

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2015

RIAN FELIPE SOARES DE ALMEIDA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMETA PARAMÉTRICA EM
LINGUAGEM APDL PARA O CÁLCULO DA ESTRUTURA DE UM PÓRTICO
ROLANTE**

RIAN FELIPE SOARES DE ALMEIDA

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMETA PARAMÉTRICA EM
LINGUAGEM APDL PARA O CÁLCULO DA ESTRUTURA DE UM PÓRTICO
ROLANTE

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia do Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista, para a
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica na área de Projetos
e Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

Guaratinguetá
2015

A447d	Almeida, Rian Felipe Soares de Desenvolvimento de uma ferramenta paramétrica em linguagem APDL para o cálculo da estrutura de um pórtico rolante / Rian Felipe S. de Almeida . – Guaratinguetá , 2015 101 f. : il. Bibliografia: f. 82-83 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015 Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva 1. ANSYS (Programa de Computador) 2. APDL(Linguagem de programação de computador) 3. Esteira rolante I. Título CDU 681.3.06
-------	--

RIAN FELIPE SOARES DE ALMEIDA

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

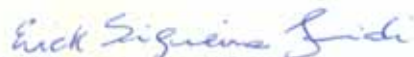
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: PROJETOS**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. FERNANDO DE AZEVEDO SILVA
Orientador / Unesp-Feg


Prof. Dr. ERICK SIQUEIRA GUIDI
Unesp-Feg


Prof. Dr. ROSINEI BATISTA RIBEIRO
FATEA/Lorena

Fevereiro de 2015

DADOS CURRICULARES

RIAN FELIPE SOARES DE ALMEIDA

NASCIMENTO	12.05.1989 – TAUBATÉ / SP
FILIAÇÃO	Carlos Alexandre de Souza Almeida Neusa Maria Soares de Almeida
2007/2010	Curso de Graduação Engenharia Mecânica - Universidade de Taubaté
2013/2015	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

Fevereiro de 2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, o qual é tudo na minha vida.

“ Transportai um punhado de terra todos os dias
e fareis uma montanha.”

Confúcio

ALMEIDA, R. F. S. **Desenvolvimento de uma ferramenta paramétrica em linguagem APDL para o calculo da estrutura de um pórtico rolante.** 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver uma ferramenta paramétrica em linguagem de programação de software ANSYS (linguagem APDL) para se calcular a estrutura de um pórtico rolante de vigas centrais e reduzir o tempo gasto em horas de cálculo. Neste trabalho primeiro são apresentados os principais tipos de equipamentos bem como os próprios pórticos rolantes e para estes últimos descreve quais são seus tipos e quais os componentes compõem sua estrutura. Descreve sobre a parametrização em linguagem APDL, sobre as principais solicitações atuantes que devem ser levadas em consideração durante o dimensionamento da estrutura, de acordo com as especificações da norma NBR8400. Apresenta como foi desenvolvida a ferramenta, quais são suas interfaces com o operador e qual o esquema de operação da mesma. Ao final relata sobre o ganho na economia de tempo ao se utilizar o programa e analisa os resultados, de tensão e deslocamento, obtidos com a simulação de um modelo gerado.

PALAVRAS-CHAVE: Pórtico rolante, Parametrização, Linguagem APDL, ANSYS, Equipamento de levantamento.

ALMEIDA, R. F. S. **Development a parametric tool in APDL language to calculate the structure of a gantry crane.** 101 f. Dissertation (Master's degree in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

This dissertation aims to develop a parametric tool in ANSYS software programming language (APDL language) to calculate the structure of a gantry crane of central beams and reduce the time spent in hours of calculation. This paper first presents the main types of equipment as well as the own gantry cranes, and for this latter describes what are their types and what components make up its structure. Describes about the parameterization in APDL language, about the main solicitations that should be taken into consideration during the dimensioning of the structure, according to the specifications of the standard NBR8400. Present show it was developed the tool, what are their interfaces with the operator and how it works. At the end relates about gaining in saving time when using the program and analyzes the results, of tension and displacement, obtained with the simulation of a generated model.

KEYWORDS: Gantry crane, Parameterization; APDL language; ANSYS, Equipment lifting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pórtico rolante.....	14
Figura 2 – Monovia reta.....	22
Figura 3 – Monovia curva.....	23
Figura 4 – Guindastes portuários.....	24
Figura 5 – Guindastes de coluna e de parede.....	24
Figura 6 – Guindaste articulado (Munck).....	25
Figura 7 – Ponte rolante tipo uni viga.....	26
Figura 8 – Ponte rolante tipo dupla viga.....	27
Figura 9 – Pórtico rolante tipo uni viga.....	28
Figura 10 – Pórtico rolante tipo dupla viga.....	28
Figura 11 – Semipórtico rolante.....	29
Figura 12 – Viga principal.....	30
Figura 13 – Viga de fechamento.....	31
Figura 14 – Pernas.....	32
Figura 15 – Vigas de ligação.....	33
Figura 16 – Distância entre faces.....	42
Figura 17 – Esquema de operação.....	46
Figura 18 – Organograma detalhado.....	47
Figura 19 – Dados de entrada do programa paramétrico.....	48
Figura 20 – Comandos para importar arquivo do ANSYS.....	49
Figura 21 – <i>Prompt</i> de comando do software ANSYS.....	49
Figura 22 – Principais dimensões do pórtico rolante.....	50
Figura 23 – Seção da viga principal.....	52
Figura 24 – Seção da viga de ligação.....	52
Figura 25 – Seção das vigas de fechamento.....	53
Figura 26 – Seção do 1º tramo da perna direita.....	54
Figura 27 – Seção do 1º tramo da perna esquerda.....	54
Figura 28 – Dados de entrada do programa paramétrico na extensão “txt”.....	55
Figura 29 – Terceiro bloco de dados de entrada do programa paramétrico.....	57
Figura 30 – Croqui reação nas rodas do carro trole.....	58
Figura 31 – Modelo “1” de um pórtico rolante.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 32 – Modelo “2” de um pórtico rolante.....	63
Figura 33 – Modelo “3” de um pórtico rolante.....	64
Figura 34 – Modelo “4” de um pórtico rolante.....	64
Figura 35 – Seleção carregamento – Caso I.....	65
Figura 36 – Seleção carregamento – Caso II.....	66
Figura 37 – Seleção carregamento – Caso III.....	66
Figura 38 – Aplicação das cargas e posição do carro para o caso I, combinação 1.....	67
Figura 39 – Deslocamento na direção do eixo Y para o caso I, combinação 1.....	68
Figura 40 – Tensão de cisalhamento máximo para o caso I, combinação 1.....	68
Figura 41 – Tensão normal máximo para o caso I, combinação 1.....	69
Figura 42 – Região da tensão normal máximo para o caso I, combinação 1.....	69
Figura 43 – Tensão von Mises para o caso I, combinação 1.....	70
Figura 44 – Ponto da tensão máxima de von Mises para o caso I, combinação 1.....	70
Figura 45 – Deslocamento na direção do eixo Y para o caso II, combinação 4.....	71
Figura 46 – Tensão de cisalhamento máximo para o caso II, combinação 4.....	72
Figura 47 – Tensão normal máximo para o caso II, combinação 4.....	72
Figura 48 – Região da tensão normal máximo para o caso II, combinação 4.....	73
Figura 49 – Tensão von Mises para o caso II, combinação 4.....	73
Figura 50 – Ponto da tensão máxima de von Mises para o caso II, combinação 4.....	74
Figura 51 – Aplicação das cargas e posição do carro para o caso III, combinação 3.....	75
Figura 52 – Deslocamento na direção do eixo Y para o caso III, combinação 3.....	76
Figura 53 – Tensão de cisalhamento máximo para o caso III, combinação 3.....	76
Figura 54 – Tensão normal para o caso III, combinação 3.....	77
Figura 55 – Região da tensão normal máximo para o caso III, combinação 3.....	77
Figura 56 – Tensão von Mises para o caso III, combinação 3.....	78
Figura 57 – Ponto da tensão máxima de von Mises para o caso III, combinação 3.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de utilização.....	37
Tabela 2 - Estados de carga.....	38
Tabela 3 - Classificação da estrutura do equipamento em grupos.....	38
Tabela 4 - Valores do coeficiente dinâmico.....	39
Tabela 5 - Valores da pressão aerodinâmica.....	40
Tabela 6 - Valores de coeficiente aerodinâmico.....	41
Tabela 7 - Valores do coeficiente de redução.....	42
Tabela 8 - Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais	44
Tabela 9 - Valores do coeficiente de majoração para equipamento utilizados na siderurgia classificados como grupo 6.....	45
Tabela 10 - Resistência estática do aço ASTM A-36.....	61
Tabela 11 - Coeficiente de segurança.....	61
Tabela 12 - Tensões admissíveis.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APDL	ANSYS <i>Parametric Design Language</i>
NBR	Norma Brasileira Registrada
N/m ²	Newton por metro quadrado
kN	kilo Newton
N	Newton
m ²	metro quadrado
MPa	Mega Pascal

LISTA DE SÍMBOLOS

S_G	Solicitações devidas ao peso próprio da estrutura
S_L	Solicitações devidas à carga de serviço
Ψ	Coeficiente dinâmico
F_w	Força do vento sobre uma viga
C	Coeficiente aerodinâmico da viga
A	Projeção da área da viga
P_a	Pressão aerodinâmica
Φ	Coeficiente de redução
A_r	Área real da viga exposta ao vento
A_t	Área total da viga exposta ao vento
B	Distância entre faces da viga(s)
H	Altura da viga
S_H	Solicitações horizontais
M_X	Coeficiente de majoração
$S_{CASO I}$	Solicitação do caso I
S_W	Solicitação devida ao vento limite de serviço
$S_{CASO II}$	Solicitação do caso II
$S_{WMÁX}$	Solicitação devida ao vento máximo
$S_{CASO III}$	Solicitação do caso III
ρ^I	Coeficiente de majoração para ensaio dinâmico
ρ^2	Coeficiente de majoração para ensaio estático
V_{pr}	Vão do pórtico rolante
V_{ct}	Vão do carro do trole
H_{pr}	Altura do pórtico rolante
DR_{pr}	Distância entre rodas do pórtico rolante
DR_{ct}	Distância entre rodas do carro trole
D_{pz}	Distância entre pernas na direção “Z”
D_{pg}	Distância entre a LC da perna e a LC do gancho
D_{grct}	Distância entre a LC do gancho e a tração do carro
Z_t	Distância entre a LC do trilho e a LC da viga principal

LISTA DE SÍMBOLOS

Yt	Distância entre o topo do trilho e a LC da viga principal
NTp	Número de tramos da perna
hpd1	Altura da seção do 1º tramo da perna direita (na cabeceira)
hpdi	Altura da seção do último tramo da perna direita
hpe1	Altura do 1º tramo da perna esquerda (na cabeceira)
hpei	Altura da seção do último tramo da perna esquerda
hvp	Altura da seção da viga principal
bvp	Largura da seção da viga principal
tuvp	Espessura da aba superior da viga principal
tdvp	Espessura da aba inferior da viga principal
tivp	Espessura da alma interna da viga principal
tevp	Espessura da alma externa da principal da viga principal
hvl	Altura da seção da viga de ligação
bvl	Largura da seção da viga de ligação
tavl	Espessura da aba inferior da viga de ligação
tbvl	Espessura da aba superior da viga principal
tcvl	Espessuras da 1ª alma da viga de ligação
tdvl	Espessuras da 2ª alma da viga de ligação
hvf	Altura da seção da viga de fechamento
bvf	Largura da seção da viga de fechamento
tavf	Espessura da aba inferior da viga de fechamento
tbvf	Espessura da aba superior da viga de fechamento
tcvf	Espessura da 1ª alma da viga de fechamento
tdvf	Espessuras da 2ª alma da viga de fechamento
hpd	Altura da seção da perna direita
bpd	Largura da seção da perna direita
tfpd	Espessuras da 1ª alma da perna direita
tbpd	Espessuras da 2ª alma da perna direita
trpd	Espessura da 1ª aba da perna direita
tlpd	Espessura da 2ª aba da perna direita
hpe	Altura da seção da perna esquerda

LISTA DE SÍMBOLOS

bpe	Largura da seção da perna esquerda
tfpe	Espessuras da 1ª alma da perna esquerda
tbpe	Espessuras da 2ª alma da perna esquerda
trpe	Espessura da 1ª aba da perna esquerda
tlpe	Espessura da 2ª aba da perna esquerda
Sgpr	Peso aproximado da estrutura pórtico rolante
Sgct	Peso do carro trole sem moitão e cabo de aço
Sgm	Peso do moitão
Sgca	Peso do cabo de aço
Sgpel	Peso do painel elétrico
Fs	Carga de serviço
NRpr	Número de rodas do pórtico
NRct	Número de rodas do carro
Ψ_v	Coeficiente dinâmico vertical
Ψ_h	Coeficiente dinâmico horizontal
Mx	Coeficiente de majoração
bpx	Largura média da perna na direção "X"
bpz	Largura média da perna na direção "Z"
apr	Aceleração do pórtico
act	Aceleração do carro
g	Aceleração da gravidade
PVs	Pressão do vento limite de serviço
PVm	Pressão do vento máximo
Cvp	Coeficiente aerodinâmico da viga principal
CFs	Coeficiente aerodinâmico da carga
Cct	Coeficiente aerodinâmico do carro trole
Cvf	Coeficiente aerodinâmico da viga de fechamento
Cvl	Coeficiente aerodinâmico da viga de ligação (cabeceira)
Cpx	Coeficiente aerodinâmico da perna na direção "X"
Cpz	Coeficiente aerodinâmico da perna na direção "Z"
Cpelx	Coeficiente aerodinâmico do painel elétrico, direção "X"

LISTA DE SÍMBOLOS

C_{pelz}	Coefficiente aerodinâmico do painel elétrico, direção "Z"
A_{ctx}	Área de projeção do carro na direção "X"
A_{ctz}	Área de projeção do carro na direção "Z"
A_{Fsx}	Área de projeção do carga na direção "X"
A_{Fsz}	Área de projeção do carga na direção "Z"
A_{pelx}	Área de projeção do painel elétrico na direção "X"
A_{pelz}	Área de projeção do painel elétrico na direção "Z"
F_{1yf}	Reação na roda movida do carro devido ao peso próprio do carro trole
M_{1xf}	Momento de torção na viga principal devido a F_{1yf}
F_{1yt}	Reação na roda motora do carro devido ao peso próprio do carro trole
M_{1xt}	Momento de torção na viga principal devido a F_{1yt}
F_{2yf}	Reação na roda movida do carro devido ao peso da carga, do moitão e do cabo de aço
M_{2xf}	Momento de torção na viga principal devido a F_{2yf}
F_{2yt}	Reação na roda motora do carro devido ao peso da carga, do moitão e do cabo de aço
M_{2xt}	Momento de torção na viga principal devido a F_{2yt}
F_{3zf}	Solicitação horiz. na roda movida do carro devida a aceleração na direção eixo "Z"
M_{3xf}	Momento de torção na viga principal devido a F_{3zf}
F_{3zt}	Solicitação horiz. na roda movida do carro devida a aceleração na direção eixo "Z"
M_{3xt}	Momento de torção na viga principal devido a F_{3zt}
P_{zvpe}	Pressão do vento na direção "Z" sobre a viga principal exposta
P_{zvpp}	Pressão do vento na direção "Z" sobre a viga principal protegida
P_{zpe}	Pressão do vento na direção "Z" sobre a perna exposta
P_{zpp}	Pressão do vento na direção "Z" sobre a perna protegida
F_{zpel}	Força que o vento na direção "Z" exerce sobre o painel elétrico
F_{4yf}	Reação na roda movida do carro devido a carga de teste estático
M_{4xf}	Momento de torção na viga principal devido a F_{4yf}
F_{4yt}	Reação na roda motora do carro devido a carga de teste estático
M_{4xt}	Momento de torção na viga principal devido a F_{4yt}
σ_{esc}	Tensão limite de escoamento do material
σ_{rup}	Tensão limite de ruptura do material

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.2	OBJETIVOS	16
1.3	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	16
1.4	ESTADO DA ARTE	17
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	EQUIPAMENTOS DE LEVANTAMENTO	22
2.1.1	Monovias	22
2.1.2	Guindastes giratórios	23
2.1.3	Guindastes articulados	25
2.1.4	Pontes rolantes	26
2.1.5	Pórticos rolantes	27
2.1.5.1	Componentes do Pórtico Rolante	29
2.1.5.1.1	Viga principal	29
2.1.5.1.2	Vigas de fechamento	31
2.1.5.1.3	Pernas	32
2.1.5.1.4	Vigas de ligação	33
2.2	PARAMETRIZAÇÃO EM LINGUAGEM APDL	34
2.3	CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DOS EQUIPAMENTOS DE LEVANTAMENTO	37
2.4	PRINCIPAIS SOLICITAÇÕES QUE INFLUENCIAM NO CÁLCULO DA ESTRUTURA DO PÓRTICO	39
2.5	CASOS DE SOLICITAÇÃO	42
2.5.1	Caso de solicitação I: Serviço normal sem vento	42
2.5.2	Caso de solicitação II: Serviço normal com vento limite de serviço	43
2.5.3	Caso de solicitação III: Equipo submetido a solicitações excepcionais	43
2.6	COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO (Mx)	45
3	METODOLOGIA	46
3.1	ORGANOGRAMA DO PROGRAMA PARAMÉTRICO	46
3.2	DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA PARAMÉTRICO	48

3.2.1	Definição das dimensões principais da estrutura.....	50
3.2.2	Dados de entrada para definição das seções das vigas e pernas.....	51
3.2.3	Dados de entrada para definição das solicitações atuantes.....	56
3.2.4	Solicitações atuantes.....	58
3.3	MATERIAL UTILIZADO.E TENSÕES ADMISSÍVEIS.....	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	RESULTADOS DA PARAMETRIZAÇÃO.....	62
4.2	TENSÕES E DESLOCAMENTOS.....	67
4.2.1	Caso I e combinação de carregamento 1.....	67
4.2.2	Caso II e combinação de carregamento 4.....	71
4.2.3	Caso III e combinação de carregamento 3.....	75
5	CONCLUSÕES	80
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
	REFERÊNCIA	82
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	84
	APÊNDICE.A.- Programa paramétrico	85

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Os pórticos rolantes, segundo SOUBE (2005) surgiram no início do século XIX, após o desenvolvimento das máquinas a vapor, dos motores de combustão interna e dos motores elétricos. Conforme STAHL (2014) o primeiro grande pórtico rolante elétrico com capacidade de 12,5 toneladas possuía um vão livre de 11,5 metros e foi produzido em 1898.

Hoje em dia os pórticos (Figura 1) estão dentre os equipamentos de levantamento mais utilizados, em locais como, por exemplo, pátios de chapas, zonas de armazenamento de contêineres, materiais de estoque em fábricas, áreas de carga e descarga nos quais não é viável a construção de estruturas, como pilares, para a sustentação do caminho de rolamento de uma ponte rolante, pois isto iria restringir a manobra destes produtos (chapas, contêineres, etc) através de outros equipamentos como: empilhadeiras e guindastes e a movimentação de veículos como caminhões e carretas. Já com a utilização dos pórticos rolantes não se tem estes problemas, por possuírem sua própria estrutura de sustentação (pernas) os pórticos não necessitam de caminho de rolamento aéreo, seus trilhos ficam embutidos no piso, o que proporciona uma área de trabalho sem obstáculos além de permitir sua locomoção para outra instalação futura.

Figura 1 – Pórtico rolante.



Fonte: (www.demagcranes.com.br/cms/site/br/page102077.html, Acesso em: 24-04-2014).

Pequenos galpões e propriedades alugadas, hoje são a casa de muitas empresas de médio e pequeno porte. Estes prédios não são projetados para suportar cargas dinâmicas impostas por uma ponte rolante [MOLLYN, 2014].

A proposta deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta de cálculo parametrizada utilizando a linguagem de programação do software comercial ANSYS, para se reduzir as horas empregadas no cálculo da estrutura de um pórtico rolante e com isso poder redirecionar uma fração destas horas ganhas, para estudos de otimização de massa, na estrutura em questão.

Conforme LOPES (2002) para a elaboração de um programa paramétrico além de um bom conhecimento técnico de elementos finitos, métodos numéricos de otimização e um grande conhecimento sobre o programa de análise em elementos finitos a ser utilizado deve-se conhecer muito bem o produto a ser parametrizado e otimizado, pois não deve haver dúvidas na seleção das condições de contorno e dos parâmetros que irão ser variáveis.

Neste programa alguns dos parâmetros variáveis são: a altura do pórtico, a distância entre as pernas do mesmo lado, a distância entre as rodas (vão do pórtico), as espessuras, alturas e larguras das seções das pernas, das cabeceiras, das vigas de ligação e da viga principal, o número de tramo nas pernas, a distância entre rodas do carro guincho e dentre outros parâmetros que são abordados nos próximos capítulos. A otimização consiste basicamente em conseguir-se a estrutura mais leve que atenda aos critérios de tensão e deformação admissíveis, por meio da melhor combinação de espessura, largura e altura das seções anteriormente citadas. Para encontrar ou aproximar-se desta combinação demanda-se muitas horas de cálculo, contudo este tempo é reduzido com a utilização desta ferramenta parametrizada.

Para MOAVENI (1999) quando se está otimizando um projeto não se pode pensar unilateralmente, pois a otimização de projetos é sempre baseada em critérios como custo de energia, dimensões, peso, confiança, ruído ou desempenho. E outro fato que se deve ter em mente é que ao otimizar um componente de um sistema não significa obrigatoriamente que se está otimizando o sistema, pode-se estar indo para o caminho contrário, pois para se garantir a otimização de determinado equipamento não se pode, analisar suas partes separadamente, pois um ganho ilusório que se alcança com determinado componente, quando analisado isoladamente, pode desencadear, por exemplo, a necessidade de alterações custosas: no processo de fabricação, com o emprego de tratamentos térmicos e com a utilização de ligas especiais em outros componentes deste mesmo sistema, uma vez que estes últimos, em alguns casos, poderão passarem a ser mais solicitados.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver uma ferramenta parametrizada em linguagem APDL (*ANSYS Parametric Design Language*) para o dimensionamento da estrutura de um pórtico rolante de vigas centrais, com a finalidade de se reduzir o tempo gasto com horas de cálculo e de se otimizar a quantidade de recursos na construção do equipamento, respeitando os limites admissíveis de tensões e deformações pré-estabelecidos.

E como objetivo secundário este trabalho pretende demonstrar mais uma aplicação prática e eficaz do software ANSYS na engenharia e consequentemente da parametrização em linguagem APDL.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Esta dissertação é importante para a Faculdade, pois demonstra a aplicação prática de diversas disciplinas abordadas em um curso de graduação, como também, apresenta como são dimensionados os equipamentos dentro de uma indústria, quais são as ferramentas utilizadas, os critérios e as considerações de cálculo adotadas, podendo assim despertar o interesse de jovens estudantes e de outras pessoas que anseiam conhecer melhor este tipo de equipamento de levantamento.

Os pórticos são equipamentos de grande responsabilidade e para o dimensionamento de sua estrutura deve-se levar em consideração a ação de todos os esforços sobre a mesma (solicitações devido ao peso próprio, devida a acessórios, devido a solicitações horizontais que surgem durante a aceleração de partida ou durante a desaceleração de frenagem, ou através de choques nos batentes fins de curso e pára-choques, devido a solicitações verticais como choques durante o içamento, ou durante a translação, solicitações devido aos ensaios obrigatórios para todos os equipamentos de levantamento, solicitações originária de efeitos climáticos como a ação do vento sobre a estrutura) e a combinação destes, durante a operação do equipamento, o que demanda muitas horas de cálculo quando executados analiticamente.

Para se reduzir as horas de cálculo e consequentemente o tempo para o desenvolvimento do projeto emprega-se o auxílio de ferramentas de cálculo computacionais e dentre as mais utilizadas tem-se o software ANSYS.

Porém para se realizar cálculos com o auxílio do ANSYS ou de outro programa de elementos finitos é necessário que o usuário tenha um conhecimento específico e aprofundado

sobre o software para poder-se fazer a modelagem e as simulações do problema a ser analisado.

O desenvolvimento de um modelo em ANSYS envolve as seguintes etapas: modelagem da geometria do equipamento ou produto, escolha do tipo de elemento a ser empregado, definição do material com suas propriedades, aplicação da malha de elementos, definição das condições de contorno, carregamento e solução do problema para em seguida os valores obtidos serem analisados.

Durante a análise se for necessário realizar alguma modificação no modelo, como é de se esperar, todas as etapas, acima citadas, necessitem ser reproduzidas novamente. Segundo PAPPALARDO, (2010) este tipo de procedimento envolve um alto custo operacional, principalmente se o modelo apresenta uma geometria complexa ou um grande número de adaptações para uma solução viável tecnicamente. Portanto para se alcançar um desempenho durante a atividade realizada é altamente proveitoso se criar um programa paramétrico que contenha todas as variáveis possíveis do sistema, pois isto reduzirá estes custos com horas de modelação no software.

Alterando-se somente os dados de entrada do programa consegue-se variar a geometria, suas dimensões, tipos de carregamentos, condições de contorno e outras variáveis criadas no paramétrico, além de proporcionar ao usuário desta ferramenta uma interface amigável que não exige conhecimentos avançados sobre o software utilizado, possibilitando assim, desprender mais tempo para análise dos resultados e otimização da estrutura.

1.4 ESTADO DA ARTE

MENG, W. et al. (2013), neste artigo os autores utilizaram simulações com elementos finitos para descobrirem qual parte de uma ponte rolante está mais suscetível a falhas quando sujeita a uma condição de trabalho extrema. Um paramétrico em linguagem APDL foi utilizado para modelar a estrutura, na viga tipo caixão foi utilizado o elemento tipo casca (*shell 63*) e nas vigas cabeceiras foi utilizado o elemento tipo viga (*beam 189*). Por meio do software ANSYS as grandezas e localizações das tensões máximas e deformações foram obtidas e observou-se que nos pontos críticos, embora altas as tensões, estas não ultrapassam os limites de escoamento. Os autores relatam que devido à complexidade da viga tipo caixão da ponte, a função que relaciona tensão e as variações de projeto, não é linear, portanto em busca de definirem uma equação que melhor representa-se esta relação, modelos experimentais e

simulações com elementos finitos foram utilizados e uma coleta de dados de diferentes amostras foi feita. Após os estudos e experimentos os autores puderam definir a equação que melhor relaciona as características dimensionais e propriedades da estrutura com as tensões que nela surgem, definiram a precisão numérica da confiabilidade da estrutura analisada, além de conseguirem otimizar os custos com projeto e tempo de cálculo.

PATEL, P.R.; PATEL, V.K. (2013), neste artigo vários tipos de simulações com elementos finitos para a validação da viga principal de uma ponte rolante são descritas pelos autores. Eles trazem uma revisão literária de diversos outros trabalhos, descrevendo quais foram os métodos utilizados por estes outros autores para esta validação, utilizando elementos finitos. No primeiro trabalho utilizou-se elemento tipo casca e o software Cosmos para analisar as tensões e deformações na viga. No segundo descrevem que foi empregado um novo método de análise por E.F., melhor que o tradicional, onde a modelação da ponte é executada no Inventor e a simulação dos esforços e tensões é realizada no *ANSYS Workbench*. Outros trabalhos utilizaram elemento tipo viga e casca e outros descrevem terem feito também a análise da resistência a fadiga da estrutura da ponte quando sujeita a cargas dinâmicas. Neste artigo os autores concluíram que a análise da estrutura com o auxílio do MEF é uma ferramenta essencial para ajudar a descobrir e solucionar problemas e é de fácil e rápida manipulação quando bem treinados os usuários, que utilizam esta ferramenta.

BERGALEY, A.; PUROHIT, A. (2013), descrevem em seu artigo a análise que fizeram com o gancho de içamento de um equipamento de levantamento, utilizando EF. Para o estudo, um gancho comercial escolhido ao acaso foi testado em laboratório e seu ponto de escoamento e sua seção mais crítica foram determinados. Utilizando o software *Solidworks 2012*, um gancho com as mesmas dimensões e material, do gancho ensaiado, foi modelado e posteriormente para a validação do modelo, os valores obtidos com a simulação em EF foram comparados com os do cálculo analítico. A fim de se otimizar o gancho algumas dimensões da seção crítica foram escolhidas para serem alteradas, a largura interna e externa do gancho separadamente e depois ambas juntas, formando três grupos. Para cada um destes grupos foram anotados os valores de massa, tensão e deformação do gancho. Os autores concluíram que a seção do gancho com perfil trapezoidal concentra menos tensão que a triangular e que para cada um dos grupos foi possível se determinar uma opção que fosse a mais adequada em termos de: maior diminuição da tensão e deformação com um aumento pouco significativo de massa.

PAPPALARDO, A.; RAIA, F.; PAULETTI, R.M.O., (2010), trata da aplicação da ferramenta ANSYS, associada à linguagem de projeto paramétrica APDL, para auxiliar nos ensinamentos de cursos de Engenharia. O objeto de estudo é um problema de termodinâmica: O controle da geração interna de calor no concreto durante a construção de estruturas como canais de irrigação, blocos de fundação, barragens e tomadas d'água. Para fazer a análise foi criado um paramétrico de um modelo de bloco de concreto sobre uma fundação rochosa, com o objetivo de se controlar a temperatura gerada durante o processo de hidratação do cimento variando os parâmetros pré-estabelecidos, como redução da camada de concreto, adição de determinado material, variação no consumo de cimento e diminuição da temperatura do concreto seco. Neste artigo é demonstrado uma das aplicações da parametrização e a sua agilidade para criar novas situações de contorno ao sistema em análise facilitando a tomada de decisões para a solução do problema.

HAN, D.S. et al, (2010), apresenta o dimensionamento da estrutura de um equipamento de levantamento em uma plataforma marítima (um guindaste) o qual está sujeito ao carregamento de consideráveis esforços externos. Para validação da estrutura em análise foi considerada a combinação destes esforços, tais como: peso próprio do conjunto, carga máxima de levantamento na condição mais desfavorável, (içamento da carga no raio máximo de atuação do guindaste), pressão do vento sobre as áreas de projeção da estrutura e inclinação máxima da plataforma no mar. Para determinar a pressão do vento utilizou-se um software de volumes finitos (*Fluent*) e para analisar as tensões e as deformações na estrutura utilizou-se outro software de elementos finitos (*NASTRAN*). Em suas conclusões os autores destacaram ser de grande importância se conhecer o ambiente de trabalho ao qual o equipamento está sujeito, pois para cada um se tem uma circunstância distinta e consequente uma condição de cálculo diferente.

VAZ, J.C. (2010), em sua dissertação desenvolve uma ferramenta computacional, com a finalidade de agilizar e automatizar o cálculo da estrutura de pórticos rolantes; Vaz menciona que optou por desenvolver a ferramenta em Excel, por se tratar de um programa de fácil acesso e de larga escala de utilização e aceitação. Em seu programa são inseridos, pelos usuários, dados de entrada e através de métodos de cálculo analíticos são dimensionadas as diversas seções de um pórtico rolante. Para validar seu programa primeiramente foi feita uma simulação em ANSYS e posteriormente comparado os resultados. Em sua conclusão Vaz cita que o cálculo com a ferramenta desenvolvida no Excel é de mais fácil operação e menos

sujeito a erros humanos do que o cálculo em ambiente ANSYS, embora informe que a ferramenta desenvolvida permita que se realize um cálculo aproximado da estrutura, ou seja, o anteprojeto de um pórtico rolante, pois ao se comparar os valores obtidos pelo Excel como os obtidos no ANSYS, nota-se certa diferença, isto devido à ferramenta desenvolvida não levar em consideração as deformações e deslocamentos em algumas partes da estrutura do equipamento em questão.

CHUNYUE, L.; ZONGYAN W. (2010), descrevem sobre a tecnologia de projetar rapidamente um produto, no caso um pórtico rolante. Essa rapidez consiste em utilizar um projeto que já deu certo e por meio de experiência e conhecimento agregados, melhorar a eficiência. Segundo eles aproximadamente 60% a 70% dos novos produtos são desenvolvidos através da modificação de produtos já desenvolvidos. O objetivo deste estudo foi o de desenvolver um programa reunindo os projetos de vários pórticos já fabricados, formando uma base de dados que servirá de analogia para os próximos projetos. Toda a experiência e conhecimento que se utiliza durante o desenvolvimento do novo pórtico é formulado e alimenta o banco de dados. Um modelo paramétrico 3D do equipamento é gerado e concluído no *Solidworks*. A base de dados com as dimensões principais do pórtico foi desenvolvida no *Microsoft Access* com ferramentas do *Visual Basic 6.0*. Concluíram que a ferramenta criada proporciona uma rápida adequação no projeto para qualquer modificação que ocorra, isto devido ao conhecimento e a experiência com pórticos que foi agregado na base de dados e conseqüentemente no programa paramétrico, porém esta parametrização não se aplica a produtos mecânicos complexos e sim em produtos seriados e padronizados como os pórticos.

WU, J.J. (2006), descreve sobre um modelo reduzido de um pórtico rolante, criado em laboratório em escala 1:10 com o objetivo de viabilizar um modelo matemático desenvolvido pelo método de elementos finitos, para se prever as características dinâmicas do equipamento em questão. Para se conseguir coletar os dados de frequência natural utilizaram-se dois tipos de acoplamentos para ligação da célula de carga a estrutura testada. Durante a comparação dos dados computacionais (obtidos no experimento) com os valores obtidos pelo modelo matemático constatou-se uma percentagem de diferença não aceitável, entre os dois valores. Então, após a análise concluiu-se que as condições de apoio assumidas no modelo matemático e o tipo de conexão, entre a célula de carga e a estrutura testada estavam ocasionando este erro e então, após modificar o modelo matemático e o tipo de conexão conseguiu se aproximar os valores.

NBR 8400 (1984), apresentada às diretrizes básicas para o cálculo das partes estruturais e componentes mecânicos dos equipamentos de levantamento e movimentação de cargas, independentemente do grau de complexidade ou do tipo de serviço do equipamento, estabelece classificações para as estruturas e para os mecanismos do equipamento, determina as solicitações e as combinações destas solicitações que devem ser levadas em consideração durante o dimensionamento das partes estruturais e mecânicas, determina as condições de resistência destes diversos componentes, em relação às solicitações consideradas, estabelece as condições de estabilidade a serem observadas, define critérios para escolhas dos aços a serem utilizados, tipos de ensaios a serem executados e tipos de verificações de cálculo a serem realizadas e dentre outros.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos sendo o primeiro a Introdução, o segundo Revisão Bibliográfica, o terceiro Metodologia, o quarto Resultados e Discussão e por fim o quinto Conclusões.

O capítulo introdutório: aborda um pouco sobre as vantagens dos pórticos rolantes, relata sobre a proposta do trabalho (desenvolvimento de uma ferramenta paramétrica), relata sobre o que se anseia alcançar com ela e apresenta um resumo dos principais artigos relacionados ao objeto de estudo.

No capítulo Revisão Bibliográfica é feita uma abordagem resumida das principais teorias que subsidiaram a dissertação, encontradas em livros, periódicos, sites e normas. Como a apresentação dos principais tipos de equipamentos de levantamento, as principais partes da estrutura dos pórticos rolantes, descreve um pouco sobre a parametrização em linguagem APDL e apresenta algumas considerações da norma NBR 8400.

Em Metodologia se disserta sobre os principais dados do projeto, métodos e considerações de cálculo e também sobre o modelo de elementos finitos utilizado e as condições de contorno utilizadas no software ANSYS.

Em Resultados e Discussão todos os valores de tensões e deformações obtidos são analisados e comparados com os valores admissíveis.

No quinto capítulo então é apresentada a conclusão e os comentários sobre os resultados finais obtidos e ainda neste se fala sobre as sugestões para trabalho futuros, que poderão dar continuidade a este estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EQUIPAMENTOS DE LEVANTAMENTO

Diversos são os tipos de equipamentos de levantamento e a escolha por um deles está limitada a aplicação para a qual será empregado. Faremos aqui um breve apanhado dos principais modelos existentes.

2.1.1 Monovias

São equipamentos simples, utilizados para a elevação de cargas e sua movimentação em apenas um único sentido, portanto sua instalação deverá ser em uma posição estratégica. As monovias são constituídas de um perfil tipo “I” ou “W” em que se instala o conjunto talha e trole responsáveis pela elevação e translação da carga, respectivamente (Figura 2). Estes trilhos ficam suspensos e fixados em pórticos estáticos ou em turco, também chamados de forcas, que podem ser de aço ou concreto. A fixação do trilho da monovia em estrutura de aço pode ser por meio de juntas aparafusadas ou uniões soldadas, já em estruturas de concreto esta fixação se dá através de um conjunto de chapas e tirantes, ligado a monovia, que envolvem a viga de concreto garantido a sustentação deste equipamento.

Figura 2 – Monovia reta.



Fonte: (http://www.mollyn.com.br/Monovia_reta.html, Acesso em: 17-04-2014).

Em outros casos esta montagem, em vigas de concreto, pode ser também por meio da soldagem do perfil tipo “I” em chapas de espera (presas na ferragem) normalmente deixadas na parte inferior destas estruturas de concreto.

Normalmente o ponto de carga e descarga do equipamento / material e o local onde este será instalado ou armazenado estão alinhados permitindo que a talha atenda a estes dois ou mais pontos. Em alguns casos especiais também se aplica as monovias tipo curvas (Figura 3) cujo raio de curvatura é determinado de acordo com as necessidades do local dentro dos parâmetros admissíveis.

Figura 3 – Monovia curva.



Fonte: (http://www.mollyn.com.br/images/monovia_curva_3.jpg), Acesso em: 17-04-2014).

2.1.2 Guindastes giratórios

Em alguns casos chamados de guias em outros de “pau de carga” (quando utilizado em navios), eles são utilizados para carga e descarga de equipamentos, containeres e materiais diversos. São empregados em inúmeros locais para as mais diversas aplicações, como em terminais portuários (Figura 4) e aeroportuários em construções civis, em indústrias e até mesmo em pequenas instalações.

Os mais comuns deles podem ser de coluna ou de parede ambos com sistema de sustentação tipo tirante ou mangote; Segundo o fabricante **Stahl, 2014** os guindastes de

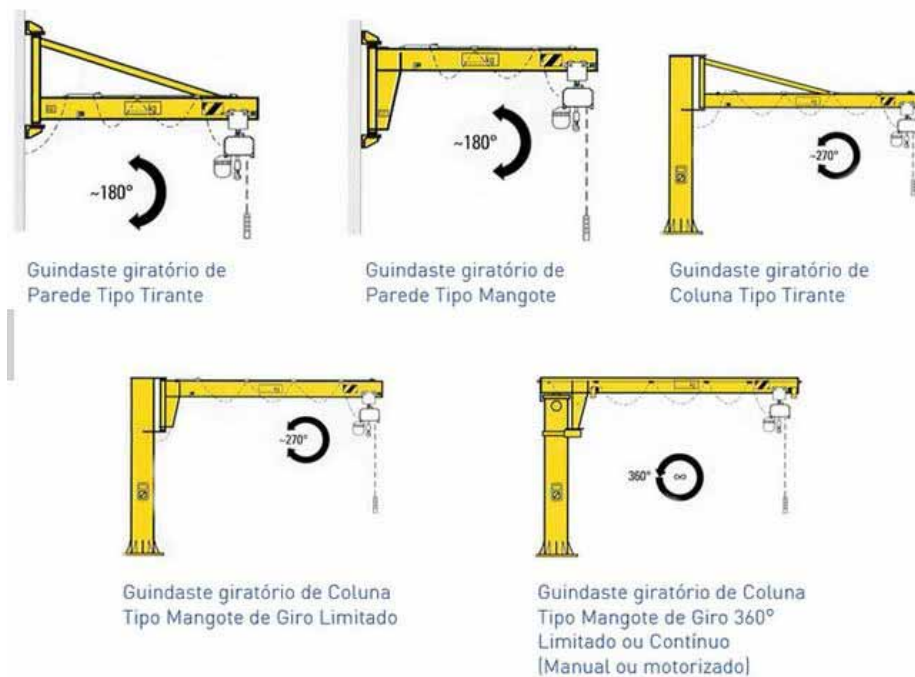
parede possuem limitação de giro em 180° e os guindastes de coluna possuem limitação de 270° e 360° conforme Figura 5.

Figura 4 – Guindastes portuários.



Fonte: (<http://www.conexaomaritima.com.br/index.php?option=noticias&task=detalhe&Itemid=22&id=6602>, Acesso em: 17-04-2014).

Figura 5 – Guindastes de coluna e de parede.



Fonte: (<http://www.stahl-talhas.com.br/guindastes-giratorios.php> Acesso em: 17-04-2014).

2.1.3 Guindastes articulados

Também chamados de “munck”, são normalmente instalados sobre o chassi de caminhões, possuem acionamento hidráulico e com no mínimo quatro graus de liberdade são utilizados para a movimentação de cargas nas mais diversas situações, devida a sua flexibilidade de locomoção.

Basicamente possuem um grau de liberdade na base, que permite a rotação do conjunto todo, outro na articulação entre a coluna e seu o braço, outro também entre o braço e o lança e uma rotação do gancho, fixado na ponta da lança. Alguns guindastes articulados são dotados de lanças telescópicas para se aumentar ainda mais o alcance do gancho, porém como é de se esperar quando mais distante o gancho se encontra da linha de centro da coluna do equipamento menor é sua capacidade de levantamento.

Para garantir a estabilidade do conjunto, montado sobre o veículo, os guindastes articulados são providos de um sistema de patolas, que devem ser acionadas antes de qualquer movimentação com cargas, para garantir a rigidez da base onde o equipamento está fixado e assim evitar um tombamento.

Figura 6 – Guindaste articulado (Munck).



2.1.4 Pontes rolantes

As pontes rolantes são compostas por uma ou duas vigas principais e estas são fixadas sobre vigas perpendiculares chamadas de cabeceiras; Nesta última são montadas as rodas e os motorredutores, dispositivos responsáveis pelo movimento de translação da ponte, que esta apoiada sobre trilhos, que por sua vez estão sobre vigas e pilares de aço ou concreto.

Nas vigas principais é montado o sistema talha e trole responsáveis pela elevação da carga e a movimentação na direção perpendicular ao caminho de translação do equipamento. Quando as pontes são do tipo “uni viga” (Figura 7) o trole é montado na parte inferior da mesma, porém quando são do tipo “dupla viga” (Figura 8) cada par de rodas fica apoiada em uma das vigas principais dividindo igualmente o carregamento entre elas.

Figura 7 – Ponte rolante tipo uni viga.



Fonte: (www.demagcranes.com.br/cms/site/br/page102077.html, Acesso em: 24-04-2014).

Podem ou não possuir passarelas, acopladas a sua estrutura, utilizadas para se fazer a manutenção do equipamento, têm também em alguns casos guarda corpos e corrimãos e dependendo de sua dimensão e capacidade, têm uma cabine para o operador, a qual fica acoplada a estrutura e se movimenta, portanto junto com o equipamento. A utilização desta cabine se emprega quando o ambiente embaixo da ponte é agressivo ou quando se precisa ter uma visão superior da carga que se está movimentando.

Figura 8 – Ponte rolante tipo dupla viga.



Fonte: (www.demagcranes.com.br/cms/site/br/page102077.html, Acesso em: 24-04-2014).

2.1.5 Pórticos rolantes

Assim como as pontes rolantes os pórticos podem ser dotados de uma ou duas vigas principais (Figuras 9 e 10), para o assentamento do sistema de talha e trole, porém estas vigas estão fixadas a pernas que por sua vez estão acopladas as vigas cabeceiras, as quais estão guiadas por rodas acomodadas sob trilhos fixados no piso de operação. Devido a sua estrutura própria de sustentação os pórticos podem ser instalados ao ar livre e com seus trilhos dispostos no mesmo nível do solo se tem uma área de trabalho igual à de uma ponte rolante, porém sem obstáculos.

Os semipórticos rolantes são um tipo particular deste equipamento os quais possuem instalações específicas em cada cliente, podendo ser utilizados dentro de galpões ou em recinto abertos. Normalmente empregados em instalações que possuem apenas um dos trilhos do caminho de rolamento suspensos, aproveitando-se a estrutura de uma construção existente.

Um exemplo da aplicação deste equipamento conforme divulgado pelo fabricante **DEMAG** são os dois semipórticos tipo bi viga com uma talha de cabo para a gestão de um armazém ao ar livre de chapas de aço (Figura 11).

Figura 9 – Pórtico rolante tipo uni viga.



Fonte: (www.logismarket.ind.br/grupo-ventowagportico-.html, Acesso em: 21-10-2014).

Figura 10 – Pórtico rolante tipo dupla viga.



Fonte: (www.logismarket.ind.br/grupo-ventowagportico-dupla-html, Acesso em: 21-10-2014).

Figura 11 – Semipórtico rolante.



Fonte: <http://www.demagcranes.com.br/cms/site/br/page102146.html> Acesso em: 24-04-14.

2.1.5.1 Componentes de um pórtico rolante

Para se iniciar o projeto de um pórtico primeiramente deve-se fazer um pré-dimensionamento, a fim de obter o modelo inicial a ser trabalhado.

Segundo SOUBE, 2005 o pré-dimensionamento de todas as vigas da estrutura é realizado considerando cada uma delas como se estivessem bi apoiadas e submetidas a forças verticais, horizontais e momentos fletores. No caso das vigas das pernas estas são aproximadas de vigas em balanço e o carregamento principal é um momento fletor criado pelas reações horizontais nos apoios do pórtico. Em ambos os casos a solução é obtida pela equação de equilíbrio estático em vigas.

Não faz parte do escopo desta dissertação a apresentação dos cálculos analíticos e sim, como já mencionado anteriormente, o emprego de uma ferramenta para otimizar o tempo e os esforço durante o dimensionamento da estrutura em questão. Para se compreender melhor como é composta esta estrutura, neste tópico serão apresentadas as principais partes que a compõe.

2.1.5.1.1 Viga principal

Conforme mostrado anteriormente os pórticos podem conter uma ou duas vigas principais nestes casos chamados de uni viga ou dupla viga, respectivamente. Na sua forma

mais simples podem ser do tipo perfil “aberto” que é constituído de duas chapas horizontais chamadas de aba superior e aba inferior e uma vertical, chamada de alma, que estas duas abas. Este perfil pode ser de chapas soldadas ou laminadas (perfil “I” ou “W”) Podendo ser também do tipo perfil “fechado” ainda formado por duas chapas horizontais, abas superiores e inferiores e duas chapas na vertical formando as duas almas do perfil soldado.

As vigas principais suportam todo o peso do mecanismo de levantamento e acessórios como: carro, bloco do gancho, cabo de aço, enrolador do cabo, passarela, armário elétrico, cabine do operador (quando estes forem aplicáveis) e o peso da carga a ser movimentada. Por isso esta viga (Figura 12) é de grande importância uma vez que recebe as maiores solicitações de flexão (SOUBE 2005).

Figura 12 – Viga principal.



Fonte: Próprio autor (modelagem feita no software Inventor 2012).

2.1.5.1.2 Vigas de fechamento

Localizadas nas extremidades das vigas principais, são responsáveis pela união destas duas vigas e consequentemente o fechamento do quadro superior do pórtico e segundo SOUBE, 2005 proporciona um mínimo de rigidez à torção no plano deste quadro. Estas vigas (Figura 13) também demarcam os limites de aproximação do carro trole que se movimentam sobre as vigas principais.

Figura 13 – Viga de fechamento.



Fonte: Próprio autor (modelagem feita no software Inventor 2012).

2.1.5.1.3 Pernas.

Com sua seção tipo caixão são responsáveis pela sustentação das vigas principais e de todos os mecanismos, dispositivos e acessórios nelas (vigas) fixadas. Segundo VAZ, 2010 são

as pernas que determinam a altura do pórtico e consequentemente a altura máxima do gancho de elevação. Além dos esforços de compressão as pernas (Figura 14) estão sujeitas a momentos fletores decorrentes da flexão das vigas principais, quando solicitadas, e também devido aos esforços que surgem na sua outra extremidade como os choques das rodas com os trilhos, frenagem e paradas bruscas no fim de curso.

Os pórticos com seus dois pares de pernas normalmente possuem um sistema de rótula em um dos pares para poder aliviá-las da solicitação a flexão proveniente das vigas enquanto que o outro par é dimensionado para suportar este esforço, garantindo assim a estabilidade da estrutura.

Figura 14 – Pernas.



Fonte: Próprio autor (modelagem feita no software Inventor 2012).

Devido a esta particularidade as pernas rotuladas possuem uma seção uniforme enquanto que o outro par fixo, uma seção variável que vai diminuindo sua geometria conforme a mesma vai se aproximando do piso de operação.

2.1.5.1.4 Vigas de ligação.

Conforme VAZ, 2010 as vigas de ligação, localizadas nas extremidades inferior das pernas do pórtico, têm a função de travamento. Quando o mecanismo de translação do pórtico é montado nestas vigas estas passam a ser chamadas de vigas cabeceiras (Figura 15). Cada cabeceira recebe dois conjuntos de rodas, sendo uma livre e outra motriz acionada por um conjunto moto freio redutor (VAZ, 2010).

Figura 15 – Vigas de ligação.



Fonte: Próprio autor (modelagem feita no software Inventor 2012).

2.2 PARAMETRIZAÇÃO EM LINGUAGEM APDL.

A parametrização consiste em identificar todas as variáveis que definem a diferença entre um modelo do outro e elaborar um programa em uma determinada linguagem de programação compatível com o software no qual será gerado o modelo paramétrico. O programa ao receber os valores destas variáveis, automaticamente faz as alterações nas linhas de programação deixando-o pronto somente para ser interpretado pelo software. A parametrização demanda um tempo maior para desenvolver o programa que gerará o modelo, porém esse tempo é recuperado conforme surge à necessidade de se alterar o modelo.

Nesta dissertação, conforme mencionado anteriormente, o programa paramétrico será criado em APDL que é a linguagem de programação do software ANSYS. As linhas de programação APDL normalmente são escritas em um arquivo com extensão “.txt” que depois são importadas para o software ANSYS que gera o modelo do pórtico rolante com o devido carregamento descrito nas linhas do paramétrico.

Na programação APDL diversos são os comandos empregados, porém alguns dos principais e mais utilizados são os seguintes:

- Utilizados para atribuir valores as variáveis do dado de entrada:
 - **SET, HL, 5500** – Atribui o valor de 5500 mm a variável de nome “HL”.
- Define os valores do modo de elasticidade e do coeficiente Poisson ao material utilizado:
 - **MPDATA, EX, 1,, 206010** Dado o valor do módulo de elasticidade, EX = 206010 [N/mm²] o mesmo é armazenado como material 1.
 - **MPDATA, PRXY, 1,, 0.3** Dado o valor coeficiente de Poisson, PRXY = 0.3 o mesmo é armazenado como material 1.
- Define o tipo de elemento a ser utilizado:
 - **ET, 1, BEAM189** Selecionado o elemento tipo viga BEAM189 e o armazena como elemento 1.
 - **ET, 2, SHELL63** Selecione o elemento tipo casca SHELL63 e o armazena como elemento 2.
 - **ET, 3, SOLID187** Selecione o elemento tipo solido SOLID187 e o armazena como elemento 3.

➤ Para o elemento tipo casca define qual será a espessura (*real constant*) do plano ou área criado.

- **R,1,19,,,
RMORE, , , ,**

Este bloco de comando atribui a *realconstant 1* a espessura informada de 19 mm.

➤ Cria áreas:

- **BLC5,0,0,500,600**

Define uma área retangular com a origem em X=0 e Y=0 com o comprimento de 500 mm e altura de 600 mm.

- **PCIRC, 50, 0, 360,**

Define uma área circular com raio de 50 mm com origem coincidente com o sistema de coordenadas.

- **CYL4, 0, 0, 50**

Define uma área circular com raio de 50 mm com a origem em $x = 0$ e $y = 0$.

➤ Deleta áreas:

- **ADELE, 1**

Deleta a área especificada no caso 1.

➤ Cria pontos:

- **K, 1, 0, 0, 0**

Define as coordenadas x, y, z respectivamente do ponto (*keypoint*) 1.

➤ Cria linha entre pontos:

- **LSTR,10 , 11**

Define uma linha entre os pontos selecionados 10 e 11.

➤ Rotaciona o eixo de coordenadas indicado na programação, para facilitar a modelagem do problema.

- **WPRO, 45, , ,**

Define um incremento de rotação sob os eixos z, y, x respectivamente neste caso 45° sob o eixo z.

➤ Bloco de comando para criar área a partir de linhas

- **FLST, 2, 4, 4**
- **FITEM, 2,10**
- **FITEM, 2, 11**
- **FITEM, 2, 12**
- **FITEM, 2, 13**
- **AL, P51X**

Seleciona 4 linhas através de 4 comandos.

1ª Seleciona a linha 10.

2ª Seleciona a linha 11.

3ª Seleciona a linha 12.

4ª Seleciona a linha 13.

Cria a área.

➤ Aplica um *offset* em determinadas linhas:

- **FLST, 3, 4, 4, ORDE,2** Seleciona 4 linhas através de 2 comandos.
- **FITEM, 3,5** Da linha 5
- **FITEM, 3, -8** Até linha 8
- **LGEM,2 P51X, , , ,1000, , 0** Define um “offset” de 1000 mm para as linhas selecionadas.

➤ Define o tamanho do elemento da malha.

- **FLST, 5, 6, 5, ORDE 2** Seleciona seis áreas, dois comandos.
- **FITEM5, 16** Da área 16.
- **FITEM5, -21** Até área 21.
- **AESIZE,P51X, 50,** Define o tamanho do elemento (50 mm) para se malhar em determinadas áreas selecionadas.

➤ Aplica a malha de elemento.

- **A MESH, -Y1** Malha as áreas selecionadas.

➤ Define o tipo do elemento da malha.

- **MSHAPE, 0 , 2D** Define o tipo de elemento a ser malhado (0 quadrangular -1 triangular).

➤ Define as características da malha que está sendo aplicada.

- **AATT, 1, 2, 1, 0,** Para a malha de elementos que se está criando atribuindo: propriedade do material (1), *Real Constant* (2), tipo de elemento (shell 63 = 1).

➤ Aplica carregamento em nós.

- **FLST, 2, 397, 1, ORDE, 2** Seleciona 397 Nós, 2 comandos.
- **FITEM, 2,5557** Do nó 5557.
- **FITEM, 2, -5953** Até nó 5953.
- **/GO**
- **F, P51X, FZ, -20** Aplicando uma carga de 20 N na direção negativa do eixo z sob os Nós selecionados.

➤ Aplica restrições.

- **/ GO**
- **DL, P51X, ,ALL,** Este bloco de comando é utilizado para aplicar restrições de engaste em linhas pré-selecionadas.

➤ Aplica malha em volumes.

- **VMESH, - Y1** Utilizado para malhar volume.

➤ Bloco de comando utilizado para iniciar a solução do problema.

- **/ SOL**
- **/ STATUS, SOLU**
- **SOLVE**

A vantagem da parametrização está em se aproveitar os recursos humanos e técnicos no que realmente é necessário e importa. Ao invés de tempo com modelagem, toda à hora será empregada na análise dos resultados do cálculo e na escolha da malha que melhor represente o problema do estudo.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DOS EQUIPAMENTOS DE LEVANTAMENTO

As estruturas dos equipamentos de levantamento são classificadas em grupos (Tabela 3), cada grupo é representado por um número que vai de 1 a 6. Cada número representa uma solicitação a qual se deve levar em consideração durante o dimensionamento da estrutura. Para se definir a qual grupo o equipamento pertence primeiramente deve-se determinar qual é a sua classe de utilização (Tabela 1) e qual o seu estado de carga (Tabela 2).

Tabela 1 – Classe de utilização (NBR 8400).

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número convencional de ciclos de levantamento
A	Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso.	$6,3 \times 10^4$
B	Utilização regular em serviço intermitente	$2,0 \times 10^5$
C	Utilização regular em serviço intensivo	$6,3 \times 10^5$
D	Utilização em serviço intensivo severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno	$2,0 \times 10^6$

A classe de utilização representa a frequência com a qual o equipamento é utilizado, ou seja, o número de vezes aproximado que um ciclo do movimento de levantamento ocorre durante a vida do equipamento, cada ciclo inicia-se quando uma carga é içada e termina

quando o equipamento está livre para iniciar um novo levantamento. O estado de carga representa a que proporção o equipamento levanta uma carga leve, média ou a própria carga nominal durante seu ciclo de vida, ou seja, qual a fração da carga máxima será içada com maior frequência durante o ciclo de vida do pórtico, neste caso.

Tabela 2 – Estados de carga (NBR 8400).

Estado de carga	Definição	Fração mínima da carga máxima
0 (muito leve)	Equipamentos levantando excepcionalmente a carga nominal e comumente cargas muito reduzidas.	$P = 0$
1 (leve)	Equipamentos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas de ordem de $1/3$ da carga nominal.	$P = 1/3$
2 (médio)	Equipamentos que frequentemente levantam a carga nominal e comumente cargas compreendidas entre $1/3$ e $2/3$ da carga nominal.	$P = 2/3$
3 (pesado)	Equipamentos regularmente carregados com a carga nominal	$P = 1$

Tabela 3 – Classificação da estrutura do equipamento em grupos (NBR 8400).

Estado de carga	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento.			
	A $6,3 \times 10^4$	B $2,0 \times 10^5$	C $6,3 \times 10^5$	D $2,0 \times 10^6$
0 (muito leve) $P = 0$	1	2	3	4
1 (leve) $P = 1/3$	2	3	4	5
2 (médio) $P = 2/3$	3	4	5	6
3 (pesado) $P = 1$	4	5	6	6

Como se pode ver um equipamento pode ser classificado como pertencente ao grupo “3” quando seu ciclo de utilização é de $2,0 \times 10^5$ e quando este trabalhará com cargas reduzidas a cerca de $1/3$ da carga nominal, na maior parte do seu ciclo de vida.

2.4 PRINCIPAIS SOLICITAÇÕES QUE INFLUENCIAM NO CÁLCULO DA ESTRUTURA DO PÓRTICO.

Para o dimensionamento da estrutura do pórtico rolante devem-se levar em consideração as solicitações devidas ao peso próprio da estrutura (S_G) e dos elementos a ela acoplada, estando estes elementos dispostos na posição mais crítica e as solicitações devidas à carga de serviço (S_L) que corresponde à carga útil a ser içada acrescida da carga dos acessórios como: moitão, ganchos, garras, caçambas, cabos de aço e etc... Estas duas solicitações (S_G e S_L) são chamadas de principais e sua reação é analisada como se a estrutura estivesse estática.

Outras solicitações existentes são as devidas aos movimentos verticais, originárias de um içamento relativamente brusco da carga de serviço ou decorrente de choques verticais durante a translação do pórtico sob seu caminho de rolamento, por exemplo, devido a uma emenda nos trilhos. Para se determinar esta solicitação multiplica-se a solicitação devida à carga de serviço (S_L) por um fator chamado coeficiente dinâmico (Ψ) mostrado na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Valores do coeficiente dinâmico (Ψ) (NBR 8400).

Equipamento	Coeficiente dinâmico Ψ	Faixa de velocidade de elevação da carga (m/s)
Pontes ou pórticos rolantes	1,15	$0 < v_L \leq 0,25$
	$1 + 0,6 v_L$	$0,25 < v_L < 1$
	1,60	$v_L \geq 1$
Guindaste com lanças	1,15	$0 < v_L \leq 0,5$
	$1 + 0,3 v_L$	$0,5 < v_L < 1$
	1,3	$v_L \geq 1$

Há também as solicitações originárias dos movimentos horizontais, que podem surgir pelo efeito da inércia do equipamento durante uma aceleração de partida ou durante uma desaceleração de frenagem nos movimentos de translação e direção, ou podem surgir pelas reações transversais devidas ao rolamento das rodas sob os trilhos durante a translação direta, ou ainda surgirem pelo efeito de reações contra a estrutura provocadas pelo choque contra batentes e pára-choques ou choque contra a carga de serviço durante a movimentação.

Têm-se também as solicitações consideradas como diversas as quais representam os acessos, passadiços, cabines, plataformas, painéis e são consideradas como cargas concentradas. Segundo a NBR8400 temos:

- Para passarelas de manutenção onde há a ocorrência de depósito de matérias considera-se uma carga de 3000 N.
- Para passarelas (acessos de passadiço) onde somente haverá a passagem de pessoas considera-se uma carga 1500 N.
- Para esforços horizontais nos guarda-corpos e corrimãos considera-se 300 N.

E por fim têm-se as solicitações devidas aos efeitos climáticos que são: a ação do vento e a variação de temperatura.

Nesta primeira solicitação, considera-se que o vento atua na horizontal e em qualquer rumo. Segundo FARINHA, 1993 a ação do vento resulta da interação entre o ar em movimento e as construções, no caso a estrutura de aço, exercendo-se sob a forma de pressão aplicada nas suas superfícies. Esta pressão pode ser uma sobre pressão ou depressão e é proporcional a pressão aerodinâmica do vento, sendo esta última tabelada em função das velocidades do vento e da altura da estrutura em relação ao solo (Tabela 5). Conforme a NBR 8400, para efeito de cálculo dois valores de pressões aerodinâmicas são obtidos, um em função da maior velocidade do vento, na qual ainda se admite a operação do equipamento (vento limite de serviço) e a outra em função da máxima velocidade do vento na qual o equipamento, fora de serviço, possa estar sujeito (vento máximo).

Tabela 5 – Valores da pressão aerodinâmica (NBR 8400).

Altura em relação ao solo (m)	Vento limite de serviço			Vento máximo (equipamento fora de serviço)		
	Velocidade		Pressão aerodinâmica (N/m ²)	Velocidade		Pressão aerodinâmica (N/m ²)
	(m/s)	(km/h)		(m/s)	(km/h)	
0 a 20	20	72	250	36	130	800
20 a 100				42	150	1100
Mais de 100				46	165	1300

Para efeito de cálculo a velocidade do vento limite é prevista na direção mais desfavorável (NBR 8400).

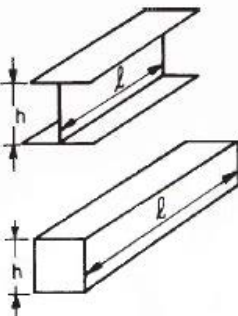
A força (F_w) que o vento exerce sobre uma viga é dada pela equação (1).

$$F_w = C A P_a \quad (1)$$

Onde:

- C: é o coeficiente aerodinâmico da viga, obtidos através da Tabela 6 e variam de um tipo de viga para outro e de acordo com as relações de dimensões de uma mesma viga.
- A: é a projeção da área da viga e dos acessórios nela fixada em um plano perpendicular á direção do vento.
- Pa: é a pressão aerodinâmica em N/m².

Tabela 6 – Valores de coeficiente aerodinâmico (NBR 8400).

Tipo de viga	Croqui	Relação	Coeficiente aerodinâmico (C)
Treliça composta por perfis		-	1,6
Viga de alma cheia ou caixa fechada		$\frac{l}{h} = 20$	1,6
		$\frac{l}{h} = 10$	1,4
		$\frac{l}{h} = 5$	1,3
		$\frac{l}{h} = 2$	1,2
Elementos tubulares e treliça composta por tubos (d em m)		$d\sqrt{P_0/1} \leq 1$	1,2
		$d\sqrt{P_0/1} > 1$	0,7

Conforme a norma NBR 8400 explica, quando tem uma viga escondida atrás de outra viga, protegida do vento, o valor do esforço que nesta viga protegida é aplicada corresponde à força do vento que na primeira age multiplicada por um coeficiente de redução (Φ), cujos valores são mostrados na Tabela 7 em função da razão da área real exposta ao vento (diferença entre a área total e a área vazada) pela área total exposta ao vento (soma da área real com a vazada) (A_r/A_t) e em função da razão entre a distância entre faces e a altura da viga (B/h) conforme Figura 16. Deve-se calcular também a pressão do vento sobre a projeção da área da carga que está sendo içada. Considera-se o coeficiente aerodinâmico $C = 1$ prevendo a maior superfície que se pode expor.

Tabela 7 – Valores do coeficiente de redução (ϕ) (NBR 8400).

$\frac{B}{h} \backslash \frac{A_r}{A_t}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
0,5	0,75	0,4	0,32	0,21	0,15	0,05	0,05	0,05
1	0,92	0,75	0,59	0,43	0,25	0,1	0,1	0,1
2	0,95	0,8	0,63	0,5	0,33	0,2	0,2	0,2
4	1	0,88	0,76	0,66	0,55	0,45	0,45	0,45
5	1	0,95	0,88	0,81	0,75	0,68	0,68	0,68

Figura 16 – Distância entre faces.



Fonte: Norma NBR 8400 de 1984.

Para cargas inferiores a 250 kN cuja superfície de exposição não é possível de se prever considera-se os seguintes valores determinados pela NBR 8400: Para carga de levantamento até 50 kN considera-se 1m² por cada 10 kN içado e para cargas na faixa de 50 kN até 250 kN considera-se 0,5 m² de área exposta para cada 10 kN.

Quanto às solicitações devido a temperatura, estas só serão levadas em conta quando os elementos não podem dilatar livremente e neste caso adota-se a variação de temperatura entre -10°C a +50°C.

2.5 CASOS DE SOLICITAÇÃO.

Para o dimensionamento da estrutura do pórtico rolante, três casos de solicitação são definidos conforme se segue:

2.5.1 Caso de solicitação I: Serviço normal sem vento.

De acordo com a NBR 8400 no caso I consideram-se as solicitações estáticas devidas ao peso próprio (S_G) as solicitações devidas à carga de serviço (S_L) majorada pelo coeficiente dinâmico (Ψ) e os dois efeitos horizontais mais desfavoráveis (S_H) sem considerar os efeitos

do choque. A soma destas solicitações deve ser multiplicada pelo coeficiente de majoração (M_X) (tópico 2.6) conforme a equação (2).

$$S_{CASO I} = M_X (S_G + \Psi.S_L + S_H) \quad (2)$$

2.5.2 Caso de solicitação II: Serviço normal com vento limite de serviço.

Consideram-se as solicitações do caso I somada à solicitação do vento limite de serviço (S_W) (tópico 2.4 - Tabela 5) e eventualmente a solicitação devido à variação de temperatura quando aplicável, de acordo com a NBR8400, conforme representado pela equação (3).

$$S_{CASO II} = M_X (S_G + \Psi.S_L + S_H) + S_W \quad (3)$$

As solicitações horizontais devidas aos efeitos da inércia do pórtico durante a aceleração e a desaceleração não são as mesmas para o caso I e o caso II, pois o tempo de partida e frenagem são diferentes com e sem vento.

2.5.3 Caso de solicitação III: Equipamento submetido a solicitações excepcionais.

O caso III subdivide-se em três outros casos onde para efeito de segurança, no cálculo emprega-se o mais crítico deles, descritos na NBR 8400:

- a) Trata-se do equipamento, no caso o pórtico, parado sujeito à ação do vento máximo, ou seja, é a combinação da solicitação do peso próprio da estrutura (S_G) com a solicitação do vento máximo ($S_{WMÁX}$), conforme representado pela equação (4).

$$S_{CASO III} = S_G + S_{WMÁX} \quad (4)$$

- b) Trata-se do equipamento em serviço sujeito à ação de um amortecimento, ou seja, é a combinação do peso próprio da estrutura (S_G) com a solicitação da carga de serviço (S_L), ambas somadas ao mais elevado dos efeitos do choque (S_T), seja devido à desaceleração provocada pelos freios ou pelo impacto contra os batentes fins de curso, conforme representado pela equação (5).

$$S_{CASO III} = S_G + S_L + S_T \quad (5)$$

- c) Considera-se o equipamento submetido aos ensaios dinâmico e estático, os quais todo o equipamento deve ser submetido antes da sua liberação para operação. O ensaio dinâmico, equação (6), consiste em aplicar um coeficiente de majoração (ρ^1) de 1,2 sobre a carga de serviço e testar todos os movimentos do equipamento. Já no teste estático, equação (7), aplica-se um coeficiente de majoração (ρ^2) de 1,4 sobre a carga de serviço e o mesmo consiste em apenas manter a carga de 140% do valor nominal içada, estaticamente sem deixar ocorrer choques e para isto a carga é acrescida aos poucos até atingir o necessário. Para efeito de cálculo a mais desfavorável das combinações ($S_{CASO III}$) entre o peso próprio e as solicitações provenientes dos ensaios é utilizada.

$$S_{CASO III} = S_G + \Psi \rho^1 S_L \quad (6)$$

$$S_{CASO III} = S_G + \Psi \rho^2 S_L \quad (7)$$

2.6 COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO (M_x).

Varia de acordo com a aplicação do equipamento. Para equipamentos industriais o coeficiente M_x é determinado através da Tabela 8 em função do grupo do equipamento. Já para equipamentos que serão empregados em siderurgia o coeficiente de majoração é determinado pela Tabela 8 para grupos de 1 a 5, pois para equipamentos classificados como grupo 6 este coeficientes são obtidos conforme Tabela 9.

Tabela 8 – Valores do coeficiente de majoração para equipamentos industriais (NBR 8400).

Aplicação	Grupos	M_x
Indústria Siderurgia	1	1
Indústria Siderurgia	2	1
Indústria Siderurgia	3	1
Indústria Siderurgia	4	1,06
Indústria Siderurgia	5	1,12
Indústria	6	1,2

Tabela 9 – Valores do coeficiente de majoração para equipamento utilizados na siderurgia classificados como grupo 6 (NBR 8400).

Equipamento	M_x
Pontes, semipórticos e pórticos para pátio de sucata com ou sem eletroímã	1,20
Pontes, semipórticos e pórticos sem guia para manuseio de chapas, tarugos, trefilados, bobinas, barras e perfis.	
Pórticos para quebra de casca e carepa	
Pórtico para bacia de decantação (limpeza de água)	
Pontes, semipórticos e pórticos com guia de carga para manuseio de chapas, tarugos, trefilados, bobinas, barras e perfis	1,35
Pontes, semipórticos e pórticos sem guia de carga para basculamento de chapas (escarfagem).	
Semipórticos para carregamento da caçamba do BOF	
Pontes e pórticos para transporte da panela de escória	
Pórticos para coqueria	
Pórticos para coleta e mistura de minérios	1,45
Pontes, semipórticos e pórticos com guia de carga para basculamento de chapas (escarfagem)	

3 METODOLOGIA

3.1 ORGANOGRAMA DO PROGRAMA PARAMÉTRICO

O programa é alimentado por dados de entrada que estão divididos em três blocos, o primeiro bloco corresponde às dimensões principais da estrutura do equipamento, o segundo representa as dimensões das seções das vigas e das pernas da estrutura e o ultimo bloco alimenta o programa com as informações pertinentes as solicitações que atuam sobre o equipamento. Durante a operação da ferramenta paramétrica os dados do segundo bloco são constantemente alterados, pois estão neste as principais variáveis que devem ser trabalhadas para se alcançar os limites admissíveis de tensões e deformações almejadas. As informações contidas nos demais blocos são: dados definidos em função da aplicação do equipamento, das necessidades do cliente, das restrições de projeto e dos critérios definidos pela norma indicada e somente em casos extremos são alterados ou restringidos. Uma vez alimentado, o programa irá interpretar estas informações e realizar as devidas alterações nas linhas de comando do código de programação escolhido.

Estando o código atualizado este deve ser manualmente, transferido para o software de simulação em elementos finitos e processado. A partir deste instante os resultados obtidos devem ser analisados e inicia-se o trabalho, especializado, de desenvolvimento e elaboração do produto que melhor atenda as condições impostas e que possua o mínimo de recurso material empregado, ou seja, inicia-se o trabalho de otimização da estrutura.

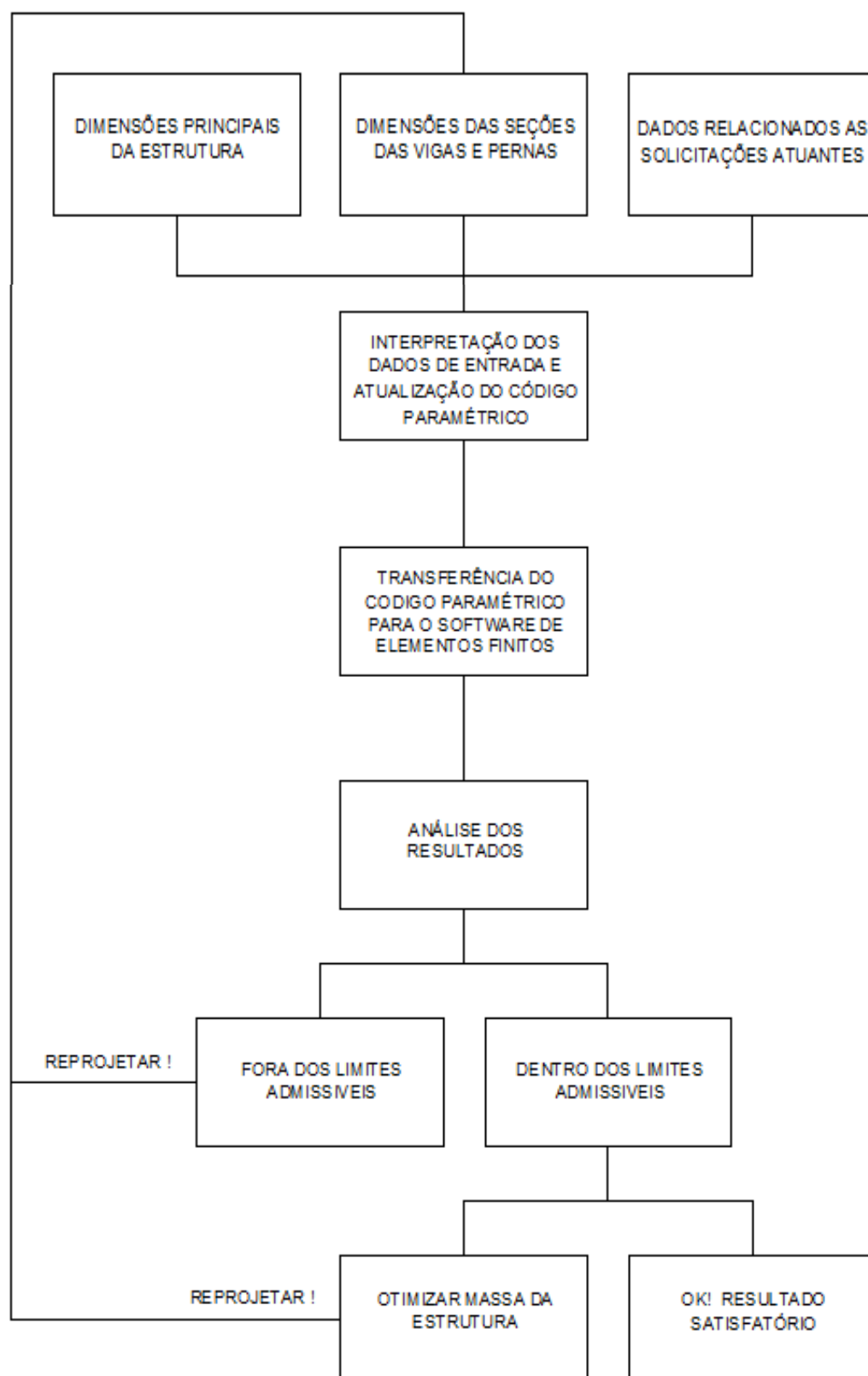
Figura 17 – Esquema de operação.



Fonte: Próprio autor.

A otimização neste caso não se trata da utilização de um módulo, no software de elementos finitos e sim a realimentação de novos dados de entrada no programa paramétrico baseados nos resultados obtidos na última simulação.

Figura 18 – Organograma detalhado.



Fonte: Próprio autor.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA PARAMÉTRICO

Conforme já mencionado, a modelagem da estrutura do pórtico rolante é executada no ambiente do software *ANSYS Multiphysics* e o seu código de programação, a linguagem APDL, é utilizada para desenvolver a ferramenta de cálculo paramétrica. Depois de “gerada, a programação paramétrica é salva em um arquivo com extensão “.txt” para poder ser importada para o software ANSYS. Como interface para gerar-se o código APDL utiliza-se o software Excel versão 2007 e opcionalmente os dados de entrada do paramétrico são preenchidos em células previamente indicadas na planilha em Excel, ao lado tem-se uma coluna com o código APDL que automaticamente é alterado, em função dos novos dados de entrada informados (Figura 19).

Figura 19 – Dados de entrada do programa paramétrico.

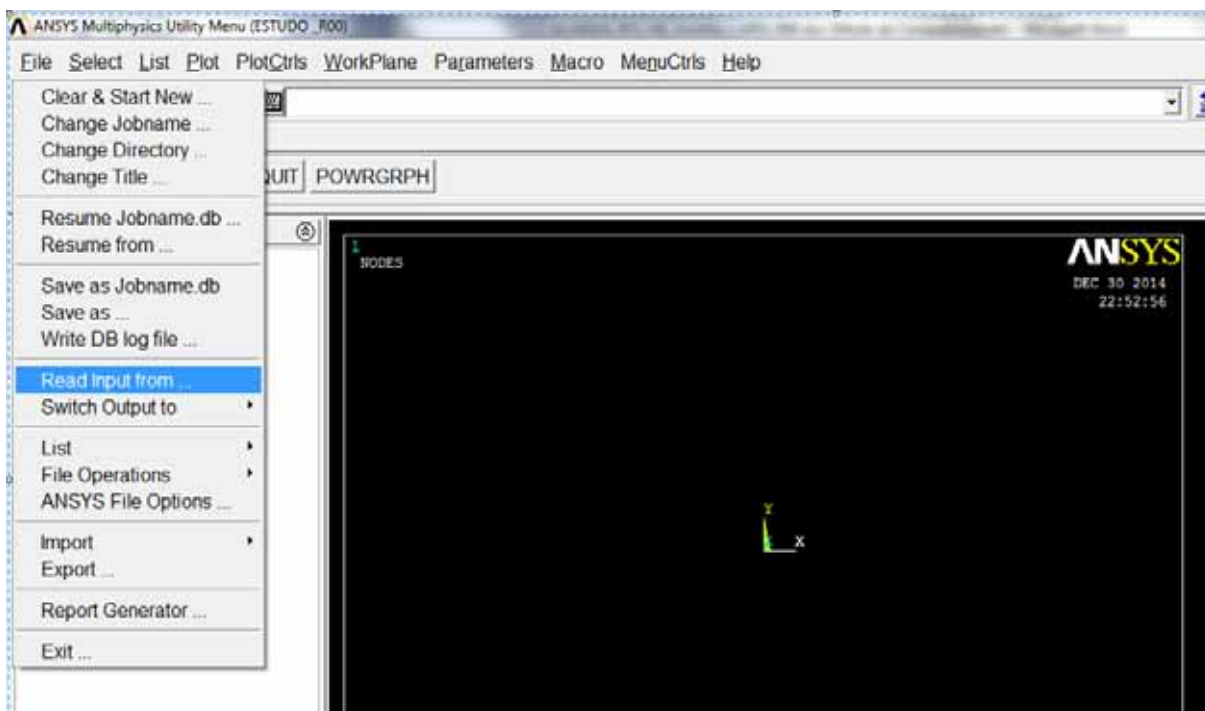
! DIMENSÕES PRINCIPAIS DA ESTRUTURA				
- Vão do pórtico rolante	<i>Vpr</i> =	6000	[mm]	*SET,Vpr,6000
- Vão do carro trole	<i>Vct</i> =	4500	[mm]	*SET,Vct,4500
- Altura do pórtico rolante	<i>Hpr</i> =	9000	[mm]	*SET,Hpr,9000
- Distância entre rodas do pórtico rolante	<i>DRpr</i> =	7500	[mm]	*SET,DRpr,7500
- Distância entre rodas do carro	<i>DRct</i> =	1800	[mm]	*SET,DRct,1800
- Distância entre pernas na direção "Z"	<i>Dpz</i> =	6800	[mm]	*SET,Dpz,6800
- Distância entre a LC da pernas e a LC do gancho	<i>Dpg</i> =	1100	[mm]	*SET,Dpg,1100
- Distância entre a LC do gancho e a tração do carro	<i>Dgrct</i> =	780	[mm]	*SET,Dgrct,780
- Distância entre a LC do trilho e a LC da viga principal	<i>Zt</i> =	195	[mm]	*SET,Zt,195
- Distância entre o topo do trilho e a LC da viga principal	<i>Yt</i> =	400	[mm]	*SET,Yt,400
- Número de tramos da perna	<i>NTp</i> =	8	[mm]	*SET,NTp,8
- Altura da seção do 1º tramo da perna direita (na cabec. <i>hpd1</i> =		500	[mm]	
- Altura da seção do último tramo da perna direita	<i>hpd1</i> =	700	[mm]	
- Altura do 1º tramo da perna esquerda (na cabeceira)	<i>hpe1</i> =	500	[mm]	
- Altura da seção do último tramo da perna esquerda	<i>hpei</i> =	700	[mm]	

Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

Depois de feitas as alterações, a coluna mencionada é colada em arquivo do bloco de notas e este por sua vez através de uma seqüência de comandos (*FILE -> READ INPUT FROM -> “nome do arquivo txt” -> OK*), conforme mostrado na Figura 20 é importado para o ANSYS e a estrutura do pórtico é gerada já com seus devidos carregamentos, pronta para ser analisada. A alteração dos dados de entrada, que definiram um novo modelo para análise, pode também ser feita diretamente no bloco de notas alterando-se o valor da variável na linha

de comando: `*SET,Vpr,5000`, em que V_{pr} é a variável que define o vão do pórtico rolante e 5000 sua dimensão em milímetros.

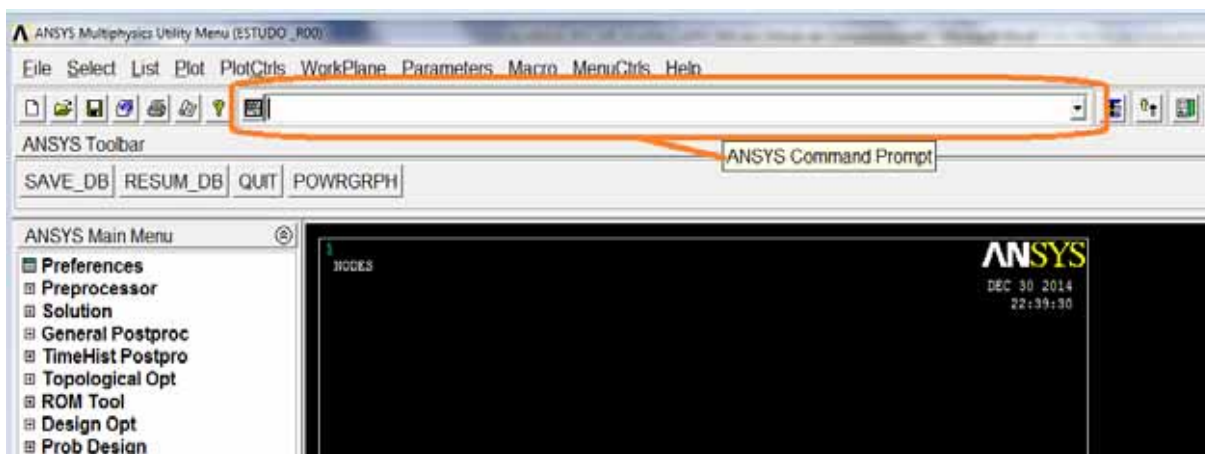
Figura 20 – Comandos para importar arquivo para o ANSYS.



Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

A introdução do código no software pode ser feita também por meio do “*Prompt*” de comando (Figura 21), em que se devem colocar todas as linhas de comando e em seguida pressionada a tecla “*Enter*” para iniciar-se o processamento.

Figura 21 – *Prompt* de comando do software ANSYS.



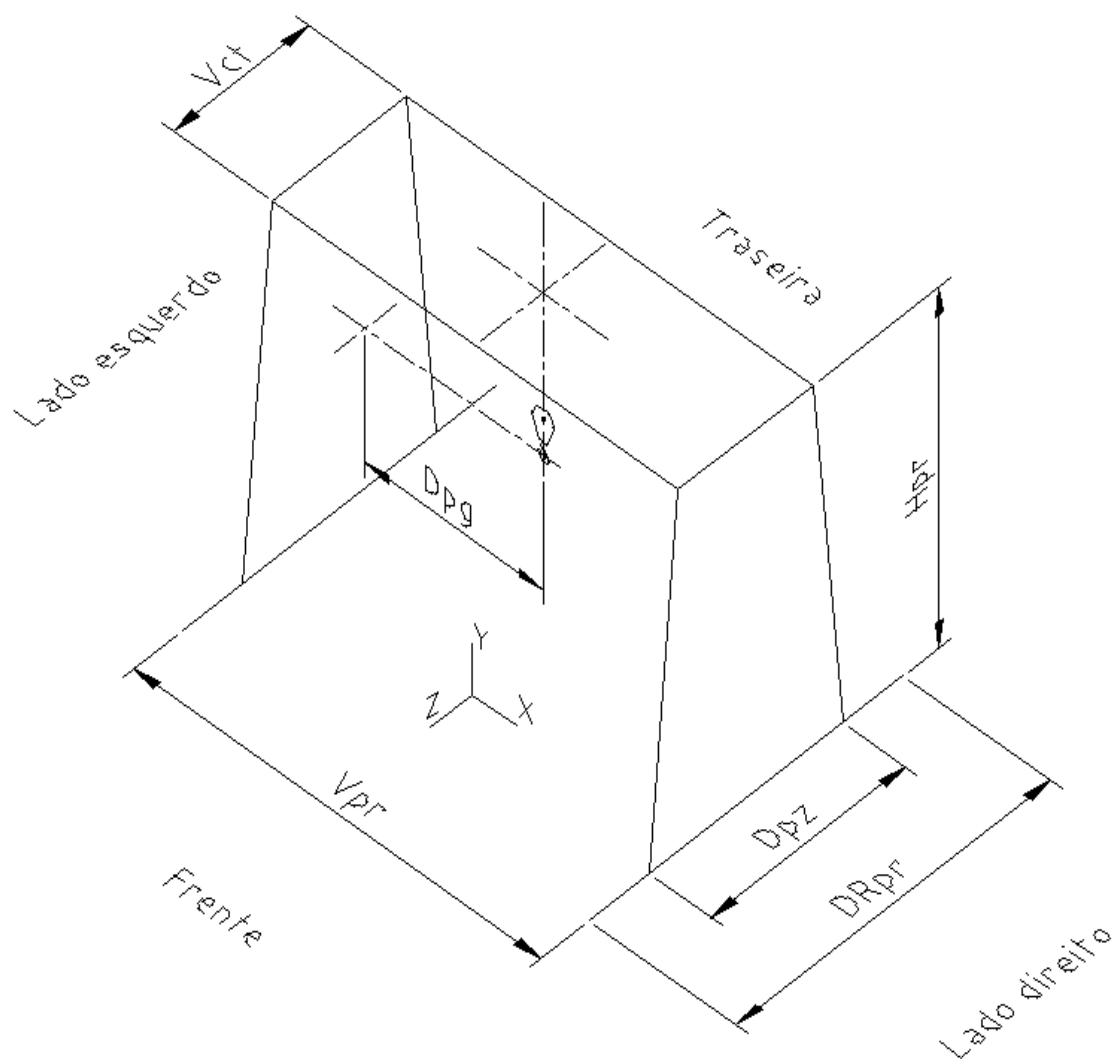
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

3.2.1 Definição das dimensões principais da estrutura

Conforme indicado na Figura 17, para se parametrizar a estrutura do pórtico foi selecionada as principais dimensões que variam de um equipamento para o outro e assim definida as variáveis de entrada do programa. Para se compreender melhor a disposição destas variáveis, as mesmas estão representadas na Figura 22 que demonstra também qual foi a orientação definida, para a construção da estrutura, em relação aos eixos de coordenadas.

O eixo “Z” contempla o sentido de translação do equipamento, o eixo “Y” representa o eixo de elevação da carga e o eixo “X” determina o sentido de direção do carro trole que se movimenta sobre as vigas principais.

Figura 22 – Principais dimensões do pórtico rolante.



Fonte: Próprio autor (imagem AutoCAD versão 2012).

A primeira variável, vão do pórtico, nomeada como “ Vpr ”, define a distância entre a linha de centro da perna esquerda e a linha de centro da perna direita, a segunda variável trata-se do vão do carro trole, representada pelas letras “ Vct ”, determina a distância entre linhas de centro das vigas principais, a terceira, altura do pórtico, “ Hpr ”, delimita-se entre a linha de centro da viga principal e a linha de centro da viga de ligação. A quarta e a quinta correspondem à distância entre rodas do pórtico ($DRpr$), localizadas na cabeceira e a distância entre rodas do carro trole ($DRct$), sobre uma mesma viga principal, respectivamente.

A distância entre a linha de centro da perna e a linha de centro do gancho, a sexta variável, foi nomeada como “ Dpg ” e equivale a aproximação máxima do gancho. A variável “ $Dgrct$ ”, distância entre a linha de centro do gancho e o centro da roda motora do carro é a oitava das variáveis. A nona e a décima variáveis são respectivamente, a distância entre as linhas de centro da viga principal e do trilho que sobre esta última, na direção “Z” (Zt) e a distância entre a linha de centro da viga principal e o topo do trilho do carro na direção “Y” (Yt). A décima primeira define o número de tramos da perna (NTp), ou seja, quantas divisões uma perna possuirá o que está relacionado com o número de reforços internos em cada uma. A décima segunda a décima quinta, compreende as dimensões iniciais e finais da altura da seção das pernas onde, simultaneamente, tem-se: “ $hpd1$ ”, a altura da seção do 1º tramo da perna direita, estando este próximo a cabeceira direita, “ $hpdí$ ”, a altura da seção do último tramo da perna direita, “ $hpe1$ ”, altura da seção do 1º tramo da perna esquerda, que está próxima da cabeceira esquerda e por fim “ $hpei$ ” que é a altura da seção do último tramo da perna esquerda.

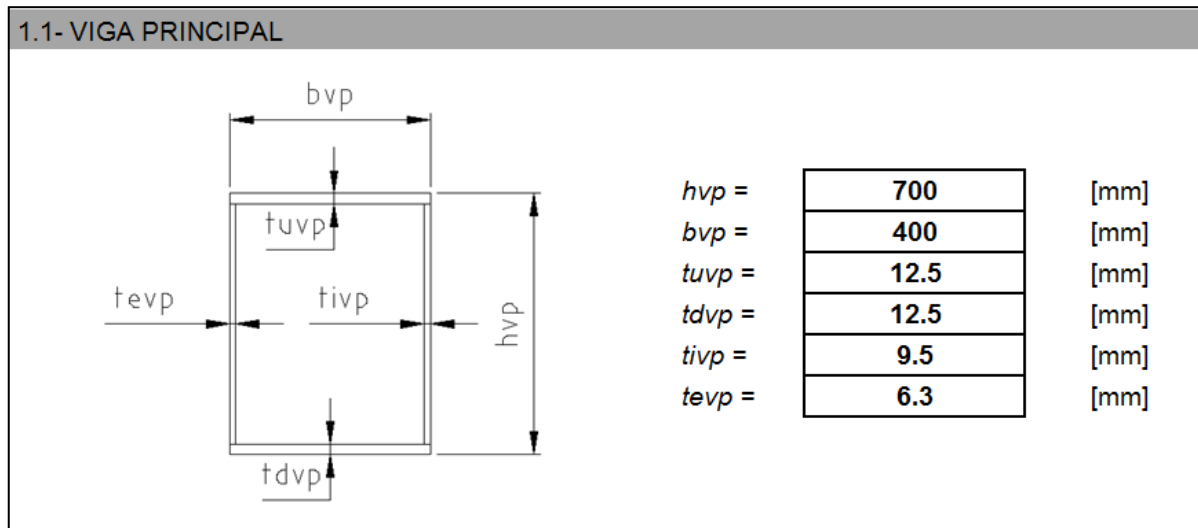
3.2.2 Dados de entrada para definição das seções das vigas e pernas

Para as vigas e pernas da estrutura em análise serão adotadas seções do tipo caixão, compostas por abas e almas, simuladas no ANSYS como elemento tipo viga (BEAM189). Denomina-se altura da seção a distância entre as faces externas das abas e largura da seção a distância entre as faces externas das almas.

As vigas principais frontais e traseiras terão a mesma seção, as espessuras das abas e almas são independentes, pois normalmente a alma abaixo dos trilhos, em que se apóiam o carro trole, possui espessura maior. A entrada de dados (as dimensões das seções das vigas principais) na planilha está representada na Figura 23. A primeira variável “ hvp ” representa a altura, em milímetros, da seção da viga principal, a segunda, “ bvp ” relaciona-se com largura

da viga em questão, a variável “*tuvp*” e “*tdvp*” que equivalem às espessuras da aba superior e da aba inferior respectivamente. A quinta (*tivp*), representa a espessura da alma interna da viga, a qual está abaixo das rodas do carro trole, e a última variável corresponde à espessura da alma externa da viga principal (*tevp*).

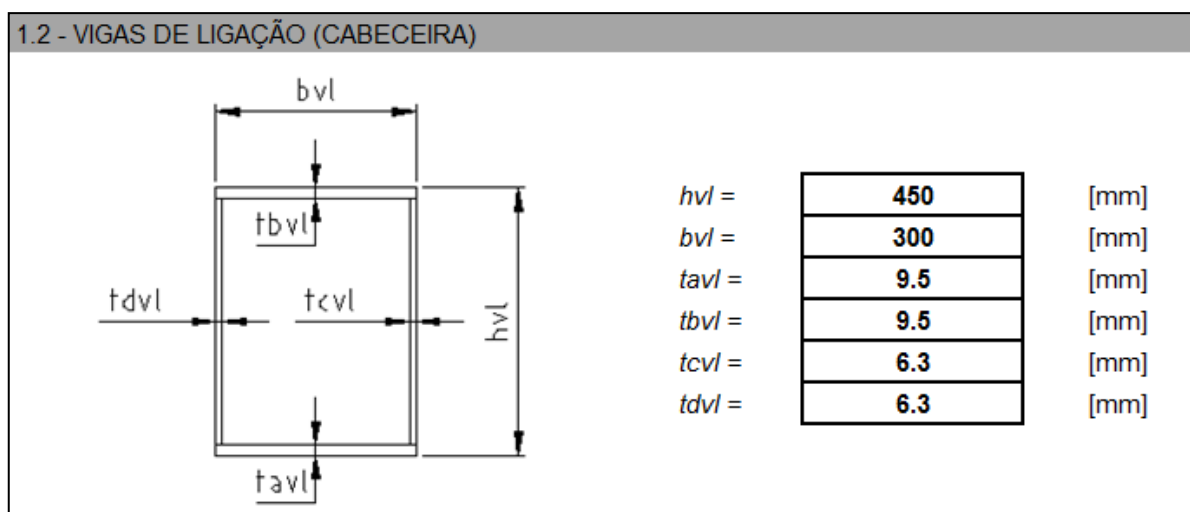
Figura 23 – Seção da viga principal.



Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

Assim como as vigas mencionadas anteriormente, as vigas de ligação também chamadas de vigas cabeceiras, direita e esquerda, possuem as mesmas dimensões e suas variáveis estão demonstradas na Figura 24.

Figura 24 – Seção da viga de ligação.

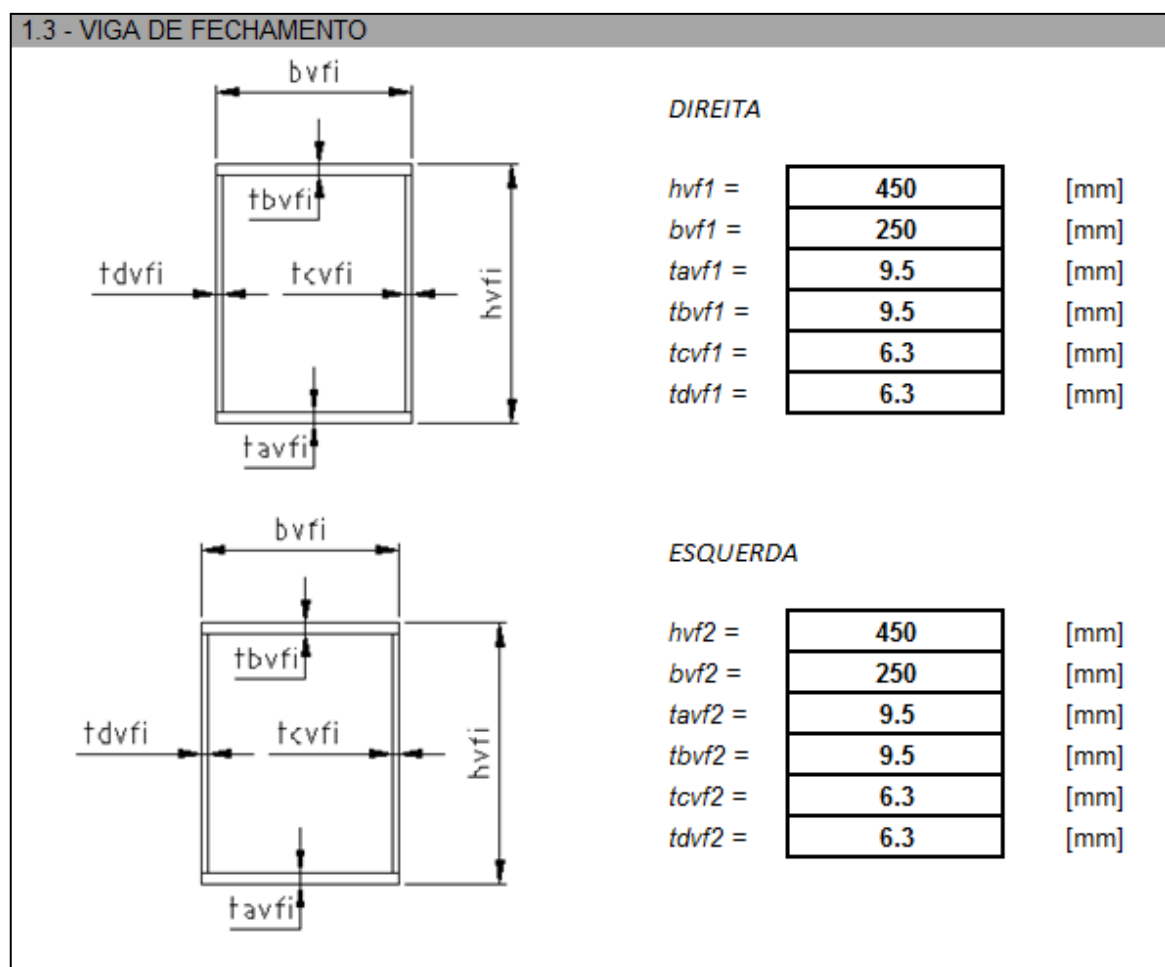


Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

Onde: “ hvl ” determina a altura da seção da cabeceira, “ bvl ” a largura da viga de ligação, “ $tavl$ ” a espessura da aba inferior e “ $tbvl$ ” a espessura da aba superior. Já as espessuras das almas são representadas pelas variáveis “ $tcvl$ ” e “ $tdvl$ ”.

Para as vigas de fechamento foram criados dois grupos de variáveis, conforme mostrado na Figura 25, onde entre estes grupos suas variáveis se diferem pelos algarismos: “1” representando a viga de fechamento direita e o algarismo “2” representando a viga de fechamento esquerda.

Figura 25 – Seções das vigas de fechamento.

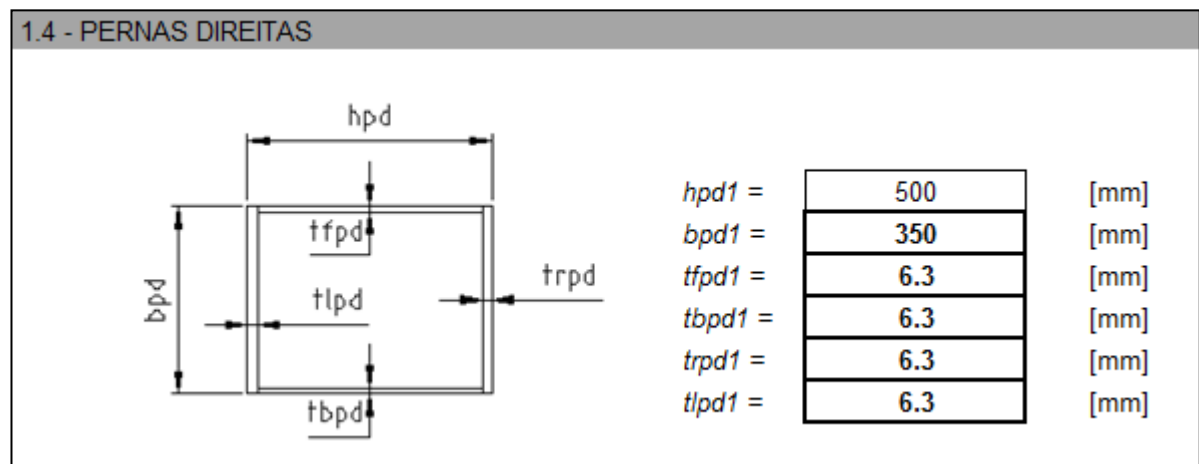


Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

As variáveis “ $hvf\ i$ ” e “ $bvf\ i$ ” representam a altura e a largura da viga de fechamento, simultaneamente. A espessura da aba inferior está representada como “ $tavf\ i$ ” e da aba superior como “ $tbvf\ i$ ”, já as espessuras das almas estão representadas pelas letras “ $tcvf\ i$ ” e “ $tdvf\ i$ ”, onde para todas as variáveis entenda-se que “ i ” representa o algarismo que indica a qual viga elas pertencem.

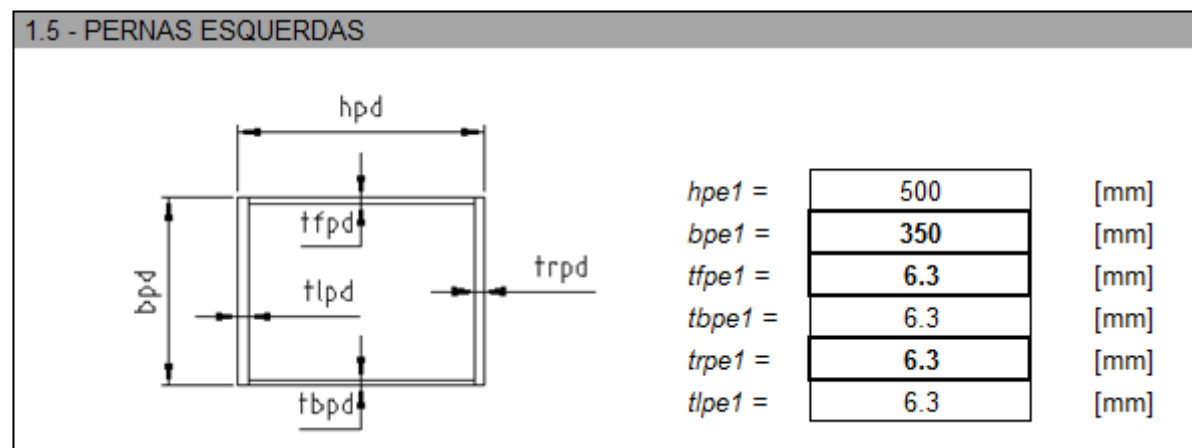
As pernas do pórtico rolante, quando não rotuladas, possuem um perfil de seção variável, o qual se inicia em sua união com as vigas cabeceiras e segue aumentando, sua altura (seção), à medida que se aproxima das vigas principais. Por tanto por se tratarem de um perfil de seção variável, neste programa cada uma das pernas são dividida em um número “*n*” de tramos que pode variar de quatro a oito. O número de tramos é igual entre as pernas e é determinado no início da programação durante o preenchimento dos dados de entrada do primeiro bloco (dimensões principais da estrutura). Devido o carregamento e as aproximações do gancho, o par de pernas de um lado da estrutura sofre maiores solicitações que as do outro, portanto as pernas direitas não possuem as mesmas dimensões que as pernas esquerdas.

Figura 26 – Seção do 1º tramo da perna direita.



Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

Figura 27 – Seção do 1º tramo da perna esquerda.



Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

As Figuras 26 e 27 demonstram as variáveis que determinam a seção, no caso do primeiro tramo, das pernas direitas e esquerdas respectivamente. As variáveis que se iniciam pelas letras “hp” representam a altura da seção da viga da perna, as que se iniciam pelas letras “bp” a largura da perna (dispostas na direção “Z”), as iniciadas pelas letras “tp”, “tb”, “tr” e “tl” determinam as espessuras das almas e das abas simultaneamente. O acréscimo das letras “e” (esquerda) e “d” (direita), nas variáveis, diferencia o lado das pernas e o algarismo ao final a que tramo representam.

Caso deseje-se pode, conforme explicado no item 3.2, realizar as alterações nas dimensões das seções das vigas e pernas, diretamente nas linhas da programação APDL que estão salvas em um arquivo do bloco de notas, conforme demonstrado na Figura 28 abaixo.

Figura 28 – Dados de entrada do programa paramétrico na extensão “.txt”.

```

|! DIMENSÕES DA SEÇÃO DA VIGA PRINCIPAL
*SET,hvp,700
*SET,bvp,500
*SET,tvp,12.5
*SET,tdvp,9.5
*SET,tivp,12.5
*SET,tevp,9.5

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DA VIGA DE LIGAÇÃO (CABECEIRA)
*SET,hv1,450
*SET,bv1,300
*SET,tav1,9.5
*SET,tbv1,9.5
*SET,tcv1,6.3
*SET,tdv1,6.3

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DA VIGA DE FECHAMENTO DIREITA
*SET,hvf1,550
*SET,bvf1,250
*SET,tavf1,9.5
*SET,tbv1,9.5
*SET,tcvf1,6.3
*SET,tdvf1,6.3

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DA VIGA DE FECHAMENTO ESQUERDA
*SET,hvf2,550
*SET,bvf2,250
*SET,tavf2,9.5
*SET,tbv2,9.5
*SET,tcvf2,6.3
*SET,tdvf2,6.3

```

Fonte: Próprio autor (imagem do programa paramétrico no arquivo bloco de notas).

3.2.3 Dados de entrada para definição das solicitações atuantes

Os dados contidos no terceiro bloco (Figura 29), de dados de entrada, no programa desenvolvido são utilizados para se dimensionar todos os carregamentos que atuam sobre a estrutura do equipamento os quais serão combinadas de acordo com o caso de solicitações.

As variáveis do terceiro bloco são: peso aproximado da estrutura do pórtico rolante ($Sgpr$), peso do carro trole sem moitão e cabo de aço ($Sgct$), peso do conjunto do moitão (Sgm), peso do cabo de aço ($Sgca$), peso do painel elétrico ($Sgpel$) e grandeza da carga de serviço (Fs), todas estas em kilo Newton. Deve-se informar também o número de rodas do pórtico ($NRpr$), do carro trole ($NRct$), o fator de ensaio estático (ρ), os coeficientes dinâmicos vertical (Ψ_v) e horizontal (Ψ_h), o coeficiente de majoração Mx , a largura média da perna em milímetros, na direção “X” (bpx) e na direção “Z” (bpz), as acelerações, em metros por segundo ao quadrado, do pórtico (apr), do carro trole (act) e da gravidade (g), as pressões, em Newton por metro quadrado, do vento limite de serviço (PVs) e do vento máximo (PVm).

Têm-se também os coeficientes aerodinâmicos: da viga principal (Cvp), da carga de serviço (CFs), do carro trole (Cct), da viga de fechamento (Cvf), da viga de ligação (Cvl), da perna na direção “X” (Cpx), da perna na direção “Z” (Cpz), do painel elétrico na direção “X” ($Cpelx$) e do painel elétrico na direção “Z” ($Cpelz$), as área de projeção, em metros quadrados, do carro na direção “X” ($Actx$), do carro na direção “Z” ($Actz$), da carga na direção “X” ($AFsx$), da carga na direção “Z” ($AFsz$), do painel elétrico na direção “X” ($Apelx$) e do painel elétrico na direção “Z” ($Apelz$), variáveis estas utilizadas para se determinar as forças e pressões do vento sobre estas partes.

Com estes dados se calcula as forças e momentos atuantes que serão aplicados nos pontos de apoio das rodas do carro trole, das forças concentradas do vento em pontos pré determinados, como a posição do painel elétrico e da pressão que o vento exerce sobre as vigas e pernas, aplicada (pressão) ao longo da linha neutra destas.

No programa as variáveis que nomeiam as forças atuantes possuem na penúltima letra de seu nome a orientação que indica o sentido da força em questão em relação ao eixo de coordenadas e na ultima letra, no caso das reações do carro trole, a indicação se estas forças são aplicadas nas rodas motoras ou movidas. Como por exemplo: a força atuante $Fzpel$, trata-se de uma força atuante no sentido do eixo “Z”, o momento Mxt : trata-se de um momento de torção em torno do eixo “X” e aplica-se nas rodas motoras do carro, se fosse Mxf , aplicaria se na roda movida do carro.

Figura 29 – Terceiro bloco de dados de entrada do programa paramétrico.

2 - SOLICITAÇÕES ATUANTES

- Peso aproximado da estrutura pórtico rolante	$Sgpr =$		[kN]
- Peso do carro trole sem moitão e cabo de aço	$Sgct =$		[kN]
- Peso do moitão	$Sgm =$		[kN]
- Peso do cabo de aço	$Sgca =$		[kN]
- Peso do painel elétrico	$Sgpel =$		[kN]
- Carga de serviço	$Fs =$		[kN]
- Número de rodas do pórtico	$NRpr =$		
- Número de rodas do carro	$NRct =$		
- Coeficiente de majoração para ensaio estático	$\rho^2 =$		[%]
- Coeficiente dinâmico vertical	$\psi_v =$		
- Coeficiente dinâmico horizontal	$\psi_h =$		
- Coeficiente de majoração	$Mx =$		
- Largura média da perna na direção "X"	$bpx =$		[mm]
- Largura média da perna na direção "Z"	$bpz =$		[mm]
- Aceleração do pórtico	$apr =$		[m/s ²]
- Aceleração do carro	$act =$		[m/s ²]
- Aceleração da gravidade	$g =$		[m/s ²]
- Pressão do vento limite de serviço	$PVs =$		[N/m ²]
- Pressão do vento máximo	$PVm =$		[N/m ²]
- Coeficiente aerodinâmico da viga principal	$Cvp =$		
- Coeficiente aerodinâmico da carga	$CFs =$		
- Coeficiente aerodinâmico do carro	$Cct =$		
- Coeficiente aerodinâmico da viga de fechamento	$Cvf =$		
- Coeficiente aerodinâmico da viga de ligação (cabeceira)	$Cvl =$		
- Coeficiente aerodinâmico da perna na direção "X"	$Cpx =$		
- Coeficiente aerodinâmico da perna na direção "Z"	$Cpz =$		
- Coeficiente aerodinâmico do painel elétrico, direção "X"	$Cpelx =$		
- Coeficiente aerodinâmico do painel elétrico, direção "Z"	$Cpelz =$		
- Área de projecção do carro na direção "X"	$Actx =$		[m ²]
- Área de projecção do carro na direção "Z"	$Actz =$		[m ²]
- Área de projecção do carga na direção "X"	$AFsx =$		[m ²]
- Área de projecção do carga na direção "Z"	$AFsz =$		[m ²]
- Área de projecção do painel elétrico na direção "X"	$Apelx =$		[m ²]
- Área de projecção do painel elétrico na direção "Z"	$Apelz =$		[m ²]

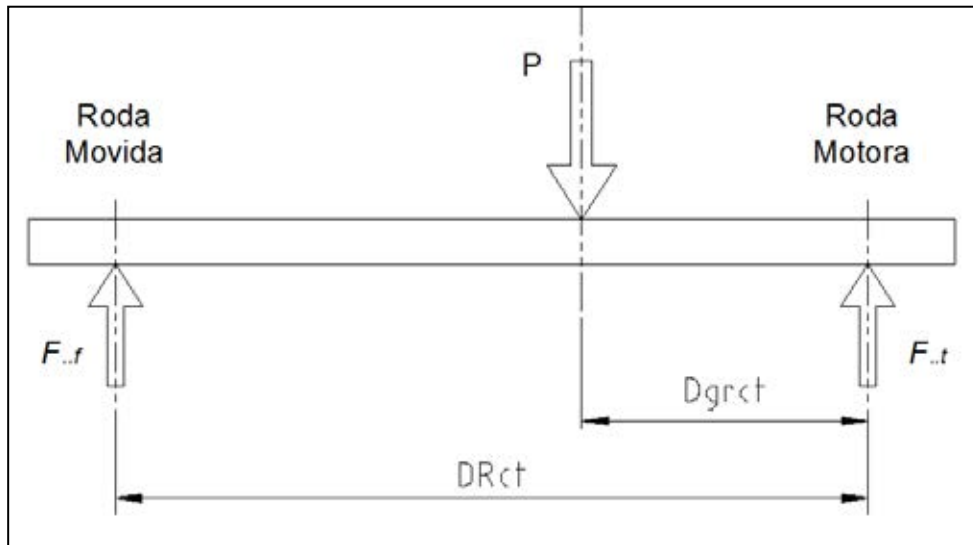
Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

3.2.4 Solicitações atuantes

Conforme mencionado no capítulo II, item 2.5, para o dimensionamento da estrutura do pórtico rolante, leva-se em consideração três casos de solicitação.

No primeiro caso (caso I), chamado de serviço normal sem vento, temos as solicitações devidas ao peso próprio da estrutura, do carro trole, do moitão, do cabo de aço, da carga de serviço e dos acessórios, combinadas com as solicitações devidas aos movimentos verticais e horizontais. Um exemplo de solicitação devida ao peso próprio são as reações nas rodas do carro trole que se apóia sobre os trilhos acima das vigas principais. Estas cargas originam um momento de torção na viga principal, em virtude da excentricidade do trilho com a viga. Pode-se determinar estes esforços segundo as equações de (8) a (11).

Figura 30 – Croqui reações nas rodas do carro trole.



Fonte: Próprio autor.

$$F_{1yf} = \frac{Sgct}{NRct} \quad (8)$$

$$M_{1xf} = F_{1yf} \cdot Z_t \quad (9)$$

$$F_{1yt} = \frac{Sgct}{NRct} \quad (10)$$

$$M_{1xt} = F_{1yt} \cdot Z_t \quad (11)$$

As solicitações devidas à carga de serviço somada ao peso do moitão mais cabo de aço são determinadas pelas equações de (12) a (15), e estas são aplicadas nos pontos de apoio das rodas do carro trole na posição considerada.

$$F_{2yf} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(Fs+Sgm+Sgca) \cdot Dgrct}{Drct} \quad (12)$$

$$M_{2xf} = F_{2yf} \cdot Z_t \quad (13)$$

$$F_{2yt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(Fs+Sgm+Sgca) \cdot (DRct-Dgrct)}{Drct} \quad (14)$$

$$M_{2xt} = F_{2yt} \cdot Z_t \quad (15)$$

Para se calcular a solicitação devida ao movimento vertical da carga de serviço, multiplica-se cada uma das solicitações da carga em questão ($F_{2yf}, M_{2xf}, F_{2yt}, M_{2xt}$) pelo coeficiente dinâmico vertical “ Ψ_v ”. Os esforços devidos aos movimentos horizontais podem surgir durante a aceleração do carro podendo estes, serem calculados conforme as equações (16) a (19). Estas solicitações podem também surgir pelo rolamento das rodas nos trilhos, pelos choques em batentes ou pára choques e colisões entre as rodas do carro ou do pórtico com seus trilhos.

$$F_{3zf} = \frac{(F_{1yf} \cdot F_{2yf})}{g \cdot apr \cdot \Psi_h} \quad (16)$$

$$M_{3xf} = F_{3zf} \cdot Z_y \quad (17)$$

$$F_{3zt} = \frac{(F_{1yt} \cdot F_{2yt})}{g \cdot apr \cdot \Psi_h} \quad (18)$$

$$M_{3xt} = F_{3zt} \cdot Z_y \quad (19)$$

No segundo caso (caso II), chamado de serviço normal com vento limite de serviço, temos a combinação de todas as solicitações existentes no caso I com os carregamentos pertencentes ao caso II, sendo elas: A ação do vento na direção “X” e a ação do vento atuando

na direção “Z”. Para exemplificar como se determina estes carregamentos, consideraremos o vento na direção “Z” exercendo sua ação sobre as vigas principais (equações (20) e (21)), sobre as pernas (equações (22) e (23)) e sobre o painel elétrico (equação (24)). Nesta mesma direção, além das partes já mencionadas, deve-se levar em consideração também a ação do vento sobre as áreas de projeção do carro trole, sobre as cargas e demais acessórios caso haja.

$$P_{zvpe} = PVs . bvp . Cvp \quad (20)$$

$$P_{zvpp} = 0,75 . P_{zvpe} \quad (21)$$

Sendo que a equação (20) representa a pressão do vento sobre a viga principal mais exposta e a equação (21) determina a pressão do vento sobre as vigas protegidas.

$$P_{zpe} = PVs . bpn . Cpz \quad (22)$$

$$P_{zpp} = 0,75 . P_{zpe} \quad (23)$$

Sendo que a equação (22) representa a pressão do vento sobre as pernas mais exposta e a equação (23) determina a pressão do vento sobre as pernas protegidas.

$$F_{zpel} = PVs . Apelz . Cpelz \quad (24)$$

No terceiro caso (caso III), chamado de caso de solicitação excepcional, leva-se em consideração a ação do vento máximo que atua sobre o equipamento na direção “X” ou “Z” e as solicitações provenientes dos ensaios estáticos e dinâmicos.

Um exemplo de carregamento do caso III (solicitações devidas ao ensaio estático) está demonstrado nas equações de (25) a (28).

$$F_{4yf} = \frac{1}{2} . \frac{[(Fs.\rho)+Sgm+Sgca] . Dgrct}{Drct} \quad (25)$$

$$M_{4xf} = F_{4yf} . Z_t \quad (26)$$

$$F_{4yt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{[(Fs.\rho)+Sgm+Sgca] \cdot (DRct-Dgrct)}{Drct} \quad (27)$$

$$M_{4xt} = F_{4yt} \cdot Z_t \quad (28)$$

3.3 MATERIAL UTILIZADO E TENSÕES ADMISSÍVEIS

Para o a estrutura do pórtico rolante em questão utilizou como material da estrutura o aço ASTM A-36, cuja resistência estática está indicada na Tabela 10

Tabela 10 – Resistência estática do aço ASTM A-36.

Tensão de escoamento σ_{esc} [MPa]	Tensão de ruptura σ_{rup} [MPa]
250	400

Para se determinar as tensões admissíveis (Tabela 12) utilizou os coeficientes determinados pela norma NBR8400 edição de março de 1984 conforme Tabela 11. Estas tensões admissíveis são determinadas pelo produto de um destes coeficientes com a tensão de escoamento ou ruptura.

Tabela 11 – Coeficientes de correção para tensão admissível (NBR 8400).

	Caso I	Caso II	Caso III
Tensão de comparação	0,67	0,75	0,91
Compressão e compressão na flexão	0,67	0,75	0,91
Tração e tração na flexão	0,67	0,75	0,91
Tensão de cisalhamento	0,38	0,43	0,52

Tabela 12 – Tensões admissíveis em relação ao escoamento (NBR 8400).

	Caso I	Caso II	Caso III
Unidade	MPa	MPa	MPa
Tensão de comparação	167,5	187,5	227,5
Compressão e compressão na flexão	167,5	187,5	227,5
Tração e tração na flexão	167,5	187,5	227,5
Tensão de cisalhamento	95	107,5	130

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS E ANÁLISE DA PARAMETRIZAÇÃO

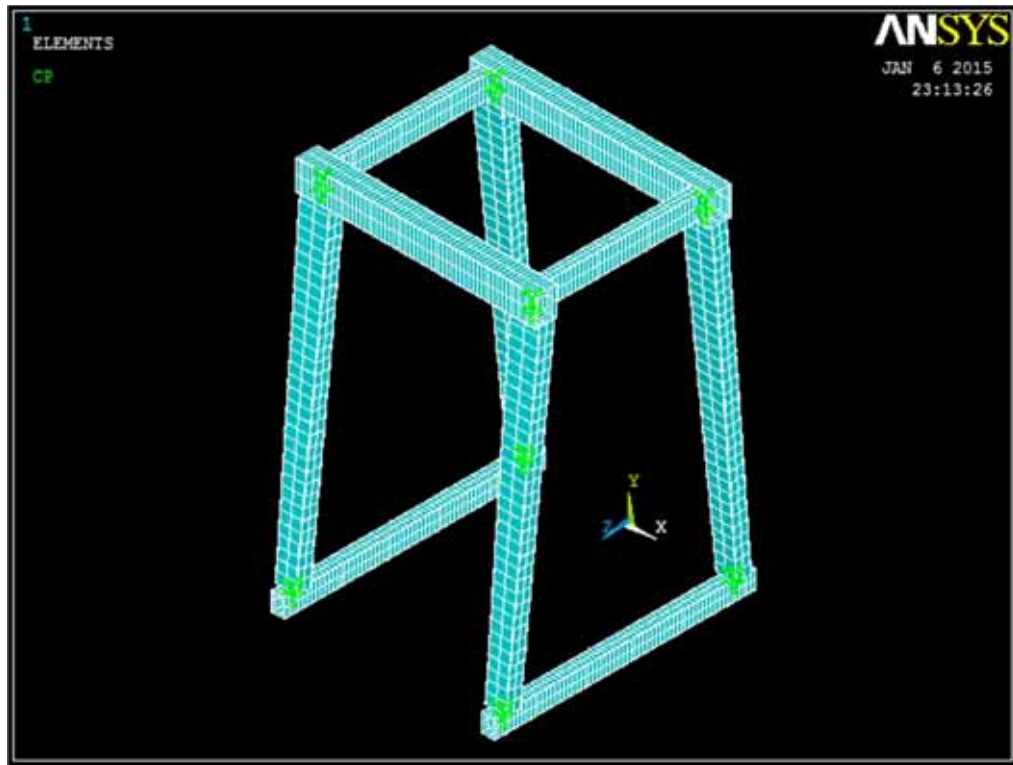
Com uma ferramenta paramétrica consegue-se reduzir, em muito, o tempo gasto com modelagem no software ANSYS. No modo convencional para se modelar a estrutura de um pórtico no ANSYS, deve-se primeiramente definir as propriedades do material, selecionar o tipo de elemento a ser utilizado (neste caso o BEAM 189), definir quantos tipos de seções haverá e informar suas dimensões. Em segundo lugar, deve-se iniciar a modelagem com a criação dos pontos que irão definir as extremidades e os locais de aplicação das cargas nas vigas e pernas, os pontos serão gerados através de coordenadas “X”, “Y” e “Z”, a partir de uma origem adotada. Depois de criados, os pontos devem ser unidos pelas linhas que representaram as vigas. Uma vez definida as linhas, inicia-se a inserção da malha sobre estas, hora em que são atribuídas as orientações e seções corretas de cada parte. Uma vez criada a malha de elementos finitos é hora de aplicar as restrições (no caso nas rodas do pórtico), a aceleração da gravidade e os carregamentos nos seus devidos pontos para em seguida realizar-se a simulação. Para esta operação de modelagem estima-se um tempo de cinquenta minutos.

Caso necessite alterar o posicionamento de um ponto, para aumentar, por exemplo, o comprimento de uma viga, dependendo do caso, é mais vantajoso se iniciar outra simulação, pois para se conseguir fazer esta pequena alteração tem que apagar as restrições aplicadas no ponto, apagar o carregamento, retirar a malha de elementos que está sobre a linha, apagar a linha para somente então mover o ponto e posteriormente refazer todo o processo contrário até a aplicação das cargas e simulação.

Com a ferramenta paramétrica uma alteração como a citada anteriormente ou até mesmo a modificação completa de todo o problema é feita, em média, em menos de cinco minutos, como se pode constatar nas Figuras 30 a 33.

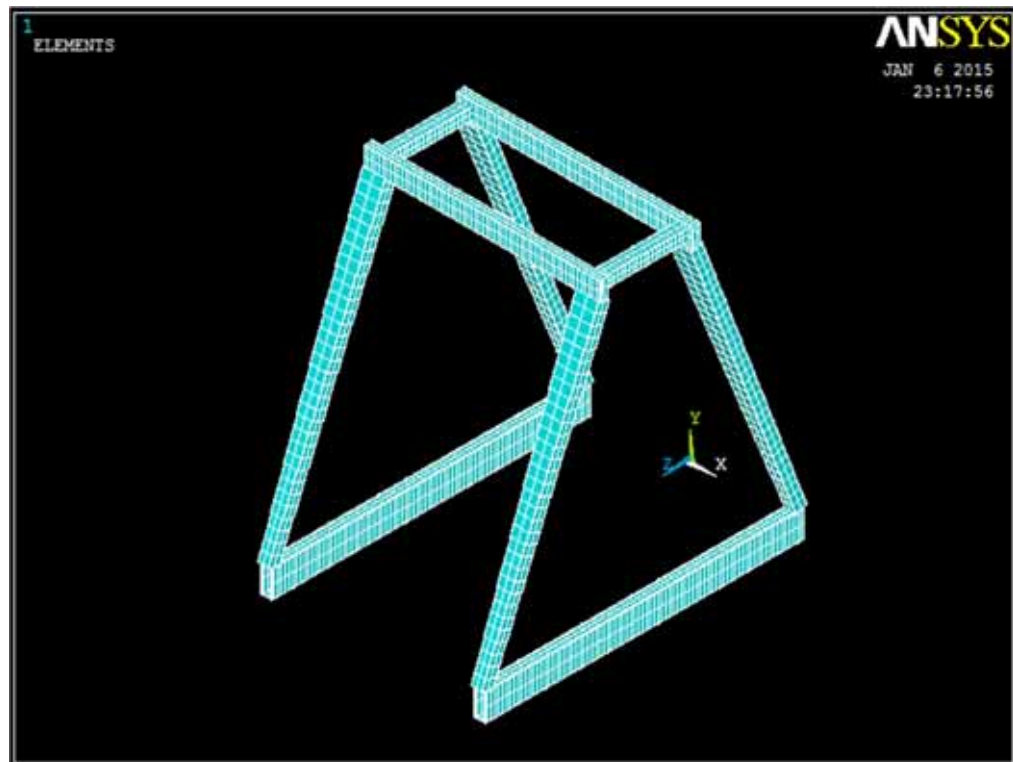
No canto superior direito de cada Figura, tem-se a data e a hora na qual foi gerado o arquivo no software de simulação. O intervalo de tempo decorrido entre a confecção do modelo 2 (Figura 31) e o modelo 1 (Figura 30) foi de 5,5 minutos, já o intervalo de alteração entre o modelo 2 e o modelo 3 (Figura 32) foi de apenas 3 minutos e o intervalo registrado entre o modelo 4 (Figura 33) e o modelo 3 foi de aproximadamente 6 minutos. Tempos este decorrido entre fazer a alteração nos dados de entrada e importar o código paramétrico para o ANSYS, contudo este tempo pode ainda ser reduzindo dependendo da disposição dos dados.

Figura 31 – Modelo “1” de um pórtico rolante.



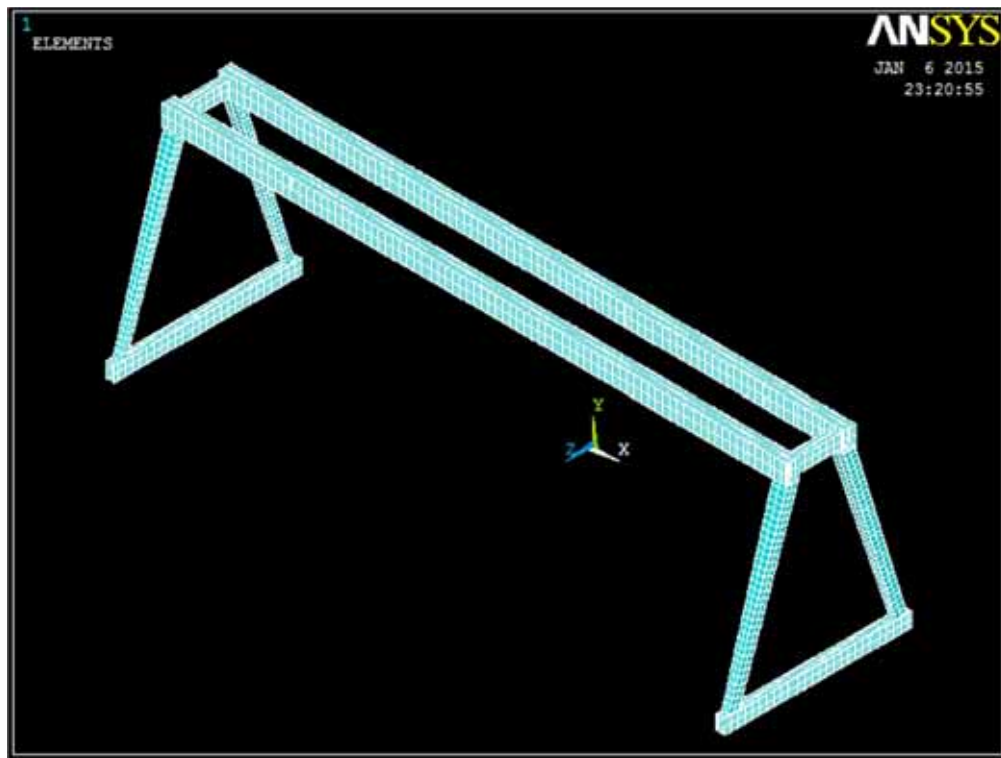
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 32 – Modelo “2” de um pórtico rolante.



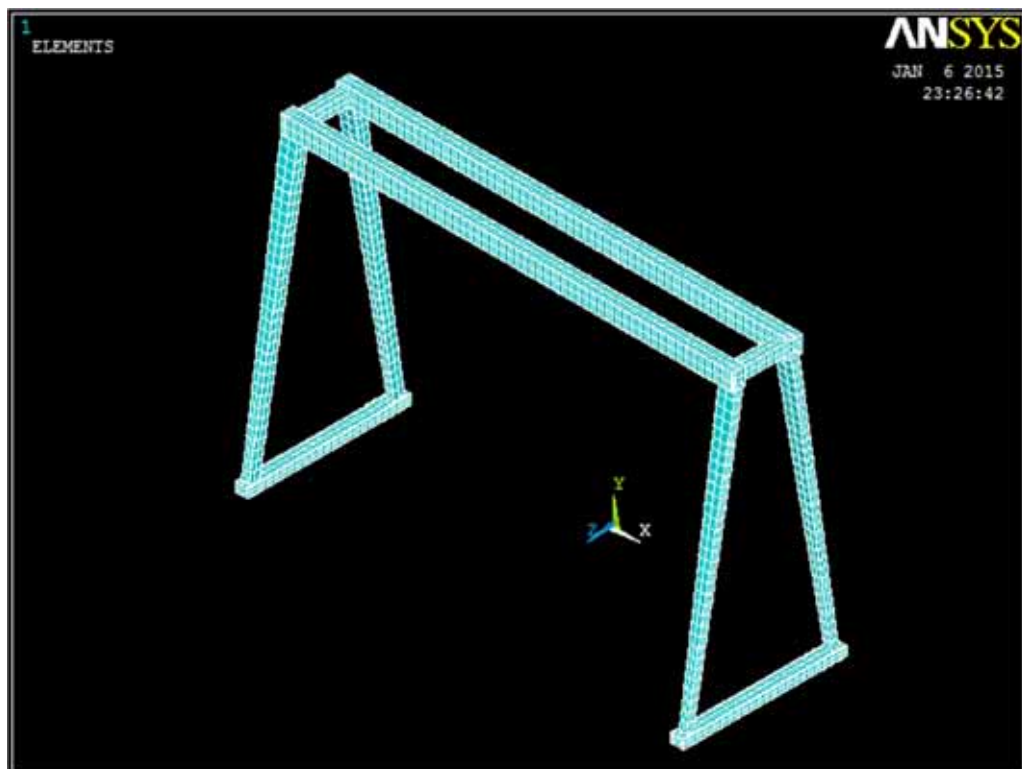
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 33 – Modelo “3” de um pórtico rolante.



Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 34 – Modelo “4” de um pórtico rolante.



Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Como se pode verificar pelas Figuras 30, 31, 32 e 33 com o programa paramétrico são possíveis simular todas as dimensões de pórticos rolantes do tipo dupla viga centrais, aqueles sem balanços laterais.

Outra vantagem do programa paramétrico está na agilidade de se escolher o tipo de carregamento que se deseja simular na estrutura em análise. Primeiramente seleciona-se o caso de solicitação e em seguida a combinação de carregamento para o caso selecionado, por exemplo, para o Caso I (Figura 34) foi criado quatro tipos de combinações de solicitações atuantes de mesma natureza, cada uma representando uma simulação e uma verificação diferente a se fazer com o equipamento.

Figura 35 – Seleção carregamento – Caso I.

2.1 - CARREGAMENTO

2.1.1 - SELEÇÃO DO CASO DE SOLICITAÇÃO CASO I

SERVIÇO NORMAL SEM VENTO

$S_{caso I} = Mx (Sg + \psi.SI + Sh)$

2.1.2 - SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO DE CARREGAMENTO

COMBINAÇÃO 1

COMBINAÇÃO 1

COMBINAÇÃO 2

COMBINAÇÃO 3

COMBINAÇÃO 4

Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

Para cada seleção no item 2.1.1 (Figuras 34, 35 e 36), como uma forma de interação do programa com o operador, aparece escrito, em negrito, qual é a natureza do caso escolhido (serviço com ou sem vento, solicitação excepcional ou não) e abaixo, como lembrete, a equação que representa a combinações do caso selecionado. Exemplo para o Caso I tem se apenas a combinação das solicitações principais (Sg), com as verticais ($\psi.SI$) e as horizontais

(Sh) e para o Caso II (Figura 35) tem-se a combinação destes casos citados com as solicitações devido ao vento (Sw).

Figura 36 – Seleção carregamento – Caso II.

2.1 - CARREGAMENTO	
2.1.1 - SELEÇÃO DO CASO DE SOLICITAÇÃO	CASO II
<u>SERVIÇO NORMAL COM VENTO LIMITE DE SERVIÇO</u>	
$SCASO II = Mx (Sg + \psi \cdot SI + Sh) + Sw$	
2.1.2 - SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO DE CARREGAMENTO	COMBINAÇÃO 1

Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

Figura 37 – Seleção carregamento – Caso III.

2.1 - CARREGAMENTO	
2.1.1 - SELEÇÃO DO CASO DE SOLICITAÇÃO	CASO III
<u>EQUIPAMENTO SUBMETIDO A SOLICITAÇÃO EXCEPCIONAL</u>	
$Scaso III = Sg + Sw_{máx}$ $Scaso III = Sg + SI + St$ $Scaso III = Sg + \psi \cdot SI$	
2.1.2 - SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO DE CARREGAMENTO	COMBINAÇÃO 2

Fonte: Próprio autor (planilha em Excel versão 2007).

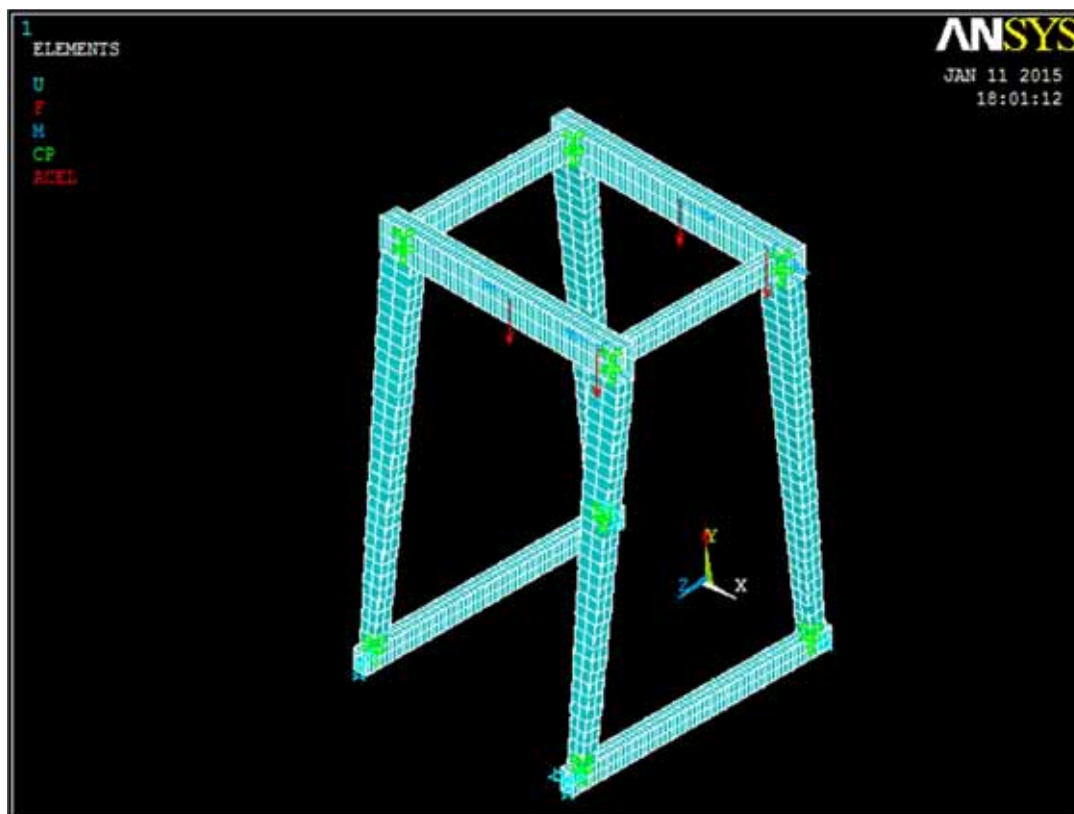
4.2 TENSÕES E DESLOCAMENTOS

Para a validação da ferramenta escolheu-se uma combinação, de cada um dos três casos existentes para se analisar, sendo para o caso I escolhida a combinação 1, para o caso II a combinação 4 e para o caso III a combinação 3, conforme segue.

4.2.1 Caso I e combinação de carregamento 1

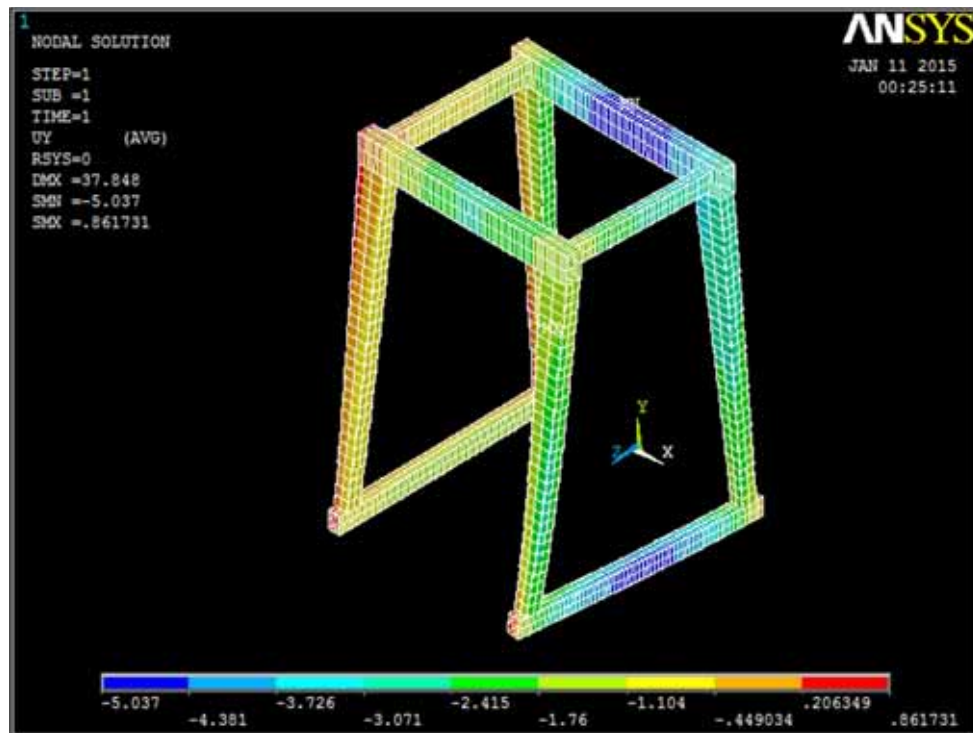
Nesta combinação de carregamento, do caso I, considera-se o carro trole no seu fim de curso lateral direito, com o gancho na sua aproximação máxima da linha da perna conforme se pode observar na Figura 37. Nesta combinação leva-se também em consideração o efeito do movimento vertical, o efeito das acelerações da gravidade, do equipamento e simultaneamente o choque entre as rodas do carro trole e do trilho.

Figura 38 – Aplicação das cargas e posição do carro para o caso I, combinação 1.



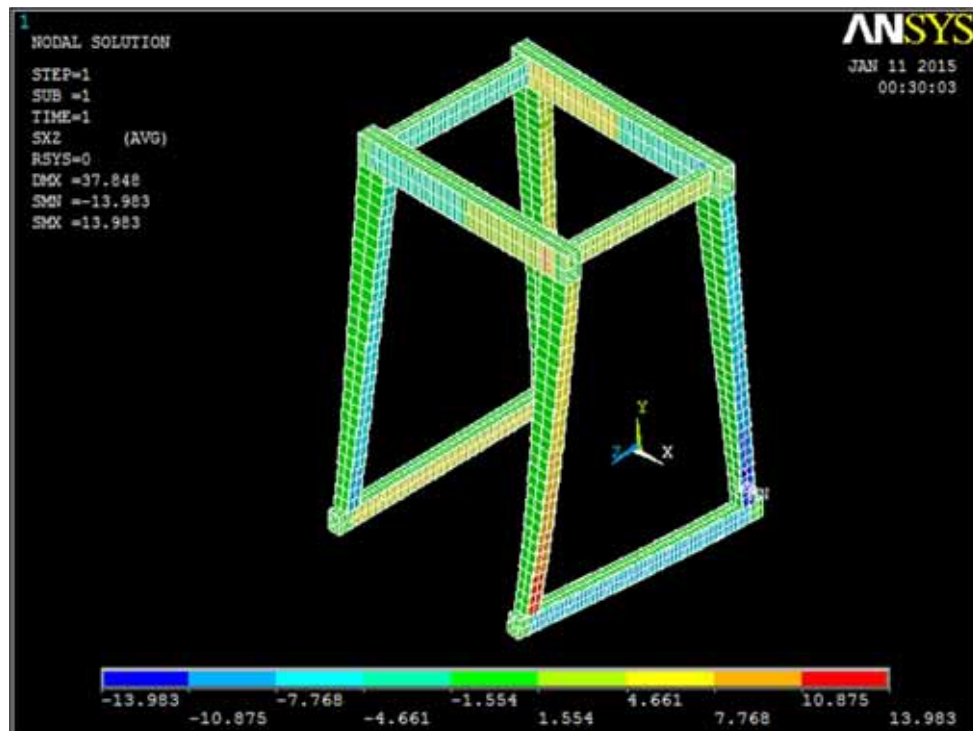
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 39 – Deslocamento na direção do eixo Y para o caso I, combinação 1.



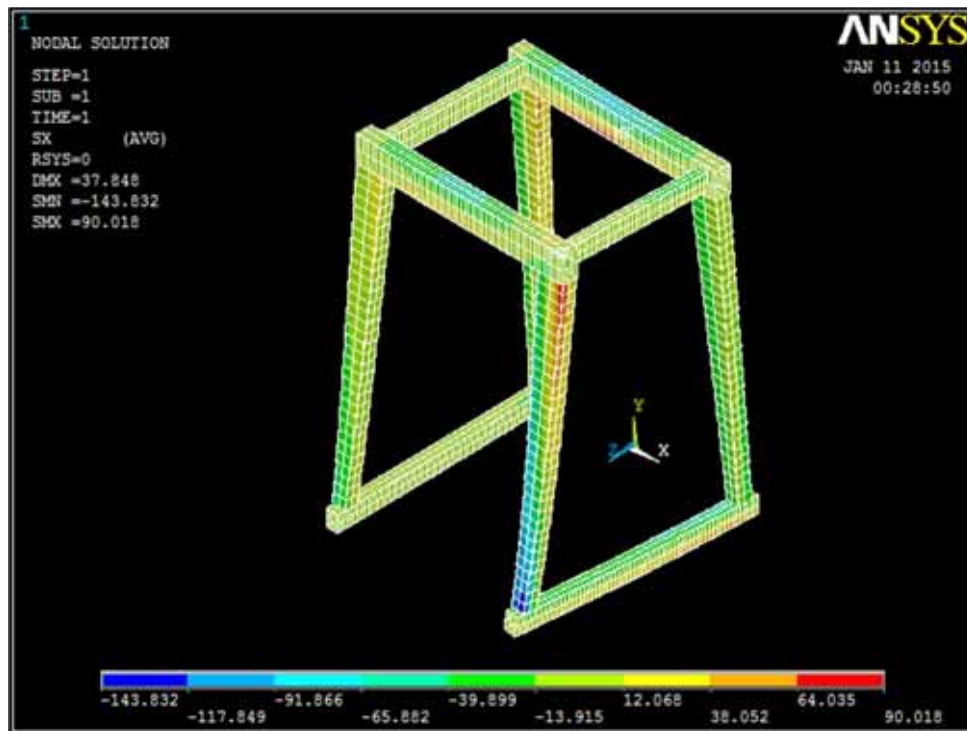
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 40 – Tensão de cisalhamento máxima para o caso I, combinação 1.



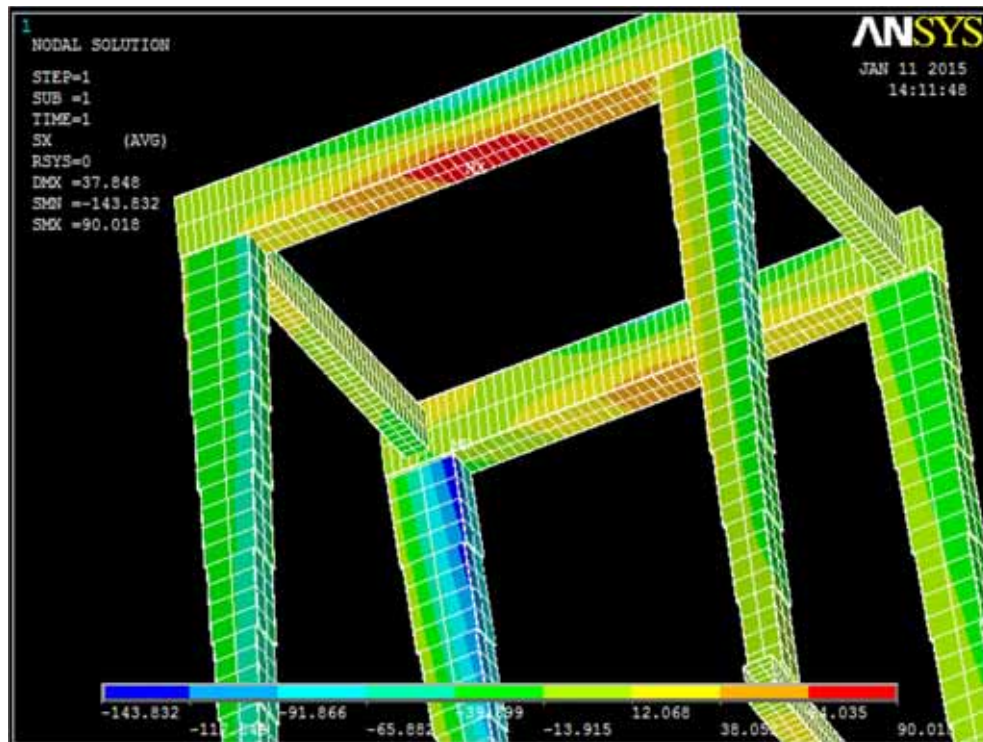
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 41 – Tensão normal máximo para o caso I, combinação 1.



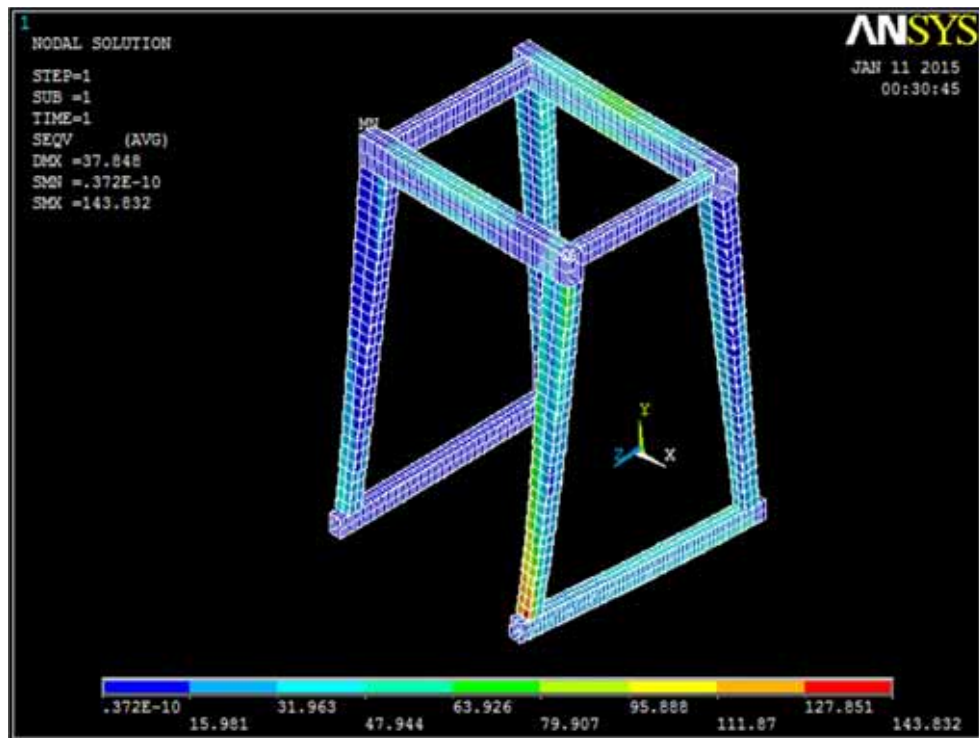
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 42 – Região da tensão normal máximo para o caso I, combinação 1.



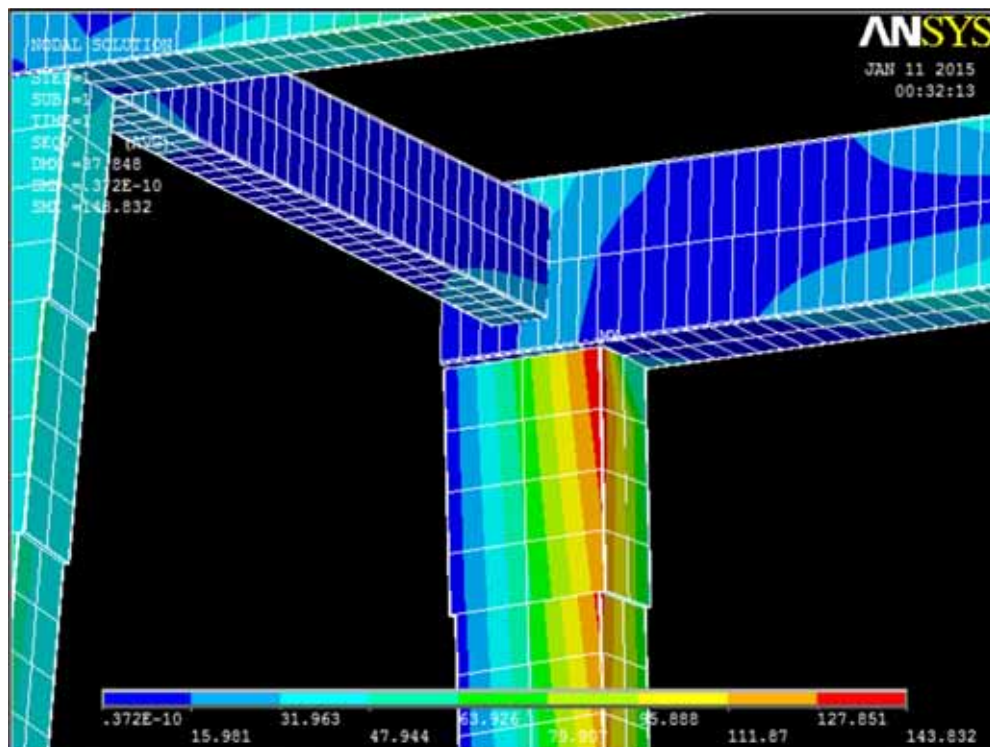
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 43 – Tensão von Mises para o caso I, combinação 1.



Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 44 – Ponto da tensão máxima de von Mises para o caso I, combinação 1.



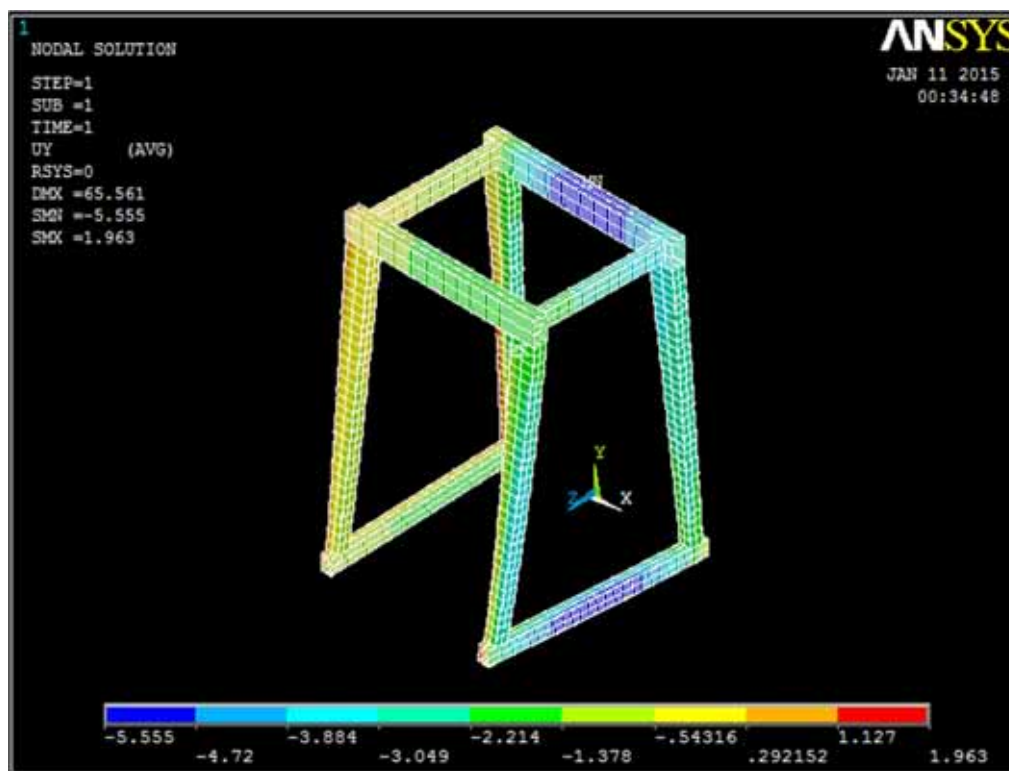
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Na Figura 38 verifica-se que os deslocamentos, em milímetros, da estrutura na direção do eixo Y, chegando aos cinco milímetros no sentido negativo, na viga principal traseira. Na Figura 39 observa-se as tensões de cisalhamento com seu valor máximo de 13,98 MPa na região das pernas, valor este bem abaixo do valor admissível que é de 95 MPa conforme indicado na Tabela 12, do capítulo 3. A tensão normal (Figura 40) atinge seu valor máximo de compressão de 143,8 MPa na região interna da perna esquerda frontal e seu valor máximo de tração, 90 MPa, nas fibras inferiores da viga principal traseira conforme ilustrados na Figura 41, ambos os valores abaixo da tensão admissível que é de 167,5 MPa. Nas Figuras 41 e 42, temos a indicação dos valores das tensões de von Mises, a qual atinge seu valor máximo (143,8 MPa), também na parte interna da perna esquerda frontal, dentro do valor admissível (167,5 MPa).

4.2.2 Caso II e combinação de carregamento 4

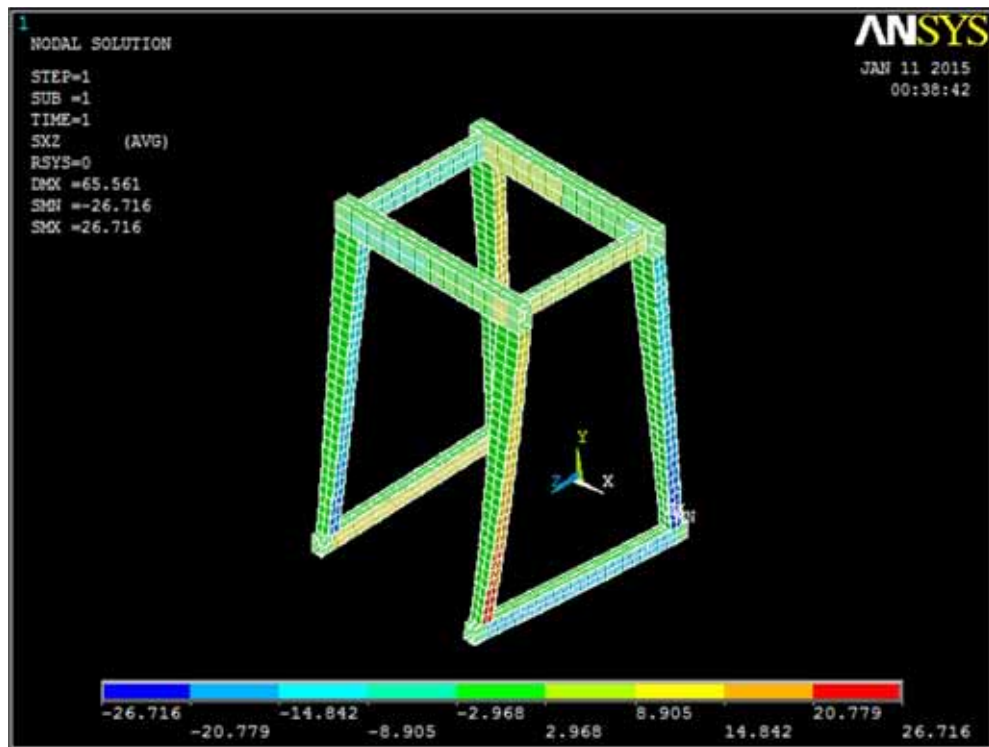
Para o caso II com a combinação de solicitações 4, temos os seguintes resultados:

Figura 45 – Deslocamento na direção do eixo Y para o caso II, combinação 4.



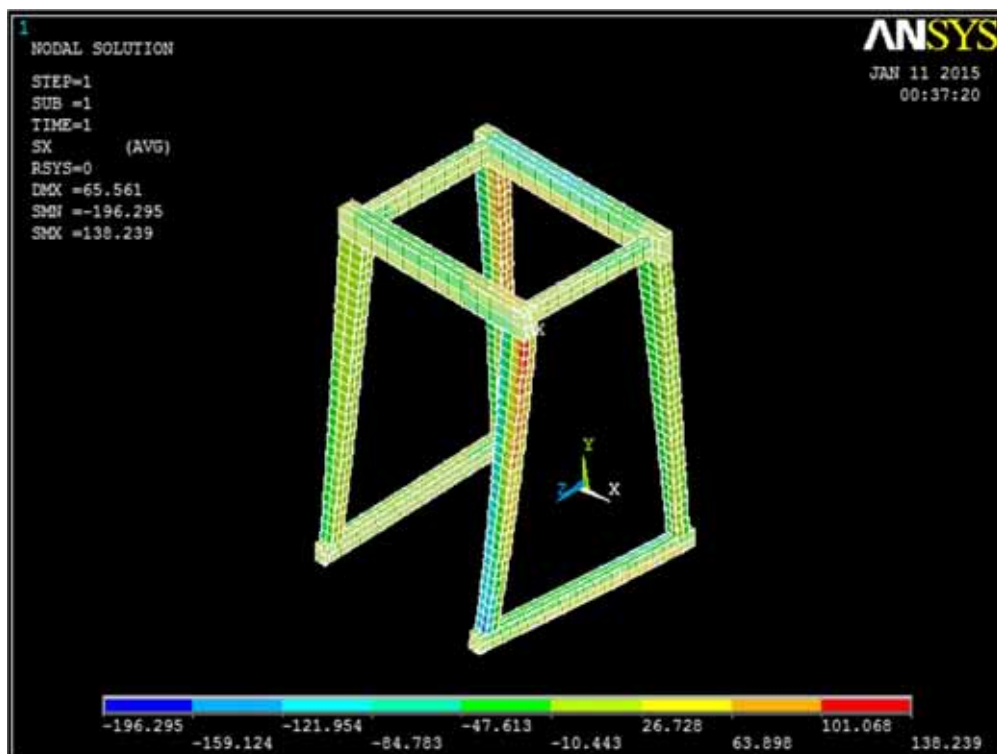
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 46 – Tensão de cisalhamento máximo para o caso II, combinação 4.



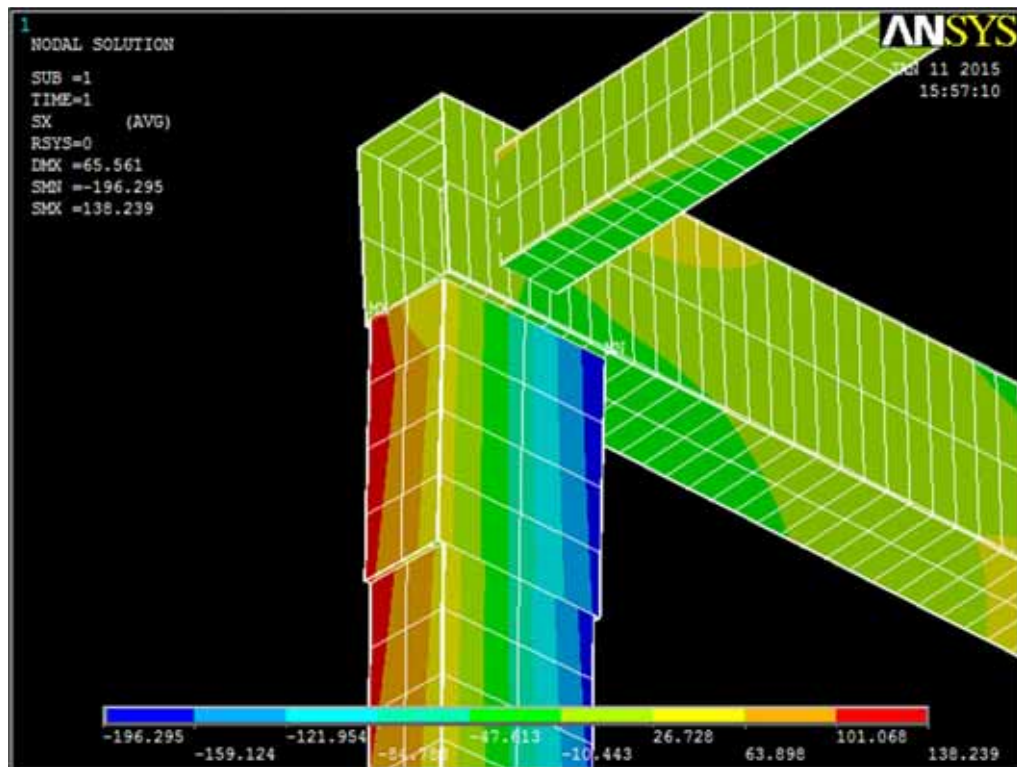
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 47 – Tensão normal máxima para o caso II, combinação 4.



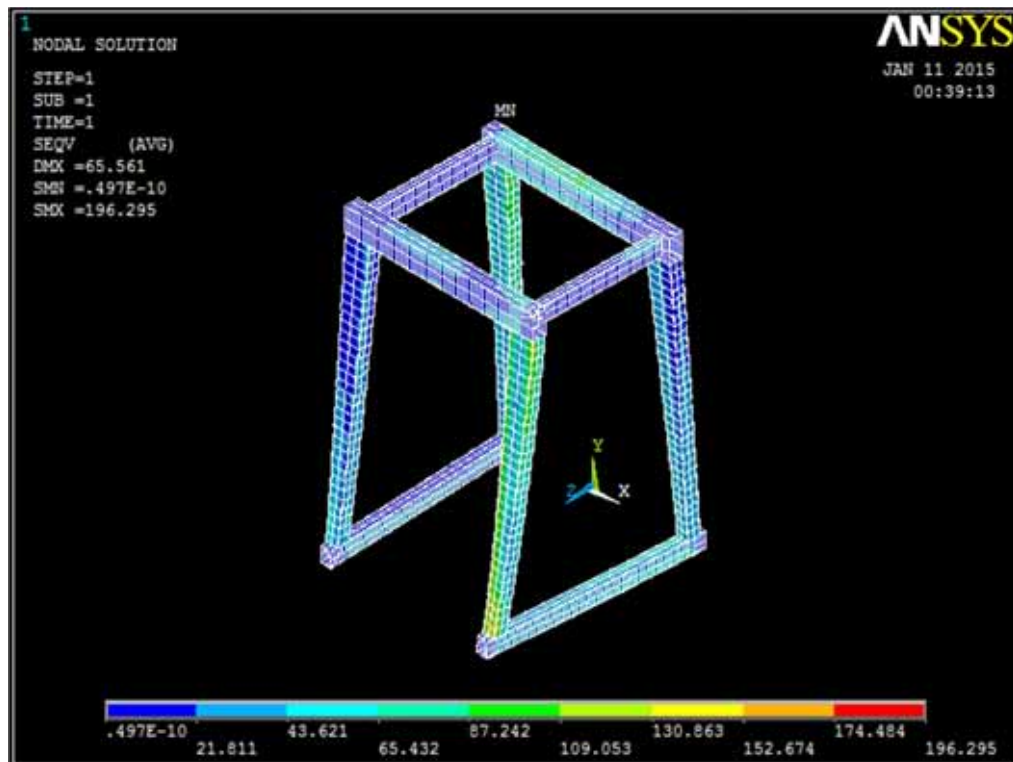
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 48 – Região da tensão normal máximo para o caso II, combinação 4.



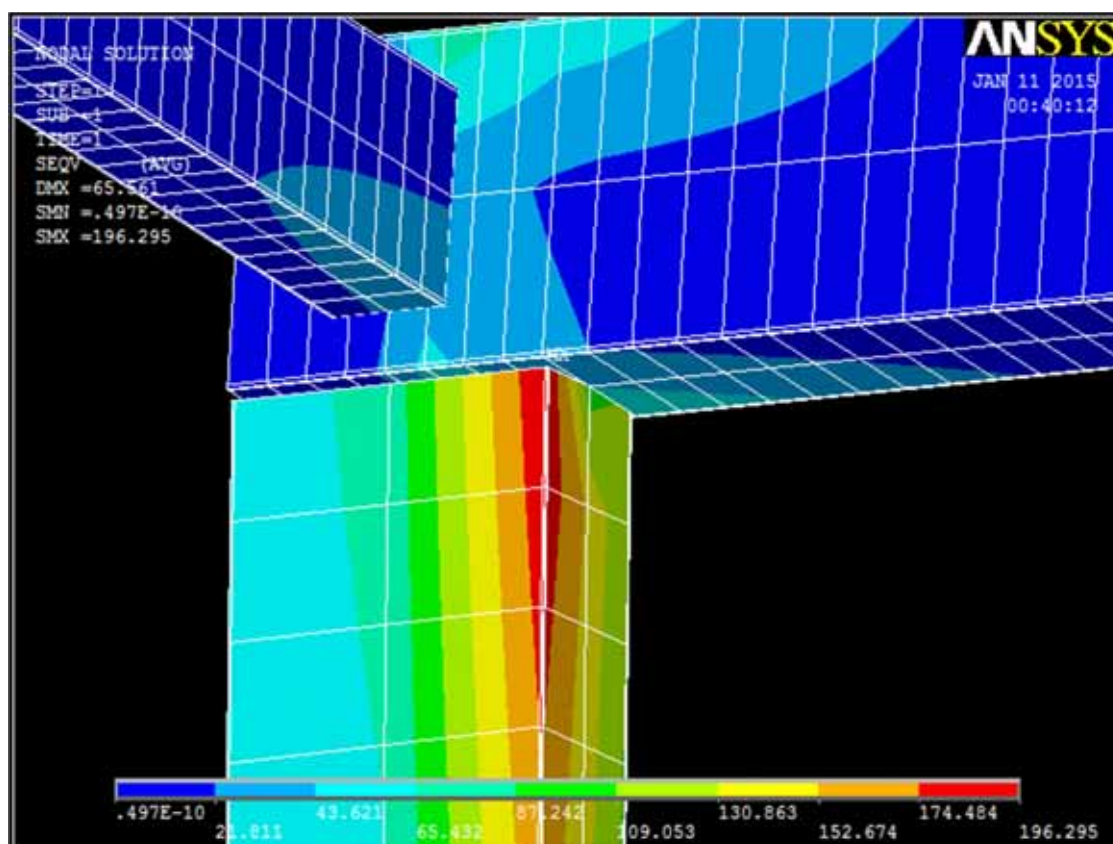
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 49 – Tensão von Mises para o caso II, combinação 4.



Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 50 – Ponto da tensão máxima de von Mises para o caso II, combinação 4.



Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

A combinação de carregamento 4 consiste na mesma combinação de carregamento do caso I combinada com a ação do vento na direção X, agindo sobre as pernas, as vigas de fechamento e as vigas cabeceiras.

Verifica-se, conforme a Figura 44, que para o caso e a combinação em questão o deslocamento máximo ocorre no sentido negativo do eixo Y com sua grandeza na ordem de 5 milímetros. Para a tensão de cisalhamento máxima encontrou-se, conforme indicado na Figura 45, o valor de 26,7 MPa, o qual está abaixo do valor admissível que é de 107,5 MPa, considerando caso II de solicitação na Tabela 12.

A tensão normal de tração atingiu seu valor na ordem de 138,2 MPa, estando este abaixo do limite admissível de 187,5 MPa, porém a tensão normal de compressão ultrapassou seu limite admissível (187,5 MPa), chegando a 196,3 MPa, conforme demonstrado na Figura 46. Na Figura 47 temos os pontos de tensões máximas normais e como observar-se estas se originaram da flexão da perna, que tracionaram sua fibra na parte externa do pórtico e comprimiram a mesma na parte interna.

A tensão de von Mises, como era de se esperar, também ultrapassou seu limite admissível de 187,5 MPa, em 4,7 %, chegando aos 196,3 MPa de tensão, também na perna na parte interna da estrutura.

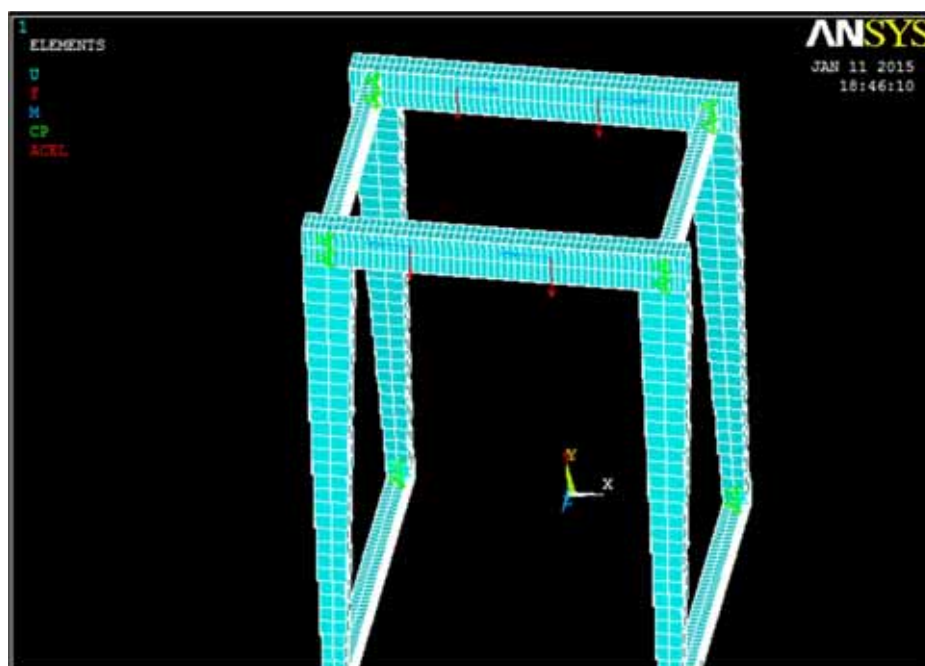
Devido a estes valores, encontrados no caso II, estarem acima dos limites admissíveis, deve-se aqui reprojeter o equipamento, ou seja, retornar aos dados de entrada do programa e alterar as dimensões da seção da perna para melhorar sua inércia, contudo como o objetivo deste trabalho não é o dimensionamento e sim o desenvolvimento da ferramenta paramétrica continuaremos a análise com este mesmo modelo.

4.2.3 Caso III e combinação de carregamento 3

Para o caso III com a combinação de solicitações 3, tem se a combinação dos carregamentos devido ao peso próprio da estrutura, mais o peso próprio do carro e acessórios com a carga de levantamento durante o teste estático a qual é de 140% da carga de serviço conforme já mencionado no capítulo 2 no item 2.5.3 e no capítulo 3 item 3.2.4.

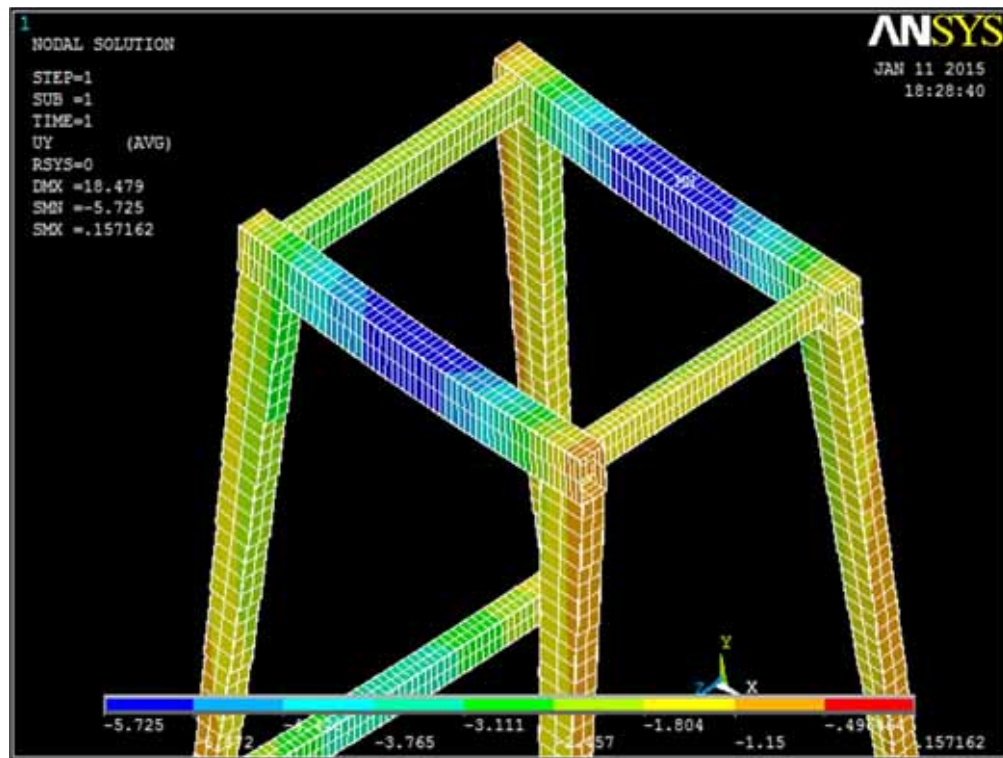
Considera-se o carro trole parado com o moitão no centro do vão do pórtico conforme indicado na Figura 51.

Figura 51 – Aplicação das cargas e posição do carro para o caso III, combinação 3.



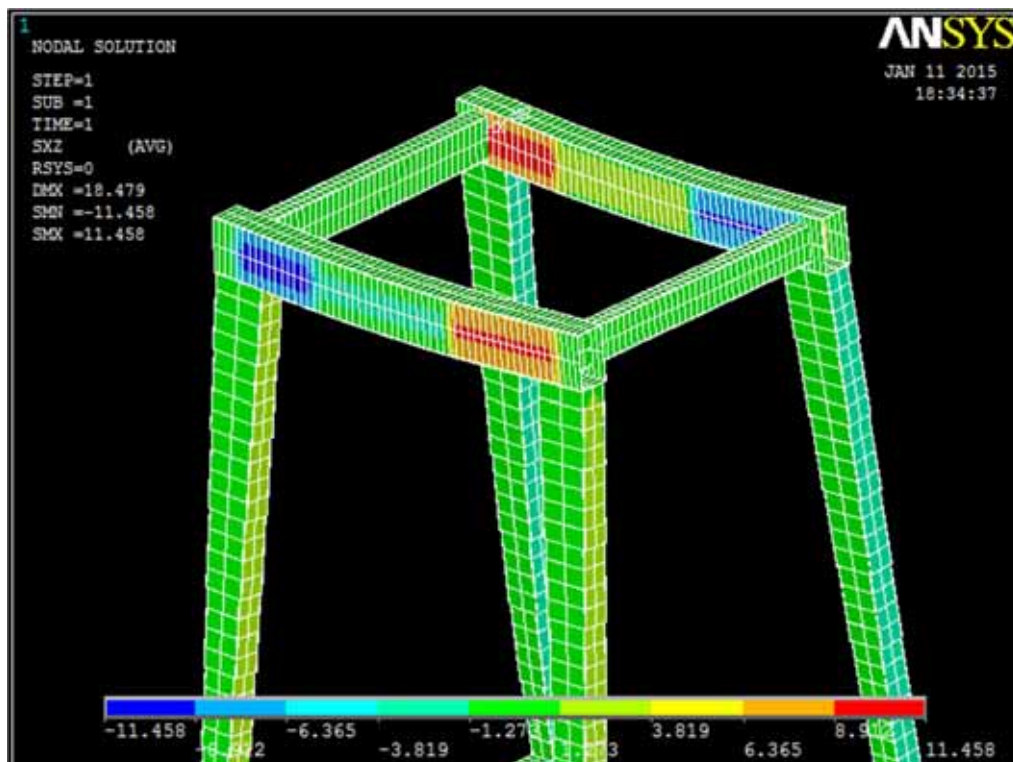
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 52 – Deslocamento na direção do eixo Y para o caso III, combinação 3.



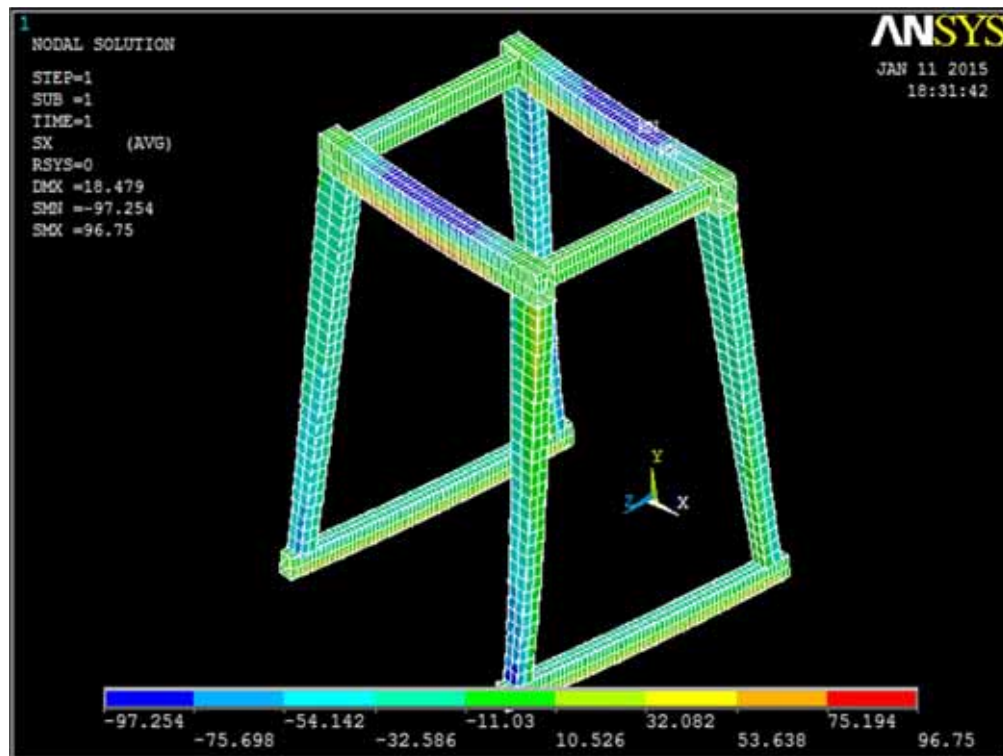
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 53 – Tensão de cisalhamento máxima para o caso III, combinação 3.



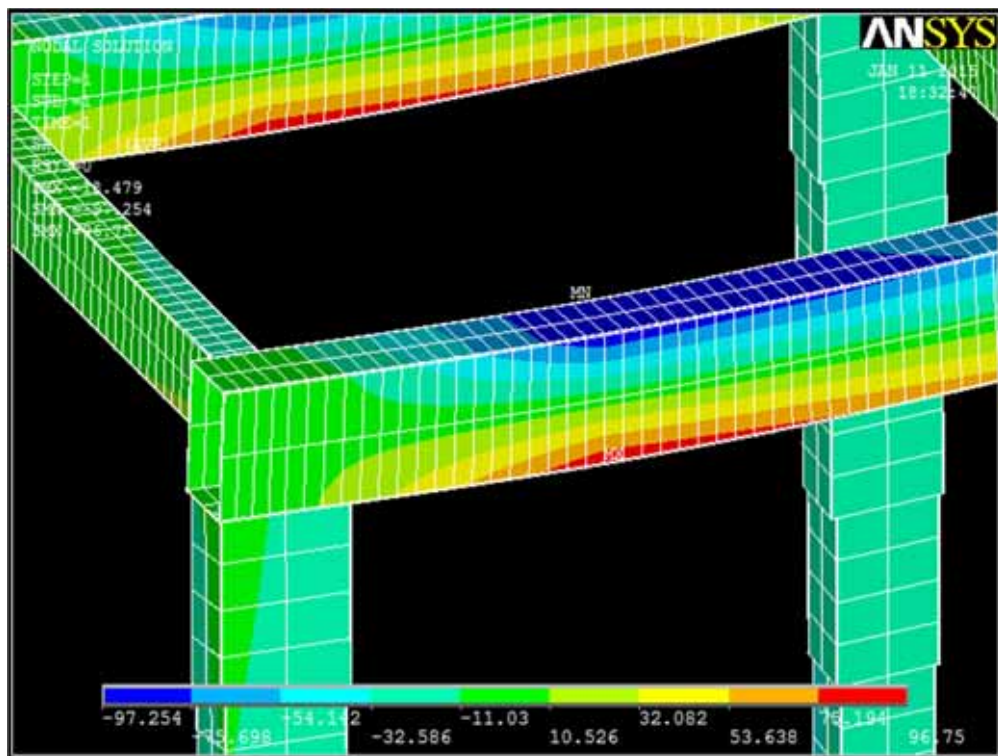
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 54 – Tensão normal para o caso III, combinação 3.



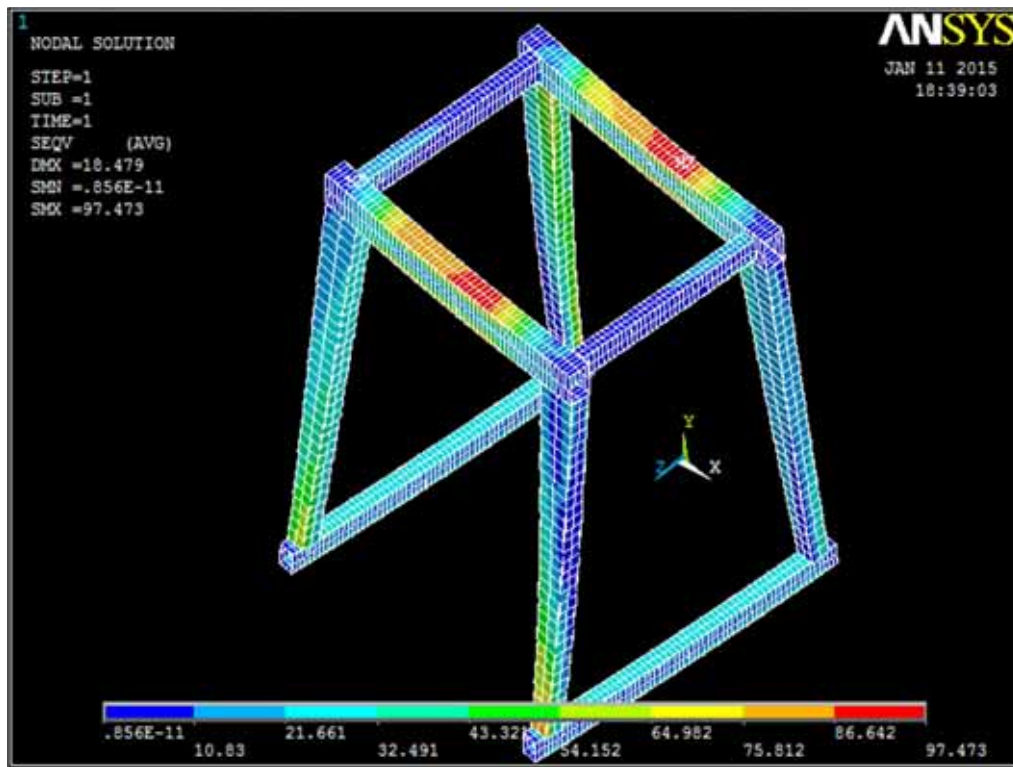
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 55 – Região da tensão normal máximo para o caso III, combinação 3.



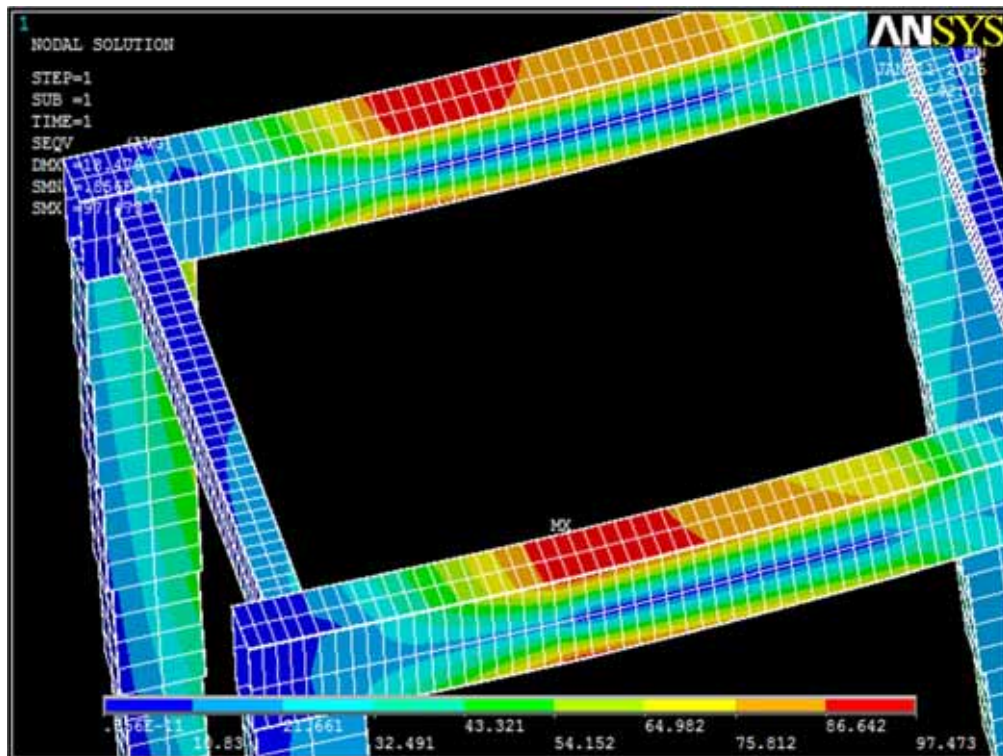
Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 56 – Tensão von Mises para o caso III, combinação 3.



Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Figura 57 – Ponto da tensão máxima de von Mises para o caso III, combinação 3.



Fonte: Próprio autor (imagem do software ANSYS *Multiphysics* versão 2012).

Para a combinação em questão, do caso III, considera-se o carro trole parado com o moitão no centro do vão do pórtico

Conforme indicado na Figura 52 o deslocamento máximo foi de 5,7 milímetros na parte central das vigas principais, como era de se esperar devido o posicionamento do carro trole. A tensão máxima de cisalhamento (Figura 53) se concentrou na extremidade da viga principal, com sua grandeza na ordem de 11,5 MPa, estando abaixo do admissível que é de 130 MPa.

Nas Figuras 54 e 55 temos os valores das tensões normais, atingido se pico com 97,3 MPa de compressão nas fibras superiores das vigas principais e 96,75 MPa de tração nas fibras inferiores das vigas principais ambas as tensões abaixo do limite admissível que é de 227,5 MPa.

Com seu valor máximo na ordem de 97,5 MPa, parte superior da viga principal traseira a tensão de von Mises também se encontra abaixo da tensão admissível (227,5 MPa), conforme indicado nas Figuras 56 e 57.

Conforme SOUBE, 2005, nas pernas dos pórticos, adotadas como vigas do tipo caixão, existem diafragmas e reforços internos que, junto com as abas e almas, determinam painéis que devem ser verificados quanto à flambagem localizada. Para esta verificação os resultados do programa paramétrico devem ser extraídos e estes cálculos realizados, através de planilhas de cálculo ou analiticamente, ou através de outro modelo em elementos finitos, verificações estas baseadas nos critérios de cálculo descritos na norma NBR 8400, porém estas não serão demonstradas nesta dissertação.

Os resultados de tensão e deslocamento para cada caso de solicitação estão reunidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Tensões e deslocamentos atuantes.

	Caso I	Caso II	Caso III
Deslocamento em Y	0,86 mm	1,96 mm	5,72 mm
Tensão normal	90 MPa	138,2 MPa	96,8 MPa
Tensão de cisalhamento	14 MPa	26,7 MPa	11,5 MPa
Tensão de von Mises	143,8 MPa	196,3 MPa	97,5 MPa

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que o a ferramenta paramétrica desenvolvida está processando os dados de entrada informados e gerando o código APDL corretamente, as simulações geradas a partir dele estão rodando e representando perfeitamente as condições nas quais a estrutura do pórtico está sujeita, indicando as distribuições das tensões e os pontos de concentração bem como as deformações, onde eram de se esperar.

Com a utilização da ferramenta paramétrica o tempo entre a simulação de um caso de carga e outro pode ser reduzido e para se simular um novo problema totalmente diferente, do que se tem, o tempo gasto com a modelagem pode ser reduzido em mais de dez vezes, podendo assim ser empregada esta economia para analisar-se melhor os resultados e otimizar o problema.

Conforme ilustrado nas figuras 43 e 44 a máxima tensão atuante na estrutura, devido o carregamento do caso I e combinação 1, foi de 143,8 MPa na parte superior da perna frontal esquerda em uma região interna ao pórtico, porém esta tensão é aceitável pois está abaixo do limite admissível em cerca de 14%.

Para o caso III, combinação de carregamento 3, as tensões máximas normais e de von Mises registradas (Figuras 55 e 57) foram praticamente iguais, cerca de 97 MPa, ambas localizadas nas fibras externas da viga principal na região próxima do meio do vão, como era esperado devido o posicionamento do carro trole, estando estas tensões 57,4% abaixo do limite admissível.

Dentre os três casos e as três combinações a mais crítica foi a combinação 4 do caso II, na qual as tensões normais e de von Mises ficaram acima dos limites admissíveis, cerca de 4,7 %, portanto o pórtico em análise deverá ser reprojetoado e depois verificado novamente para a mesma condição e as demais existentes nos três casos. O ponto mais crítico, devido a este carregamento, foi na perna frontal esquerda, pois esta resiste ao momento fletor causado pela carga lateral existente na direção do eixo X, como a carga de vento que se projeta sobre as pernas, vigas de fechamento e cabeceiras.

Pode-se observar também com as pesquisas de referência que, de acordo com a Tabela 11, quando se aumentam as severidades de carregamento na estrutura, os coeficientes de correção da tensão admissível aumentam e conseqüentemente as tensões admissíveis são maiores.

Como as vigas e pernas da estrutura são do tipo caixão as placas que se formam entre as almas e abas e reforços internos devem ser verificados quanto a flambagem localizada e para

isto os resultados obtidos no ANSYS devem ser extraídos e utilizados para se realizar também esta verificação, através de cálculos baseados em critérios definidos pela norma NBR8400.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros sugerem-se:

Incluir no programa as solicitações devidas à ação dos abalos sísmicos, baseando-se na norma NBR8400.

Prever um módulo para o cálculo da flambagem das placas das vigas e pernas.

Prever um módulo para o cálculo dos outros componentes da estrutura como as juntas aparafusadas e soldadas.

Desenvolver um programa paramétrico que calcule um pórtico com balanços laterais.

Incluir no programa a opção do pórtico ser do tipo uni viga assim como dupla viga e poder possuir ou não uma perna rotulada.

Desenvolver o programa paramétrico utilizando outro tipo de elemento como, por exemplo, um elemento tipo casca, para se simular também as tensões de placas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400** Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Rio de Janeiro: 1984. 108 p.

BERGALEY, A.; PUROHIT, A. **Strutural analysis of crane hook using finite element method**. IJISME, p. 5, set. 2013.

CHUNYUE, L.; ZONGYAN, W. **A knowledge based rapid design system for crane gantry**. ICSSDMI, China, p.4, 2010.

DEMAG: **Fabricante de Equipamento de Levantamento** Disponível: <http://www.demagcranes.com.br/cms/site/br/page102146.html> Acesso em: 24 abr. 2014.

FARINHA, J. S. B., REIS A. C. **Tabelas técnicas**. Setúbal – Portugal, 1993. 633p.

HAN, D.; YOO, S.; YOON, H.; KIM, M.; KIM, S.; LEE, J. **Coupling analysis of finite element and finite volume method for the design and construction of FPSO crane**. ELSEVIER, Korea, p.12, 3 dez. 2010.

LOPES, P. M. B. G. S. **Parametrização e otimização de equipamentos hidromecânicos em elementos finitos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Projetos e Materiais). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, 2002. 140p.

MENG, W.; YANG Z.; QI, X.; CAI, J. **Reability analysis-based numerical calculation of metal struture of bridge crane**. HINDAWI, China, p.5, 21 set. 2013.

MOAVENI, S. **Finite element analysis: theory and application with ANSYS**. Upper Saddle River, NewJersey: Prentice Hall, 1999.

MOLLYN. **Fabricante de Equipamento de Levantamento**. Disponível: http://www.mollyn.com.br/Porticos_rolantes.html>. Acesso em: 22 mar. 2014.

PAPPALARDO, A. Jr.; RAIA, F.; PAULETTI, R. M. O. **Utilização da linguagem paramétrica para o ensino da engenharia**, COBENGE, Brasil, p.10, 12 set 2010.

PATEL P.; PATEL V. **A Review on structural analysis of overhead crane girder using FEA technique**. IJESIT, p. 4, jul. 2013.

PATEL P.; PATEL V. **A Review on structural analysis of overhead crane girder using FEA technique**. IJESIT, p. 4, jul. 2013.

SOBUE, G. **Modelagem paramétrica de pórticos rolantes: Estabilidade estrutural e otimização**. São Paulo: EPUSP, 2005, 90 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

STAHL CRANE. **Fabricante de Equipamento de Levantamento**. Disponível: <<http://www.stahlcranes.com/pt/unternehmen/historie/krantechnik.php>>. Acesso em: 22 mar. 2014.

VAZ, J. C. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional em excel para automatizar o projeto estrutural de pórticos rolantes**. Guaratinguetá: UNESP, 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

WU, J. J. **Finite element analysis and vibration testing of a three-dimensional crane structure** ELSEVIER, Taiwan, p.10, 6 mar. 2006.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMARAL, R.M. **Método computacionais em engenharia mecânica**. Monte de Capirica:, 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Nova Lisboa, Monte de Capirica, 2008.

TAMASAUSKAS, A. **Metodologia do projeto básico de equipamento de manuseio e transporte de cargas - Ponte Rolante - aplicação não siderúrgica**. São Paulo: EPUSP, 2000. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GRANDO, José Paulo. **Projeto Estrutural e Parametrização de uma Comporta Segmento Utilizando o Método dos Elementos Finitos**. Guaratinguetá: UNESP, 2013. 160 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

GUIDI, Erick Siqueira. **Desenvolvimento de um programa para métrico para simulação do processo de estampagem utilizando elementos finitos** . Guaratinguetá: UNESP, 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

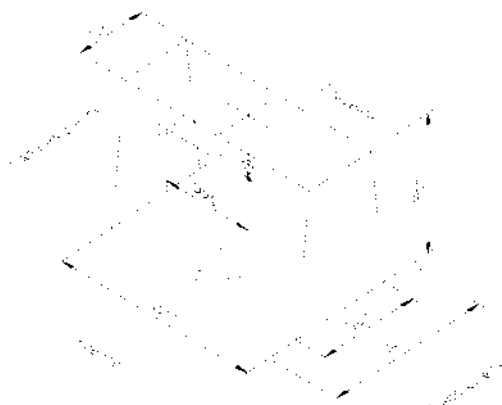
RIBEIRO, F. J.G. **Dimensionamento de um pórtico rolante**. Porto:, 2011. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Porto, 2011.

THE CRANE MANUFACTURERS ASSOCIATION OF AMERICA, INC. **CMAA SPECIFICATION #70** Specifications for top running bridge and gantry type multiple girder electric overhead traveling cranes. America: 2000. 87 p.

APÊNDICE A - Programa paramétrico

Programa: Cálculo da estrutura de um portico rolante de vigas centrais
 Elaborado por: Rian Felipe Soares de Almeida
 Elaborado em: 19 de dezembro de 2014 Versão: V00

1 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA ESTRUTURA



- Vão do pórtico rolante
- Vão do carro trole
- Altura do pórtico rolante
- Distância entre rodas do pórtico rolante
- Distância entre rodas do carro
- Distância entre pernas na direção "Z"
- Distância entre a LC das pernas e a LC do gancho
- Distância entre a LC do gancho e a tração do carro
- Distância entre a LC do trilho e a LC da viga principal
- Distância entre o topo do trilho e a LC da viga principal
- Número de tramos da perna
- Altura da seção do 1º tramo da perna direita (na cabec.)
- Altura da seção do último tramo da perna direita
- Altura do 1º tramo da perna esquerda (na cabeceira)
- Altura da seção do último tramo da perna esquerda

<i>Vpr</i> =	4	[mm]
<i>Vct</i> =	4	[mm]
<i>Hpr</i> =	4	[mm]
<i>DRpr</i> =	4	[mm]
<i>DRct</i> =	1800	[mm]
<i>Dpz</i> =	6800	[mm]
<i>Dpg</i> =	1100	[mm]
<i>Dgrct</i> =	780	[mm]
<i>Zt</i> =	195	[mm]
<i>Yt</i> =	400	[mm]
<i>NTp</i> =	8	[mm]
<i>hpd1</i> =	500	[mm]
<i>hpd1</i> =	700	[mm]
<i>hpe1</i> =	500	[mm]
<i>hpe1</i> =	700	[mm]

! DEFININDO AS PROPRIEDADES DO MATERIAL

```
/PREP7
MPTEMP,.....
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,206010
MPDATA,PRXY,1,,0.3
```

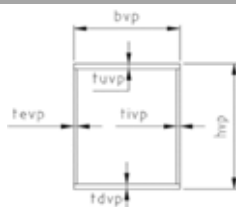
! DEFININDO O TIPO DE ELEMENTO

```
ET,1,BEAM189
```

! DIMENSÕES PRINCIPAIS DA ESTRUTURA

```
*SET,Vpr,4
*SET,Vct,4500
*SET,Hpr,9000
*SET,DRpr,7500
*SET,DRct,1800
*SET,Dpz,6800
*SET,Dpg,1100
*SET,Dgrct,780
*SET,Zt,195
*SET,Yt,400
*SET,NTp,8
```

1.1- VIGA PRINCIPAL

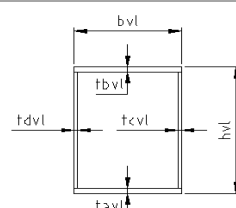


<i>hvp</i> =	700	[mm]
<i>bvp</i> =	400	[mm]
<i>tuvp</i> =	12.5	[mm]
<i>tdvp</i> =	12.5	[mm]
<i>tvp</i> =	9.5	[mm]
<i>tevp</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DA VIGA PRINCIPAL

```
*SET,hvp,700
*SET,bvp,400
*SET,tuvp,12.5
*SET,tdvp,12.5
*SET,tvp,9.5
*SET,tevp,6.3
```

1.2 - VIGAS DE LIGAÇÃO (CABECEIRA)



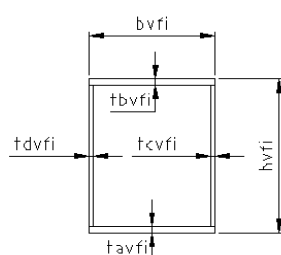
<i>hvl</i> =	450	[mm]
<i>bvl</i> =	300	[mm]
<i>tavl</i> =	8,0	[mm]
<i>tbvl</i> =	8,0	[mm]
<i>tcvl</i> =	8,0	[mm]
<i>tdvl</i> =	8,0	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DA VIGA DE LIGAÇÃO (CABECEIRA)

```
*SET,hvl,450
*SET,bvl,300
*SET,tavl,8
*SET,tbvl,8
*SET,tcvl,8
*SET,tdvl,8
```

1.3 - VIGA DE FECHAMENTO

DIREITA



<i>hvf1</i> =	450	[mm]
<i>bvf1</i> =	250	[mm]
<i>tavf1</i> =	9.5	[mm]
<i>tbvf1</i> =	9.5	[mm]
<i>tcvf1</i> =	6.3	[mm]
<i>tdvf1</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DA VIGA DE FECHAMENTO DIREITA

```
*SET,hvf1,450
*SET,bvf1,250
*SET,tavf1,9.5
*SET,tbvf1,9.5
*SET,tcvf1,6.3
*SET,tdvf1,6.3
```

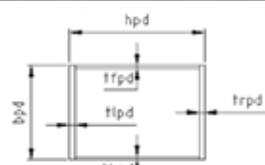
ESQUERDA

<i>hvf2</i> =	550	[mm]
<i>bvf2</i> =	250	[mm]
<i>tavf2</i> =	9.5	[mm]
<i>tbvf2</i> =	9.5	[mm]
<i>tcvf2</i> =	6.3	[mm]
<i>tdvf2</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DA VIGA DE FECHAMENTO ESQUERDA

```
*SET,hvf2,550
*SET,bvf2,250
*SET,tavf2,9.5
*SET,tbvf2,9.5
*SET,tcvf2,6.3
*SET,tdvf2,6.3
```

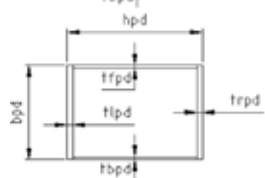
1.4 - PERNAS DIREITAS



<i>hpd1</i> =	500	[mm]
<i>bpd1</i> =	350	[mm]
<i>tfpd1</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpd1</i> =	6.3	[mm]
<i>trpd1</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpd1</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 1° TRAMO DAS PERNAS DIREITAS

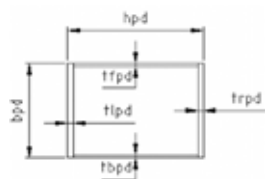
*SET,hpd1,500
 *SET,bpd1,350
 *SET,tfpd1,6.3
 *SET,tbpd1,6.3
 *SET,trpd1,6.3
 *SET,tlpd1,6.3



<i>hpd2</i> =	529	[mm]
<i>bpd2</i> =	350	[mm]
<i>tfpd2</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpd2</i> =	6.3	[mm]
<i>trpd2</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpd2</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 2° TRAMO DAS PERNAS DIREITAS

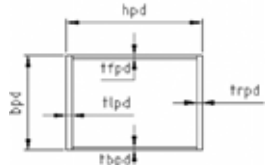
*SET,hpd2,529
 *SET,bpd2,350
 *SET,tfpd2,6.3
 *SET,tbpd2,6.3
 *SET,trpd2,6.3
 *SET,tlpd2,6.3



<i>hpd3</i> =	557	[mm]
<i>bpd3</i> =	350	[mm]
<i>tfpd3</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpd3</i> =	6.3	[mm]
<i>trpd3</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpd3</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 3° TRAMO DAS PERNAS DIREITAS

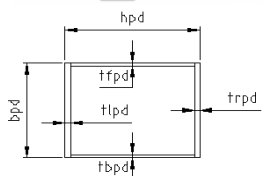
*SET,hpd3,557
 *SET,bpd3,350
 *SET,tfpd3,6.3
 *SET,tbpd3,6.3
 *SET,trpd3,6.3
 *SET,tlpd3,6.3



<i>hpd4</i> =	586	[mm]
<i>bpd4</i> =	350	[mm]
<i>tfpd4</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpd4</i> =	6.3	[mm]
<i>trpd4</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpd4</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 4° TRAMO DAS PERNAS DIREITAS

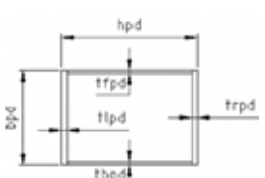
*SET,hpd4,586
 *SET,bpd4,350
 *SET,tfpd4,6.3
 *SET,tbpd4,6.3
 *SET,trpd4,6.3
 *SET,tlpd4,6.3



<i>hpd5</i> =	614	[mm]
<i>bpd5</i> =	350	[mm]
<i>tfpd5</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpd5</i> =	6.3	[mm]
<i>trpd5</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpd5</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 5° TRAMO DAS PERNAS DIREITAS

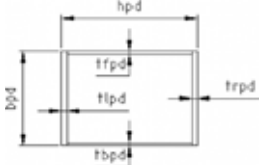
*SET,hpd5,614
 *SET,bpd5,350
 *SET,tfpd5,6.3
 *SET,tbpd5,6.3
 *SET,trpd5,6.3
 *SET,tlpd5,6.3



<i>hpd6</i> =	643	[mm]
<i>bpd6</i> =	350	[mm]
<i>tfpd6</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpd6</i> =	6.3	[mm]
<i>trpd6</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpd6</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 6° TRAMO DAS PERNAS DIREITAS

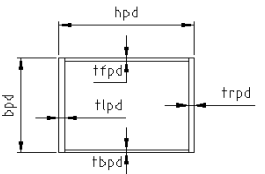
*SET,hpd6,643
 *SET,bpd6,350
 *SET,tfpd6,6.3
 *SET,tbpd6,6.3
 *SET,trpd6,6.3
 *SET,tlpd6,6.3



<i>hpd7</i> =	671	[mm]
<i>bpd7</i> =	350	[mm]
<i>tfpd7</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpd7</i> =	6.3	[mm]
<i>trpd7</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpd7</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 7° TRAMO DAS PERNAS DIREITAS

*SET,hpd7,671
 *SET,bpd7,350
 *SET,tfpd7,6.3
 *SET,tbpd7,6.3
 *SET,trpd7,6.3
 *SET,tlpd7,6.3

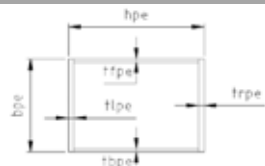


<i>hpd8</i> =	700	[mm]
<i>bpd8</i> =	350	[mm]
<i>tfpd8</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpd8</i> =	6.3	[mm]
<i>trpd8</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpd8</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 8° TRAMO DAS PERNAS DIREITAS

*SET,hpd8,700
 *SET,bpd8,350
 *SET,tfpd8,6.3
 *SET,tbpd8,6.3
 *SET,trpd8,6.3
 *SET,tlpd8,6.3

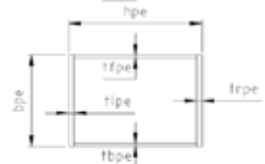
1.5 - PERNAS ESQUERDAS



<i>hpe1</i> =	500	[mm]
<i>bpe1</i> =	350	[mm]
<i>tfpe1</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpe1</i> =	6.3	[mm]
<i>trpe1</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpe1</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 1° TRAMO DAS PERNAS ESQUERDAS

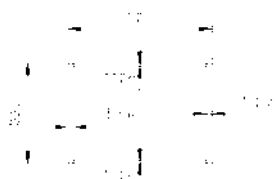
*SET,hpe1,500
 *SET,bpe1,350
 *SET,tfpe1,6.3
 *SET,tbpe1,6.3
 *SET,trpe1,6.3
 *SET,tlpe1,6.3



<i>hpe2</i> =	529	[mm]
<i>bpe2</i> =	350	[mm]
<i>tfpe2</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpe2</i> =	6.3	[mm]
<i>trpe2</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpe2</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 2° TRAMO DAS PERNAS ESQUERDAS

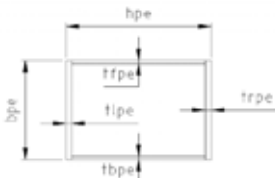
*SET,hpe2,529
 *SET,bpe2,350
 *SET,tfpe2,6.3
 *SET,tbpe2,6.3
 *SET,trpe2,6.3
 *SET,tlpe2,6.3



<i>hpe3</i> =	557	[mm]
<i>bpe3</i> =	350	[mm]
<i>tfpe3</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpe3</i> =	6.3	[mm]
<i>trpe3</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpe3</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 3º TRAMO DAS PERNAS ESQUERDAS

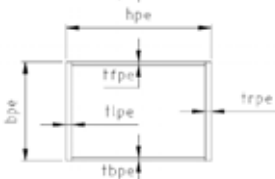
*SET, <i>hpe3</i> ,557
*SET, <i>bpe3</i> ,350
*SET, <i>tfpe3</i> ,6.3
*SET, <i>tbpe3</i> ,6.3
*SET, <i>trpe3</i> ,6.3
*SET, <i>tlpe3</i> ,6.3



<i>hpe4</i> =	586	[mm]
<i>bpe4</i> =	350	[mm]
<i>tfpe4</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpe4</i> =	6.3	[mm]
<i>trpe4</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpe4</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 4º TRAMO DAS PERNAS ESQUERDAS

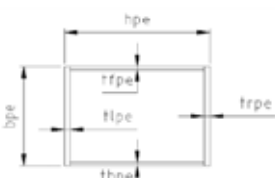
*SET, <i>hpe4</i> ,586
*SET, <i>bpe4</i> ,350
*SET, <i>tfpe4</i> ,6.3
*SET, <i>tbpe4</i> ,6.3
*SET, <i>trpe4</i> ,6.3
*SET, <i>tlpe4</i> ,6.3



<i>hpe5</i> =	614	[mm]
<i>bpe5</i> =	350	[mm]
<i>tfpe5</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpe5</i> =	6.3	[mm]
<i>trpe5</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpe5</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 5º TRAMO DAS PERNAS ESQUERDAS

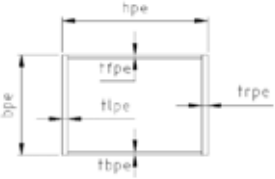
*SET, <i>hpe5</i> ,614
*SET, <i>bpe5</i> ,350
*SET, <i>tfpe5</i> ,6.3
*SET, <i>tbpe5</i> ,6.3
*SET, <i>trpe5</i> ,6.3
*SET, <i>tlpe5</i> ,6.3



<i>hpe6</i> =	643	[mm]
<i>bpe6</i> =	350	[mm]
<i>tfpe6</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpe6</i> =	6.3	[mm]
<i>trpe6</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpe6</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 6º TRAMO DAS PERNAS ESQUERDAS

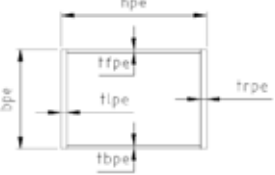
*SET, <i>hpe6</i> ,643
*SET, <i>bpe6</i> ,350
*SET, <i>tfpe6</i> ,6.3
*SET, <i>tbpe6</i> ,6.3
*SET, <i>trpe6</i> ,6.3
*SET, <i>tlpe6</i> ,6.3



<i>hpe7</i> =	671	[mm]
<i>bpe7</i> =	350	[mm]
<i>tfpe7</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpe7</i> =	6.3	[mm]
<i>trpe7</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpe7</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 7º TRAMO DAS PERNAS ESQUERDAS

*SET, <i>hpe7</i> ,671
*SET, <i>bpe7</i> ,350
*SET, <i>tfpe7</i> ,6.3
*SET, <i>tbpe7</i> ,6.3
*SET, <i>trpe7</i> ,6.3
*SET, <i>tlpe7</i> ,6.3



<i>hpe8</i> =	700	[mm]
<i>bpe8</i> =	350	[mm]
<i>tfpe8</i> =	6.3	[mm]
<i>tbpe8</i> =	6.3	[mm]
<i>trpe8</i> =	6.3	[mm]
<i>tlpe8</i> =	6.3	[mm]

! DIMENSÕES DA SEÇÃO DO 8º TRAMO DAS PERNAS ESQUERDAS

*SET, <i>hpe8</i> ,700
*SET, <i>bpe8</i> ,350
*SET, <i>tfpe8</i> ,6.3
*SET, <i>tbpe8</i> ,6.3
*SET, <i>trpe8</i> ,6.3
*SET, <i>tlpe8</i> ,6.3

2 - SOLICITAÇÕES ATUANTES

- Peso aproximado da estrutura pórtico rolante
- Peso do carro trole sem moitão e cabo de aço
- Peso do moitão
- Peso do cabo de aço
- Peso do painel elétrico
- Carga de serviço
- Número de rodas do pórtico
- Número de rodas do carro
- Coeficiente de majoração para ensaio estático
- Coeficiente dinâmico vertical
- Coeficiente dinâmico horizontal
- Coeficiente de majoração
- Largura média da perna na direção "X"
- Largura média da perna na direção "Z"
- Aceleração do pórtico
- Aceleração do carro
- Aceleração da gravidade
- Pressão do vento limite de serviço
- Pressão do vento máximo
- Coeficiente aerodinâmico da viga principal
- Coeficiente aerodinâmico da carga
- Coeficiente aerodinâmico do carro
- Coeficiente aerodinâmico da viga de fechamento
- Coeficiente aerodinâmico da viga de ligação (cabeceira)
- Coeficiente aerodinâmico da perna na direção "X"
- Coeficiente aerodinâmico da perna na direção "Z"
- Coeficiente aerodinâmico do painel elétrico, direção "X"
- Coeficiente aerodinâmico do painel elétrico, direção "Z"
- Área de projeção do carro na direção "X"
- Área de projeção do carro na direção "Z"
- Área de projeção do carga na direção "X"
- Área de projeção do carga na direção "Z"
- Área de projeção do painel elétrico na direção "X"

<i>Sgpr</i> =		[kN]
<i>Sgct</i> =		[kN]
<i>Sgm</i> =	3,0	[kN]
<i>Sgca</i> =	2,3	[kN]
<i>Sgpe1</i> =	3,1	[kN]
<i>Fs</i> =		[kN]
<i>NRpr</i> =	4	
<i>NRct</i> =	4	
ρ^2 =	140	[%]
ψ_v =	1,15	
ψ_h =		
<i>Mx</i> =	1,00	
<i>bpx</i> =	350,0	[mm]
<i>bpz</i> =	600,0	[mm]
<i>apr</i> =	0,08	[m/s²]
<i>act</i> =	0,08	[m/s²]
<i>g</i> =	9,8	[m/s²]
<i>PVs</i> =	250	[N/m²]
<i>PVm</i> =	800	[N/m²]
<i>Cvp</i> =	1,35	
<i>CFs</i> =	1,00	
<i>Cct</i> =	1,20	
<i>Cvf</i> =	1,40	
<i>Cvl</i> =	1,50	
<i>Cpx</i> =	1,60	
<i>Cpz</i> =	1,50	
<i>Cpelx</i> =	1,20	
<i>Cpelz</i> =	1,20	
<i>Actx</i> =	18,0	[m²]
<i>Actz</i> =	7,5	[m²]
<i>AFsx</i> =	30,0	[m²]
<i>AFsz</i> =	3,0	[m²]
<i>Apelx</i> =	1,1	[m²]

*SET,*apr*,0,08
 *SET,*act*,0,08
 *SET,*g*,10

- Área de projeção do painel elétrico na direção "Z"

Apelz =

2,1

[m²]

2.1 - CARREGAMENTO

2.1.1 - SELEÇÃO DO CASO DE SOLICITAÇÃO

CASO I

SERVIÇO NORMAL SEM VENTO

$$S_{caso I} = M_x (S_g + \psi \cdot S_l + S_h)$$

2.1.2 - SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO DE CARREGAMENTO

COMBINAÇÃO 1

Rodas motoras sob as vigas principais frontais (1)

- Força na direção "Z"	$F_{zt1} =$	9210,8	[N]	*SET,Fzt1,9211
- Força na direção "Y"	$F_{yt1} =$	-188483,3	[N]	*SET,Fyt1,-188483
- Força na direção "X"	$F_{xt1} =$	20582,8	[N]	*SET,Fxt1,20583
- Momento em torno do eixo "Z"	$M_{zt1} =$	-8706365,0	[N.mm]	*SET,Mzt1,-8706365
- Momento em torno do eixo "Y"	$M_{yt1} =$	-3149108,6	[N.mm]	*SET,Myt1,-3149109
- Momento em torno do eixo "X"	$M_{xt1} =$	-28091064,3	[N.mm]	*SET,Mxt1,-28091064

Rodas motoras sob as vigas principais traseiras (2)

- Força na direção "Z"	$F_{zt2} =$	9210,8	[N]	*SET,Fzt2,9211
- Força na direção "Y"	$F_{yt2} =$	-188483,3	[N]	*SET,Fyt2,-188483
- Força na direção "X"	$F_{xt2} =$	20582,8	[N]	*SET,Fxt2,20583
- Momento em torno do eixo "Z"	$M_{zt2} =$	-8706365,0	[N.mm]	*SET,Mzt2,-8706365
- Momento em torno do eixo "Y"	$M_{yt2} =$	3149108,6	[N.mm]	*SET,Myt2,3149109
- Momento em torno do eixo "X"	$M_{xt2} =$	35883127,7	[N.mm]	*SET,Mxt2,35883128

Rodas movidas sob as vigas principais frontais (1)

- Força na direção "Z"	$F_{zf1} =$	7769,3	[N]	*SET,Fzf1,7769
- Força na direção "Y"	$F_{yf1} =$	-175924,4	[N]	*SET,Fyf1,-175924
- Força na direção "X"	$F_{xf1} =$	0,0	[N]	*SET,Fxf1,0
- Momento em torno do eixo "Z"	$M_{zf1} =$	0,0	[N.mm]	*SET,Mzf1,0
- Momento em torno do eixo "Y"	$M_{yf1} =$	0,0	[N.mm]	*SET,Myf1,0
- Momento em torno do eixo "X"	$M_{xf1} =$	-23629871,2	[N.mm]	*SET,Mxf1,-23629871

Rodas movidas sob as vigas principais traseiras (2)

- Força na direção "Z"	$F_{zf2} =$	7769,3	[N]	*SET,Fzf2,7769
- Força na direção "Y"	$F_{yf2} =$	-175924,4	[N]	*SET,Fyf2,-175924
- Força na direção "X"	$F_{xf2} =$	0,0	[N]	*SET,Fxf2,0
- Momento em torno do eixo "Z"	$M_{zf2} =$	0,0	[N.mm]	*SET,Mzf2,0
- Momento em torno do eixo "Y"	$M_{yf2} =$	0,0	[N.mm]	*SET,Myf2,0
- Momento em torno do eixo "X"	$M_{xf2} =$	30202891,9	[N.mm]	*SET,Mxf2,30202892

Rodas do pórtico rolante

- Rodas esquerdas	$F_{xrpe} =$	0,0	[N]	*SET,Fxrpe,0
- Rodas direitas	$F_{xrpd} =$	0,0	[N]	*SET,Fxrpd,0

Vigas principais

- Pressão vento "Z" sobre a viga principal mais exposta	$P_{zvpe} =$	0,00000	[Mpa]	*SET,Pzvpe,0.
- Pressão vento "Z" sobre a viga principal protegida	$P_{zvpp} =$	0,00000	[Mpa]	*SET,Pzvpp,0.

Vigas de ligação (cabeceras)

- Pressão vento "X" sobre a viga cabeceira mais exposta	$P_{xvle} =$	0,00000	[Mpa]	*SET,Pxvle,0.
- Pressão vento "X" sobre a viga cabeceira protegida	$P_{xvlp} =$	0,00000	[Mpa]	*SET,Pxvlp,0.

Vigas de fechamento

- Pressão vento "X" sobre a viga cabeceira mais exposta	$P_{xvfe} =$	0,00000	[Mpa]	*SET,Pxvfe,0.
- Pressão vento "X" sobre a viga cabeceira protegida	$P_{xvfp} =$	0,00000	[Mpa]	*SET,Pxvfp,0.

Pernas

- Pressão vento "X" sobre a perna mais exposta	$P_{xpe} =$	0,00000	[Mpa]	*SET,Pxpe,0.
- Pressão vento "X" sobre a perna protegida	$P_{xpp} =$	0,00000	[Mpa]	*SET,Pxpp,0.
- Pressão vento "Z" sobre 1 tramo mais exposto da perna	$P_{zpe1} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpe1,0.
- Pressão vento "Z" sobre 1 tramo protegido da perna	$P_{zpp1} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpp1,0.
- Pressão vento "Z" sobre 2 tramo mais exposto da perna	$P_{zpe2} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpe2,0.
- Pressão vento "Z" sobre 2 tramo protegido da perna	$P_{zpp2} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpp2,0.
- Pressão vento "Z" sobre 3 tramo mais exposto da perna	$P_{zpe3} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpe3,0.
- Pressão vento "Z" sobre 3 tramo protegido da perna	$P_{zpp3} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpp3,0.
- Pressão vento "Z" sobre 4 tramo mais exposto da perna	$P_{zpe4} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpe4,0.
- Pressão vento "Z" sobre 4 tramo protegido da perna	$P_{zpp4} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpp4,0.
- Pressão vento "Z" sobre 5 tramo mais exposto da perna	$P_{zpe5} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpe5,0.
- Pressão vento "Z" sobre 5 tramo protegido da perna	$P_{zpp5} =$	0,00	[Mpa]	*SET,Pzpp5,0.

- Pressão vento "Z" sobre 6 tramo mais exposto da perna
- Pressão vento "Z" sobre 6 tramo protegido da perna

$Pzpe6 =$	0,00	[Mpa]
$Pzpp6 =$	0,00	[Mpa]

*SET, Pzpe6,0.
*SET, Pzpp6,0.

- Pressão vento "Z" sobre 7 tramo mais exposto da perna
- Pressão vento "Z" sobre 7 tramo protegido da perna

$Pzpe7 =$	0,00	[Mpa]
$Pzpp7 =$	0,00	[Mpa]

*SET, Pzpe7,0.
*SET, Pzpp7,0.

- Pressão vento "Z" sobre 8 tramo mais exposto da perna
- Pressão vento "Z" sobre 8 tramo protegido da perna

$Pzpe8 =$	0,00	[Mpa]
$Pzpp8 =$	0,00	[Mpa]

*SET, Pzpe8,0.
*SET, Pzpp8,0.

Painel elétrico

- Força na direção "Z"
- Força na direção "Y" (peso do armário elétrico)
- Força na direção "X"
- Momento em torno do eixo "Z"
- Momento em torno do eixo "Y"
- Momento em torno do eixo "X"

$Fzpel =$	0,0	[N]
$Sgpel =$	0,0	[N]
$Fxpel =$	0,0	[N]
$Mzpel =$	0,0	[N.mm]
$Mypel =$	0,0	[N.mm]
$Mxpel =$	0,0	[N.mm]

*SET, Fzpel,0
*SET, Sgpel,0
*SET, Fxpel,0
*SET, Mzpel,0
*SET, Mypel,0
*SET, Mxpel,0

3 - MODELAGEM DA ESTRUTURA

3.1 - CRIAÇÃO DOS PONTOS

Ponto 1
Ponto 2
Ponto 3
Ponto 4
Ponto 5
Ponto 6
Ponto 7
Ponto 8
Ponto 9
Ponto 10
Ponto 11
Ponto 12
Ponto 13
Ponto 14
Ponto 15
Ponto 16
Ponto 17
Ponto 18
Ponto 19
Ponto 20
Ponto 21
Ponto 22
Ponto 23
Ponto 24
Ponto 25
Ponto 26
Ponto 27
Ponto 28
Ponto 29
Ponto 30
Ponto 31
Ponto 32
Ponto 33
Ponto 34
Ponto 35
Ponto 36
Ponto 37
Ponto 38
Ponto 39
Ponto 40
Ponto 41
Ponto 42
Ponto 43
Ponto 44
Ponto 45
Ponto 46
Ponto 47
Ponto 48
Ponto 49
Ponto 50
Ponto 51
Ponto 52
Ponto 53
Ponto 54
Ponto 55
Ponto 56

$k,1,-Vpr/2,0,-(DRpr-Dpz)/2$
 $k,2,+Vpr/2,0,-(DRpr-Dpz)/2$
 $k,3,-Vpr/2,0,0$
 $k,4,+Vpr/2,0,0$
 $k,5,-Vpr/2,0,Dpz$
 $k,6,+Vpr/2,0,Dpz$
 $k,7,-Vpr/2,0,Dpz+(DRpr-Dpz)/2$
 $k,8,+Vpr/2,0,Dpz+(DRpr-Dpz)/2$
 $k,9,-Vpr/2,hvl/2,0$
 $k,10,+Vpr/2,hvl/2,0$
 $k,11,-Vpr/2,hvl/2,Dpz$
 $k,12,+Vpr/2,hvl/2,Dpz$
 $k,13,-Vpr/2,(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,14,+Vpr/2,(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,15,-Vpr/2,(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,16,+Vpr/2,(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,17,-Vpr/2,2*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,2*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,18,+Vpr/2,2*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,2*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,19,-Vpr/2,2*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-2*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,20,+Vpr/2,2*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-2*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,21,-Vpr/2,3*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,3*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,22,+Vpr/2,3*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,3*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,23,-Vpr/2,3*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-3*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,24,+Vpr/2,3*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-3*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,25,-Vpr/2,4*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,4*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,26,+Vpr/2,4*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,4*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,27,-Vpr/2,4*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-4*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,28,+Vpr/2,4*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-4*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,29,-Vpr/2,5*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,5*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,30,+Vpr/2,5*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,5*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,31,-Vpr/2,5*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-5*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,32,+Vpr/2,5*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-5*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,33,-Vpr/2,6*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,6*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,34,+Vpr/2,6*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,6*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,35,-Vpr/2,6*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-6*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,36,+Vpr/2,6*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-6*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,37,-Vpr/2,7*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,7*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,38,+Vpr/2,7*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,7*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,39,-Vpr/2,7*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-7*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,40,+Vpr/2,7*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-7*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,41,-Vpr/2,8*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,8*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,42,+Vpr/2,8*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,8*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,43,-Vpr/2,8*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-8*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,44,+Vpr/2,8*(Hpr-hvp/2-hvl/2)/NTp+hvl/2,Dpz-8*(Dpz-Vct)/(2*NTp)$
 $k,45,-Vpr/2,Hpr,(Dpz-Vct)/2$
 $k,46,+Vpr/2,Hpr,(Dpz-Vct)/2$
 $k,47,-Vpr/2,Hpr,Vct+(Dpz-Vct)/2$
 $k,48,+Vpr/2,Hpr,Vct+(Dpz-Vct)/2$
 $k,49,(Vpr/2-Dpg-Drc+Dgrct),Hpr,(Dpz-Vct)/2$
 $k,50,(Vpr/2-Dpg+Dgrct),Hpr,(Dpz-Vct)/2$
 $k,51,(Vpr/2-Dpg-DRct+Dgrct),Hpr,Vct+(Dpz-Vct)/2$
 $k,52,(Vpr/2-Dpg+Dgrct),Hpr,Vct+(Dpz-Vct)/2$
 $k,53,(-Vpr/2-hpe8/2),Hpr,(Dpz-Vct)/2$
 $k,54,(+Vpr/2+hpe8/2),Hpr,(Dpz-Vct)/2$
 $k,55,(-Vpr/2-hpe8/2),Hpr,Vct+(Dpz-Vct)/2$
 $k,56,(+Vpr/2+hpe8/2),Hpr,Vct+(Dpz-Vct)/2$

3.2 - CRIAÇÃO DAS LINHAS

Linha 1
Linha 2
Linha 3
Linha 4
Linha 5
Linha 6
Linha 7
Linha 8
Linha 9
Linha 10

LSTR, 1, 3
LSTR, 3, 5
LSTR, 5, 7
LSTR, 2, 4
LSTR, 4, 6
LSTR, 6, 8
LSTR, 9, 13
LSTR, 13, 17
LSTR, 17, 21
LSTR, 21, 25

Linha 11		LSTR, 25, 29
Linha 12		LSTR, 29, 33
Linha 13		LSTR, 33, 37
Linha 14		LSTR, 37, 41
Linha 15		LSTR, 11, 15
Linha 16		LSTR, 15, 19
Linha 17		LSTR, 19, 23
Linha 18		LSTR, 23, 27
Linha 19		LSTR, 27, 31
Linha 20		LSTR, 31, 35
Linha 21		LSTR, 35, 39
Linha 22		LSTR, 39, 43
Linha 23		LSTR, 10, 14
Linha 24		LSTR, 14, 18
Linha 25		LSTR, 18, 22
Linha 26		LSTR, 22, 26
Linha 27		LSTR, 26, 30
Linha 28		LSTR, 30, 34
Linha 29		LSTR, 34, 38
Linha 30		LSTR, 38, 42
Linha 31		LSTR, 12, 16
Linha 32		LSTR, 16, 20
Linha 33		LSTR, 20, 24
Linha 34		LSTR, 24, 28
Linha 35		LSTR, 28, 32
Linha 36		LSTR, 32, 36
Linha 37		LSTR, 36, 40
Linha 38		LSTR, 40, 44
Linha 39		LSTR, 45, 47
Linha 40		LSTR, 46, 48
Linha 41		LSTR, 53, 45
Linha 42		LSTR, 45, 49
Linha 43		LSTR, 49, 50
Linha 44		LSTR, 50, 46
Linha 45		LSTR, 46, 54
Linha 46		LSTR, 55, 47
Linha 47		LSTR, 47, 51
Linha 48		LSTR, 51, 52
Linha 49		LSTR, 52, 48
		LSTR, 48, 56
3.3 - DEFININDO A SEÇÃO DAS VIGAS PRINCIPAIS		
	FRONTAL	SECTYPE, 1, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,bvp,hvp,tivp,tevp,tuvp,tdvp,0,0,0,0
	TRASEIRA	SECTYPE, 2, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,bvp,hvp,tevp,tivp,tuvp,tdvp,0,0,0,0
3.4 - DEFININDO A SEÇÃO DAS VIGAS DE LIGAÇÃO (CABECEIRAS)		
		SECTYPE, 3, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,bvl,hvl,tcvl,tavl,tbvl,0,0,0,0
3.4 - DEFININDO A SEÇÃO DA VIGA DE FECHAMENTO DIREITA		
		SECTYPE, 4, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,bvf1,hvf1,tcvf1,tvfv1,tbvfv1,0,0,0,0
3.4 - DEFININDO A SEÇÃO DA VIGA DE FECHAMENTO ESQUERDA		
		SECTYPE, 5, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,bvf2,hvf2,tcvf2,tvfv2,tbvfv2,0,0,0,0
3.5 - DEFININDO A SEÇÃO DA PERNA DIREITA		
	1° TRAMO	SECTYPE, 6, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,hpd1,bpd1,tlpd1,trpd1,tbpd1,tfpd1,0,0,0,0
	2° TRAMO	SECTYPE, 7, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,hpd2,bpd2,tlpd2,trpd2,tbpd2,tfpd2,0,0,0,0
	3° TRAMO	SECTYPE, 8, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,hpd3,bpd3,tlpd3,trpd3,tbpd3,tfpd3,0,0,0,0
	4° TRAMO	SECTYPE, 9, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,hpd4,bpd4,tlpd4,trpd4,tbpd4,tfpd4,0,0,0,0
	5° TRAMO	SECTYPE, 10, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,hpd5,bpd5,tlpd5,trpd5,tbpd5,tfpd5,0,0,0,0
	6° TRAMO	SECTYPE, 11, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,hpd6,bpd6,tlpd6,trpd6,tbpd6,tfpd6,0,0,0,0
	7° TRAMO	SECTYPE, 12, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT SECDATA,hpd7,bpd7,tlpd7,trpd7,tbpd7,tfpd7,0,0,0,0
	8° TRAMO	SECTYPE, 13, BEAM, HREC, , 0 SECOFFSET, CENT

3.6 - DEFININDO A SEÇÃO DA PERNA ESQUERDA

1° TRAMO

SECDATA,hpd8,bpd8,tlpd8,trpd8,tbpd8,tfpd8,0,0,0,0

SECTYPE, 14, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,hpe1,bpe1,tlpe1,trpe1,tbpe1,tfpe1,0,0,0,0

2° TRAMO

SECTYPE, 15, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,hpe2,bpe2,tlpe2,trpe2,tbpe2,tfpe2,0,0,0,0

3° TRAMO

SECTYPE, 16, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,hpe3,bpe3,tlpe3,trpe3,tbpe3,tfpe3,0,0,0,0

4° TRAMO

SECTYPE, 17, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,hpe4,bpe4,tlpe4,trpe4,tbpe4,tfpe4,0,0,0,0

5° TRAMO

SECTYPE, 18, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,hpe5,bpe5,tlpe5,trpe5,tbpe5,tfpe5,0,0,0,0

6° TRAMO

SECTYPE, 19, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,hpe6,bpe6,tlpe6,trpe6,tbpe6,tfpe6,0,0,0,0

7° TRAMO

SECTYPE, 20, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,hpe7,bpe7,tlpe7,trpe7,tbpe7,tfpe7,0,0,0,0

8° TRAMO

SECTYPE, 21, BEAM, HREC, , 0
SECOFFSET, CENT
SECDATA,hpe8,bpe8,tlpe8,trpe8,tbpe8,tfpe8,0,0,0,0

4 - DEFINIÇÃO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS

3.1 - MALHANDO A VIGA PRINCIPAL FRONTAL

```

FLST,5,5,4,ORDE,2
FITEM,5,46
FITEM,5,-50
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,,43,,1
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,5,4,ORDE,2
FITEM,5,46
FITEM,5,-50
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,100,,,,,,1
!*
FLST,2,5,4,ORDE,2
FITEM,2,46
FITEM,2,-50
LMESH,P51X

```

3.2 - MALHANDO A VIGA PRINCIPAL TRASEIRA

```

FLST,5,5,4,ORDE,2
FITEM,5,41
FITEM,5,-45
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X

CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,,41,,2
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,5,4,ORDE,2
FITEM,5,41
FITEM,5,-45
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,100,,,,,,1
!*
FLST,2,5,4,ORDE,2
FITEM,2,41
FITEM,2,-45
LMESH,P51X

```

3.3 - MALHANDO A VIGA DE LIGAÇÃO ESQUERDA (CABECEIRA)

```

FLST,5,3,4,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,-3
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X

```

3.4 - MALHANDO A VIGA DE LIGAÇÃO DIREITA (CABECEIRA)

3.5 - MALHANDO A VIGA DE FECHAMENTO DIREITA

3.6 - MALHANDO A VIGA DE FECHAMENTO ESQUERDA

3.7 - MALHANDO PERNA DIREITA FRONTAL

1º TRAMO PERNA FRONTAL DIREITA

```
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 11,,3
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,3,4,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,-3
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,100, , , , ,1
!*
FLST,2,3,4,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-3
LMESH,P51X
```

```
FLST,5,3,4,ORDE,2
FITEM,5,4
FITEM,5,-6
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 12,,3
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,3,4,ORDE,2
FITEM,5,4
FITEM,5,-6
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,100, , , , ,1
!*
FLST,2,3,4,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,-6
LMESH,P51X
```

```
CM,_Y,LINE
LSEL,, , , 40
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 42,,4
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,40
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,100, , , , ,1
!*
LMESH, 40
```

```
CM,_Y,LINE
LSEL,, , , 39
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 43,,5
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,39
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,100, , , , ,1
!*
LMESH, 39
```

```
CM,_Y,LINE
LSEL,, , , 31
```

2° TRAMO PERNA FRONTAL DIREITA

3° TRAMO PERNA FRONTAL DIREITA

4° TRAMO PERNA FRONTAL DIREITA

5° TRAMO PERNA FRONTAL DIREITA

```

CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 10,,6
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,31
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,, , , ,1
!*
LMESH, 31

CM,_Y,LINE
LSEL,, , , 32
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 10,,7
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,32
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,, , , ,1
!*
LMESH, 32

CM,_Y,LINE
LSEL,, , , 33
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 10,,8
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,33
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,, , , ,1
!*
LMESH, 33

CM,_Y,LINE
LSEL,, , , 34
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 10,,9
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,34
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,, , , ,1
!*
LMESH, 34

CM,_Y,LINE
LSEL,, , , 35
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 10,,10
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,35
CM,_Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,, , , ,1
!*
LMESH, 35

```

6° TRAMO PERNA FRONTAL DIREITA

```

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 36
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 10,,11
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,36
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 36

```

7° TRAMO PERNA FRONTAL DIREITA

```

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 37
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 10,,12
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,37
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 37

```

8° TRAMO PERNA FRONTAL DIREITA

```

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 38
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 10,,13
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,38
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 38
!
!
!

```

3.8 - MALHANDO PERNA DIREITA TRASEIRA

1° TRAMO PERNA TRASEIRA DIREITA

```

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 23
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 12,,6
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,23
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 23

```

2° TRAMO PERNA TRASEIRA DIREITA

```

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 24
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 12,,7
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,24

```

3° TRAMO PERNA TRASEIRA DIREITA

4° TRAMO PERNA TRASEIRA DIREITA

5° TRAMO PERNA TRASEIRA DIREITA

6° TRAMO PERNA TRASEIRA DIREITA

7° TRAMO PERNA TRASEIRA DIREITA

```

CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 24

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 25
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 12,,8
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,25
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 25

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 26
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 12,,9
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,26
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 26

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 27
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 12,,10
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,27
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 27

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 28
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 12,,11
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,28
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 28

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 29
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 12,,12
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1

```

8° TRAMO PERNA TRASEIRA DIREITA

3.9 - MALHANDO PERNA ESQUERDA FRONTAL

1° TRAMO PERNA FRONTAL ESQUERDA

2° TRAMO PERNA FRONTAL ESQUERDA

3° TRAMO PERNA FRONTAL ESQUERDA

4° TRAMO PERNA FRONTAL ESQUERDA

```
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,29
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1
!*
LMESH, 29

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 30
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,.1,, 12,.13
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,30
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1
!*
LMESH, 30

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 15
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,.1,, 9,.14
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,15
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1
!*
LMESH, 15

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 16
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,.1,, 9,.15
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,16
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1
!*
LMESH, 16

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 17
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,.1,, 9,.16
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,17
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1
!*
LMESH, 17

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 18
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*

```

5° TRAMO PERNA FRONTAL ESQUERDA

6° TRAMO PERNA FRONTAL ESQUERDA

7° TRAMO PERNA FRONTAL ESQUERDA

8° TRAMO PERNA FRONTAL ESQUERDA

```

CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 9,,17
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,18
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 18

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 19
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 9,,18
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,19
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 19

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 20
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 9,,19
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,20
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 20

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 21
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 9,,20
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,21
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 21

CM,_Y,LINE
LSEL,,, 22
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 9,,21
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,22
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,,4,,,,,1
!*
LMESH, 22

```

1° TRAMO PERNA TRASEIRA ESQUERDA

```
CM,_Y,LINE
LSEL,,, 7
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 11,,14
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5, 7
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,, 4,,,,,1
!*
LMESH, 7
```

2° TRAMO PERNA TRASEIRA ESQUERDA

```
CM,_Y,LINE
LSEL,,, 8
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 11,,15
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5, 8
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,, 4,,,,,1
!*
LMESH, 8
```

3° TRAMO PERNA TRASEIRA ESQUERDA

```
CM,_Y,LINE
LSEL,,, 9
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 11,,16
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,9
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,, 4,,,,,1
!*
LMESH, 9
```

4° TRAMO PERNA TRASEIRA ESQUERDA

```
CM,_Y,LINE
LSEL,,, 10
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 11,,17
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,10
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1,, 4,,,,,1
!*
LMESH, 10
```

5° TRAMO PERNA TRASEIRA ESQUERDA

```
CM,_Y,LINE
LSEL,,, 11
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,, 11,,18
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,1,4,ORDE,1
FITEM,5,11
CM,_Y,LINE
LSEL,,,P51X
CM,_Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*

```

6° TRAMO PERNA TRASEIRA ESQUERDA	<pre> LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1 !* LMESH, 11 CM,_Y,LINE LSEL,,,, 12 CM,_Y1,LINE CMSEL,S,_Y !* CMSEL,S,_Y1 LATT,1,,1,, 11,,19 CMSEL,S,_Y CMDELE,_Y CMDELE,_Y1 !* FLST,5,1,4,ORDE,1 FITEM,5,12 CM,_Y,LINE LSEL,,,,P51X CM,_Y1,LINE CMSEL,,_Y !* LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1 !* LMESH, 12 CM,_Y,LINE LSEL,,,, 13 CM,_Y1,LINE CMSEL,S,_Y !* CMSEL,S,_Y1 LATT,1,,1,, 11,,20 CMSEL,S,_Y CMDELE,_Y CMDELE,_Y1 !* FLST,5,1,4,ORDE,1 FITEM,5,13 CM,_Y,LINE LSEL,,,,P51X CM,_Y1,LINE CMSEL,,_Y !* LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1 !* LMESH, 13 CM,_Y,LINE LSEL,,,, 14 CM,_Y1,LINE CMSEL,S,_Y !* CMSEL,S,_Y1 LATT,1,,1,, 11,,21 CMSEL,S,_Y CMDELE,_Y CMDELE,_Y1 !* FLST,5,1,4,ORDE,1 FITEM,5,14 CM,_Y,LINE LSEL,,,,P51X CM,_Y1,LINE CMSEL,,_Y !* LESIZE,_Y1,,.4,,,,,1 !* LMESH, 14 </pre>
5 - DEFINIÇÃO DAS RESTRIÇÕES	<pre> FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,1 !* /GO DK,P51X,,.0,UX,UY,,,, FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,2 !* /GO DK,P51X,,.0,UY,,,, FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,7 !* /GO DK,P51X,,.0,UY,UZ,,,, FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,8 !* /GO DK,P51X,,.0,UX,UY,UZ,,,, </pre>
6 - APLICAÇÃO DOS CARREGAMENTOS	
6.1 ACELERAÇÕES EM X,Y,Z	<pre> ACEL,0,g,0, </pre>
6.2 RODA MOTORA SOB A VIGA PRINCIPAL FRONTAL	<pre> FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,52 !* /GO FK,P51X,FX,Fxt1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,52 !* </pre>

	/GO FK,P51X,FY,Fyt1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,52 !* /GO FK,P51X,FZ,Fzt1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,52 !* /GO FK,P51X,MX,Mxt1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,52 !* /GO FK,P51X,MY,Myt1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,52 !* /GO FK,P51X,MZ,Mzt1
6.3 RODA MOTORA SOB A VIGA PRINCIPAL TRASEIRA	FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,50 !* /GO FK,P51X,FX,Fxt2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,50 !* /GO FK,P51X,FY,Fyt2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,50 !* /GO FK,P51X,FZ,Fzt2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,50 !* /GO FK,P51X,MX,Mxt2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,50 !* /GO FK,P51X,MY,Myt2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,50 !* /GO FK,P51X,MZ,Mzt2
6.4 RODA MOVIDA SOB A VIGA PRINCIPAL FRONTAL	FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,51 !* /GO FK,P51X,FX,Fxt1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,51 !* /GO FK,P51X,FY,Fyf1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,51 !* /GO FK,P51X,FZ,Fzf1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,51 !* /GO FK,P51X,MX,Mxf1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,51 !* /GO FK,P51X,MY,Myf1 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,51 !* /GO FK,P51X,MZ,Mzf1
6.5 RODA MOVIDA SOB A VIGA PRINCIPAL TRASEIRA	FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,49 !* /GO FK,P51X,FX,Fxt2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,49 !* /GO FK,P51X,FY,Fyf2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,49

		!* /GO FK,P51X,FZ,Fzf2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,49 !* /GO FK,P51X,MX,Mxf2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,49 !* /GO FK,P51X,MY,Myf2 FLST,2,1,3,ORDE,1 FITEM,2,49 !* /GO FK,P51X,MZ,Mzf2
6.5 RODAS DO PORTICO	ESQUERDAS DIREITAS	FLST,2,2,3,ORDE,2 FITEM,2,1 FITEM,2,7 !* /GO FK,P51X,FX,Fxrpre FLST,2,2,3,ORDE,2 FITEM,2,2 FITEM,2,8 !* /GO FK,P51X,FX,Fxrprd
6.5 PRESSÃO DO VENTO		
6.5.1 - SOBRE AS VIGAS PRINCIPAIS NA DIREÇÃO "Z"		! N.A. PARA ESTA COMBINAÇÃO
6.5.2 - SOBRE AS VIGAS CABECEIRAS NA DIREÇÃO "X"		! N.A. PARA ESTA COMBINAÇÃO
6.5.3 - SOBRE AS VIGAS DE FECHAMENTO DIREÇÃO "X"		! N.A. PARA ESTA COMBINAÇÃO
6.5.4 - SOBRE AS PERNAS NA DIREÇÃO "X"		! N.A. PARA ESTA COMBINAÇÃO
6.5.5 - SOBRE AS PERNAS NA DIREÇÃO "Z"		! N.A. PARA ESTA COMBINAÇÃO
7 - SOLVER		
SOLVE		/SOL /STATUS,SOLU SOLVE