar de observar que até o presente momento estamos desempenhando uma análise puramente estática, sendo que, na realidade, teremos ainda uma considerável influência da parte dinâmica.

É por esta razão que simularemos agora uma situação onde o veículo é submetido a uma aceleração de $2,5 \text{ m/s}^2$. Consideraremos para este caso a influência única e exclusiva das forças de inércia aplicadas nos tampos e costados do tanque, ignorando portanto as demais fontes de esforços existentes.

O que será feito então é, considerando o caso de aceleração positiva, aplicarmos pressão em todos os costados e também no tampo traseiro, obedecendo a seguinte expressão:

$$P_{\text{aplicada}} = V_{\text{diesel}} \cdot \rho_{\text{diesel}} \cdot a / A_{\text{seção}}$$

Onde,

V_{diesel}	=	volume de diesel no compartimento em m^3 ;
ρ_{diesel}	=	850 kg/m^3 ;
a	=	$2,5 \text{ m/s}^2$
$A_{\text{seção}}$	=	área da seção elíptica do tampo ou costado

Portanto, as pressões a serem aplicadas nos costados e no tampo traseiro assumem respectivamente os seguintes valores: **3651,2 Pa** e **4381,4 Pa**.

Os valores de tensões resultantes destes carregamentos podem ser observados nas figuras e tabela a seguir:

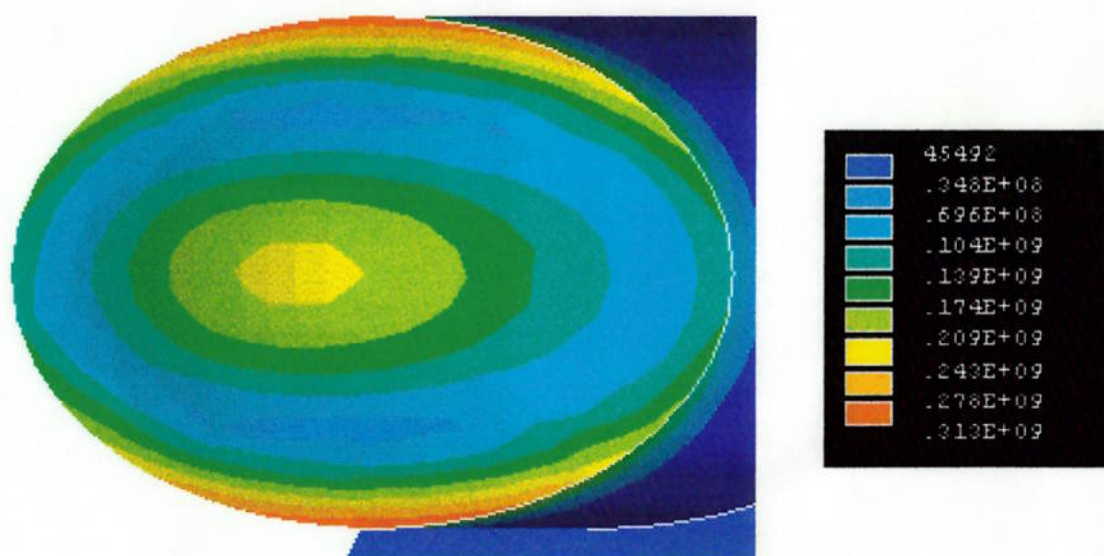


Figura 40: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Tampo Dianteiro
Simulação Dinâmica – Espessura de chapa = 3 mm

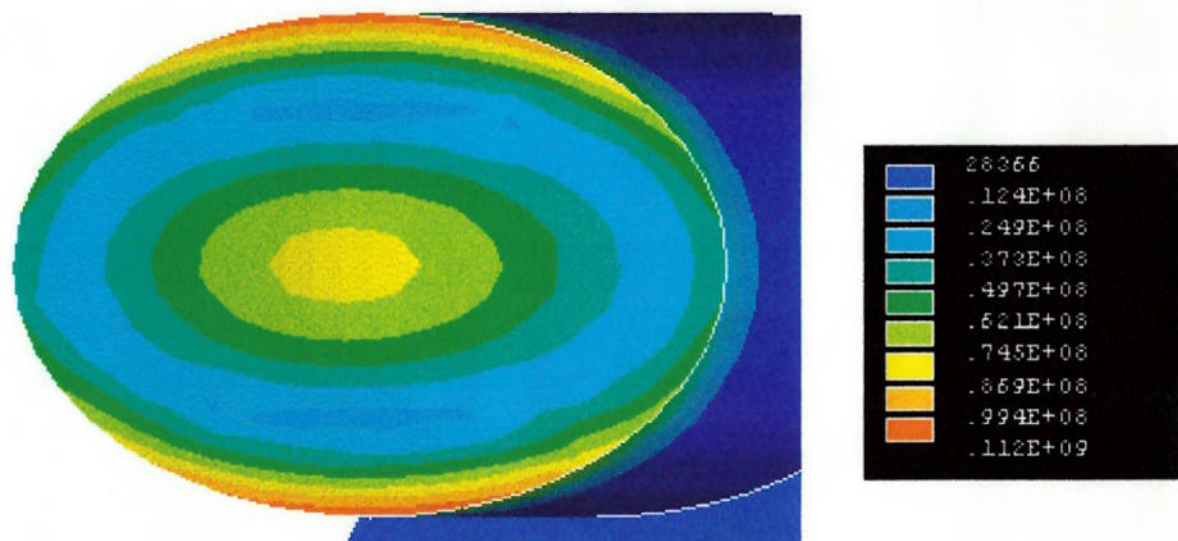


Figura 41: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Tampo Dianteiro
Simulação Dinâmica – Espessura de chapa = 5 mm

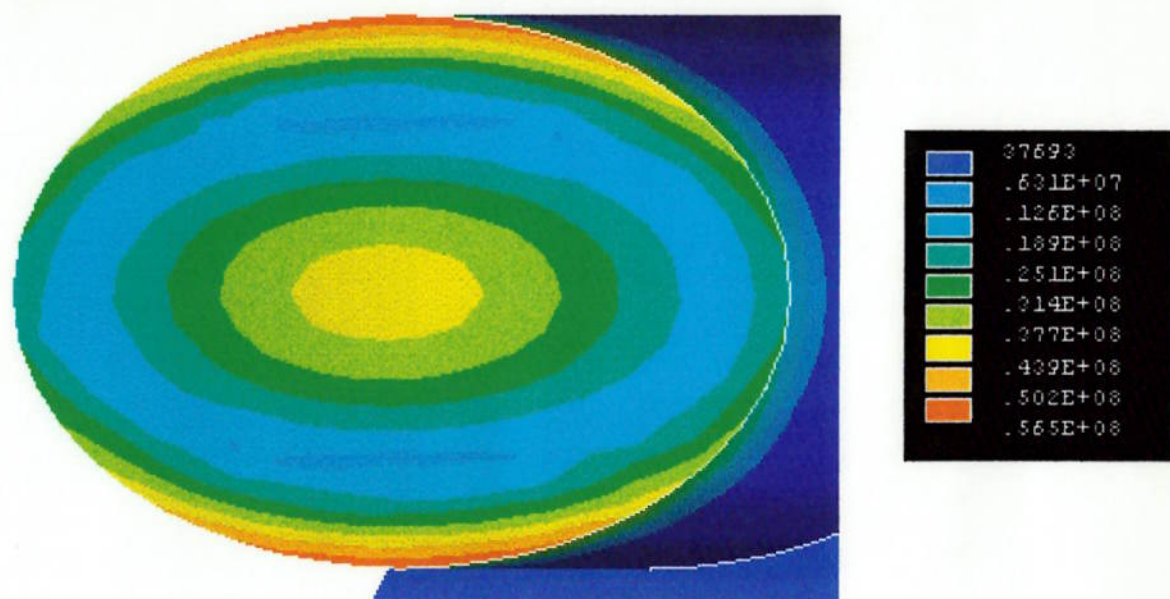


Figura 42: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Tampo Dianteiro
Simulação Dinâmica – Espessura de chapa = 7 mm

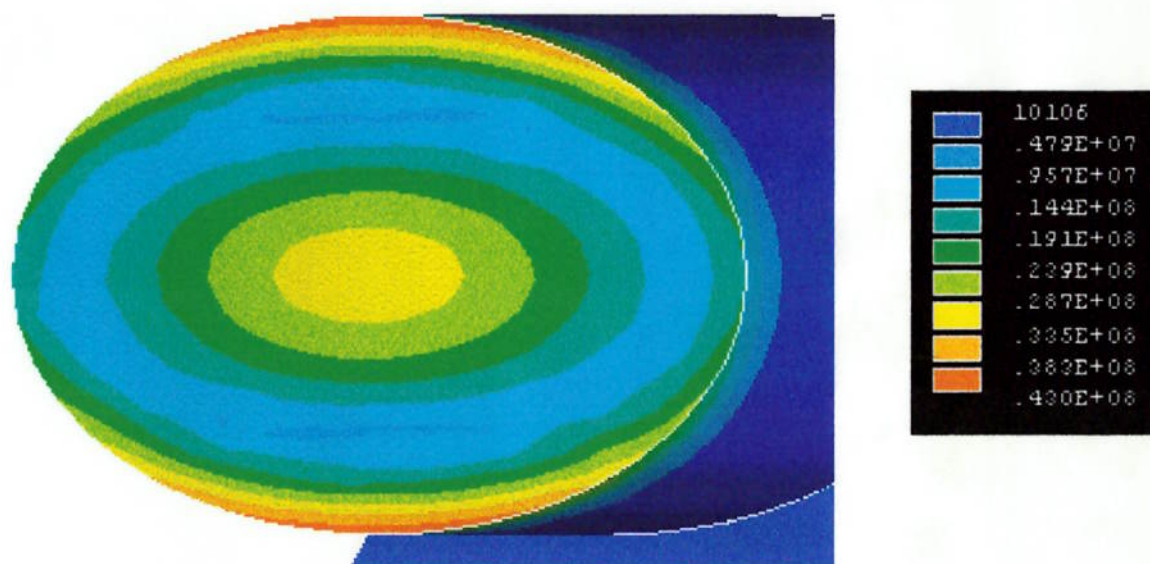


Figura 43: Tensões de Von Mises Distribuídas no Tanque em Pa – Detalhe do Tampo Dianteiro
Simulação Dinâmica – Espessura de chapa = 8 mm

Tabela 27: Resultados da Simulação Dinâmica

	Espessuras de Chapas de Alumínio			
	3 mm	5 mm	7 mm	8 mm
σ_{din} (Mpa)	313	112	56,5	43
Local	Junção do tampo com o fundo do tanque	Junção do tampo com o fundo do tanque	Junção do tampo com o fundo do tanque	Junção do tampo com o fundo do tanque

10.2.10. Especificação Final

10.2.10.1. Coeficiente de Segurança

Uma vez que nas simulações previamente realizadas não foram considerados fatores como fadiga do material e resistência a impacto, será adotado para a especificação final do tanque um coeficiente de segurança **C.S.** igual a 2 para o caso de cargas estáticas.

Como o caso dinâmico é cíclico, ou seja, não ocorre durante o tempo todo, não computaremos individualmente a ele nenhum coeficiente extra de segurança, pois este já está embutido no C.S. do caso estático.

10.2.10.2. Ponderações sobre resultados obtidos

Neste momento estamos bastante próximos de completar a especificação do tanque a ser utilizado no projeto. Ao acrescentar-se o fator de segurança 2, podemos observar que nenhuma das espessuras de chapa anteriormente estudadas é capaz de resolver nosso problema.

No entanto, para os casos de espessura de chapa igual a 7 mm e 8 mm, pode-se notar dois fatos importantes:

- os maiores esforços se encontram na região da junção da 1ª braçadeira e o fundo do tanque;
- os esforços nos tampos, mesmo quando adicionados aos resultados dinâmicos (admitindo uma composição linear), se mostram dentro da faixa de tensões admissíveis.

Como resultado, uma possível solução é a aplicação de reforço apenas na região mais crítica do tanque, ou seja, exatamente na junção da 1ª braçadeira e o fundo do tanque.

A espessura de chapa nesta região, já acrescida de reforço foi testada para uma faixa entre 10 e 15 mm, para os dois casos.

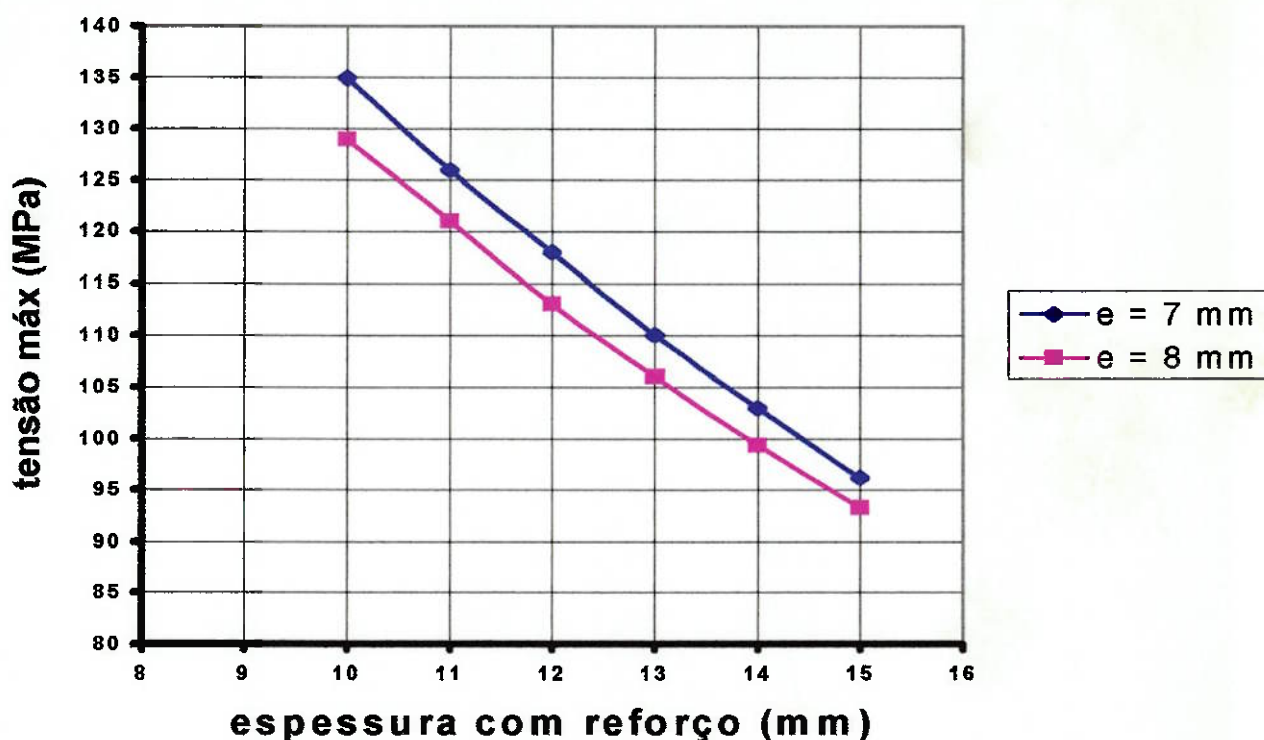


Figura 44: Gráfico - espessura adicionada da chapa de reforço x tensão máxima verificada na região

10.2.10.3. Conclusão da análise de elementos finitos feita no tanque

Após as análises dos dados obtidos nas 3 etapas de verificações:

- carregamento estático, com chapeamento uniforme;
- simulação de caso dinâmico;
- carregamento estático, com reforço na região com tensões mais críticas.

Podemos definir a construção do tanque baseado nos cálculos das tabelas abaixo:

Tabela 28 : Cálculo da tensão de projeto na junção do tampo dianteiro com o fundo do tanque

Espessuras de Chapas de Alumínio	I	II	III	IV	V
7 mm	2	93,7	187,4	56,5	243,9
8 mm	2	71,2	142,4	43,0	185,4

I – Coeficiente de Segurança de projeto;

II – Tensão estática máxima observada na região (MPa);

III – Tensão estática máxima observada na região multiplicada pelo fator de segurança de projeto (MPa);

IV – Tensão dinâmica máxima observada na região (MPa).

V – Tensão de Projeto para esta região, resultado de III +IV

 - Soluções Possíveis (< 250 MPa)

Tabela 29 : Cálculo da tensão de projeto na junção da 1ª braçadeira com o fundo do tanque, variando com as diferentes espessuras de reforço

Espessuras de Chapas de Alumínio	I	II					
		Espessuras de Reforço					
		10 mm	11 mm	12 mm	13 mm	14 mm	15 mm
7 mm	2	135	126	118	110	103	96,2
8 mm	2	129	121	113	106	99,4	93,3

Espessuras de Chapas de Alumínio	III					
	Espessuras de Reforço					
	10 mm	11 mm	12 mm	13 mm	14 mm	15 mm
7 mm	270	252	236	220	206	192,4
8 mm	258	242	226	212	198,8	186,6

I – Coeficiente de Segurança de projeto;

II – Tensão estática máxima observada na região (MPa);

III – Tensão de projeto para esta região, resultado de $II * I$

 - Soluções Possíveis (< 250 MPa)

Definimos a construção do tanque por chapas de Alumínio com 7 mm de espessura e reforço de mais 5 mm de espessura na junção entre a 1ª braçadeira e o fundo do tanque, totalizando 12 mm de chapa na região. Para este caso, teremos uma tensão máxima de 236 MPa neste local e uma tensão

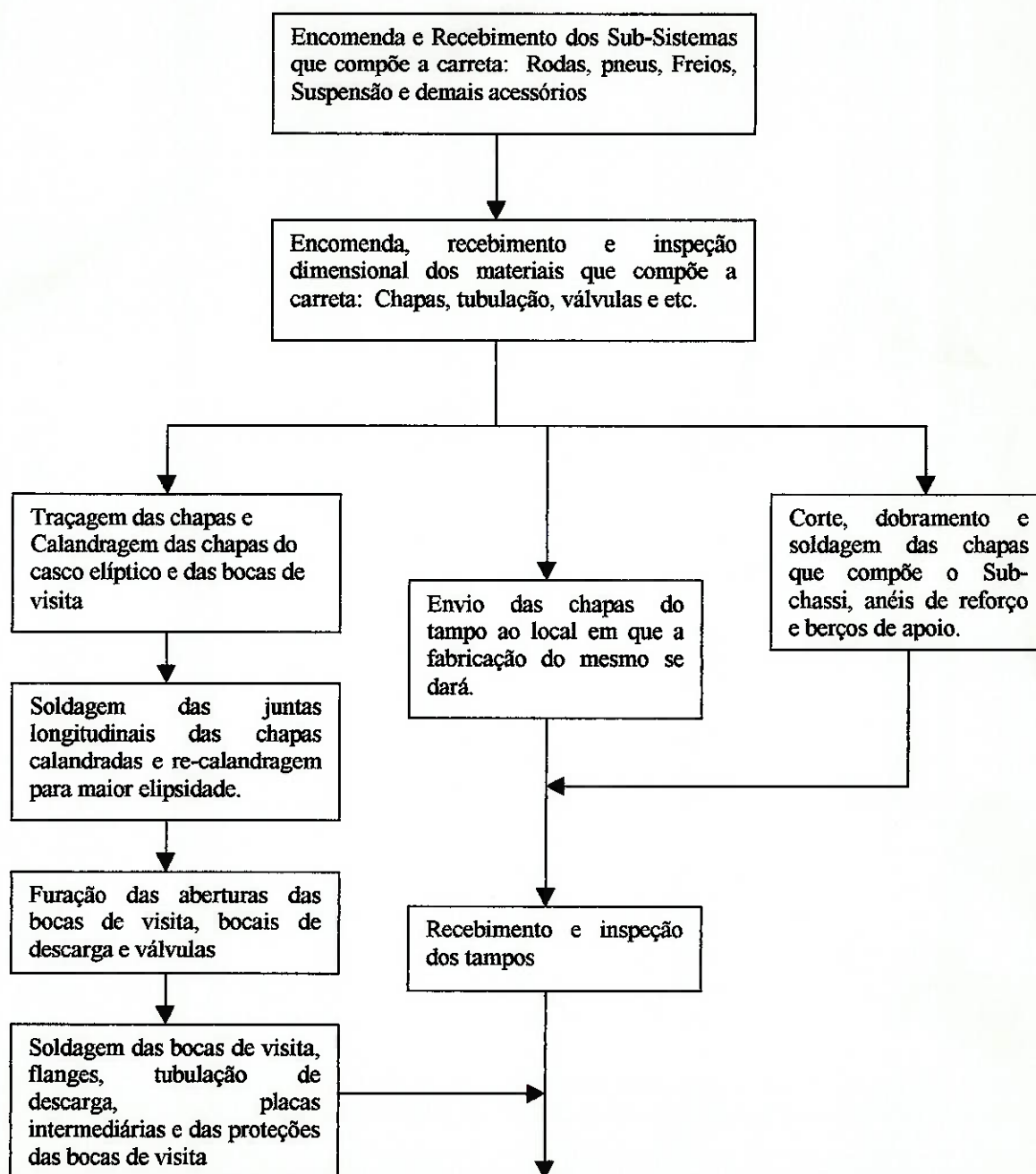
de 243,9 MPa na junção entre o tampo dianteiro e o fundo do tanque. Ambos os casos, apresentando tensão menor que a admissível de projeto.

A escolha foi feita considerando principalmente o fator **custo** pois, uma vez que obtivemos mais de uma solução, optamos por aquela que implicaria no menor custo de produção (compra de matéria-prima e fabricação), não deixando ainda de considerar a que confere menor peso—morto à carreta.

11. Especificações Preliminares de Fabricação

O único componente que precisa-se efetivamente fabricar é o tanque auto-portante, pois o cavalo (veículo - motor) já é um produto acabado que vem direto de fábrica.

Para aumentar a eficiência deste processo torna-se necessário levar-se em consideração uma sequência de fases, que podem ser observadas, no fluxograma de fabricação abaixo:



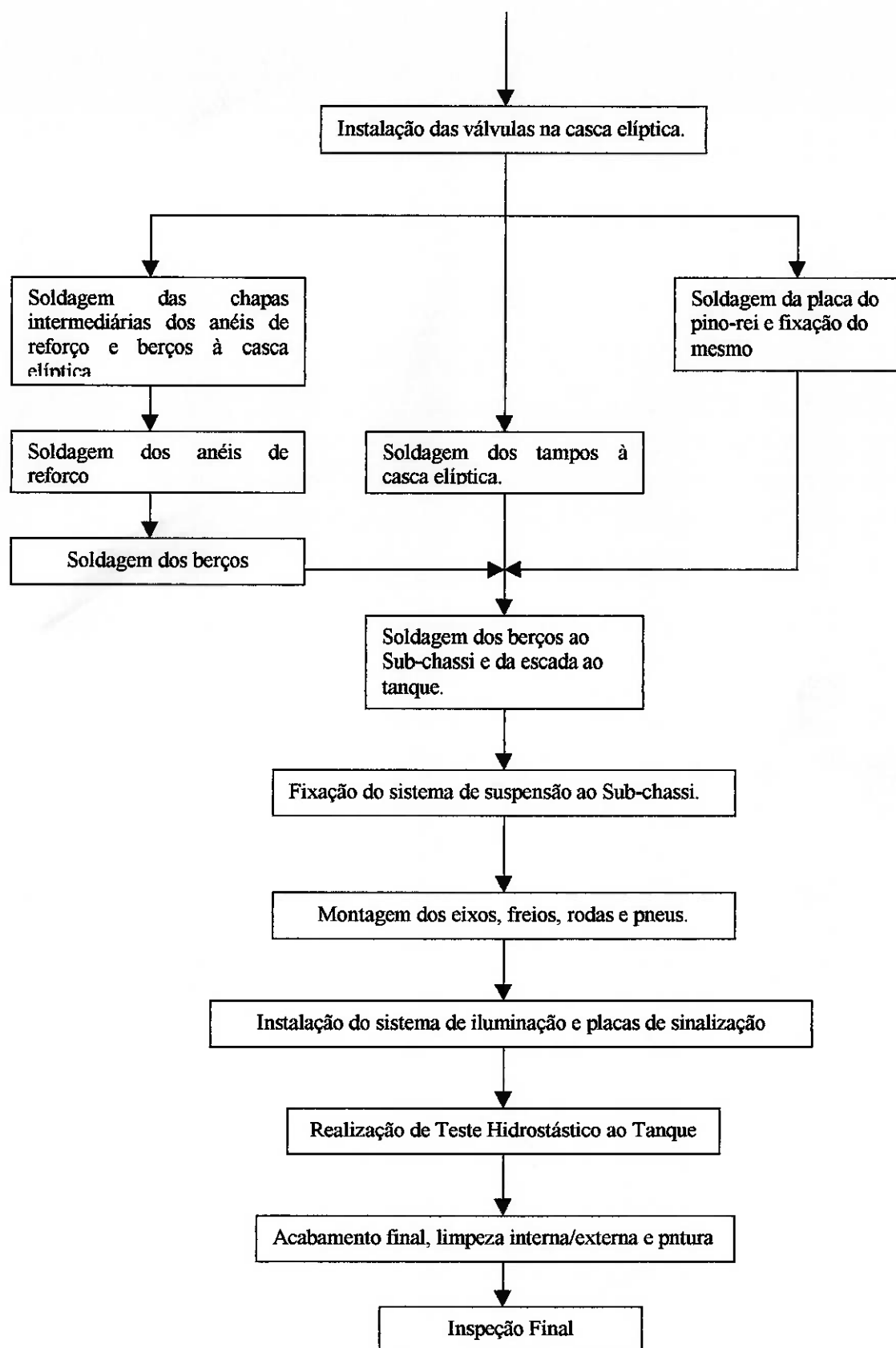


Figura 45: Fluxograma de Fabricação do Tanque Auto - Portante

12. Conclusões

Este trabalho conclui o projeto de um Caminhão Tanque para Transporte de Combustíveis. O projeto foi dividido em quatro etapas distintas, sendo elas:

- **Estabelecimento dos Parâmetros do Projeto:** definiu-se que a união entre tanque e veículo motor seria feita através de pino - rei, que o tanque em questão seria auto - portante, fabricado em Alumínio (liga seria posteriormente escolhida), com seção transversal elíptica, composto por 6 compartimentos estanques e dotado de três eixos em tandem;
- **Seleção e escolha do veículo - motor:** escolheu-se o caminhão Volvo EDC Gold TD123E, após escolha através de matriz de decisão, entre outros 3 caminhões. Fatores como custo, manutenção e segurança foram determinantes para sua escolha ;
- **Pré - dimensionamento do tanque auto-portante :** definiu-se que para a construção deste componente utilizaria - se a Liga de Alumínio 5454, que apresenta boa soldabilidade e tensão de ruptura da ordem de 250 MPa. Adotou-se ainda suspensão pneumática e rodado duplo para os três eixos da carreta. Finalmente, após análises de resistência dos materiais definiu-se o modelo que seria testado na fase seguinte através de Análise de Elementos Finitos: tanque com

11 metros de comprimento, volume útil de 32.000 L (com 2 compartimentos de 6.000 L e 4 de 5.000 L), com área da seção transversal elíptica igual a 2,91 m².

- **Dimensionamento e análises, utilizando o Método dos Elementos Finitos, do tanque auto - portante:** parte final do projeto em questão, baseou-se no pré - projeto resultado da etapa anterior, só que visando neste instante definir parâmetros fundamentais, como por exemplo a espessura de chapa utilizada na fabricação da carreta, ou mesmo o comportamento da mesma sob solicitações estáticas e dinâmicas reais. Utilizando um coeficiente de segurança de valor 2 nesta etapa, carregamento completo de todos compartimentos com óleo diesel, e aceleração máxima do conjunto de 2,5 m/s², concluiu-se que o tanque será fabricado por chapas de espessura 7 mm, sendo que na região de junção entre a 1ª travessa de sustentação e o fundo do mesmo, deverão ser utilizadas chapas de 12 mm de espessura, uma vez que como resultado da modelagem constatou-se ser esta a região com mais elevados valores de tensão, e ser este reforço o suficiente para a viabilidade do projeto.

Com base nos resultados obtidos pode-se, em **trabalhos futuros**, analisar o mesmo modelo, solicitado-o através de forças impactantes, ou então, simulando seu comportamento ao realizar uma curva. Outro estudo interessante, é a análise do transporte efetuado com apenas alguns

compartimentos carregados (fato que realmente ocorre durante o dia-a-dia destas carretas) .

8. Referências Bibliográficas

- 1) - GROOVER, M. P. **Fundamentals of Modern Manufacturing.** 1.ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1996.
- 2) - BARTOLOMUCCI, A. F. **Projeto de um Caminhão Tanque para Transporte de Ácido Sulfúrico.** São Paulo, 1998. 129p. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 3) - MANUAL de Autoproteção para Manuseio e Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos. 3.ed. Indax Advertising. São Paulo, 1998.
- 4) - KUAE L.K.N.; BONESIO M.C.M.; VILLELA M.C.O. **Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses.** 1.ed. São Paulo, s.ed., 1991.
- 5) - APLICAÇÃO DO PRODUTO. Manual impresso pela Scania do Brasil, s.ed., São Paulo, s.d.
- 6) - LEI DA BALANÇA NO BRASIL E NO MUNDO. Estudo realizado pela Bridgestone Firestone, v1, v2 e v3 s.n.t.
- 7) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **P-NB-212 – Construção de Carros-Tanque para Líquidos Inflamáveis.** s.ed. São Paulo, 1971.
- 8) - VOLVO EDC GOLD. Catálogo Técnico, s.n.t.
- 9) - VOLVO FH-12. Catálogo Técnico, s.n.t.
- 10) - MERCEDES-BENZ. **Caminhão Extrapesado LS-1938.** s.n.t.
- 11) - SCANIA GA4X2NZ. Catálogo Técnico, s.ed. São Paulo, 1999
- 12) - ROARK, RAYMOND J., YOUNG, WARREN C., **Formulas for Stress and Strain**
- 13) - METALS HANDBOOK – Desk Edition – American Society for Metals

14) - MANUAL do software ANSYS 5.4., 1998

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Parâmetros Gerais para Dimensionamento do Tanque

Comprimentos	Área da Seção Elíptica [m2]	
-	30.000	32.000
6	5,00	5,33
7	4,29	4,57
8	3,75	4,00
9	3,33	3,56
10	3,00	3,20
11	2,73	2,91
12	2,50	2,67
13	2,31	2,46
14	2,14	2,29
15	2,00	2,13

	30.000	32.000
Nº Compartimentos	6	6
Vol 1(l)	5.000	6.000
Vol 2(l)	5.000	5.000
Vol 3(l)	5.000	5.000
Vol 4(l)	5.000	5.000
Vol 5(l)	5.000	5.000
Vol 6(l)	5.000	6.000

1. Dimensionamento do Tanque da Carreta

Comprimentos [m]	Área da Seção [m2]	
	30.000	32.000
-	5,00	5,33
6	4,29	4,57
7	3,75	4,00
8	3,33	3,56
9	3,00	3,20
10	2,73	2,91
11	2,50	2,67
12	2,31	2,46
13	2,14	2,29
14	2,00	2,13
15		

	30.000	32.000
Nº Compartimentos	6	6
Vol 1(l)	5.000	6.000
Vol 2(l)	5.000	5.000
Vol 3(l)	5.000	5.000
Vol 4(l)	5.000	5.000
Vol 5(l)	5.000	5.000
Vol 6(l)	5.000	6.000

1.1 Comprimento 6m:

P/ L=6

6

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	5,00	5,33
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	4250	4533
L1(m)	1	1,13
L2(m)	1	0,94
L3(m)	1	0,94
L4(m)	1	0,94
L5(m)	1	0,94
L6(m)	1	1,13

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=6	5,00	5,33
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	1,027	1,095
R2 Min (m)	1,224	1,306

0,005	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
1,050	1,516	1,36E-04	6,53E-05	0,0489
1,100	1,447	1,24E-04	7,16E-05	0,0527
1,150	1,384	1,13E-04	7,82E-05	0,0562
1,200	1,326	1,04E-04	8,52E-05	0,0594
1,250	1,273	9,59E-05	9,24E-05	0,0621
1,300	1,224	8,86E-05	9,99E-05	0,0645

R1/R2
0,6927
0,7603
0,8310
0,9048
0,9817
1,0619

0,005	32.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)
1,050	-	-	-	-
1,100	1,543	1,41E-04	7,16E-05	0,0552
1,150	1,476	1,29E-04	7,82E-05	0,0592
1,200	1,415	1,18E-04	8,52E-05	0,0628
1,250	1,358	1,09E-04	9,24E-05	0,0661
1,300	1,306	1,01E-04	9,99E-05	0,0689

R1/R2
-
0,7127
0,7790
0,8482
0,9204
0,9955

Espessura Chapa

0,005

1.2 Comprimento 7m:

P/ L=7

7

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	4,29	4,57
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	3642,8571	3886
L1(m)	1,1666667	1,31
L2(m)	1,1666667	1,09
L3(m)	1,1666667	1,09
L4(m)	1,1666667	1,09
L5(m)	1,1666667	1,09
L6(m)	1,1666667	1,31

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=7	4,29	4,57
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,880	0,939
R2 Min (m)	1,049	1,119

0,005	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0,900	1,516	1,36E-04	4,80E-05	0,0337
0,950	1,436	1,22E-04	5,34E-05	0,0373
1,000	1,364	1,10E-04	5,92E-05	0,0406
1,050	1,299	9,98E-05	6,53E-05	0,0437
1,100	1,240	9,10E-05	7,16E-05	0,0465
1,150	1,186	8,32E-05	7,82E-05	0,0490
1,200	1,137	7,65E-05	8,52E-05	0,0510
1,250	1,091	7,05E-05	9,24E-05	0,0527
1,300	1,049	6,52E-05	9,99E-05	0,0541

R1/R2
0,5938
0,6616
0,7330
0,8082
0,8870
0,9694
1,0556
1,1454
1,2388

0,005	32.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)
0,900	-	-	-	-
0,950	1,532	1,39E-04	5,34E-05	0,0387
1,000	1,455	1,25E-04	5,92E-05	0,0425
1,050	1,386	1,14E-04	6,53E-05	0,0460
1,100	1,323	1,03E-04	7,16E-05	0,0492
1,150	1,265	9,47E-05	7,82E-05	0,0520
1,200	1,213	8,70E-05	8,52E-05	0,0545
1,250	1,164	8,02E-05	9,24E-05	0,0566
1,300	1,119	7,41E-05	9,99E-05	0,0584

R1/R2
-
0,6202
0,6872
0,7577
0,8315
0,9089
0,9896
1,0738
1,1614

Espessura Chapa

0,005

1.3 Comprimento 8m:

P/ L=8

8

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	3,75	4,00
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	3187,5	3400
L1(m)	1,3333333	1,50
L2(m)	1,3333333	1,25
L3(m)	1,3333333	1,25
L4(m)	1,3333333	1,25
L5(m)	1,3333333	1,25
L6(m)	1,3333333	1,50

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=8	3,75	4,00
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,770	0,821
R2 Min (m)	0,918	0,979

0,0055	30.000				R1/R2
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)	
0,800	1,492	1,59E-04	4,59E-05	0,0273	0,5362
0,850	1,404	1,41E-04	5,18E-05	0,0309	0,6053
0,900	1,326	1,26E-04	5,81E-05	0,0343	0,6786
0,950	1,256	1,13E-04	6,47E-05	0,0375	0,7561
1,000	1,194	1,02E-04	7,17E-05	0,0403	0,8378
1,050	1,137	9,26E-05	7,90E-05	0,0429	0,9236
1,100	1,085	8,44E-05	8,67E-05	0,0450	1,0137
1,150	1,038	7,72E-05	9,47E-05	0,0468	1,1079
1,200	0,995	7,09E-05	1,03E-04	0,0482	1,2064
1,250	0,955	6,54E-05	1,12E-04	0,0493	1,3090
1,300	0,918	6,05E-05	1,21E-04	0,0501	1,4158

0,0055	32.000				R1/R2
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)	
0,800	-	-	-	-	-
0,850	1,498	1,61E-04	5,18E-05	0,0319	0,5675
0,900	1,415	1,43E-04	5,81E-05	0,0357	0,6362
0,950	1,340	1,29E-04	6,47E-05	0,0392	0,7088
1,000	1,273	1,16E-04	7,17E-05	0,0425	0,7854
1,050	1,213	1,05E-04	7,90E-05	0,0454	0,8659
1,100	1,157	9,59E-05	8,67E-05	0,0480	0,9503
1,150	1,107	8,78E-05	9,47E-05	0,0502	1,0387
1,200	1,061	8,07E-05	1,03E-04	0,0520	1,1310
1,250	1,019	7,43E-05	1,12E-04	0,0534	1,2272
1,300	0,979	6,88E-05	1,21E-04	0,0545	1,3273

E spessore

0,0055

1.4 Comprimento 9m:

P/ L=9

9

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	3,33	3,56
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	2833,3333	3022
L1(m)	1,5	1,69
L2(m)	1,5	1,41
L3(m)	1,5	1,41
L4(m)	1,5	1,41
L5(m)	1,5	1,41
L6(m)	1,5	1,69

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=9	3,33	3,56
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,685	0,730
R2 Min (m)	0,816	0,871

0,008	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0,700	1,516	3,48E-04	7,47E-05	0,0282
0,750	1,415	3,04E-04	8,57E-05	0,0328
0,800	1,326	2,67E-04	9,75E-05	0,0374
0,850	1,248	2,36E-04	1,10E-04	0,0418
0,900	1,179	2,11E-04	1,23E-04	0,0458
0,950	1,117	1,89E-04	1,37E-04	0,0495
1,000	1,061	1,71E-04	1,52E-04	0,0526
1,050	1,011	1,55E-04	1,68E-04	0,0553
1,100	0,965	1,41E-04	1,84E-04	0,0574
1,150	0,923	1,29E-04	2,01E-04	0,0591
1,200	0,884	1,19E-04	2,19E-04	0,0603
1,250	0,849	1,10E-04	2,37E-04	0,0611
1,300	0,816	1,01E-04	2,56E-04	0,0615

R1/R2
0,4618
0,5301
0,6032
0,6809
0,7634
0,8506
0,9425
1,0391
1,1404
1,2464
1,3572
1,4726
1,5928

0,008	32.000				R1/R2
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)	
0,700	-	-	-	-	-
0,750	1,509	3,45E-04	8,57E-05	0,0337	0,4970
0,800	1,415	3,04E-04	9,75E-05	0,0387	0,5655
0,850	1,331	2,69E-04	1,10E-04	0,0435	0,6384
0,900	1,258	2,40E-04	1,23E-04	0,0480	0,7157
0,950	1,191	2,15E-04	1,37E-04	0,0522	0,7974
1,000	1,132	1,95E-04	1,52E-04	0,0559	0,8836
1,050	1,078	1,77E-04	1,68E-04	0,0591	0,9741
1,100	1,029	1,61E-04	1,84E-04	0,0617	1,0691
1,150	0,984	1,47E-04	2,01E-04	0,0639	1,1685
1,200	0,943	1,35E-04	2,19E-04	0,0655	1,2723
1,250	0,905	1,25E-04	2,37E-04	0,0667	1,3806
1,300	0,871	1,15E-04	2,56E-04	0,0674	1,4932

	30.000
Espeçura	0,008
E	6,90E+10
R1	1,300
R2	0,816
Mi(x)	1,01E-04
Mi(y)	2,56E-04
I(t)	0,0615
Área Chapa Seção	0,0534
Comprimento	9
NºDivisórias	7
Área Chapa Divisórias	23,33
Volume Total Chapa	0,6671
Densidade Material	2700
Peso Chapeamento	1801,29
Peso/Metro Tanque	200,14
Carg. Distr. Total	3033,48
Reações Apoios	13650,65
Mom Máx Cent (Kgf.m)	30713,95
Flecha Max Carg. Simp	3,70E-02

Coordenadas Pontos	
Pontos	30.000
P1	0
P2	0,75
P3	1,5
P4	2,25
P5	3
P6	3,75
P7	4,5
P8	5,25
P9	6
P10	6,75
P11	7,5
P12	8,25
P13	9

Pontos	30.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	9,74E-03	1,19E-05	9,75E-03
P3	1,87E-02	0,00E+00	1,87E-02
P4	2,64E-02	1,19E-05	2,64E-02
P5	3,22E-02	0	3,22E-02
P6	3,58E-02	1,19E-05	3,58E-02
P7	3,70E-02	0	3,70E-02
P8	3,58E-02	1,19E-05	3,58E-02
P9	3,22E-02	0	3,22E-02
P10	2,64E-02	1,19E-05	2,64E-02
P11	1,87E-02	0	1,87E-02
P12	9,74E-03	1,19E-05	9,75E-03
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

	30000
Tensão Max Adm.	2,50E+08
Tensão Flexão Max.	2,47121E+08
Momento Torsor Max	3,54917E+04
Tensão Torção Max.	1,01519E+06
Tensão de Comparação	2,47127E+08
Resultado	Ok

1.5 Comprimento 10m:

P/ L=10

10

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	3,00	3,20
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	2550	2720
L1(m)	1,6666667	1,88
L2(m)	1,6666667	1,56
L3(m)	1,6666667	1,56
L4(m)	1,6666667	1,56
L5(m)	1,6666667	1,56
L6(m)	1,6666667	1,88

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=10	3,00	3,20
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,616	0,657
R2 Min (m)	0,735	0,784

0,0087	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0,650	1,469	3,87E-04	7,64E-05	0,0249
0,700	1,364	3,34E-04	8,85E-05	0,0294
0,750	1,273	2,91E-04	1,01E-04	0,0339
0,800	1,194	2,56E-04	1,15E-04	0,0382
0,850	1,123	2,27E-04	1,30E-04	0,0422
0,900	1,061	2,02E-04	1,46E-04	0,0458
0,950	1,005	1,82E-04	1,62E-04	0,0489
1,000	0,955	1,64E-04	1,80E-04	0,0514
1,050	0,909	1,49E-04	1,98E-04	0,0535
1,100	0,868	1,36E-04	2,18E-04	0,0550
1,150	0,830	1,24E-04	2,38E-04	0,0561
1,200	0,796	1,14E-04	2,59E-04	0,0568
1,250	0,764	1,05E-04	2,81E-04	0,0571
1,300	0,735	9,74E-05	3,03E-04	0,0571

R1/R2
0,4424
0,5131
0,5890
0,6702
0,7566
0,8482
0,9451
1,0472
1,1545
1,2671
1,3849
1,5080
1,6362
1,7698

0,0089	32.000				R1/R2
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)	
0,650	-	-	-	-	-
0,700	1,455	3,98E-04	9,26E-05	0,0309	0,4811
0,750	1,358	3,47E-04	1,06E-04	0,0358	0,5522
0,800	1,273	3,05E-04	1,21E-04	0,0406	0,6283
0,850	1,198	2,70E-04	1,36E-04	0,0452	0,7093
0,900	1,132	2,41E-04	1,53E-04	0,0494	0,7952
0,950	1,072	2,16E-04	1,70E-04	0,0531	0,8860
1,000	1,019	1,95E-04	1,88E-04	0,0562	0,9817
1,050	0,970	1,77E-04	2,08E-04	0,0588	1,0824
1,100	0,926	1,62E-04	2,28E-04	0,0609	1,1879
1,150	0,886	1,48E-04	2,49E-04	0,0624	1,2984
1,200	0,849	1,36E-04	2,71E-04	0,0634	1,4137
1,250	0,815	1,25E-04	2,94E-04	0,0641	1,5340
1,300	0,784	1,16E-04	3,18E-04	0,0644	1,6592

	30.000	32.000
Espessura	0,0087	0,0089
E	6,90E+10	6,90E+10
R1	1,250	1,300
R2	0,764	0,784
Mi(x)	1,05E-04	1,16E-04
Mi(y)	2,81E-04	3,18E-04
I(t)	0,0571	0,0644
Área Chapa Seção	0,0553	0,0585
Comprimento	10	10
NºDivisórias	7	7
Área Chapa Divisórias	21,00	22,40
Volume Total Chapa	0,7355	0,7844
Densidade Material	2700	2700
Peso Chapeamento	1985,92	2117,90
Peso/Metro Tanque	198,59	211,79
Carg. Distr. Total	2748,59	2931,79
Reações Apoios	13742,96	14658,95
Mom Máx Cent (Kgf.m)	34357,40	36647,38
Flecha Max Carg. Simp	4,93E-02	4,77E-02

Coordenadas Pontos		
Pontos	30.000	32.000
P1	0	0
P2	0,833333	0,9375
P3	1,666667	1,88
P4	2,5	2,65625
P5	3,333333	3,4375
P6	4,166667	4,21875
P7	5	5
P8	5,833333	5,78125
P9	6,666667	6,5625
P10	7,5	7,34375
P11	8,333333	8,125
P12	9,166667	9,0625
P13	10	10

Pontos	30.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	1,30E-02	1,58E-05	1,30E-02
P3	2,49E-02	0,00E+00	2,49E-02
P4	3,51E-02	1,58E-05	3,51E-02
P5	4,28E-02	0	4,28E-02
P6	4,76E-02	1,58E-05	4,77E-02
P7	4,93E-02	0	4,93E-02
P8	4,76E-02	1,58E-05	4,77E-02
P9	4,28E-02	0	4,28E-02
P10	3,51E-02	1,58E-05	3,51E-02
P11	2,49E-02	0	2,49E-02
P12	1,30E-02	1,58E-05	1,30E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

Pontos	32.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	1,41E-02	2,45E-05	1,41E-02
P3	2,68E-02	0	2,68E-02
P4	3,56E-02	1,18E-05	3,56E-02
P5	4,22E-02	0	4,22E-02
P6	4,63E-02	1,18E-05	4,64E-02
P7	4,77E-02	0	4,77E-02
P8	4,63E-02	1,18E-05	4,64E-02
P9	4,22E-02	0	4,22E-02
P10	3,56E-02	1,18E-05	3,56E-02
P11	2,68E-02	0	2,68E-02
P12	1,41E-02	2,45E-05	1,41E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

	30000	32000
Tensão Max Adm.	2,50E+08	2,50E+08
Tensão Flexão Max.	2,49329E+08	2,47783E+08
Momento Torsor Max	3,43574E+04	3,81133E+04
Tensão Torção Max.	1,14882E+06	1,11019E+06
Tensão de Comparação	2,49337E+08	2,47790E+08
Resultado	Ok	Ok

1.6 Comprimento 11m:

P/L=11

11

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	2,73	2,91
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	2318,1818	2473
L1(m)	1,8333333	2,06
L2(m)	1,8333333	1,72
L3(m)	1,8333333	1,72
L4(m)	1,8333333	1,72
L5(m)	1,8333333	1,72
L6(m)	1,8333333	2,06

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=11	2,73	2,91
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,560	0,597
R2 Min (m)	0,668	0,712

0,0096	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0,600	1,447	4,58E-04	7,94E-05	0,0220
0,650	1,336	3,90E-04	9,31E-05	0,0265
0,700	1,240	3,37E-04	1,08E-04	0,0310
0,750	1,157	2,93E-04	1,24E-04	0,0354
0,800	1,085	2,58E-04	1,41E-04	0,0395
0,850	1,021	2,29E-04	1,59E-04	0,0432
0,900	0,965	2,04E-04	1,78E-04	0,0463
0,950	0,914	1,83E-04	1,98E-04	0,0489
1,000	0,868	1,65E-04	2,19E-04	0,0510
1,050	0,827	1,50E-04	2,42E-04	0,0525
1,100	0,789	1,37E-04	2,65E-04	0,0536
1,150	0,755	1,25E-04	2,90E-04	0,0542
1,200	0,723	1,15E-04	3,15E-04	0,0545
1,250	0,694	1,06E-04	3,42E-04	0,0544
1,300	0,668	9,82E-05	3,70E-04	0,0542

R1/R2
0,4147
0,4867
0,5644
0,6480
0,7372
0,8323
0,9331
1,0396
1,1519
1,2700
1,3938
1,5234
1,6588
1,7999
1,9467

0,0097		32.000		
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)
0,600	1,543	5,31E-04	8,11E-05	0,0227
0,650	1,425	4,53E-04	9,51E-05	0,0274
0,700	1,323	3,91E-04	1,10E-04	0,0323
0,750	1,235	3,41E-04	1,26E-04	0,0371
0,800	1,157	3,00E-04	1,44E-04	0,0417
0,850	1,089	2,65E-04	1,62E-04	0,0459
0,900	1,029	2,37E-04	1,82E-04	0,0496
0,950	0,975	2,13E-04	2,02E-04	0,0528
1,000	0,926	1,92E-04	2,24E-04	0,0554
1,050	0,882	1,74E-04	2,47E-04	0,0574
1,100	0,842	1,59E-04	2,71E-04	0,0589
1,150	0,805	1,45E-04	2,96E-04	0,0599
1,200	0,772	1,34E-04	3,22E-04	0,0605
1,250	0,741	1,23E-04	3,49E-04	0,0607
1,300	0,712	1,14E-04	3,77E-04	0,0606

R1/R2
0,3888
0,4563
0,5292
0,6075
0,6912
0,7802
0,8747
0,9746
1,0799
1,1906
1,3067
1,4282
1,5551
1,6874
1,8251

	30.000	32.000
Espeçura	0,0096	0,0097
E	6,90E+10	6,90E+10
R1	1,250	1,250
R2	0,694	0,741
Mi(x)	1,06E-04	1,23E-04
Mi(y)	3,42E-04	3,49E-04
I(t)	0,0544	0,0607
Área Chapa Seção	0,0589	0,0610
Comprimento	11	11
NºDivisórias	7	7
No de Quebra Ondas	0	2
Área Chapa Divisórias	19,09	25,02
Volume Total Chapa	0,8315	0,9133
Densidade Material	2700	2700
Peso Chapeamento	2245,18	2465,80
Peso/Metro Tanque	204,11	224,16
Carg. Distr. Total	2522,29	2696,89
Reações Apoios	13872,59	14832,90
Mom Máx Cent (Kgf.m)	38149,62	40790,47
Flecha Max Carg. Simp	6,56E-02	6,05E-02

Coordenadas Pontos		
Pontos	30.000	32.000
P1	0	0
P2	0,916667	1,03125
P3	1,833333	2,06
P4	2,75	2,921875
P5	3,666667	3,78125
P6	4,583333	4,640625
P7	5,5	5,5
P8	6,416667	6,359375
P9	7,333333	7,21875
P10	8,25	8,078125
P11	9,166667	8,9375
P12	10,08333	9,96875
P13	11	11

Pontos	30.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	1,73E-02	2,10E-05	1,73E-02
P3	3,32E-02	0,00E+00	3,32E-02
P4	4,68E-02	2,10E-05	4,68E-02
P5	5,70E-02	0	5,70E-02
P6	6,34E-02	2,10E-05	6,35E-02
P7	6,56E-02	0	6,56E-02
P8	6,34E-02	2,10E-05	6,35E-02
P9	5,70E-02	0	5,70E-02
P10	4,68E-02	2,10E-05	4,68E-02
P11	3,32E-02	0	3,32E-02
P12	1,73E-02	2,10E-05	1,73E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

Pontos	32.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	1,78E-02	3,10E-05	1,79E-02
P3	3,40E-02	0	3,40E-02
P4	4,51E-02	1,50E-05	4,51E-02
P5	5,35E-02	0	5,35E-02
P6	5,87E-02	1,50E-05	5,87E-02
P7	6,05E-02	0	6,05E-02
P8	5,87E-02	1,50E-05	5,87E-02
P9	5,35E-02	0	5,35E-02
P10	4,51E-02	1,50E-05	4,51E-02
P11	3,40E-02	0	3,40E-02
P12	1,78E-02	3,10E-05	1,79E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

	30000	32000
Tensão Max Adm.	2,50E+08	2,50E+08
Tensão Flexão Max.	2,49505E+08	2,45150E+08
Momento Torsor Max	3,46815E+04	3,70822E+04
Tensão Torção Max.	1,40393E+06	1,22279E+06
Tensão de Comparação	2,49516E+08	2,45159E+08
Resultado	Ok	Ok

1.7 Comprimento 12m:

P/L=12

12

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	2,50	2,67
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	2125	2267
L1(m)	2	2,25
L2(m)	2	1,88
L3(m)	2	1,88
L4(m)	2	1,88
L5(m)	2	1,88
L6(m)	2	2,25

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=12	2,50	2,67
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,513	0,548
R2 Min (m)	0,612	0,653

0,0103	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0,550	1,447	5,27E-04	7,70E-05	0,0186
0,600	1,326	4,43E-04	9,15E-05	0,0229
0,650	1,224	3,78E-04	1,07E-04	0,0274
0,700	1,137	3,26E-04	1,24E-04	0,0318
0,750	1,061	2,84E-04	1,43E-04	0,0359
0,800	0,995	2,50E-04	1,62E-04	0,0396
0,850	0,936	2,22E-04	1,83E-04	0,0429
0,900	0,884	1,98E-04	2,05E-04	0,0455
0,950	0,838	1,78E-04	2,28E-04	0,0477
1,000	0,796	1,60E-04	2,53E-04	0,0492
1,050	0,758	1,46E-04	2,78E-04	0,0503
1,100	0,723	1,33E-04	3,05E-04	0,0509
1,150	0,692	1,21E-04	3,34E-04	0,0512
1,200	0,663	1,12E-04	3,63E-04	0,0511
1,250	0,637	1,03E-04	3,94E-04	0,0508
1,300	0,612	9,53E-05	4,26E-04	0,0503

R1/R2
0,3801
0,4524
0,5309
0,6158
0,7069
0,8042
0,9079
1,0179
1,1341
1,2566
1,3854
1,5205
1,6619
1,8096
1,9635
2,1237

0,0106		32.000		
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)
0,550	1,543	6,35E-04	8,16E-05	0,0195
0,600	1,415	5,34E-04	9,70E-05	0,0241
0,650	1,306	4,55E-04	1,14E-04	0,0290
0,700	1,213	3,93E-04	1,32E-04	0,0338
0,750	1,132	3,42E-04	1,51E-04	0,0385
0,800	1,061	3,01E-04	1,72E-04	0,0428
0,850	0,999	2,67E-04	1,94E-04	0,0467
0,900	0,943	2,38E-04	2,17E-04	0,0500
0,950	0,894	2,14E-04	2,42E-04	0,0527
1,000	0,849	1,93E-04	2,68E-04	0,0547
1,050	0,808	1,75E-04	2,95E-04	0,0563
1,100	0,772	1,60E-04	3,23E-04	0,0573
1,150	0,738	1,46E-04	3,53E-04	0,0578
1,200	0,707	1,34E-04	3,85E-04	0,0580
1,250	0,679	1,24E-04	4,17E-04	0,0579
1,300	0,653	1,15E-04	4,51E-04	0,0575

R1/R2
0,3564
0,4241
0,4977
0,5773
0,6627
0,7540
0,8512
0,9543
1,0632
1,1781
1,2989
1,4255
1,5580
1,6965
1,8408
1,9910

	30.000	32.000
Espessura	0,0103	0,0106
E	6,90E+10	6,90E+10
R1	1,200	1,250
R2	0,663	0,679
Mi(x)	1,12E-04	1,24E-04
Mi(y)	3,63E-04	4,17E-04
I(t)	0,0511	0,0579
Área Chapa Seção	0,0606	0,0646
Comprimento	12	12
NºDivisórias	7	7
No de Quebra Ondas	0	2
Área Chapa Divisórias	17,50	22,93
Volume Total Chapa	0,9077	1,0182
Densidade Material	2700	2700
Peso Chapeamento	2450,82	2749,15
Peso/Metro Tanque	204,23	229,10
Carg. Distr. Total	2329,23	2495,76
Reações Apoios	13975,41	14974,57
Mom Máx Cent (Kgf.m)	41926,23	44923,72
Flecha Max Carg. Simp	8,16E-02	7,88E-02

Coordenadas Pontos		
Pontos	30.000	32.000
P1	0	0
P2	1	1,125
P3	2	2,25
P4	3	3,1875
P5	4	4,125
P6	5	5,0625
P7	6	6
P8	7	6,9375
P9	8	7,875
P10	9	8,8125
P11	10	9,75
P12	11	10,875
P13	12	12

Pontos	30.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	2,15E-02	2,62E-05	2,15E-02
P3	4,13E-02	0,00E+00	4,13E-02
P4	5,82E-02	2,62E-05	5,82E-02
P5	7,10E-02	0	7,10E-02
P6	7,89E-02	2,62E-05	7,90E-02
P7	8,16E-02	0	8,16E-02
P8	7,89E-02	2,62E-05	7,90E-02
P9	7,10E-02	0	7,10E-02
P10	5,82E-02	2,62E-05	5,82E-02
P11	4,13E-02	0	4,13E-02
P12	2,15E-02	2,62E-05	2,15E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

Pontos	32.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	2,32E-02	4,04E-05	2,33E-02
P3	4,42E-02	0	4,42E-02
P4	5,88E-02	1,95E-05	5,88E-02
P5	6,97E-02	0	6,97E-02
P6	7,65E-02	1,95E-05	7,65E-02
P7	7,88E-02	0	7,88E-02
P8	7,65E-02	1,95E-05	7,65E-02
P9	6,97E-02	0	6,97E-02
P10	5,88E-02	1,95E-05	5,88E-02
P11	4,42E-02	0	4,42E-02
P12	2,32E-02	4,04E-05	2,33E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

	30000	32000
Tensão Max Adm.	2,50E+08	2,50E+08
Tensão Flexão Max.	2,49037E+08	2,46027E+08
Momento Torsor Max	3,35410E+04	3,74364E+04
Tensão Torção Max.	1,51803E+06	1,47216E+06
Tensão de Comparação	2,49051E+08	2,46040E+08
Resultado	Ok	Ok

1.8 Comprimento 13m:

P/L=13

13

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	2,31	2,46
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	1961,5385	2092
L1(m)	2,1666667	2,44
L2(m)	2,1666667	2,03
L3(m)	2,1666667	2,03
L4(m)	2,1666667	2,03
L5(m)	2,1666667	2,03
L6(m)	2,1666667	2,44

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=13	2,31	2,46
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,474	0,506
R2 Min (m)	0,565	0,603

0,011	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0,500	1,469	6,20E-04	7,29E-05	0,0153
0,550	1,336	5,13E-04	8,80E-05	0,0194
0,600	1,224	4,31E-04	1,05E-04	0,0238
0,650	1,130	3,68E-04	1,23E-04	0,0281
0,700	1,049	3,17E-04	1,42E-04	0,0323
0,750	0,979	2,77E-04	1,63E-04	0,0361
0,800	0,918	2,43E-04	1,85E-04	0,0395
0,850	0,864	2,16E-04	2,09E-04	0,0423
0,900	0,816	1,92E-04	2,34E-04	0,0446
0,950	0,773	1,73E-04	2,60E-04	0,0462
1,000	0,735	1,56E-04	2,88E-04	0,0474
1,050	0,700	1,42E-04	3,18E-04	0,0480
1,100	0,668	1,29E-04	3,48E-04	0,0483
1,150	0,639	1,18E-04	3,81E-04	0,0483
1,200	0,612	1,09E-04	4,14E-04	0,0480
1,250	0,588	1,00E-04	4,49E-04	0,0475
1,300	0,565	9,28E-05	4,86E-04	0,0469

R1/R2
0,3403
0,4118
0,4901
0,5752
0,6671
0,7658
0,8713
0,9836
1,1027
1,2286
1,3614
1,5009
1,6472
1,8004
1,9604
2,1271
2,3007

0,0113	32.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)
0,500	-	-	-	-
0,550	1,306	5,18E-04	1,10E-04	0,0198
0,600	1,205	4,41E-04	1,29E-04	0,0242
0,650	1,119	3,81E-04	1,50E-04	0,0287
0,700	1,045	3,32E-04	1,72E-04	0,0331
0,750	0,979	2,92E-04	1,95E-04	0,0371
0,800	0,922	2,59E-04	2,20E-04	0,0407
0,850	0,871	2,31E-04	2,47E-04	0,0438
0,900	0,825	2,07E-04	2,75E-04	0,0463
0,950	0,784	1,87E-04	3,04E-04	0,0482
1,000	0,746	1,70E-04	3,35E-04	0,0496
1,050	0,712	1,55E-04	3,68E-04	0,0506
1,100	0,681	1,42E-04	4,02E-04	0,0511
1,150	0,653	1,31E-04	4,37E-04	0,0513
1,200	0,653	1,31E-04	4,74E-04	0,0546
1,250	0,627	1,20E-04	5,13E-04	0,0542
1,300	0,603	1,11E-04	1,28E-08	0,0537

R1/R2
-
0,4212
0,4977
0,5807
0,6700
0,7658
0,8679
0,9763
1,0912
1,2125
1,3401
1,4741
1,6145
1,7613
1,8378
1,9942
2,1569

	30.000	32.000
Espessura	0,011	0,0113
E	6,90E+10	6,90E+10
R1	1,150	1,200
R2	0,639	0,653
Mi(x)	1,18E-04	1,31E-04
Mi(y)	3,81E-04	4,74E-04
I(t)	0,0483	0,0546
Área Chapa Seção	0,0622	0,0662
Comprimento	13	13
NºDivisórias	7	7
No de Quebra Ondas	5	5
Área Chapa Divisórias	25,38	27,08
Volume Total Chapa	1,0878	1,1663
Densidade Material	2700	2700
Peso Chapeamento	2936,96	3149,06
Peso/Metro Tanque	225,92	242,24
Carg. Distr. Total	2187,46	2334,54
Reações Apoios	14218,48	15174,53
Mom Máx Cent (Kgf.m)	46210,06	49317,22
Flecha Max Carg. Simp	9,96E-02	9,64E-02

Coordenadas Pontos		
Pontos	30.000	32.000
P1	0	0
P2	1,083333	1,21875
P3	2,166667	2,44
P4	3,25	3,453125
P5	4,333333	4,46875
P6	5,416667	5,484375
P7	6,5	6,5
P8	7,583333	7,515625
P9	8,666667	8,53125
P10	9,75	9,546875
P11	10,83333	10,5625
P12	11,91667	11,78125
P13	13	13

Pontos	30.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	2,62E-02	3,19E-05	2,62E-02
P3	5,04E-02	0,00E+00	5,04E-02
P4	7,10E-02	3,19E-05	7,10E-02
P5	8,66E-02	0	8,66E-02
P6	9,63E-02	3,19E-05	9,64E-02
P7	9,96E-02	0	9,96E-02
P8	9,63E-02	3,19E-05	9,64E-02
P9	8,66E-02	0	8,66E-02
P10	7,10E-02	3,19E-05	7,10E-02
P11	5,04E-02	0	5,04E-02
P12	2,62E-02	3,19E-05	2,62E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

Pontos	32.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	2,84E-02	4,95E-05	2,85E-02
P3	5,42E-02	0	5,42E-02
P4	7,19E-02	2,39E-05	7,19E-02
P5	8,53E-02	0	8,53E-02
P6	9,36E-02	2,39E-05	9,36E-02
P7	9,64E-02	0	9,64E-02
P8	9,36E-02	2,39E-05	9,36E-02
P9	8,53E-02	0	8,53E-02
P10	7,19E-02	2,39E-05	7,19E-02
P11	5,42E-02	0	5,42E-02
P12	2,84E-02	4,95E-05	2,85E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

	30000	32000
Tensão Max Adm.	2,50E+08	2,50E+08
Tensão Flexão Max.	2,49432E+08	2,46752E+08
Momento Torsor Max	3,27025E+04	3,64189E+04
Tensão Torção Max.	1,62239E+06	1,57816E+06
Tensão de Comparação	2,49448E+08	2,46767E+08
Resultado	Ok	Ok

1.9 Comprimento 14m:

P/ L=14

14

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	2,14	2,29
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	1821,4286	1943
L1(m)	2,3333333	2,63
L2(m)	2,3333333	2,19
L3(m)	2,3333333	2,19
L4(m)	2,3333333	2,19
L5(m)	2,3333333	2,19
L6(m)	2,3333333	2,63

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=14	2,14	2,29
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,440	0,469
R2 Min (m)	0,525	0,560

0,0117	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0,450	1,516	7,47E-04	6,70E-05	0,0122
0,500	1,364	6,05E-04	8,25E-05	0,0160
0,550	1,240	5,01E-04	9,97E-05	0,0202
0,600	1,137	4,21E-04	1,18E-04	0,0245
0,650	1,049	3,59E-04	1,39E-04	0,0287
0,700	0,974	3,10E-04	1,61E-04	0,0327
0,750	0,909	2,70E-04	1,84E-04	0,0362
0,800	0,853	2,38E-04	2,09E-04	0,0392
0,850	0,802	2,11E-04	2,36E-04	0,0416
0,900	0,758	1,88E-04	2,65E-04	0,0435
0,950	0,718	1,69E-04	2,95E-04	0,0447
1,000	0,682	1,53E-04	3,26E-04	0,0455
1,050	0,650	1,39E-04	3,60E-04	0,0459
1,100	0,620	1,26E-04	3,94E-04	0,0459
1,150	0,593	1,16E-04	4,31E-04	0,0456
1,200	0,568	1,06E-04	4,69E-04	0,0451
1,250	0,546	9,81E-05	5,09E-04	0,0445
1,300	0,525	9,08E-05	5,50E-04	0,0438

R1/R2
0,2969
0,3665
0,4435
0,5278
0,6194
0,7184
0,8247
0,9383
1,0592
1,1875
1,3231
1,4661
1,6163
1,7740
1,9389
2,1111
2,2907
2,4777

0,0119	32.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)
0,450	-	-	-	-
0,500	1,455	7,12E-04	8,54E-05	0,0165
0,550	1,323	5,89E-04	1,03E-04	0,0209
0,600	1,213	4,95E-04	1,23E-04	0,0256
0,650	1,119	4,23E-04	1,44E-04	0,0302
0,700	1,039	3,65E-04	1,66E-04	0,0347
0,750	0,970	3,18E-04	1,91E-04	0,0388
0,800	0,909	2,80E-04	2,17E-04	0,0423
0,850	0,856	2,48E-04	2,44E-04	0,0453
0,900	0,808	2,21E-04	2,74E-04	0,0476
0,950	0,766	1,99E-04	3,05E-04	0,0493
1,000	0,728	1,80E-04	3,38E-04	0,0505
1,050	0,693	1,63E-04	3,72E-04	0,0512
1,100	0,661	1,49E-04	4,08E-04	0,0514
1,150	0,633	1,36E-04	4,46E-04	0,0514
1,200	0,606	1,25E-04	4,85E-04	0,0510
1,250	0,582	1,15E-04	5,26E-04	0,0505
1,300	0,560	1,07E-04	5,69E-04	0,0498

R1/R2
-
0,3436
0,4158
0,4948
0,5807
0,6735
0,7731
0,8796
0,9930
1,1133
1,2404
1,3744
1,5153
1,6631
1,8177
1,9792
2,1476
2,3228

	30.000	32.000
Espessura	0,0117	0,0119
E	6,90E+10	6,90E+10
R1	1,100	1,150
R2	0,620	0,633
Mi(x)	1,26E-04	1,36E-04
Mi(y)	3,94E-04	4,46E-04
I(t)	0,0459	0,0514
Área Chapa Seção	0,0637	0,0671
Comprimento	14	14
NºDivisórias	7	7
No de Quebra Ondas	5	5
Área Chapa Divisórias	23,57	25,14
Volume Total Chapa	1,1669	1,2385
Densidade Material	2700	2700
Peso Chapeamento	3150,76	3343,83
Peso/Metro Tanque	225,05	238,85
Carg. Distr. Total	2046,48	2181,70
Reações Apoios	14325,38	15271,92
Mom Máx Cent (Kgf.m)	50138,84	53451,71
Flecha Max Carg. Simp	1,17E-01	1,16E-01

Coordenadas Pontos		
Pontos	30.000	32.000
P1	0	0
P2	1,166667	1,3125
P3	2,333333	2,63
P4	3,5	3,71875
P5	4,666667	4,8125
P6	5,833333	5,90625
P7	7	7
P8	8,166667	8,09375
P9	9,333333	9,1875
P10	10,5	10,28125
P11	11,66667	11,375
P12	12,83333	12,6875
P13	14	14

Pontos	30.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	3,09E-02	3,76E-05	3,09E-02
P3	5,94E-02	0	5,94E-02
P4	8,36E-02	3,76E-05	8,37E-02
P5	1,02E-01	0	1,02E-01
P6	1,14E-01	3,76E-05	1,14E-01
P7	1,17E-01	0	1,17E-01
P8	1,14E-01	3,76E-05	1,14E-01
P9	1,02E-01	0	1,02E-01
P10	8,36E-02	3,76E-05	8,37E-02
P11	5,94E-02	0	5,94E-02
P12	3,09E-02	3,76E-05	3,09E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

Pontos	32.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	3,43E-02	5,96E-05	3,43E-02
P3	6,53E-02	0	6,53E-02
P4	8,67E-02	2,88E-05	8,67E-02
P5	1,03E-01	0	1,03E-01
P6	1,13E-01	2,88E-05	1,13E-01
P7	1,16E-01	0	1,16E-01
P8	1,13E-01	2,88E-05	1,13E-01
P9	1,03E-01	0	1,03E-01
P10	8,67E-02	2,88E-05	8,67E-02
P11	6,53E-02	0	6,53E-02
P12	3,43E-02	5,96E-05	3,43E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

	30000	32000
Tensão Max Adm.	2,50E+08	2,50E+08
Tensão Flexão Max.	2,46021E+08	2,48507E+08
Momento Torsor Max	3,15158E+04	3,51254E+04
Tensão Torção Max.	1,68395E+06	1,66167E+06
Tensão de Comparação	2,46038E+08	2,48524E+08
Resultado	Ok	Ok

1.10 Comprimento 15m:

P/ L=15
15

	30.000	32.000
Area de Seção (m2)	2,00	2,13
Dens. Diesel (Kg/l)	0,85	0,85
Carga Total (Kgf)	25500	27200
Carga Distr. (Kgf/m)	1700	1813
L1(m)	2,5	2,81
L2(m)	2,5	2,34
L3(m)	2,5	2,34
L4(m)	2,5	2,34
L5(m)	2,5	2,34
L6(m)	2,5	2,81

3,141592	30.000	32.000
Area Seção p/ L=15	2,00	2,13
R1 Max (m)-Legisl	1,300	1,300
R2 Max (m)-Legisl	1,550	1,550
R1 Min (m)	0,411	0,438
R2 Min (m)	0,490	0,522

0,0122	30.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi (X)	Mi (Y)	I(t)
0,450	1,415	7,08E-04	7,30E-05	0,0125
0,500	1,273	5,74E-04	8,98E-05	0,0164
0,550	1,157	4,75E-04	1,08E-04	0,0205
0,600	1,061	3,99E-04	1,29E-04	0,0247
0,650	0,979	3,41E-04	1,51E-04	0,0287
0,700	0,909	2,94E-04	1,75E-04	0,0324
0,750	0,849	2,56E-04	2,00E-04	0,0355
0,800	0,796	2,26E-04	2,28E-04	0,0382
0,850	0,749	2,00E-04	2,57E-04	0,0402
0,900	0,707	1,79E-04	2,88E-04	0,0416
0,950	0,670	1,60E-04	3,21E-04	0,0425
1,000	0,637	1,45E-04	3,55E-04	0,0430
1,050	0,606	1,32E-04	3,91E-04	0,0431
1,100	0,579	1,20E-04	4,29E-04	0,0429
1,150	0,554	1,10E-04	4,69E-04	0,0424
1,200	0,531	1,01E-04	5,10E-04	0,0418
1,250	0,509	9,32E-05	5,53E-04	0,0411
1,300	0,490	8,62E-05	5,98E-04	0,0403

R1/R2
0,3181
0,3927
0,4752
0,5655
0,6637
0,7697
0,8836
1,0053
1,1349
1,2723
1,4176
1,5708
1,7318
1,9007
2,0774
2,2619
2,4544
2,6546

0,0125	32.000			
R1(m)	R2 (m)	Mi(X)	Mi (Y)	I(t)
0,450	1,509	8,45E-04	7,66E-05	0,0130
0,500	1,358	6,85E-04	9,44E-05	0,0171
0,550	1,235	5,67E-04	1,14E-04	0,0215
0,600	1,132	4,77E-04	1,35E-04	0,0260
0,650	1,045	4,07E-04	1,59E-04	0,0305
0,700	0,970	3,51E-04	1,84E-04	0,0348
0,750	0,905	3,06E-04	2,11E-04	0,0385
0,800	0,849	2,69E-04	2,39E-04	0,0417
0,850	0,799	2,39E-04	2,70E-04	0,0442
0,900	0,755	2,13E-04	3,02E-04	0,0461
0,950	0,715	1,91E-04	3,37E-04	0,0474
1,000	0,679	1,73E-04	3,73E-04	0,0482
1,050	0,647	1,57E-04	4,11E-04	0,0486
1,100	0,617	1,43E-04	4,51E-04	0,0486
1,150	0,590	1,31E-04	4,92E-04	0,0483
1,200	0,566	1,21E-04	5,36E-04	0,0478
1,250	0,543	1,11E-04	5,81E-04	0,0471
1,300	0,522	1,03E-04	6,28E-04	0,0463

R1/R2
0,2982
0,3682
0,4455
0,5301
0,6222
0,7216
0,8283
0,9425
1,0640
1,1928
1,3290
1,4726
1,6236
1,7819
1,9475
2,1206
2,3010
2,4887

	30.000	32.000
Espessura	0,0122	0,0125
E	6,90E+10	6,90E+10
R1	1,050	1,100
R2	0,606	0,617
Mi(x)	1,32E-04	1,43E-04
Mi(y)	3,91E-04	4,51E-04
I(t)	0,0431	0,0486
Área Chapa Seção	0,0639	0,0679
Comprimento	15	15
NºDivisórias	7	7
No de Quebra Ondas	5	5
Área Chapa Divisórias	22,00	23,47
Volume Total Chapa	1,2276	1,3123
Densidade Material	2700	2700
Peso Chapeamento	3314,63	3543,17
Peso/Metro Tanque	220,98	236,21
Carg. Distr. Total	1920,98	2049,54
Reações Apoios	14407,32	15371,59
Mom Máx Cent (Kgf.m)	54027,44	57643,45
Flecha Max Carg. Simp	1,40E-01	1,37E-01

Coordenadas Pontos		
Pontos	30.000	32.000
P1	0	0
P2	1,25	1,40625
P3	2,5	2,81
P4	3,75	3,984375
P5	5	5,15625
P6	6,25	6,328125
P7	7,5	7,5
P8	8,75	8,671875
P9	10	9,84375
P10	11,25	11,015625
P11	12,5	12,1875
P12	13,75	13,59375
P13	15	15

Pontos	30.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	3,67E-02	4,47E-05	3,68E-02
P3	7,06E-02	0,00E+00	7,06E-02
P4	9,94E-02	4,47E-05	9,95E-02
P5	1,21E-01	0	1,21E-01
P6	1,35E-01	4,47E-05	1,35E-01
P7	1,40E-01	0	1,40E-01
P8	1,35E-01	4,47E-05	1,35E-01
P9	1,21E-01	0	1,21E-01
P10	9,94E-02	4,47E-05	9,95E-02
P11	7,06E-02	0	7,06E-02
P12	3,67E-02	4,47E-05	3,68E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

Pontos	32.000		
	Flecha Simples	Flecha Local	Flecha Total
P1	0,00E+00	0	0,00E+00
P2	4,03E-02	7,02E-05	4,04E-02
P3	7,68E-02	0	7,68E-02
P4	1,02E-01	3,38E-05	1,02E-01
P5	1,21E-01	0	1,21E-01
P6	1,33E-01	3,38E-05	1,33E-01
P7	1,37E-01	0	1,37E-01
P8	1,33E-01	3,38E-05	1,33E-01
P9	1,21E-01	0	1,21E-01
P10	1,02E-01	3,38E-05	1,02E-01
P11	7,68E-02	0	7,68E-02
P12	4,03E-02	7,02E-05	4,04E-02
P13	0,00E+00	0	0,00E+00

	30000	32000
Tensão Max Adm.	2,50E+08	2,50E+08
Tensão Flexão Max.	2,49048E+08	2,48564E+08
Momento Torsor Max	3,02554E+04	3,38175E+04
Tensão Torção Max.	1,74073E+06	1,71760E+06
Tensão de Comparação	2,49066E+08	2,48582E+08
Resultado	Ok	Ok

Resultados Obtidos das Possíveis Soluções Estudadas

	L	Volume	R1/R2	Espessura de chapa	Kg de Chapa	Tensão de Comparação	Flecha Máxima
	[m]	[l]		[m]		[Pa]	[m]
1	9	30.000	1,593	0,0080	1801,29	2,471E+08	3,70E-02
2	10	30.000	1,636	0,0087	1985,92	2,493E+08	4,93E-02
3	10	32.000	1,659	0,0089	2117,90	2,478E+08	4,77E-02
4	11	30.000	1,800	0,0096	2245,18	2,495E+08	6,56E-02
5	11	32.000	1,687	0,0097	2465,80	2,452E+08	6,05E-02
6	12	30.000	1,810	0,0103	2450,82	2,491E+08	8,16E-02
7	12	32.000	1,841	0,0106	2749,15	2,460E+08	7,88E-02
8	13	30.000	1,800	0,0110	2936,96	2,494E+08	9,96E-02
9	13	32.000	1,838	0,0113	3149,06	2,468E+08	9,64E-02
10	14	30.000	1,774	0,0117	3150,76	2,460E+08	1,17E-01
11	14	32.000	1,818	0,0119	3343,83	2,485E+08	1,16E-01
12	15	30.000	1,732	0,0122	3314,63	2,491E+08	1,40E-01
13	15	32.000	1,782	0,0125	3543,17	2,486E+08	1,37E-01

APÊNDICE 2

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
121		-.64156E-02	.73691E-13			
308		-.24360E-02				
4368		.93513E-02				
4371		.15344E-01				
4372		.91205E-05				
4373		.65171E-04				
4380		.15130E-01				
4383		.94966E-02				
4384		.88424E-05				
4385		.69442E-04				
4392		.42381E-02				
4394		.71927E-02				
4395		.89406E-02				
4396		-.12863E-02				
4397		-.16145E-01				
4398		-.25289E-01				
4399		-.23315E-01				
4400		.15692E-01				
4408		-.88251E-03				
4409		.11214E-01				
4410		-.86630E-02				
4411		-.10413E-01				
4412		-.68102E-02				
4413		.57182E-02				
4414		.13552E-01				
4415		.46163E-02				
4421		.48180E-02				
4422		.11838E-01				
4423		.61540E-02				
4424		-.47183E-02				
4425		-.10006E-01				
4426		-.88388E-02				
4427		.10430E-01				
4435		.17120E-01				
4436		-.22397E-01				
4437		-.27885E-01				
4438		-.18779E-01				

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
------	----	----	----	----	----	----

4439	-.80695E-03
4440	.11493E-01
4441	.68122E-02
4446	.13214E-01
4449	.14490E-01
4450	-.17998E-04
4451	.60356E-04
4456	.32255E-02
4457	.68591E-02
4458	.12883E-01
4459	.50216E-02
4460	-.69212E-02
4461	-.14770E-01
4462	-.13762E-01
4463	.12901E-01
4469	.25016E-02
4471	.14023E-01
4472	-.18859E-01
4473	-.18828E-01
4474	-.97201E-02
4475	.36604E-02
4476	.11197E-01
4477	.67124E-02
4485	.15145E-01
4488	.64466E-02
4489	.13136E-01
4490	.40729E-02
4491	-.11598E-01
4492	-.20957E-01
4493	-.18495E-01
4494	.14686E-01
4499	.12616E-01
4500	.12400E-01
4501	-.13982E-01
4502	-.13209E-01
4503	-.55212E-02
4504	.52125E-02

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
4505		.11165E-01				
4506		.69515E-02				
4516		.19312E-05				
4517		.68421E-04				
4520		.15690E-01				
4523		.14429E-01				
4524		.13045E-03				
4525		.11712E-03				
4530	.13009E-12	.52507E-03				
4531		.48679E-02				
4532		.95407E-02				

4533	.16616E-02
4534	-.12047E-01
4535	-.21311E-01
4536	-.21148E-01
4537	.13500E-01
4546	-.40462E-02
4547	.15024E-01
4548	-.16284E-01
4549	-.18380E-01
4550	-.12081E-01
4551	.41758E-03
4552	.86889E-02
4553	.77277E-03
4559	.15420E-01
4560	.15331E-01
4561	-.20716E-01
4562	-.23643E-01
4563	-.14192E-01
4564	.19359E-02
4565	.11709E-01
4566	.46435E-02
4573	.14693E-01
4574	.60259E-03
4575	.66946E-02
4576	.12093E-02
4577	-.97757E-02

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
4578		-.17047E-01				
4579		-.16619E-01				
4580		.13305E-01				
4590		.10102E-03				
4591		.57001E-04				

TOTAL VALUES

VALUE	.13009E-12	.24410E-12	.73691E-13	.00000	.00000	.00000
-------	------------	------------	------------	--------	--------	--------