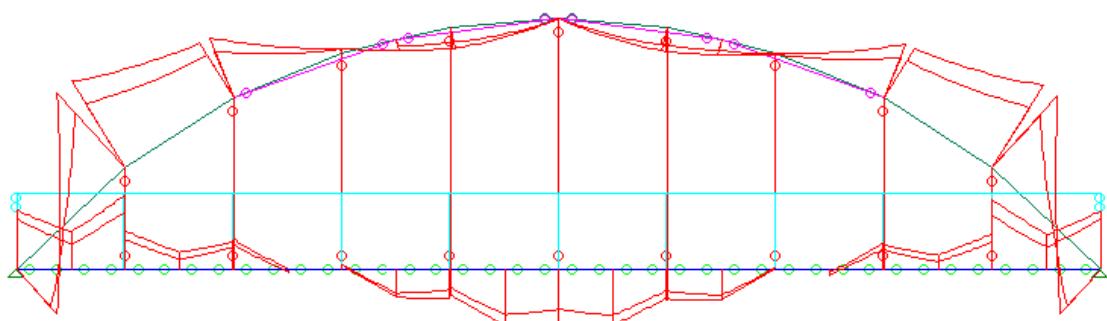




EESC • USP

*Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo*

PROJETO: PASSARELA DE MADEIRA EM ARCO COM TABULEIRO INFERIOR



Trabalho de Conclusão de Curso para
finalização da graduação no curso de
Engenharia Civil.

Graduando:

Diego da Cruz Botelho

Orientador:

Prof. Antonio Alves Dias

São Carlos (SP)

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

D748p

da Cruz Botelho, Diego

Projeto: Passarela de Madeira em Arco com Tabuleiro
Inferior / Diego da Cruz Botelho; orientador Antonio
Alves Dias. São Carlos, 2016.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2016.

1. Projeto Estrutural. 2. Madeira Laminada Colada .
3. MLC. 4. CLT . 5. Passarela em arco. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Elaborada pela seção de graduação ou pós-graduação da Instituição de Ensino.

RESUMO

BOTELHO, D. C. **Projeto: passarela de madeira em arco com tabuleiro inferior.** 108 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

Acredita-se na necessidade da valorização da utilização da madeira em obras de engenharia civil, uma vez que sua extração pode ser realizada de forma sustentável, com baixo consumo de energia; a partir destes argumentos, foi definido que o material majoritariamente utilizado nesse projeto seria a madeira. O trabalho trata-se do projeto estrutural e arquitetônico de uma passarela de pedestres em arco com tabuleiro inferior utilizando elementos estruturais industrializados de madeira, cabos de aço e peças metálicas de ligação. Os materiais de madeira utilizados foram: madeira laminada colada (MLC) e painéis de CLT; uma vez que ambos os materiais se adéquam bem ao projeto desenvolvido. Os cálculos e as análises estruturais foram feitos utilizando o software de análise estrutural STRAP, versão de 2015, e normas brasileiras; além da obtenção de dados de empresas do exterior. A escolha do arco em tabuleiro inferior sustentado por tirantes resultou em um projeto de passarela com característica estética agradável, além de ter comprovado que o arco estaria submetido a tensões de compressão.

Palavras-chave: 1. Projeto Estrutural 2. Madeira Laminada Colada 3. MLC 4. CLT 5. Passarela em arco

ABSTRACT

BOTELHO, D. C. **Project: timber through arch pedestrian bridge.** 108 f. Monograph (Term paper) – Engineering School of São Paulo, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

It is believed the use of wood in civil engineering needs to be valued, since its extraction can be carried out in a sustainable manner, with low energy consumption; based on these arguments, it was defined that the material mostly used in this project would be wood. The term paper is the structural and architectural design of an through arch pedestrian bridge using industrialized structural elements of wood, steel cables and metal joints. The wood materials used were: glued laminated wood (MLC) and CLT panels; once both materials are appropriate to the project developed. Structural analyzes and calculations were made using the structural analysis software STRAP, version of 2015, and Brazilian standards; in addition to it, it was obtained abroad companies data. The choice of the through arch supported by steel rods resulted in a pleasant structural design, in addition being proven that the arch would be subjected to compression stresses.

Key-words: 1. Structural Design 2. Glued Laminated Wood 3. MLC 4. CLT
5. Arch pedestrian bridge

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Arco com tabuleiro superior (Fonte: ROAD TRANSPORT)	14
Figura 2 - Arco com tabuleiro intermediário (Fonte: ROAD TRANSPORT)	14
Figura 3 - Arco com tabuleiro inferior (Fonte: ROAD TRANSPORT)	15
Figura 4 - Passarela Tetherow Golf Course / Bend, OR (Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).....	16
Figura 5 - Passarela Centennial Garden / Longview, WA (Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).....	16
Figura 6 - Passarela Trail of Blue Ice / Chugach National Forest, AK ((Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).....	17
Figura 7 - Passarela Forest Service / Hyder, AK (Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES)	17
Figura 8 - Passarela Bow Bridge localizada no Big Wood River / Draper, ID (Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES)	17
Figura 9 - Passarela Tioga / BLM/ODOT Roseburg District, OR (Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).....	18
Figura 10 - Madeira laminada colada (fonte: MLC).....	21
Figura 11 - Painel de CLT (fonte: KLH UK).	21
Figura 12 - Vista da passarela em perspectiva 3D (Revit), dimensões em mm.....	25
Figura 13 - Geometria do Arco relações geométricas.	26
Figura 14 - Comprimento de flambagem do arco. Adaptação: (BLASS, 1995).....	27
Figura 15 -Geometria do Arco definida (unidades em metros).	27
Figura 16 - Sistema de coordenadas Globais.....	29
Figura 17 - Sistema de coordenadas locais X1	29
Figura 18 - Sistema de coordenadas locais X2	30
Figura 19 - Sistema de coordenadas locais X3	30
Figura 20 - Tabuleiro (elemento de grelha).	31
Figura 21 - Vinculações e apoios.....	32
Figura 22 - Vista aérea 3D (STRAP).....	33
Figura 23 - Vista frontal 3D (STRAP).....	33
Figura 24 - Vista lateral 3D (STRAP).	34
Figura 25 - Vista superior 3D (STRAP).	34
Figura 26 - Estrutura da passarela no STRAP.	35
Figura 27 - Ação da carga permanente no STRAP.....	35

Figura 28 - Ação da carga p no STRAP.	36
Figura 29 - Força no guarda-corpo (Fonte: Manual de projeto de pontes e construções de madeira).	36
Figura 30 - Ação da força no guarda-corpo no STRAP.....	37
Figura 31 - Vento sobre a passarela (Fonte: Manual de projeto de pontes e construções de madeira).	37
Figura 32 - Direção dos ventos sobre a passarela.	38
Figura 33 - Ação da força do vento no STRAP.....	40
Figura 34- Indicação da barra 35.	46
Figura 35- Indicação da barra 131.	47
Figura 36- Indicando barra 138.....	47
Figura 37- Indicando barra 256 e 259.....	48
Figura 38- Esforços Axiais na estrutura gerado pelo STRAP.	61
Figura 39 - Diagrama de Momento (My) gerado pelo STRAP.	62
Figura 40 - Deslocamentos da Passarela (Vista aérea)	63
Figura 41 - Deslocamentos da Passarela (Vista frontal).	63
Figura 42- Deslocamentos da Passarela (Vista lateral).....	64
Figura 43 - Modos de falha de ligações com pinos metálicos e chapa de aço (fonte: revisão de 2016 da NBR7190).	67
Figura 44 - Modos de falha de elementos de madeira com pinos metálicos, uma seção de corte aço (fonte: revisão de 2016 da NBR7190).	68
Figura 45 - Ligação de elementos de madeira e aço com parafuso passante (Fonte: revisão de 2016 da NBR7190).	68
Figura 46 - Ligação de elementos de madeira e aço com pregos em corte simples (Fonte: revisão de 2016 da NBR7190).	68
Figura 47 - Ligação arco-tirante	72
Figura 48 - Ligação arco-tirante (transparente).	72
Figura 49 - Perspectiva 3D	73
Figura 50 - Perspectiva 3D de outro ângulo.	73
Figura 51 - Vista frontal (unidade: mm)	73
Figura 52 - Vista lateral (unidade: mm).	73
Figura 53 - Ligação tirante-transversina.....	74
Figura 54 - Ligação tirante-transversina (transparente).	74
Figura 55 - Perspectiva 3D	75
Figura 56 - Perspectiva 3D de outro ângulo.	75

Figura 57 - Vista frontal (unidade: mm)	75
Figura 58 - Vista lateral (unidade: mm).....	75
Figura 59 - Ligação longarina-transversina.	76
Figura 60 - Perspectiva 3D	77
Figura 61 - Perspectiva 3D de outra vista.....	77
Figura 62 - Vista lateral (unidade: mm)	77
Figura 63 - Vista frontal (unidade: mm).....	77
Figura 64 - Contraventamento em x	78
Figura 65 - Contraventamento em x transparente.....	78
Figura 66 - Perspectiva 3D do centro	79
Figura 67 - Ligação entre contraventamento em x e arco.....	79
Figura 68 - Contraventamento em x (1)	79
Figura 69 - Contraventamento em x (2).....	79
Figura 70 - Cantoneira do contraventamento.....	79
Figura 71 - Cantoneira do contraventamento transparente.....	79
Figura 72 - Cantoneira, perspectiva em 3D	80
Figura 73 - Cantoneira, vista lateral (unidades:mm).	80
Figura 74 - Ligações do guarda corpo.	81
Figura 75 - Pregos de 7,6 mm de diâmetro	82
Figura 76 - Prego de 7,6 mm de diâmetro (unidade:mm).....	82
Figura 77 - Parafusos de 7,6 mm de diâmetro	82
Figura 78 - Parafusos de 7,6 mm de diâmetro (unidades:mm).....	82
Figura 79 - Distâncias das ligações do painel de CLT (fonte: MYC).	83
Figura 80 - Parafuso SWG ASSY Kombi (fonte:MYC).	83
Figura 81 - Nomes das dimensões do parafuso (fonte: MYC).	84
Figura 82 - Ligação do painel de CLT (unidade: cm).	84
Figura 83 - Apoios metálicos.....	85
Figura 84 - Apoio metálico dos arcos.	85
Figura 85 - Apoio metálico das longarinas.....	85
Figura 86 - Rótula metálica.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades de alguns materiais de construção Fonte: (PFEIL; PFEIL, 2003)	13
Tabela 2 - Propriedades do MLC (Fonte adaptada: GLUED LAMINATED TIMBER ASSOCIATION).....	19
Tabela 3 - Propriedades do CLT (Fonte adaptada: KLH UK).....	20
Tabela 4 - Propriedades do cabo de aço (Fonte adaptada: CIMAF).....	20
Tabela 5 - Propriedades do Lyptus - LAMEN - EESC - USP (São Carlos).....	20
Tabela 6 - Forças devido ao vento na direção X:.....	39
Tabela 7 - Forças devido ao vendo na direção Y:.....	40
Tabela 8 - Ações permanentes de pequena variabilidade (Fonte: NBR 7190/97)	41
Tabela 9 - Ações permanentes de grande variabilidade (Fonte: NBR 7190/97)	42
Tabela 10 - Ações variáveis (Fonte: NBR 7190/97).....	42
Tabela 11 - Fatores de combinação e utilização - Síntese (Fonte: NBR 7190/97)	42
Tabela 12 - Coeficientes finais que multiplicam cada ação no STRAP:	43
Tabela 13 - Valores de γ_w segundo a NBR-7190/97.....	43
Tabela 14 - Valores de k_{mod} segundo a NBR-7190/97	44
Tabela 15 - Valores de resistências obtidos:.....	44
Tabela 16 - Resultado máximo para o arco, barra 35:	49
Tabela 17 - Resultado máximo para a longarina, barra 131:	50
Tabela 18 - Resultado máximo para a transversina, barra 138:	51
Tabela 19 - Resultado máximo para o contraventamento horizontal, barra 256:	52
Tabela 20 - Resultado máximo para o contraventamento em 'X', barra 259:	53
Tabela 21 - Resultado máximo dos pendurais, barra 108:.....	54
Tabela 22 - Resultados máximos para o guarda-corpo, barra 275:.....	55
Tabela 23 - Barras, propriedades geométricas e esforços solicitantes:	56
Tabela 24 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.4.1:.....	57
Tabela 25 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.3.5:.....	57
Tabela 26 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.3.6:.....	58
Tabela 27 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.5.4 (condição de flexocompressão para peças medianamente esbeltas):	59
Tabela 28 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.5.4 (condição de flexocompressão para peças esbeltas):	60
Tabela 29 - Cabo de aço classe 6x19 - alma de aço (Fonte: CIMAF)	65

Tabela 30 - Equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos, uma seção de corte (Fonte: revisão de 2016 da NBR7190)	70
Tabela 31 - Características das chapas de aço:	71
Tabela 32 - Características dos parafusos:	71
Tabela 33 - Características dos pregos:	71
Tabela 34 - Deslizamento dos parafusos:	72
Tabela 35 - Cisalhamento dos parafusos:	72
Tabela 36 - Pressão de contato em diferentes posições:	73
Tabela 37 - Rasgamento:	73
Tabela 38 - Chapa de aço, ESB (escoamento da seção bruta) e RSL (ruptura da seção líquida):	73
Tabela 39 - Modos de falha na madeira:.....	73
Tabela 40 - Deslizamento dos parafusos:	74
Tabela 41 - Cisalhamento dos parafusos:	74
Tabela 42 - Pressão de contato em diferentes posições:	75
Tabela 43 - Rasgamento:	75
Tabela 44 - Chapa de aço, ESB (escoamento da seção bruta) e RSL (ruptura da seção líquida):	75
Tabela 45 - Modos de falha na madeira:.....	75
Tabela 46 - Modos de falha na madeira da longarina:	76
Tabela 47 - Modos de falha na madeira da transversina:.....	76
Tabela 48 - Modos de falha nas madeiras centrais:	78
Tabela 49 - Modos de falha na madeira entre o contraventamento em x e o arco:	78
Tabela 50 - Modos de falha na madeira do contraventamento horizontal:.....	80
Tabela 51 - Modos de falha dos pregos de 7,6 mm de diâmetro:	81
Tabela 52 - Modos de falha dos pregos de 8,4 mm de diâmetro:	82
Tabela 53 - Distâncias das ligações do painel de CLT em função do diâmetro do parafuso:	83
Tabela 54 - Dimensões do parafuso (fonte: MYC).....	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVO.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	13
1.3	ESCOPO DO TRABALHO.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	ALGUNS EXEMPLOS DE PONTES E PASSARELAS DE MADEIRA EM ARCO	16
2.2	PACOTE COMPUTACIONAL STRAP	18
2.3	PROPRIEDADES DOS MATERIAS.....	19
3	METODOLOGIA	22
3.1	DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA E DOS MATERIAS	22
3.2	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS SEÇÕES	23
3.3	MODELAGEM COMPUTACIONAL	23
3.3.1	INSERÇÃO DE AÇÕES PERMANENTES E VARIÁVEIS	23
3.3.2	ANÁLISE ESTRUTURAL E COMBINAÇÕES CRÍTICAS.....	23
3.4	DIMENSIONAMENTO DAS SEÇÕES	24
3.5	CÁLCULO DAS LIGAÇÕES	24
3.6	DETALHAMENTO.....	24
4	GEOMETRIA DA PASSARELA.....	25
4.1	DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DO ARCO	25
4.2	PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	28
4.2.1	ARCO	28
4.2.2	VIGAS E ELEMENTOS DE CONTRAVENTAMENTO.....	28
4.2.3	PAINÉIS DO TABULEIRO INFERIOR	28
5	MODELAGEM DA GEOMETRIA NO STRAP	29
5.1	EIXOS	29
5.2	MATERIAS	30
5.3	GEOMETRIA	31
5.4	VINCULAÇÕES E APOIOS.....	31
5.5	MODELO 3D (STRAP).....	33
6	AÇÕES.....	35
6.1	AÇÕES PERMANENTES.....	35
6.2	AÇÕES VARIÁVEIS	36
6.3	FORÇA NO GUARDA-CORPO	36
6.4	VENTO	37
6.4.1	VENTO EM X	39

6.4.2 VENTO EM Y	39
7 ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO	41
7.1 COMBINAÇÕES	41
7.1.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO	41
7.1.2 COEFICIENTES DAS AÇÕES PERMANENTES	41
7.1.3 COEFICIENTES DAS AÇÕES VARIÁVEIS	42
7.2 VERIFICAÇÕES	43
7.2.1 SOLICITAÇÕES NORMAIS	44
7.2.2 SOLICITAÇÕES TANGENCIAIS	44
7.2.3 ESTABILIDADE DEVIDO A COMPRESSÃO	45
7.2.4 VERIFICAÇÃO DO CABO DE AÇO	45
7.3 RESULTADOS MÁXIMOS	46
7.4 VERIFICAÇÕES CRÍTICAS	56
7.5 VERIFICAÇÃO DE FLECHAS	63
7.6 VERIFICAÇÃO DO CABO DE AÇO	65
8 DETALHAMENTO	66
8.1 VERIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS METÁLICOS	66
8.2 VERIFICAÇÕES DA MADEIRA	67
8.3 TABELAS DE LIGAÇÕES	71
8.3.1 Ligação Arco-tirante	72
8.3.2 Ligação tirante-transversina	74
8.3.3 Ligação longarina-transversina	76
8.3.4 Ligação do contraventamento em X	78
8.3.5 Ligação do contraventamento horizontal	79
8.3.6 Ligação do guarda-corpo	81
8.3.7 Ligações do painel de CLT	83
8.3.8 Apoios e rótulas	85
9 CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹	87
APÊNDICE A	90
APÊNDICE B	107

1 INTRODUÇÃO

A madeira vem sendo utilizada para transpor obstáculos há muito tempo. Inicialmente, utilizando elementos estruturais simples (troncos de árvores). Com o passar do tempo, foram sendo utilizados sistemas estruturais mais elaborados na construção de pontes e passarelas, com esse material.

A partir do século passado, com o desenvolvimento de adesivos estruturais aplicáveis à madeira, observou-se uma grande utilização de elementos de madeira laminada colada (MLC) em países com grande tradição na construção com madeira.

Além de elementos estruturais retos (vigas e pilares), a versatilidade da MLC permitiu a construção de elementos estruturais com diversas formas e, a princípio, sem limitação nas dimensões. Dentre os elementos curvos, se destacaram os arcos, cuja forma estrutural propicia a possibilidade de vencer maiores vãos utilizando menor quantidade de material, em comparação com as vigas.

Nesse contexto e considerando a realização do Trabalho de Conclusão de Curso II, foi desenvolvido o projeto de uma passarela de pedestres de 20 metros de vão com sistema estrutural em arco com tabuleiro inferior, utilizando o material madeira. Os arcos, as longarinas e as transversinas foram feitas com MLC, enquanto que o tabuleiro utilizou o sistema de madeira laminada cruzada. A opção por esses sistemas construtivos foi a industrialização dos elementos estruturais.

O trabalho englobou a definição geométrica da estrutura, o pré-dimensionamento dos elementos estruturais e a posterior análise estrutural utilizando o programa computacional STRAP (Structural Analysis Program). Finalizando, foi realizada o dimensionamento final e o detalhamento das ligações, baseando-se principalmente nos critérios da norma ABNT:NBR7190-1997-Projeto de Estruturas de madeira, além de outras que são citadas no item “Metodologia” deste trabalho.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento do projeto estrutural de uma passarela em arco com tabuleiro inferior utilizando elementos estruturais industrializados (madeira laminada colada e madeira laminada cruzada).

1.2 JUSTIFICATIVA

Acredita-se na necessidade da valorização da utilização da madeira em obras de engenharia civil, uma vez que sua extração pode ser realizada de forma sustentável, com baixo consumo de energia.

Neste trabalho, escolheu-se a utilização da madeira laminada colada (MLC) devido às suas características se adequarem muito bem à proposta do trabalho desenvolvido.

É possível encontrar muitas empresas, inclusive com plataformas online, que fabricam diversos elementos de MLC. Seus usos são muito diversificados, podendo ser em residências, arenas, templos religiosos, espaços urbanos, indústrias, abrigos e, dentre vários outros usos, em pontes e passarelas.

Uma característica que determinou a escolha da MLC foi a possibilidade de fabricar elementos com formas e dimensões diversificadas. Justificada pelo fato de que no projeto se utilizam elementos em arco, que possuem forma circular muito específica. Além disso, encontram-se peças de MLC de seção retangular com longos comprimentos, viabilizando a sua utilização também para as vigas desse projeto, cujo comprimento máximo é 20 metros (no caso das longarinas).

Além disso, podem-se encontrar diferentes materiais compostos de madeira, com diferentes finalidades construtivas. Painéis de madeira, por exemplo, podem ser utilizados como elementos de vedação estrutural, como piso e até mesmo na fabricação de móveis (MDF, HDF, OSB). Ao mesmo tempo, pode-se utilizar a madeira estruturalmente para resistir a esforços solicitantes por meio do uso de peças de madeira serrada, de madeira laminada colada (MLC), de madeira compensada, de madeira recomposta...

Ao se comparar a densidade da madeira e as suas resistências características com outros materiais construtivos amplamente usados na construção civil; verificou-se que a madeira possui baixa densidade e boa resistência à tração e à compressão. Comparou-se o aço (em relação a tração) e o concreto (em relação a compressão) com a madeira da Tabela 1 demonstrando que a madeira é um excelente material quando utilizada para fins estruturais.

Tabela 1 - Propriedades de alguns materiais de construção

Material	ρ (t/m ³)	f (MPa)	f/ ρ
Madeira a tração	0,5 - 1,2	30 - 110	60 - 90
Madeira a compressão	0,5 - 1,2	30 - 60	50 - 60

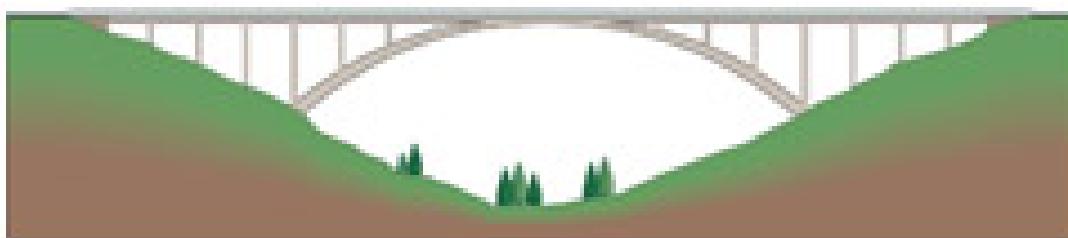
Aço a tração	7,85	250	32
Concreto a compressão	2,5	40	16

Fonte: (PFEIL; PFEIL, 2003)

Os arcos são utilizados desde a antiguidade, tendo em vista as características do seu comportamento estrutural, devido à sua forma que propicia alívio dos esforços de flexão e predomínio das forças de compressão. Além disso, também pode ser salientado o aspecto estético agradável que o arco proporciona.

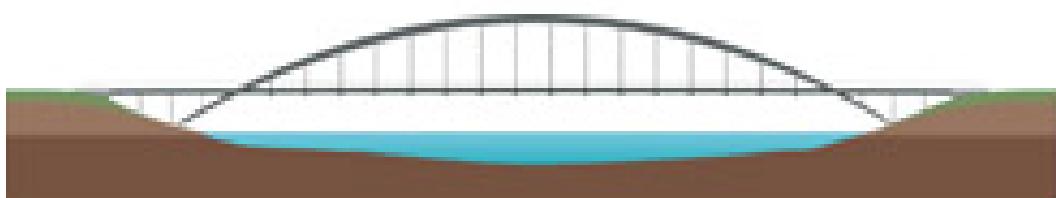
Podem-se ter diferentes tipos de pontes e passarelas em arco, considerando a disposição do tabuleiro como ilustrado nas Figuras 1,2 e 3:

Figura 1 - Arco com tabuleiro superior



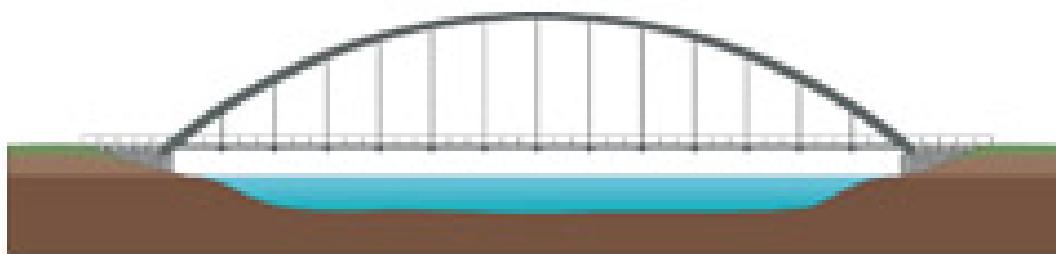
(Fonte: ROAD TRANSPORT).

Figura 2 - Arco com tabuleiro intermediário



(Fonte: ROAD TRANSPORT).

Figura 3 - Arco com tabuleiro inferior



(Fonte: ROAD TRANSPORT).

Para a realização deste trabalho, adotou-se o modelo da Figura 3, principalmente pelo motivo de se ter uma maior altura livre abaixo do tabuleiro do arco. Essa situação é desejável no caso de passarelas de pedestres sobre vias de transporte e na maioria dos rios do país.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O desenvolvimento do projeto ocorreu nas seguintes etapas principais

- Determinação da Geometria e dos materiais;
- Pré-dimensionamento das seções;
- Modelagem computacional;
- Inserção de cargas permanentes e variáveis;
- Análise estrutural dos elementos verificando-se combinações críticas;
- Detalhamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALGUNS EXEMPLOS DE PONTES E PASSARELAS DE MADEIRA EM ARCO

Neste item são apresentados exemplos de construção existentes, que auxiliaram na formação de senso crítico de como seria realizado o projeto da passarela.

As Figuras 4 à 9 mostram exemplos do uso da madeira na construção de passarelas em arco.

Figura 4 - Passarela Tetherow Golf Course / Bend, OR



(Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).

Figura 5 - Passarela Centennial Garden / Longview, WA



(Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).

Figura 6 - Passarela Trail of Blue Ice / Chugach National Forest, AK



(Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).

Figura 7 - Passarela Forest Service / Hyder, AK



(Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).

Figura 8 - Passarela Bow Bridge localizada no Big Wood River / Draper, ID



(Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).

Figura 9 - Passarela Tioga / BLM/ODOT Roseburg District, OR



(Fonte: WESTERN WOOD STRUCTURES).

2.2 PACOTE COMPUTACIONAL STRAP

A utilização de softwares de análise estrutural vem se tornando parte do cotidiano dos engenheiros; uma vez que o avanço tecnológico já se encontra inserido nas ferramentas de trabalho das mais amplas áreas. Devido a este motivo, optou-se pela utilização do software STRAP, versão de 2015, para o cálculo e análise estrutural do projeto desenvolvido.

Vantagens da utilização do STRAP (Structural Analysis Programs) (ATIR, 2016):

- **Modelagem do problema:** ambiente gráfico prático de verificar o trabalho desenvolvido.
- **Inserção dos elementos:** facilidade na geração de nós, barras e elementos finitos.
- **Vínculos:** o usuário pode definir diversas condições de vínculos entre as barras (como: liberar momentos, forças, esforços axiais).
- **Assistente de modelagem:** auxílio ao usuário por meio de uma biblioteca de estruturas parametrizadas.
- **Forças:** possibilidade inserção de forças nodais, forças em elementos finitos e forças em barras (forças uniformes, variáveis, concentradas, peso próprio, temperatura, protensão); além de recalques em apoios, forças globais e cargas móveis.
- **Combinação:** o STRAP possibilita a combinação de carregamentos.
- **Vento:** o usuário pode definir cargas de vento e o programa calcula automaticamente a pressão definida de acordo com o tipo estrutura, parâmetros e norma de cálculo.
- **Resultados:** apresentação de resultados gráficos e tabelados.

- **Módulo de pontes:** minimiza-se a análise do posicionamento das cargas para a obtenção de resultados máximos e mínimos; podendo-se definir linhas de influência em diversas posições da estrutura além deste módulo possuir ambiente totalmente gráfico.

Dessa forma, definiu-se que o projeto seria desenvolvido utilizando-se esse pacote computacional; prestando-se as devidas atenções nas relações dos vínculos, na inserção das ações e na análise dos dados obtidos computacionalmente.

2.3 PROPRIEDADES DOS MATERIAS

Os dados dos elementos estruturais de MLC e CLT foram obtidos a partir de manuais de fabricante do exterior (Reino Unido), as empresas GLTA e KLH (Tabela 2 e 3).

A GLTA é uma empresa líder em produção e suporte de elementos de MLC no Reino Unido, operando desde 1987 e participa do desenvolvimento de normas de MLC na Europa. Além disso, a empresa possui uma política de disseminação do conhecimento acerca da madeira laminada colada, fornecendo com muita facilidade o acesso a todas as características dos elementos de MLC que produzem; sendo possível encomendar as peças de arco com as dimensões do projeto desenvolvido. Ao passo que, o CLT ainda é um produto em desenvolvimento no Brasil e a empresa KLH é líder na fabricação de painéis CLT no Reino Unido e também fornece com facilidade acesso a todas as características dos painéis de CLT que produzem.

Os dados do cabo de aço foram obtidos pela empresa CIMAF (Tabela 4), localizada em Osasco (SP). O manual da empresa definia como dimensionar o cabo de aço em função de um fator de segurança, da carga de trabalho e de sua função estrutural.

Foram obtidos dados (Tabela 5) de módulo de resistência (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) de ensaios de vigas de MLC fabricadas no Brasil, sendo as propriedades informadas pelo Prof. Carlito Calil Jr. da EESC - USP (Campus de São Carlos), para a realização de um estudo de alternativas de uso de material MLC brasileiro pra os arcos do projeto.

Tabela 2 - Propriedades do MLC

MATERIAL	E _{0,05} (Mpa)	E ₉₀ (Mpa)	ρ (kg/m ³)	f _{c0,k} (Mpa)	f _{t0,k} (Mpa)	f _{v0,k} (Mpa)
MLC - GL32c	11100	420	480	26,5	19,5	3,2

(Fonte adaptada: GLUED LAMINATED TIMBER ASSOCIATION)

Tabela 3 - Propriedades do CLT

MATERIAL	E _{0,m} (Mpa)	E ₉₀ (Mpa)	ρ (kg/m ³)	f _{c0,k} (Mpa)	f _{t0,k} (Mpa)	f _{v0,k} (Mpa)
CLT - KLH (140 mm)	12000	370	480	24,0	16,5	2,7

(Fonte adaptada: KLH UK)

Para a escolha do cabo de aço, verificou-se que o esforço de tração nos tirantes da passarela é da ordem de 2,4 tf = 23,54 kN (carga de trabalho). Sendo a carga de ruptura mínima (CRM) do fabricante igual à carga de trabalho (CT) multiplicada pelo fator de segurança (FS); para um FS de 12, fornecido pelo fabricante, encontra-se o valor de CRM 28,8 tf = 282,43 kN.

Adotou-se um cabo com diâmetro de 29 mm com CRM 59 tf = 578,60 kN (maior que 28,8tf); da classe 6x19 com alma de aço - Seale, sendo ele: pré-formado, galvanizado, com torção regular, pré-esticado e com capacidade de carga na categoria EIPS.

Tabela 4 - Propriedades do cabo de aço

E (Mpa)	Φ escolhido (mm)	massa (kg/m)	CRM REAL (tf)	FS
100000	29,00	3,48	59,00	12,00

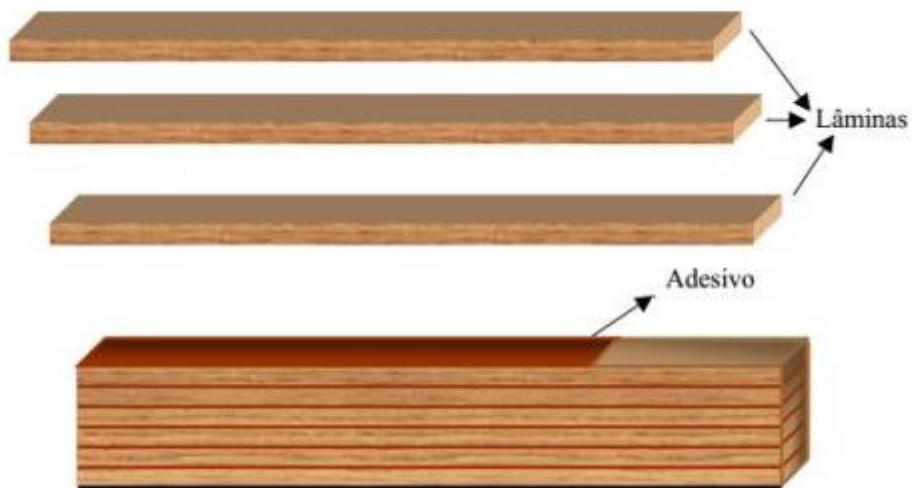
(Fonte adaptada: CIMAF)

Tabela 5 - Propriedades do Lyptus

MATERIAL	MOR (MPa)	MOE (Mpa)	E ₀ (MPa)
Lyptus	58,6	15361	15361

Profº Calil - EESC - USP (São Carlos)

Figura 10 - Madeira laminada colada



(fonte: MLC).

Figura 11 - Painel de CLT



(fonte: KLH UK).

3 METODOLOGIA

Desenvolveu-se o projeto nas seguintes etapas: definição da geometria e dos materiais; pré-dimensionamento das seções; modelagem computacional; inserção de ações permanentes e variáveis; análise estrutural dos elementos verificando-se combinações críticas e detalhamento da passarela de pedestres.

Para a análise estrutural, utilizaram-se as normas: NBR7190-1997 - Projeto de estruturas de madeira, NBR6120-1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, NBR6123-1988 - Forças devidas ao vento em edificações, NBR7188-1984 - Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres, NBR8681-2003 - Ações e segurança nas estruturas e NBR8800-2008 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios.

3.1 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA E DOS MATERIAS

Para o comprimento de 20 metros de vão, adotou-se uma largura de 2 metros para a passarela para permitir a passagem de pedestres de ambos os lados. E, definiu-se que seriam utilizados painéis de CLT para o tabuleiro inferior devido à praticidade e por apresentarem comportamento de placa.

Por questões de praticidade na execução, foi utilizada a forma circunferencial para os arcos.

A determinação inicial da geometria foi fundamental para escolha dos materiais utilizados no projeto. Sendo que, diversos parâmetros foram essenciais para a determinação da geometria da passarela, como a relação entre a flecha e o vão do arco e o posicionamento das longarinas e das transversinas (espaçados de 2 metros).

Devido a largura da passarela ser de 2 metros, e, devido aos painéis CLT poderem ser utilizados para essa finalidade, escolheu-se esse material para o tabuleiro da passarela projetada. O tabuleiro de CLT está apoiado sobre 2 longarinas de 20 metros de MLC.

Ainda, devido à característica da estrutura, os arcos estão ligados as transversinas por meio de tirantes (barras tracionadas) e, pelo fato do aço ser um bom componente para resistir a tração, optou-se pela utilização de cabos de aço para os tirantes.

As propriedades dos materiais utilizados foram obtidas por meio de acesso aos manuais dos fabricantes e foram apresentadas no item 2.3 deste trabalho.

3.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS SEÇÕES

No pré-dimensionamento do arco, as suas dimensões transversais foram determinadas limitando em 100 os índices de esbeltez, nos dois planos de flambagem.

Obtida a seção do arco, adotou-se a mesma para as vigas (longarinas e transversinas), assim como para os elementos de contraventamento.

A espessura do tabuleiro de CLT foi definida a partir da espessura indicada pelo fabricante para essa finalidade.

3.3 MODELAGEM COMPUTACIONAL

A partir das propriedades dos materiais, da geometria da passarela e das seções obtidas no pré-dimensionamento, iniciou-se a etapa de modelagem computacional da passarela.

3.3.1 INSERÇÃO DE AÇÕES PERMANENTES E VARIÁVEIS

Obtido o modelo estrutural da passarela com as barras, vinculações, apoios e elementos de grelha, prosseguiu-se com a inserção dos valores das ações permanentes (peso próprio + 10% para ligações) e das ações variáveis sobre a passarela (carga de pessoas, vento, força acidental sobre o guarda-corpo).

Cabe salientar que, paralelamente a essa etapa, calculou-se a força de arrasto devida ao vento sobre os elementos em que incide (longarinas, tabuleiros, arcos) de acordo com a NBR6123:1988.

3.3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL E COMBINAÇÕES CRÍTICAS

As solicitações da estrutura foram calculadas, de forma iterativa, de acordo com diversas combinações com a finalidade de obter efeitos críticos que foram utilizados para dimensionar a estrutura final da passarela.

Uma vez que a força de arrasto do vento depende da seção sobre a qual ele incide e que se alteraram as seções dos elementos diversas vezes a fim de que elas atendessem as relações estabelecidas por normas, foi necessário recalcular diversas vezes a força de arrasto do vento, modificar os valores que estavam modelados computacionalmente para as seções anteriores e recalcular as solicitações.

3.4 DIMENSIONAMENTO DAS SEÇÕES

O dimensionamento foi feito através do auxílio de planilha do Excel, onde se inseriu o valor das combinações críticas obtidas na modelagem computacional e se verificou as seções que atendiam aos requisitos da NBR7190:1997.

3.5 CÁLCULO DAS LIGAÇÕES

Após terem sido obtidas as seções e as solicitações finais da passarela, calcularam-se as ligações da estrutura por meio da revisão de 2016 NBR7190 e da NBR8800:2008.

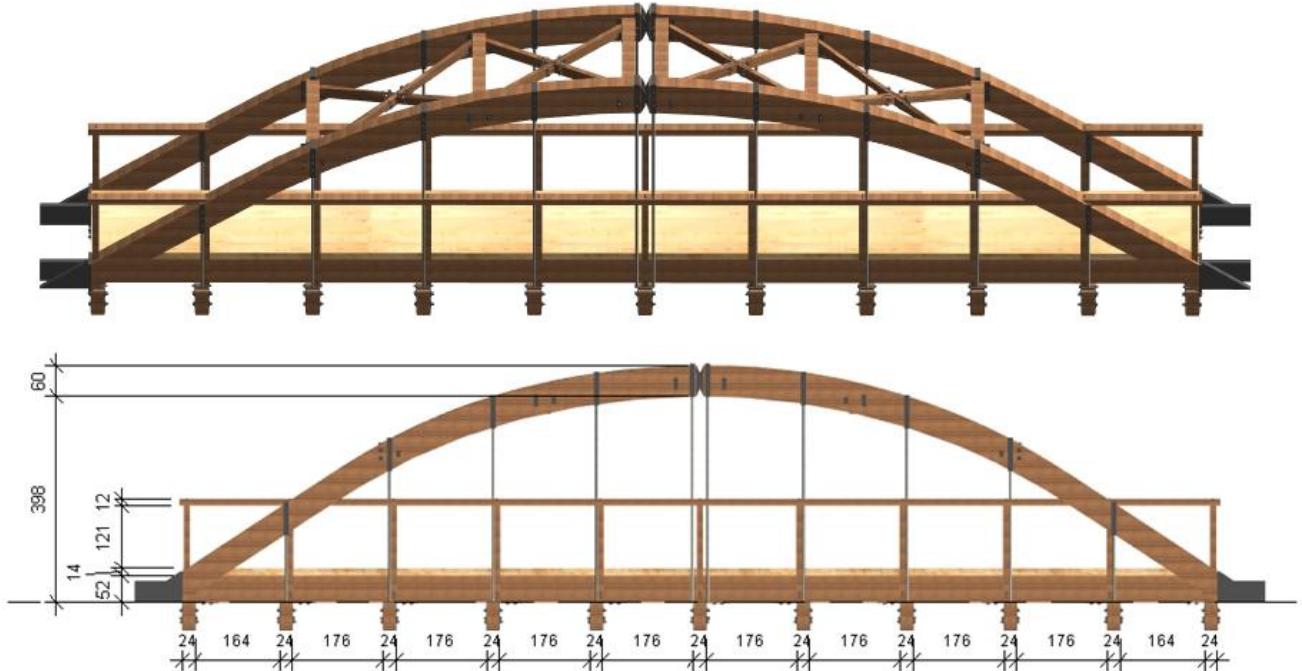
3.6 DETALHAMENTO

Realizou-se o detalhamento da passarela através do uso do software Revit da AutoDesk. O pacote computacional Revit é muito utilizado para a modelagem 3D de estruturas em engenharia civil e utiliza a concepção BIM, a mais nova tecnologia de concepção de projetos no mercado.

4 GEOMETRIA DA PASSARELA

Inicialmente, foram definidas as dimensões da passarela em planta e a definição do sistema estrutural (Figura 12). Definiu-se uma passarela em arco com tabuleiro inferior, com duas longarinas, com transversinas e pendurais espaçados de 2 metros e com sistema de contraventamentamento entre os arcos.

Figura 12 - Vista da passarela em perspectiva 3D (Revit), dimensões em mm.



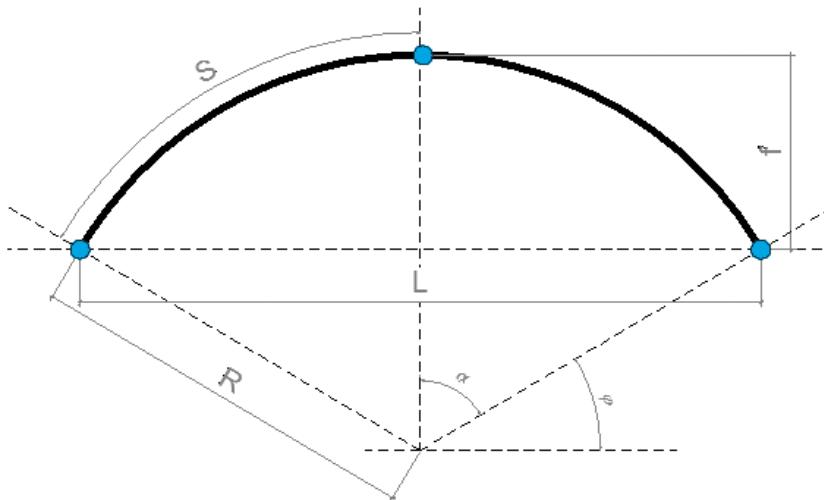
4.1 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DO ARCO

A partir do cálculo de uma boa relação entre a flecha (4,5 metros) por vão (20 metros) e definida a curvatura do arco como circunferencial, analisou-se que para diversas passarelas similares adotava-se uma distância de cerca de 2 metros entre as transversinas e adotou-se essa distância entre as transversinas.

Optou-se por posicionar o contraventamento do arco em pontos equidistantes, em relação ao centro da passarela. Isso levou ao contraventamento dos pontos situados a 4, 7, 10, 13 e 16 metros no sentido do vão do arco, estando as barras mais baixas situadas a uma altura conveniente para a passagem dos pedestres.

De forma mais detalhada, a partir das relações geométricas que podem ser visualizadas pela Figura 13, desenvolveu-se o cálculo da geometria do arco.

Figura 13 - Geometria do Arco relações geométricas.



Definiram-se os valores para o vão livre teórico e a flecha:

- L (vão livre teórico) = 20,00 m
- f (flecha) = 4,50 m
- distância entre os arcos = 2,00 m

Obtendo-se uma proporção entre o vão e a flecha dada pela Equação 1.

$$\frac{L}{f} = \frac{20}{4,5} = 4,44 \quad (\text{Equação 1})$$

De acordo com os valores de vão teórico livre e flecha adotados e os parâmetros geométricos estabelecidos na Figura 13; considerando-se o arco circular. Foi possível calcular os outros parâmetros do arco triarticulado; sendo eles: o raio de curvatura (R , dado pela Equação 2), o abatimento do arco (Equação 3), o ângulo de metade do arco (α , dado pela Equação 4), o ângulo de imposição do arco (ϕ , dado pela Equação 5); o comprimento do semi-eixo do arco (S , dado pela Equação 6).

$$R = \frac{L^2}{8.f} + \frac{f}{2} = 13,36 \text{ m} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Abatimento} = \frac{f}{L} = 0,225 \quad (\text{Equação 3})$$

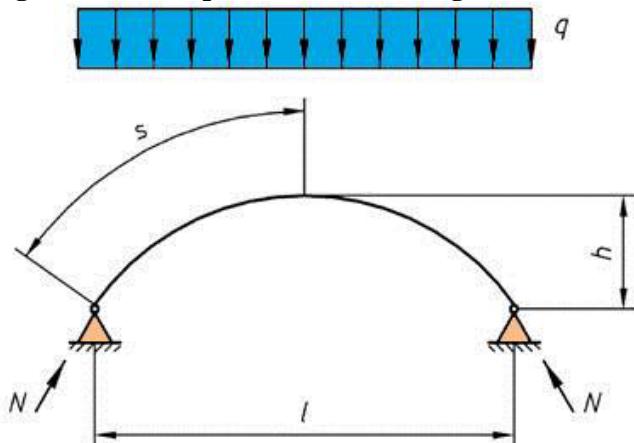
$$\alpha = \arctg \frac{L}{2.(R-f)} = 48,45^\circ \quad (\text{Equação 4})$$

$$\phi = 90^\circ - \alpha = 41,54^\circ \quad (\text{Equação 5})$$

$$S = \pi \cdot R \cdot \frac{\alpha}{180^\circ} = 11,29 \text{ m} \quad (\text{Equação 6})$$

Com relação ao comprimento de flambagem do arco em relação ao plano que o contém (no caso, plano vertical), utilizou-se a recomendação de BLASS (1995), válida para relações f/l entre 0,15 e 0,5 e carregamento uniformemente distribuído ao longo do vão do arco, como mostrado na Figura 14. Nesse caso, é estipulado um coeficiente $\beta = 1,25$, e o comprimento de flambagem é calculado de acordo com a Equação 7.

Figura 14 - Comprimento de flambagem do arco.

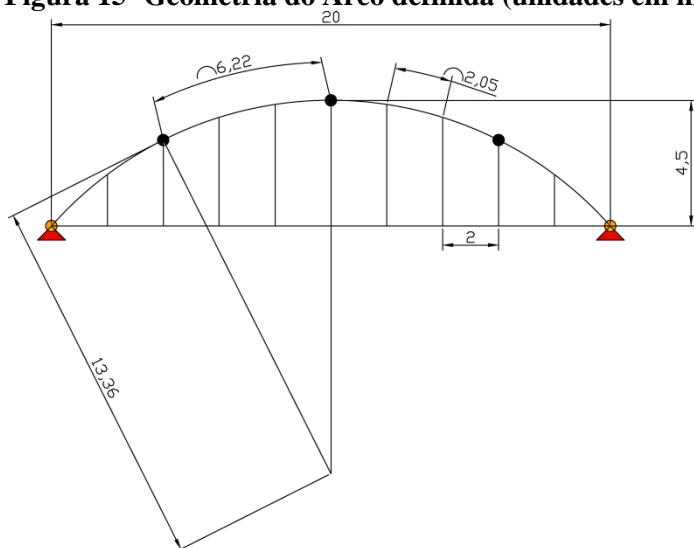


Adaptação: (BLASS, 1995).

$$L_f = \beta * S = 14,11 \text{ m} \quad (\text{Equação 7})$$

Com auxílio do software AutoCad da AutoDesk, desenhou-se a geometria do arco, obtendo-se a Figura 15.

Figura 15 -Geometria do Arco definida (unidades em metros).



4.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

4.2.1 ARCO

De acordo com a norma NBR7190/1997, admite-se uma esbeltez máxima de 140 para elementos de madeira. Como ponto de partida, foi adotada a esbeltez máxima de 100 para o arco.

Foi adotada uma seção retangular prismática para o arco. Dessa forma, por meio das relações estabelecidas entre o raio de giração, o momento de inércia (J) e a área da seção (A); é possível obter os valores das dimensões mínimas da seção, em função da limitação da esbeltez máxima em 100.

Com relação à flambagem do arco relativa ao plano vertical, anteriormente foi calculado o comprimento de flambagem 14,11 m, o valor máximo para a altura seria 48,7 cm. Adotou-se, entretanto, uma altura de 52 centímetros, um múltiplo de 4 centímetros, devido ao fato de ser possível encontrar seções laminadas coladas de 4cm de espessura,

A largura mínima da seção do arco foi calculada de forma análoga. Tendo em vista o posicionamento dos contraventamentos, o comprimento de flambagem fora do plano do arco é igual a 6,22 m, foi obtido um valor máximo igual a 21,4 cm, tendo sido adotado 22 cm para a largura.

Assim, foi definida a seção do arco como sendo 22 x 52 cm.

4.2.2 VIGAS E ELEMENTOS DE CONTRAVENTAMENTO

Para esses elementos foram adotadas as mesmas seções transversais do arco: 22 x 52 cm. .

4.2.3 PAINÉIS DO TABULEIRO INFERIOR

Adotou-se a utilização do sistema construtivo com painéis CLT com 14 cm de espessura, 2 metros de largura e 10 metros de comprimento. Totalizando 2 painéis de CLT ao longo da passarela.

5 MODELAGEM DA GEOMETRIA NO STRAP

Inicialmente, para um bom entendimento das informações fornecidas pelo software STRAP, é necessário entender o funcionamento do sistema de coordenadas.

5.1 EIXOS

O STRAP é baseado em um sistema de coordenadas locais e globais. O sistema de coordenadas globais é definido pelos eixos X1, X2 e X3 (Figura 16). Ao passo que o sistema de coordenadas locais é único para cada elemento e representado pelos eixos X1, X2 e X3 locais (Figuras 17,18 e 19).

O software cria automaticamente os eixos locais de acordo com a orientação e conectividade dos elementos. O eixo local X1 é aquele ao longo do comprimento do objeto, o eixo local X3 é ao longo da altura do objeto e o eixo local X2 é perpendicular aos dois eixos.

Figura 16 - Sistema de coordenadas Globais.

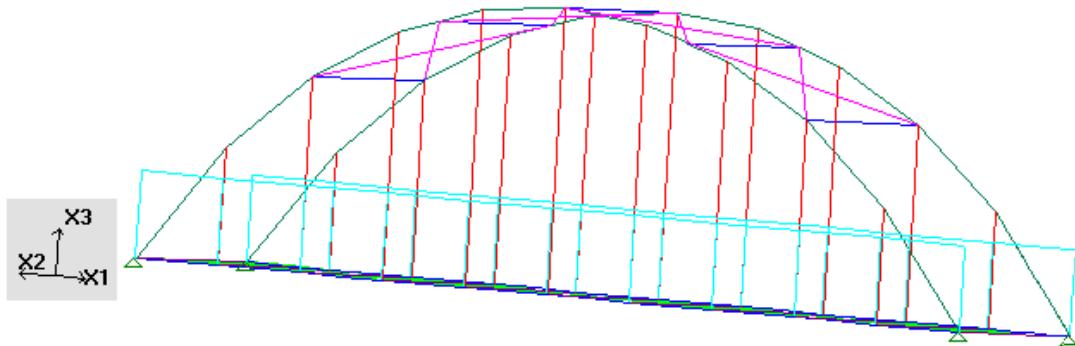


Figura 17 - Sistema de coordenadas locais X1.

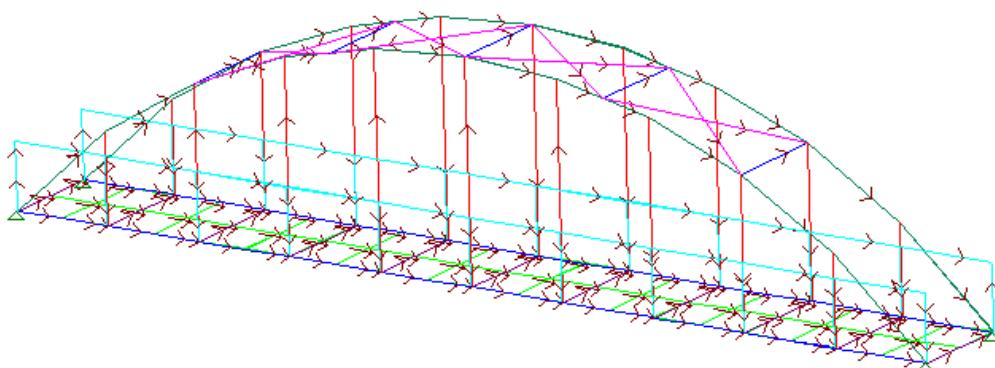


Figura 18 - Sistema de coordenadas locais X2.

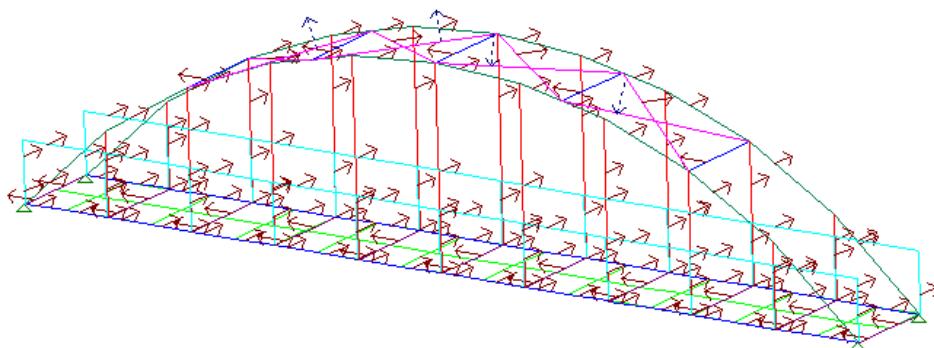
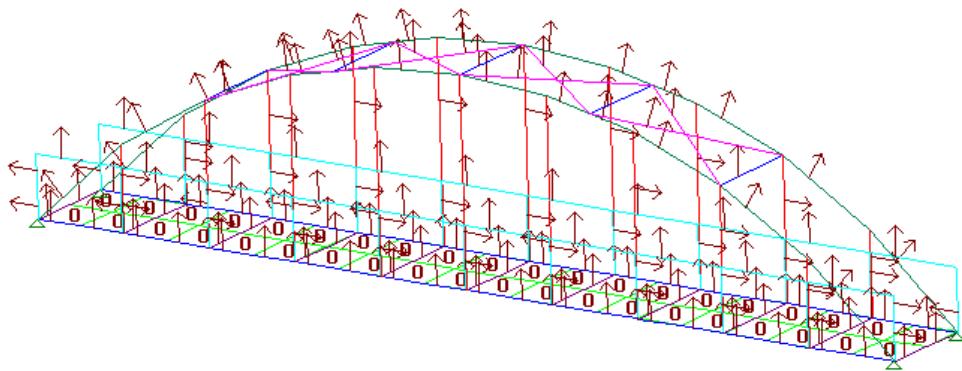


Figura 19 - Sistema de coordenadas locais X3.



5.2 MATERIAS

Foram definidos diferentes tipos de materiais no software: CLT, MLC e aço.

A madeira é um material ortotrópico, ou seja, apresenta três eixos de simetria elástica (direção longitudinal, radial e transversal), com propriedades diferentes entre si. De forma simplificada, os materiais MLC e CLT foram considerados no software como isotrópicos, usando as propriedades da direção longitudinal da madeira.

Sabe-se que o painel de CLT não pode ser simplificado como isotrópico, entretanto o seu dimensionamento foi realizado através do manual do fabricante; sua importância para a análise no STRAP foi em realizar a distribuição dos esforços como placa e para considerar a atuação de seu peso próprio na estrutura

Os modelos de cálculo empregando elementos finitos, ortotrópicos ou isotrópicos, reproduzem o comportamento de uma viga de madeira laminada colada (ABRANTES, 2012).

Os materiais CLT e MLC foram definidos a partir das seguintes características fornecidos pelo catálogo dos fabricantes do exterior: módulo de elasticidade transversal, módulo de elasticidade longitudinal e densidade. Para o projeto de passarela os dois módulos de elasticidade são suficientes, uma vez que a sua importância é para a verificação da flecha máxima.

Definiu-se o material aço a partir das seguintes características obtidas pelo catálogo da CIMAF: módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson (0,3) e densidade.

5.3 GEOMETRIA

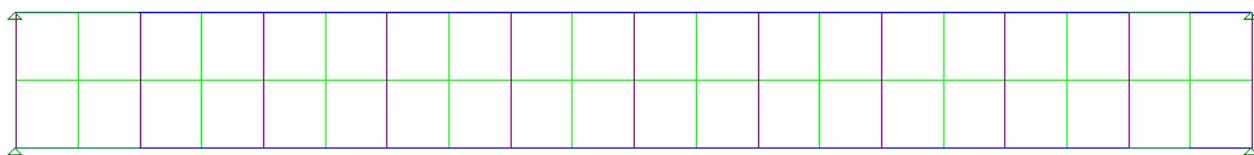
Para inserir a geometria da passarela no programa, as coordenadas dos elementos foram calculadas com auxílio do Excel e do software AutoCad. A partir dessas coordenadas, foram criados os nós. Nesse processo, foi considerada a simetria da estrutura.

O próximo passo foi a criação de barras ligando os nós criados. Cada uma das barras possui propriedades diferentes, pois há diferentes tipos de materiais (MLC ou aço) e de seções na passarela. Por isso, tomou-se o cuidado de definir corretamente a seção e o tipo de material de cada barra.

Definiu-se a seção das barras como retangular e a seção do cabo de aço como circular.

Para o tabuleiro foi utilizado o elemento do tipo grelha retangular sendo necessário inserir o tipo de material como CLT e sua espessura de 14 mm. Sendo que o software automaticamente dividiu o elemento de grelha em vários blocos retangulares menores para distribuir o peso do tabuleiro (Figura 20).

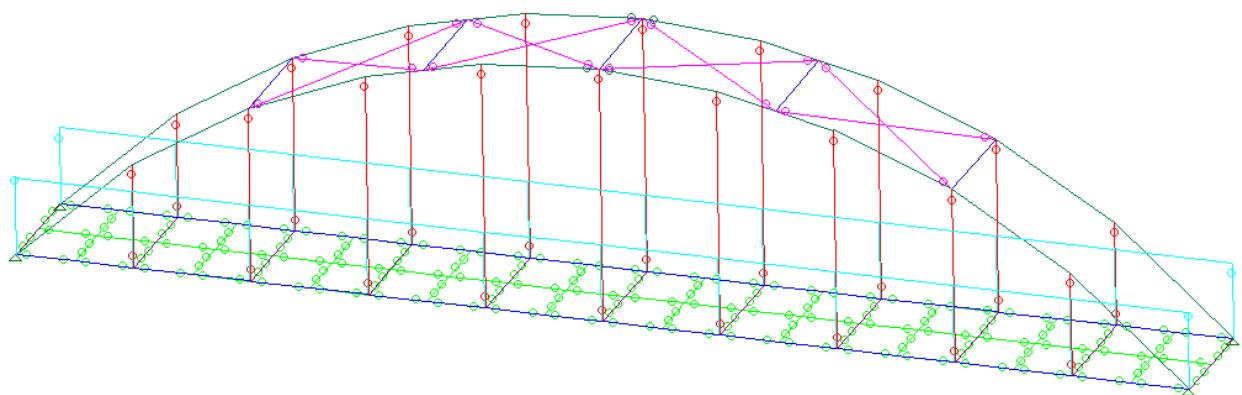
Figura 20 - Tabuleiro (elemento de grelha).



5.4 VINCULAÇÕES E APOIOS

Após ter sido obtida a geometria da passarela, os diferentes tipos de vinculações de cada barra e os apoios foram definidos no programa (Figura 21).

Figura 21 - Vinculações e apoios.



Como a estrutura escolhida foi um arco tri-articulado, foram definidos apoios fixos nas bordas do arco e uma rótula no centro para que o mesmo ficasse isostático. Ateve-se na definição de vinculações das barras para que a estrutura representasse o projeto desenvolvido, pois de acordo com a função estrutural de cada barra ela poderia não transmitir momento (como no caso dos cabos de aço utilizados para os tirantes verticais).

5.5 MODELO 3D (STRAP)

Foram obtidas vistas renderizadas de perspectivas 3D no STRAP. Sendo as seguintes vistas: aérea, frontal, lateral e superior (Figura 22 à 25).

Figura 22 - Vista aérea 3D (STRAP).

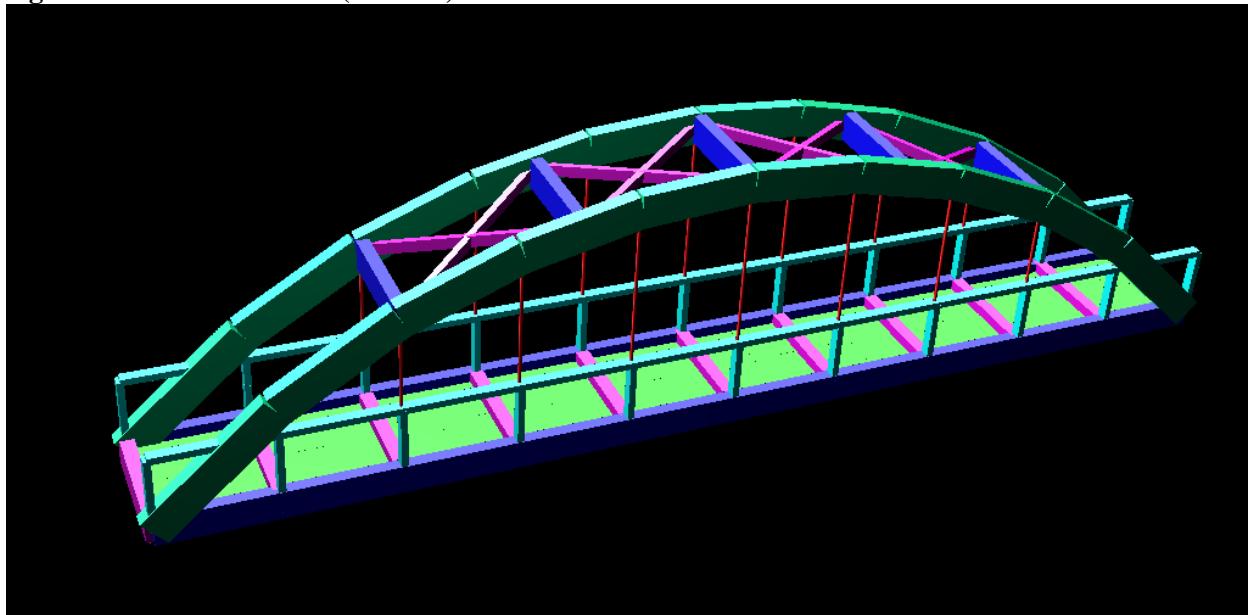


Figura 23 - Vista frontal 3D (STRAP).

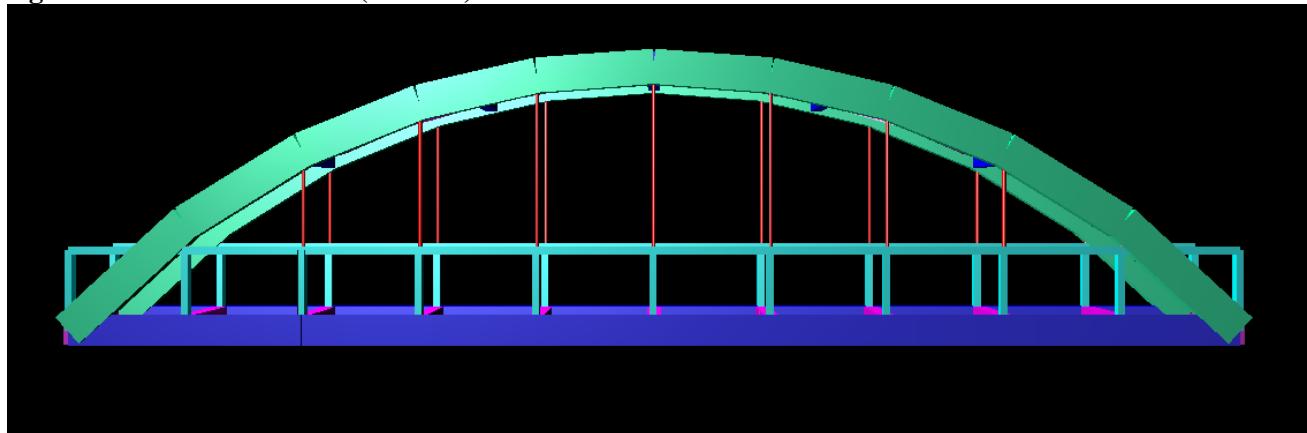


Figura 24 - Vista lateral 3D (STRAP).

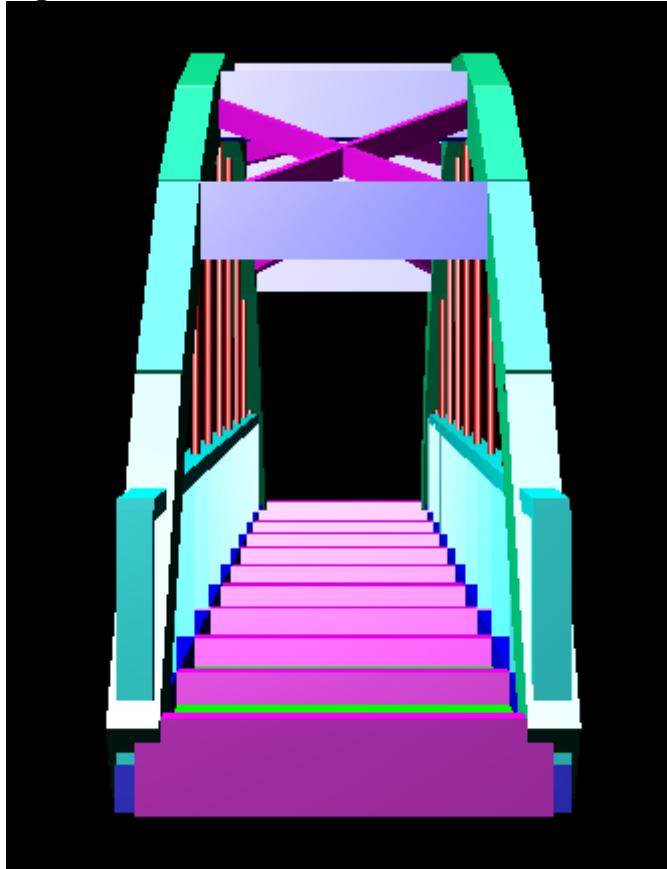
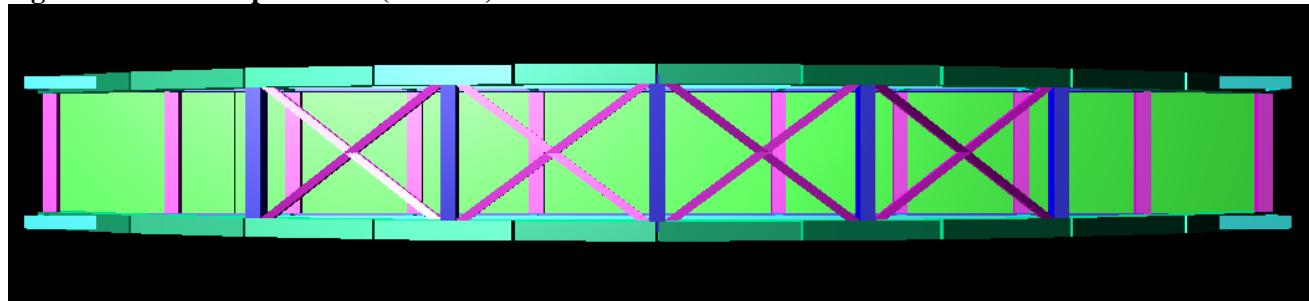


Figura 25 - Vista superior 3D (STRAP).



6 AÇÕES

6.1 AÇÕES PERMANENTES

As ações permanentes foram inseridas no software de cálculo estrutural definindo-se com atuação na direção -1,1 vertical (Figura 26 e 27), considerando-se o peso das ligações; o valor da carga foi calculada pelo próprio software, uma vez que foram definidas no software as densidades e as dimensões para os painéis de CLT e para os demais componentes de MLC. Considerou-se no software o arco, as longarinas, as transversinas e as barras de contraventamento como barras e os painéis de CLT como um elemento de malha.

Figura 26 - Estrutura da passarela no STRAP.

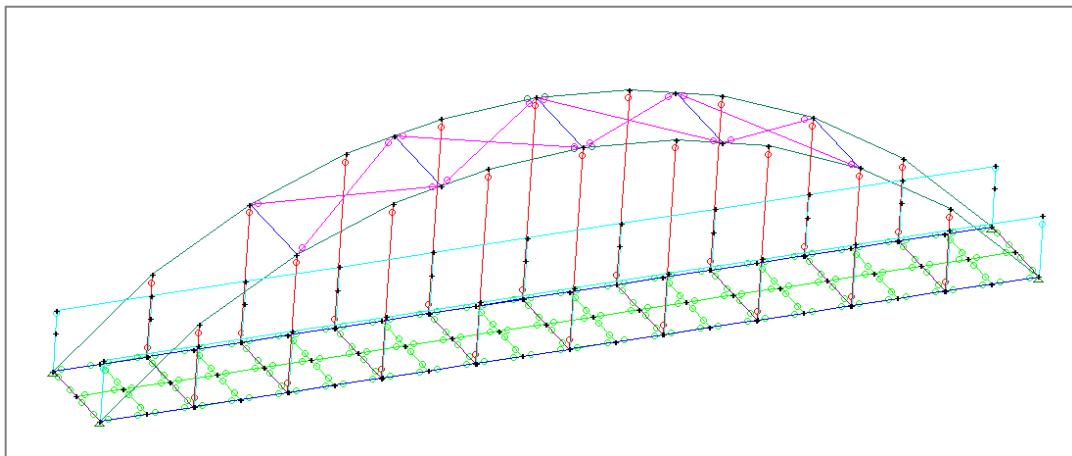
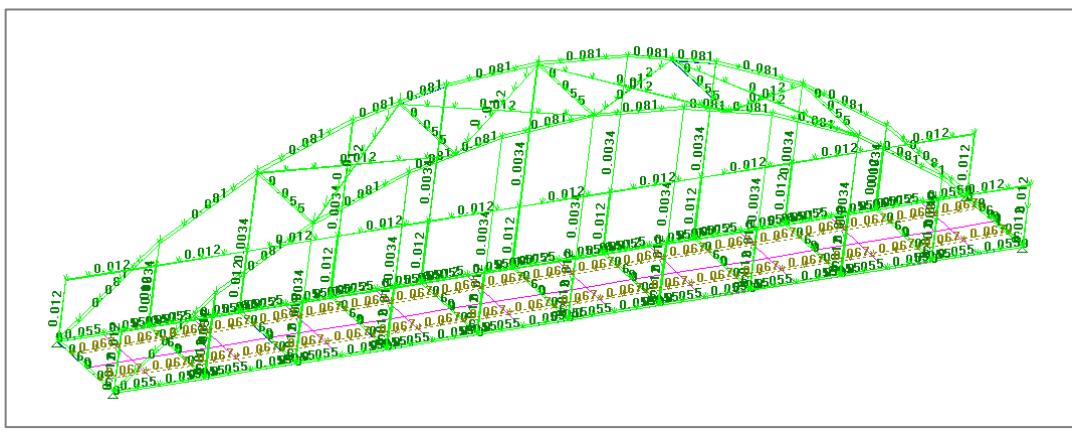


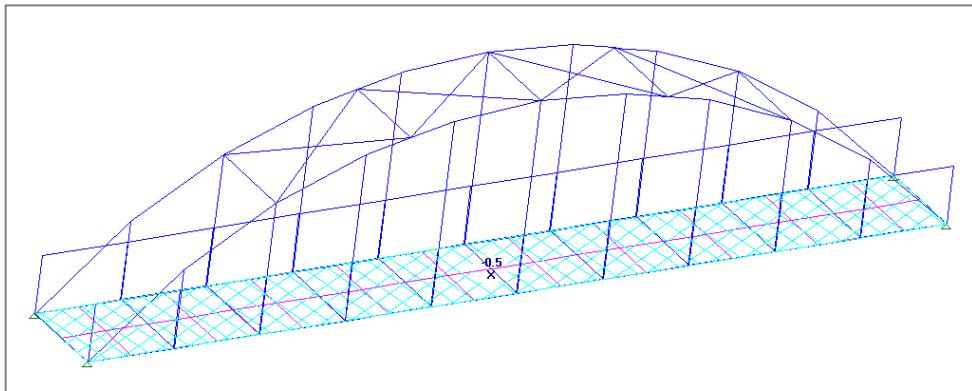
Figura 27 - Ação da carga permanente no STRAP.



6.2 AÇÕES VARIÁVEIS

As cargas accidentais (Figura 28) foram determinadas em função da passarela ser utilizada por pedestres, foi considerada de uma classe única com $p = 5 \text{ kN/m}^2$, sem impacto (CALIL JR., 2006).

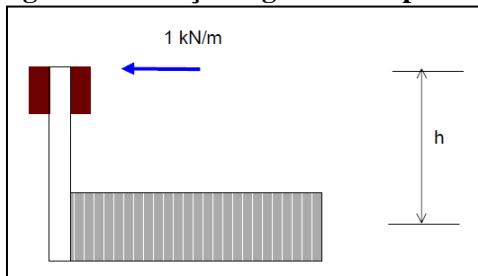
Figura 28 - Ação da carga p no STRAP.



6.3 FORÇA NO GUARDA-CORPO

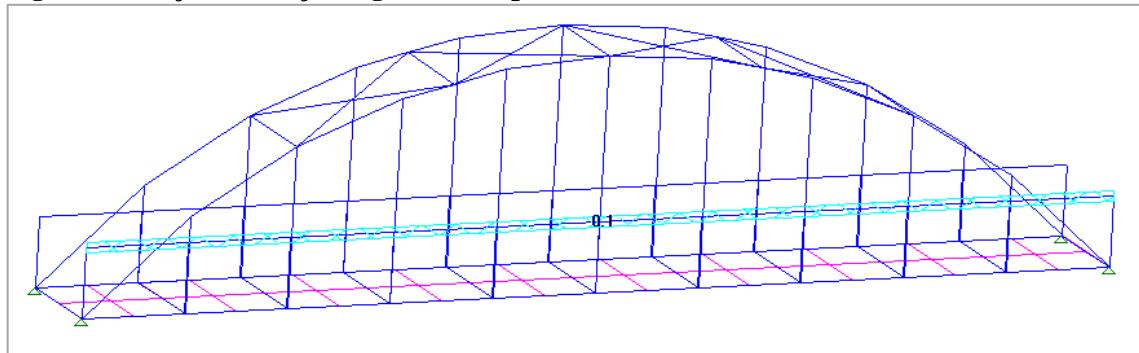
Verificou-se que a ação acidental no guarda-corpo é composta por uma força uniformemente distribuída (1 kN/m). Essa força é inserida por todo o seu comprimento e aplicada horizontalmente na sua parte superior do guarda-corpo (CALIL JR., 2006) representado na Figura 29 e sua ação do STRAP na Figura 30.

Figura 29 - Força no guarda-corpo



(Fonte: Manual de projeto de pontes e construções de madeira).

Figura 30 - Ação da força no guarda-corpo no STRAP.

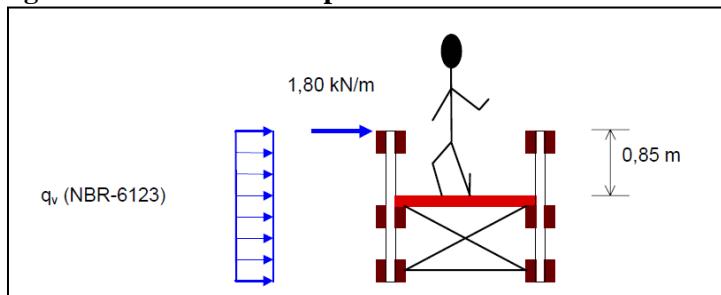


6.4 VENTO

O vento é considerado como uma carga que possui curta duração. Sua ação deve ser considerada na passarela de pedestres de acordo o disposto na NBR-6123. Pela NBR-7190/97, tem-se:

Pela NBR-7190/97, tem-se uma força horizontal de 1,80 kN/m aplicado a uma altura de 0,85 m acima do piso (Figura 31).

Figura 31 - Vento sobre a passarela



(Fonte: Manual de projeto de pontes e construções de madeira).

A NBR 6123:1988 indica os procedimentos para o cálculo das forças devido ao vento nas edificações.

De forma geral, aplica-se a Equação 13.

$$F = C_f \times q \times A \quad (\text{Equação 13})$$

Sendo: F = força de arrasto, em N;

C_f = coeficiente de força, especificado em cada caso;

q = pressão dinâmica do vento, em N/m^2 ;

A = área de referência, especificada em cada caso em m^2 .

Para calcular q , a NBR6123 apresenta a Equação 14.

$$q = 0,613 \times V_k^2$$

(Equação 14)

Sendo: V_k = velocidade característica do vento, em m/s;

A velocidade característica do vento é calculada por meio da Equação 15.

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

(Equação 15)

Sendo: V_k = velocidade característica do vento, em m/s;

V_0 = velocidade básica do vento, em m/s;

S_1 = fator topográfico, adimensional;

S_2 = fator de rugosidade do terreno, adimensional;

S_3 = fator estatístico, adimensional;

A velocidade V_0 é considerada pela NBR6123 como a velocidade e rajada de três segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano. E, com auxílio de um gráfico com isopletas da velocidade básica no Brasil encontrados na NBR6123, foi possível inferir a velocidade básica para a cidade de São Carlos como de 40m/s.

Considerou-se terreno plano ou fracamente acidentado, obtendo-se $S_1=1,00$.

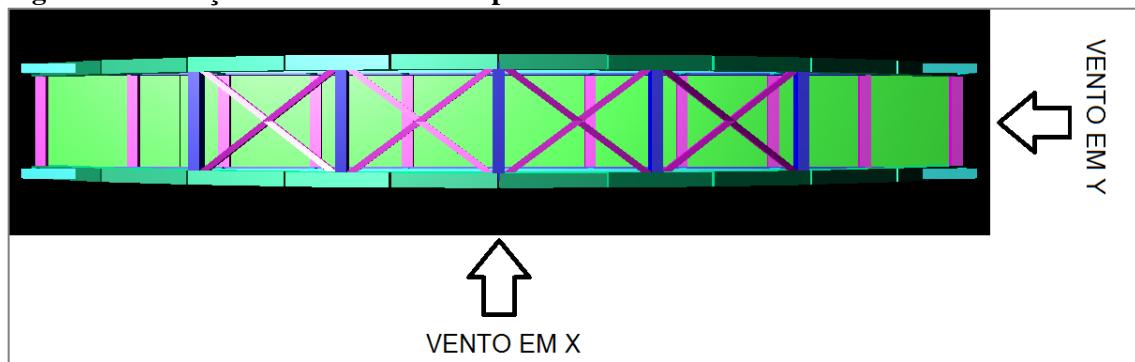
Determinou-se a categoria como IV, considerando-se como uma área urbanizada, sendo de CLASSE B uma vez que suas dimensões encontram-se entre 20 e 50 metros e para um altura menor ou igual a 5 metros; obtendo-se $S_2=0,76$.

Para um alto fator de ocupação, adotou-se o fator estatístico $S_3=1,00$.

Utilizando-se as equações 6 e 7 obteve-se: $V_k = 30,40\text{m/s}$ e $q = 570\text{ N/m}^2$

Ilustram-se com a Figura 32 as direções dos ventos sobre a passarela.

Figura 32 - Direção dos ventos sobre a passarela.



E, prossegue-se com seus respectivos cálculos.

6.4.1 VENTO EM X

Os elementos da passarela que recebem força do vento na direção X (Tabela 6) são os arcos, os cabos de aço, o tabuleiro e as longarinas.

Para os cabos de aço perpendiculares à direção do vento, a NBR6123 indica que a força de arrasto é dada pela Equação 16.

$$F_a = C_a \times q \times l \times d \quad (\text{Equação 16})$$

Sendo: F_a = força de arrasto em N;

C_a = coeficiente de arrasto igual a 0,7;

q = pressão dinâmica do vento igual a 570 N/m²;

l = comprimento do fio, em m;

d = diâmetro do fio, igual a 0,029m

Ao não se multiplicar o comprimento do fio, encontra-se o valor da força de arrasto linear de 0,012KN/m que foi distribuído ao longo de todo o comprimento dos pendurais verticais (cabos de aço).

Os arcos, o tabuleiro e as longarinas foram considerados como barras prismáticas. Os fatores considerados pela NBR6123 encontram-se na Equação 17.

$$F_a = C \times q \times K \times l \times c \quad (\text{Equação 17})$$

Sendo: F_a = força de arrasto em N;

C = coeficiente de arrasto, adimensional, dado pela tabela 12 da NBR6123;

q = pressão dinâmica do vento igual a 570 N/m²;

l = comprimento da barra, em m;

c = largura da barra medida em direção perpendicular a do vento, em m;

K = fator de redução, dado pela tabela 11 da NBR6123;

Tabela 6 - Forças devido ao vento na direção X:

ELEMENTO	FATOR DE REDUÇÃO (K)	c (m)	C	Fa (KN/m)	Fa (tf/m)
longarina	0,87	0,6	2,1	0,625	0,0637
arco	0,87	0,6	2,1	0,625	0,0637
tabuleiro	1	0,14	2	0,160	0,0163

6.4.2 VENTO EM Y

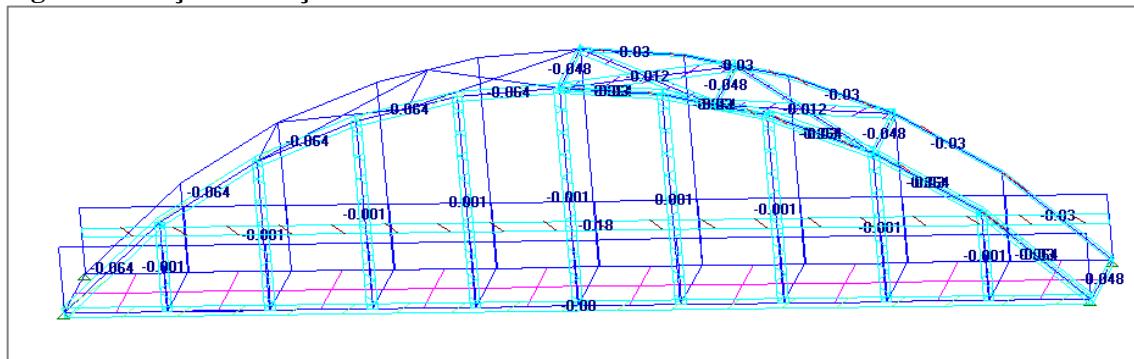
Na direção Y, o arco, a transversina, as barras de contraventamento horizontais e as barras de contraventamento em "X" recebem força devido à ação do vento (Tabela 7). Tratam-se esses elementos como barras prismáticas pelas NBR6123, assim como mostrado anteriormente. Sendo que para o arco, a largura nessa direção é considerada 0,28 m.

Tabela 7 - Forças devido ao vendo na direção Y:

ELEMENTO	FATOR DE REDUÇÃO (k)	c (m)	C	F _a (KN/m)	F _a (tf/m)
arco	0,88	0,28	2,1	0,295	0,0301
contra-vent "X"	0,81	0,2	2,1	0,194	0,0198
contra-vent "horizontal" e transversina	0,66	0,6	2,1	0,474	0,0483

Obtidos os dados das forças do vento nas direções X e Y pela NBR6123 e considerando-se a força de 1,80 KN/m determinada pela NBR-7190/97, prosseguiu-se com a inserção das forças na estrutura como ilustrado na Figura 33.

Figura 33 - Ação da força do vento no STRAP.



7 ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO

7.1 COMBINAÇÕES

7.1.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Segundo a NBR-7190/97, para as combinações no estado limite último, utiliza-se a equação 18.

$$Fd = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} * F_{gi,k} + \gamma_q * (F_{qi,k} + \sum_{i=1}^n \psi_0 * F_{qj,k}) \quad (\text{Equação 18})$$

Os coeficientes γ_{gi} , γ_q e ψ_0 encontram-se da tabelas 8 à tabela 11 e as forças correspondem a:
 $F_{gi,k}$: valor característico da ação permanente (kN/m);

$F_{qi,k}$: valor característico da ação variável principal (kN/m);

$F_{qj,k}$: valor característico da ação variável secundária (kN/m).

7.1.2 COEFICIENTES DAS AÇÕES PERMANENTES

No caso do peso próprio da estrutura exceder 75% do total das ações permanentes da estrutura, pela NBR-7190/97 considera-se que é uma ação de pequena variabilidade e no caso contrário, considera-se o peso uma ação de grande variabilidade (Tabela 8 e 9).

Tabela 8 - Ações permanentes de pequena variabilidade

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$
Especiais ou de Construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$

(Fonte: NBR 7190/97):

Tabela 9 - Ações permanentes de grande variabilidade

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$
Especiais ou de Construção	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$

(Fonte: NBR 7190/97):

7.1.3 COEFICIENTES DAS AÇÕES VARIÁVEIS

Os coeficientes γ_q de ponderação das ações variáveis encontram-se de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 - Ações variáveis

Combinações	Ações variáveis em geral incluídas as cargas accidentais móveis	Efeitos da temperatura
Normais	$\gamma_q = 1,4$	$\gamma_e = 1,2$
Especiais ou de Construção	$\gamma_q = 1,2$	$\gamma_e = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_q = 1,0$	$\gamma_e = 0$

(Fonte: NBR 7190/97):

E, no caso de haver mais de uma ação variável, considera-se também o coeficiente ψ , de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Fatores de combinação e utilização - Síntese

Ações em estruturas correntes	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2
- Pontes ferroviárias (não especializadas)	0,8	0,6	0,4

(Fonte: NBR 7190/97):

Os coeficientes finais por combinação se encontram na Tabela 12.

Tabela 12 - Coeficientes finais que multiplicam cada ação no STRAP:

	TÍTULO	1: PESO PRÓPRIO	2: PESSOAS	3: VENTO	4: GUARDA-CORPO
1	CU - NORMAL - 1	1.3	1.4	0.7	0.56
2	CU - NORMAL - 2	1.3	0.56	1.4	0.56
3	CU - NORMAL - 3	1.3	0.56	.7	1.4
4	CU - SERVIÇO - 1	1,00	1,00	.2	0.3
5	CU - SERVIÇO - 2	1,00	0.3	1,00	0.3
6	CU - SERVIÇO - 3	1,00	0.3	0.2	1,00
7	CU - PERMANENTE	1.3	-	-	-
8	CU - PERMANENTE CARACTERÍSTICA	1,00	-	-	-
9	CU - VARIÁVEL	-	1.4	0.7	0.56
10	CU - VARIÁVEL - CARACTERÍSTICA	-	1,00	1,00	1,00

7.2 VERIFICAÇÕES

Para realizar as verificações primeiramente alguns parâmetros são determinados de acordo com a NBR-7190/97:

- Coeficiente de modificação: $k_{mod} = k_{mod1} * k_{mod2} * k_{mod3}$
- Resistência à compressão paralela às fibras: $f_{co,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_{wc}} * f_{co,k}$
- Resistência à tração paralela às fibras $f_{to,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_{wt}} * f_{to,k}^2$
- Resistência ao cisalhamento: $f_{vo,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_{wv}} * f_{vo,k}^2$
- Módulo de elasticidade longitudinal: $E_{co,ef} = k_{mod} * E_{co,m}^2$
- Módulo de elasticidade transversal: $G_{ef} = E_{co,ef}/20$

Sendo os valores de k_{mod1} , k_{mod2} , k_{mod3} , γ_{wc} , γ_{wt} e γ_{wv} tabelados pela NBR-7190/97 e apresentam-se nas Tabelas 13 e 14. E, os valores de resistência característicos obtidos para a madeira laminada colada determinada para o projeto (Tabela 15).

Realizou-se o cálculo dos diferentes parâmetros de resistência e as verificações dos esforços solicitantes de acordo com as fórmulas da norma apresentadas nos itens seguintes.

Tabela 13 - Valores de γ_w segundo a NBR-7190/97:

	γ_{wc}	γ_{wt}	γ_{wv}
EL. ÚLTIMOS	1,4	1,8	1,8
EL. UTILIZAÇÃO	1	1	1

Tabela 14 - Valores de kmod segundo a NBR-7190/97:

kmod1 (carregamento)	kmod2 (umidade)	kmod3 (categoria)	kmod
0,7	1	1	0,7

Tabela 15 - Valores de resistências obtidos:

	f _{co,d} (N/cm ²)	f _{to,d} (N/cm ²)	f _{vo,d} (N/cm ²)
EL. ÚLTIMOS	1325,00	758,33	124,44
EL. UTILIZAÇÃO	1680,00	1155,00	189,00

7.2.1 SOLICITAÇÕES NORMAIS

Tração: $\sigma_{td} \leq f_{td}$ (Equação 19)

Compressão: $\sigma_{cd} \leq f_{cd}$ (Equação 20)

Flexo-compressão: além da verificação de estabilidade estabelecida por norma de acordo com o índice de esbeltez, verifica-se para se atender segurança de acordo com a mais rigorosa das duas equações 21 e 22 aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais comprimida.

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (\text{Equação 21})$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (\text{Equação 22})$$

7.2.2 SOLICITAÇÕES TANGENCIAIS

Cisalhamento longitudinal de vigas: $\tau d \leq f_{v0,d}$ (Equação 23)

7.2.3 ESTABILIDADE DEVIDO A COMPRESSÃO

Peças curtas, $\lambda \leq 40$: dispensam-se verificações quanto aos efeitos da flexão.

Peças medianamente esbeltas, $40 < \lambda \leq 80$:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (\text{Equação 24})$$

Peças esbeltas $\lambda > 80$:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (\text{Equação 25})$$

Sendo que para peças medianamente esbeltas e para peças esbeltas, valores de excentricidades são considerados nos cálculos. Para peças medianamente esbeltas, considera-se o valor de uma excentricidade accidental, sendo 1/300 do comprimento analisado. Para peças esbeltas, além de considerar o valor de excentricidade accidental (considerado para peças medianamente esbeltas), considera-se o efeito da fluência pela NBR-7190/97.

7.2.4 VERIFICAÇÃO DO CABO DE AÇO

O cabo de aço verifica-se de acordo com a equação 26.

$$FS = CRM/CT \quad (\text{Equação 26})$$

Sendo: FS = Fator de segurança, fornecido pelo fabricante;

CRM = Carga de ruptura mínima do cabo, fornecida pelo fabricante;

CT = Carga de trabalho do cabo;

7.3 RESULTADOS MÁXIMOS

No APÊNDICE A deste projeto, encontra-se a tabela de resultados máximos nas barras gerada pelo STRAP.

Como esperado, o arco encontrou-se submetido à flexo-compressão com valor máximo de compressão encontrado na borda do arco (barra 35, Figura 34), a longarina se encontrou mais solicitada à tração em suas bordas (barra 131, Figura 35), a transversina com maior esforço de flexão encontrou-se no centro (barra 138, Figura 36). Para as barras de contraventamento, os valores foram máximos nas barras 256 e 259 (Figura 37).

No software era possível analisar os esforços máximos limitados pelas propriedades dos materiais. Utilizou-se essa técnica para analisar os esforços máximos nos pendurais e no guarda-corpo. Para os pendurais o maior esforço axial de tração ocorreu na barra 108, enquanto que para o guarda-corpo o esforço máximo ocorreu na barra 275.

Os resultados máximos das barras encontram-se nas Tabelas 16 à 22 e suas verificações nas Tabelas 23 à 28.

Figura 34- Indicação da barra 35.

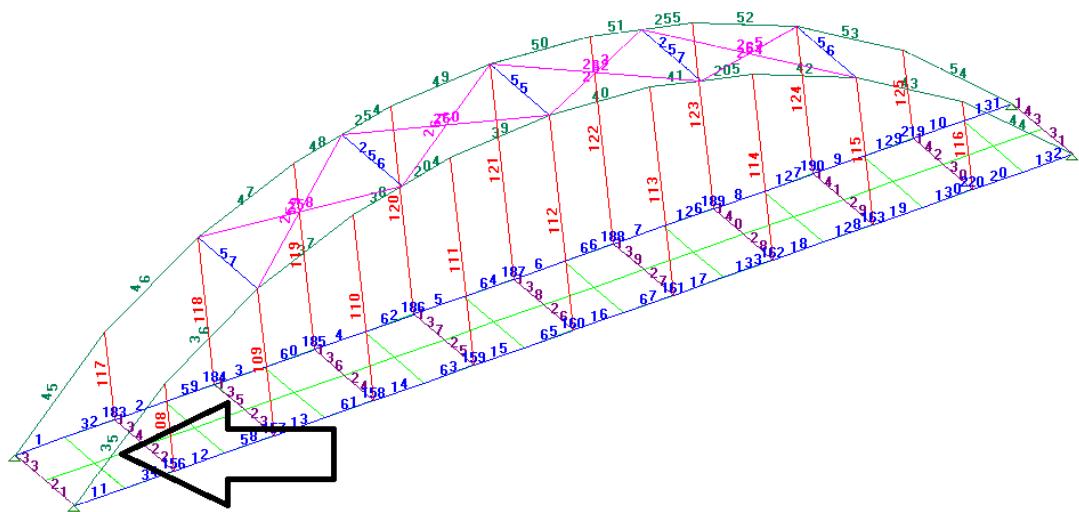


Figura 35- Indicação da barra 131.

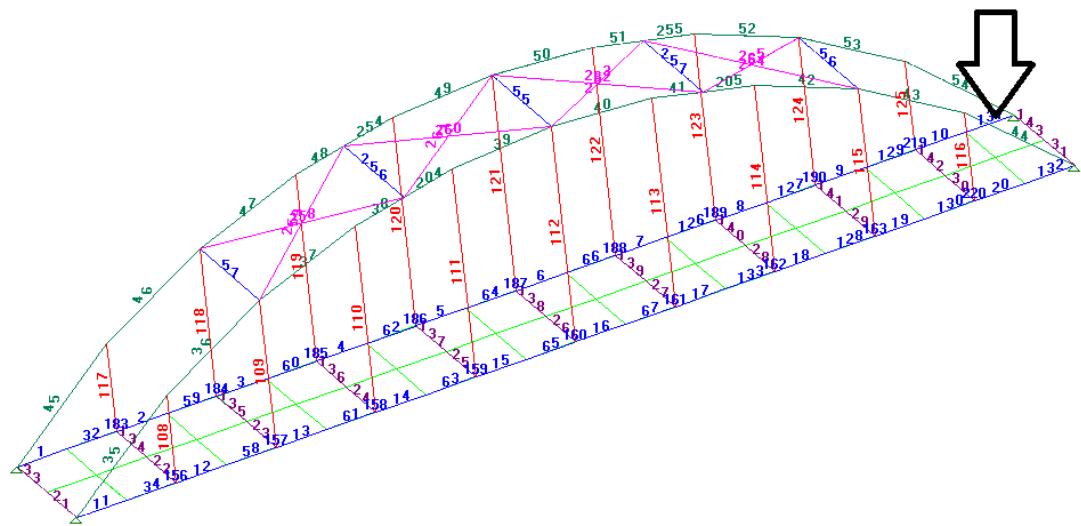


Figura 36- Indicando barra 138.

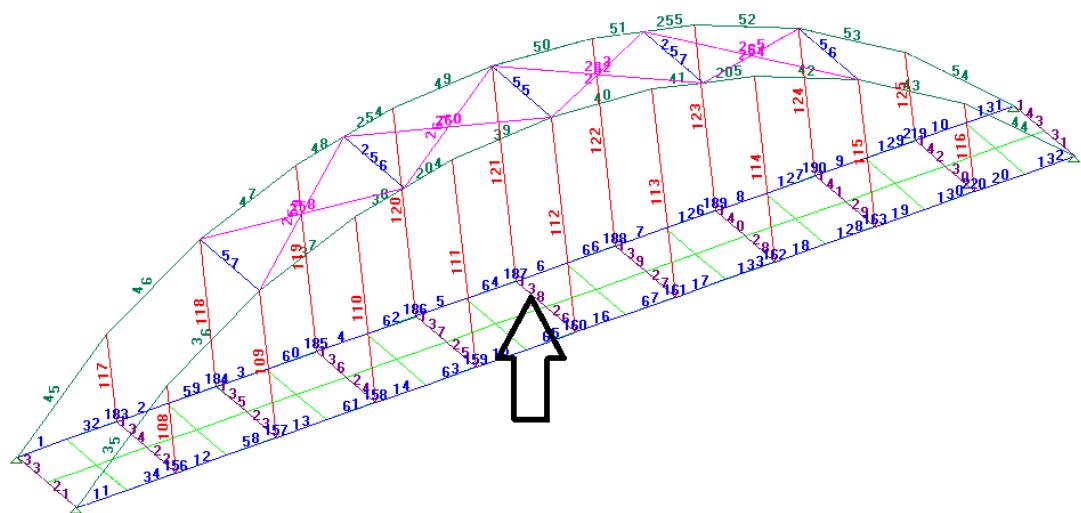
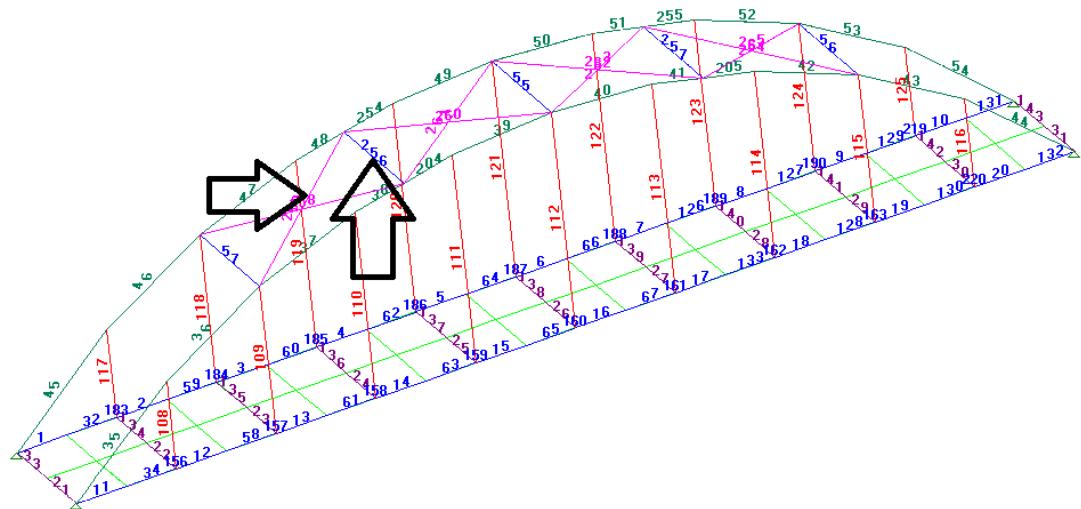


Figura 37- Indicando barra 256 e 259.



Prossegue-se com as tabelas referentes aos resultados apresentados para as barras com resultados máximos. Apresenta-se nas tabelas a combinação referente, os nós, o esforço axial, os esforços cortantes em diferentes planos (V2 e V3) e os momentos nos diferentes planos da seção (M2 e M3).

Tabela 16 - Resultado máximo para o arco, barra 35:

RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra 35	Comb	Nó	Axial	V2	V3	M2	M3
	1	1	184211,34	3430,89	-8899,01	934295,63	711723,69
		23	-182282,45	-2409,50	10995,65	1769036,25	70506,13
	2	1	131687,03	6718,62	-6607,36	611973,63	1372162,38
		23	-129758,12	-4675,82	8704,00	1468568,25	153388,97
	3	1	125816,01	3355,77	-5792,41	586921,25	682810,75
		23	-123887,10	-2334,38	7889,05	1272145,75	79004,49
	4	1	128251,97	1024,61	-5913,50	649904,75	219065,13
		23	-126768,20	-732,78	7526,30	1176326,25	16482,48
	5	1	88528,00	4797,49	-4363,35	399587,13	979605,25
		23	-87044,23	-3338,36	5976,15	1005367,88	109661,75
	6	1	79589,16	962,01	-3324,67	360426,09	194970,98
		23	-78105,39	-670,18	4937,47	762250,75	23564,45
	7	1	57009,05	26,45	-1750,70	216888,75	8603,82
		23	-55080,14	-26,45	3847,34	543785,69	-1415,00
	8	1	43853,12	20,35	-1346,69	166837,52	6618,32
		23	-42369,34	-20,35	2959,49	418296,69	-1088,46
	9	1	127202,32	3404,44	-7148,31	717406,88	703119,88
		23	-127202,32	-2383,04	7148,31	1225250,63	71921,13
	10	1	105340,54	4797,95	-6183,34	578926,94	979871,06
		23	-105340,54	-3338,81	6183,34	1101485,13	109518,54
	Máx		184211,34	6718,62	-1346,69	934295,63	1372162,38
	Comb.	1		2	8	1	2
	Mín		42369,34	20,35	-10995,65	-1769036,25	-153388,97
	Comb.	8		8	1	1	2

Tabela 17 - Resultado máximo para a longarina, barra 131:

RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra 131	Comb	Nó	Axial	V2	V3	M2	M3
1	80	-19658,22	1124,66	-4521,20	-278204,38	26,51	
	22	19658,22	-564,66	5235,06	766017,56	84439,07	
2	80	-35542,67	2688,53	-2459,20	-57366,63	-670,12	
	22	35542,67	-1568,53	3173,05	338979,09	213522,95	
3	80	-27130,02	848,24	-2067,77	-114066,22	2188,61	
	22	27130,02	-288,24	2781,63	356536,28	54634,98	
4	80	-6493,18	200,59	-3090,02	-247960,77	160,25	
	22	6493,18	-40,59	3639,14	584418,56	11899,08	
5	80	-24555,75	1967,29	-1481,78	-37241,93	-695,04	
	22	24555,75	-1167,29	2030,90	212875,72	157424,20	
6	80	-12719,68	-29,76	-1045,49	-111178,98	1962,00	
	22	12719,68	189,76	1594,61	243184,14	-12937,66	
7	80	226,46	-33,26	-159,79	-159744,33	-81,43	
	22	-226,46	33,26	873,65	211416,03	-3244,21	
8	80	174,20	-25,58	-122,92	-122880,25	-62,64	
	22	-174,20	25,58	672,04	162627,73	-2495,55	
9	80	-19884,68	1157,91	-4361,42	-118460,05	107,94	
	22	19884,68	-597,91	4361,42	554601,56	87683,28	
10	80	-30465,97	1651,68	-3343,86	-1941,50	850,93	
	22	30465,97	-851,68	3343,86	336327,31	124317,39	
Máx Comb.		226,46	2688,53	-122,92	-1941,50	12937,66	
Mín Comb.		7	2	8	10	6	
		-35542,67	-189,76	-5235,06	-766017,56	-213522,95	
		2	6	1	1	2	

Tabela 18 - Resultado máximo para a transversina, barra 138:

RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra 138	Comb	Nó	Axial	V2	V3	M2	M3
1	50	-371,68	-1,37	-7378,97	858255,63	-111,05	
	17	371,68	1,37	8243,39	8785,23	-40,65	
2	50	-557,45	-3,07	-2029,41	256811,83	-201,48	
	17	557,45	3,07	2893,83	16427,96	-139,49	
3	50	-643,61	-1,25	-1714,99	226828,98	-118,73	
	17	643,61	1,25	2579,41	11510,27	-19,60	
4	50	-153,01	-0,30	-5738,44	671102,94	-38,68	
	17	153,01	0,30	6403,37	2767,60	5,83	
5	50	-365,64	-2,22	-1067,32	143928,89	-142,80	
	17	365,64	2,22	1732,25	11447,37	-104,00	
6	50	-379,62	-0,20	-1018,46	144914,09	-45,08	
	17	379,62	0,20	1683,39	5038,47	23,37	
7	50	-1,27	0,03	-968,16	155524,73	-7,20	
	17	1,27	-0,03	1832,57	-84,18	10,32	
8	50	-0,98	0,02	-744,74	119634,41	-5,54	
	17	0,98	-0,02	1409,67	-64,75	7,94	
9	50	-370,41	-1,40	-6410,81	702730,88	-103,85	
	17	370,41	1,40	6410,81	8869,40	-50,97	
10	50	-592,94	-2,03	-3370,78	360668,47	-147,81	
	17	592,94	2,03	3370,78	13487,98	-77,47	
Máx Comb.	8	-0,98	0,03	-744,74	858255,63	139,49	
Mín Comb.	3	-643,61	-3,07	-8243,39	-16427,96	-201,48	
		3	2	1	2	2	

Tabela 19 - Resultado máximo para o contraventamento horizontal, barra 256:

RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra 256	Comb	Nó	Axial	V2	V3	M2	M3
1	123	-11977,27	-417,18	773,26	-808,12	-742,31	
	fr=0,35,0,50		-12,68	-19,12	41046,96	15668,78	
	125	11977,27	-585,49	811,50	5052,16	30187,64	
2	123	-6386,39	-820,53	757,85	-1832,38	238,96	
	fr=0,35,0,50		-11,52	-34,53	38311,44	31986,25	
	125	6386,39	-1184,82	826,91	9498,93	61722,79	
3	123	-6999,52	-436,67	769,60	-568,56	-3407,68	
	fr=0,40,0,50		21,12	-22,78	40879,74	14546,26	
	125	6999,52	-566,00	815,16	5626,17	28526,44	
4	123	-9061,14	-122,69	602,98	-257,34	-841,18	
	fr=0,35,0,50		-7,12	-6,54	32844,96	4119,22	
	125	9061,14	-163,79	616,07	1709,83	8478,37	
5	123	-4209,23	-583,73	585,30	-1388,25	369,50	
	fr=0,35,0,50		-5,86	-24,22	29751,83	22862,26	
	125	4209,23	-848,67	633,74	6765,17	44414,24	
6	123	-4913,01	-138,93	599,93	-57,70	-3062,32	
	fr=0,40,0,50		-8,13	-9,60	32705,61	3325,41	
	125	4913,01	-147,55	619,12	2188,17	7094,04	
7	123	-4327,13	-0,11	791,75	-370,79	-907,51	
	fr=0,50		0,00	-0,63	43536,66	0,00	
	125	4327,13	0,11	793,01	510,08	883,27	
8	123	-3328,56	-0,08	609,04	-285,22	-698,09	
	fr=0,50		0,00	-0,48	33489,74	0,00	
	125	3328,56	0,08	610,01	392,37	679,44	
9	123	-7650,15	-417,07	-18,49	-437,33	165,20	
	fr=0,35		-12,57	0,00	0,00	16567,81	
	125	7650,15	-585,60	18,49	4542,08	29304,37	
10	123	-5012,31	-600,25	-27,11	-689,78	-673,14	
	fr=0,35		-22,39	0,00	0,00	23103,45	
	125	5012,31	-832,14	27,11	6707,46	41788,81	
Máx Comb.	8	-3328,56	1184,82	791,75	43536,66	31986,25	
	2	2	7	7	2	2	
Mín Comb.	1	-11977,27	-820,53	-826,91	-9498,93	-61722,79	
	2	2	2	2	2	2	

Tabela 20 - Resultado máximo para o contraventamento em 'X', barra 259:

RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra 259	Comb	Nó	Axial	V2	V3	M2	M3
1	125	15607,35	0,00	279,46	0,00	0,00	0,00
	fr=0,50		0,00	0,00	27067,42	0,00	0,00
	24	-15763,10	0,00	279,46	0,00	0,00	0,00
2	125	14704,03	0,00	279,46	0,00	0,00	0,00
	fr=0,50		0,00	0,00	27067,42	0,00	0,00
	24	-14859,78	0,00	279,46	0,00	0,00	0,00
3	125	10917,82	0,00	279,46	0,00	0,00	0,00
	fr=0,50		0,00	0,00	27067,42	0,00	0,00
	24	-11073,57	0,00	279,46	0,00	0,00	0,00
4	125	9749,84	0,00	214,97	0,00	0,00	0,00
	fr=0,50		0,00	0,00	20821,09	0,00	0,00
	24	-9869,65	0,00	214,97	0,00	0,00	0,00
5	125	10167,17	0,00	214,97	0,00	0,00	0,00
	fr=0,50		0,00	0,00	20821,09	0,00	0,00
	24	-10286,97	0,00	214,97	0,00	0,00	0,00
6	125	5841,90	0,00	214,97	0,00	0,00	0,00
	fr=0,50		0,00	0,00	20821,09	0,00	0,00
	24	-5961,70	0,00	214,97	0,00	0,00	0,00
7	125	4024,97	0,00	279,46	0,00	0,00	0,00
	fr=0,50		0,00	0,00	27067,42	0,00	0,00
	24	-4180,72	0,00	279,46	0,00	0,00	0,00
8	125	3096,13	0,00	214,97	0,00	0,00	0,00
	fr=0,50		0,00	0,00	20821,09	0,00	0,00
	24	-3215,94	0,00	214,97	0,00	0,00	0,00
9	125	11582,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	24	-11582,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	125	10969,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	24	-10969,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Máx	15763,10	0,00	279,46	27067,42	0,00	0,00
	Comb.	1	8	7	1	7	
	Mín	3096,13	0,00	-279,46	0,00	0,00	
	Comb.	8	1	1	8	10	

Tabela 21 - Resultado máximo dos pendurais, barra 108:

RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra 108	Comb	Nó	Axial	V2	V3	M2	M3
1	1	-23983,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	23983,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1	-15491,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	15491,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1	-15254,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	15254,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1	-16752,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	16752,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1	-10080,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	10080,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1	-9477,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	9477,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1	-5627,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	5627,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	1	-4329,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	4329,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	1	-18355,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	18355,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1	-14810,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23	14810,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máx Comb.	1	-4329,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mín Comb.	8	-23983,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		8	8	1	1	1	2

Tabela 22 - Resultados máximos para o guarda-corpo, barra 275:

Barra 275	Comb	Nó	RESULTADOS (Unids: N, N*cm)				
			Axial	V2	V3	M2	M3
1	1	514,91	-2057,27	909,23	-9046,73	104699,63	
	23	-642,20	2659,48	-909,23	-68238,14	-330755,38	
2	1	474,92	-2950,11	627,33	-6350,65	150125,11	
	23	-602,22	4154,52	-627,33	-46972,51	-503259,59	
3	1	467,40	-3816,22	594,07	-5985,19	194154,97	
	23	-594,69	4418,43	-594,07	-44511,08	-569721,81	
4	1	385,93	-878,67	636,03	-6304,37	44721,03	
	23	-483,85	1050,73	-636,03	-47757,81	-134032,86	
5	1	355,85	-1898,34	419,21	-4254,45	96604,95	
	23	-453,77	2758,64	-419,21	-31378,64	-331089,06	
6	1	346,34	-2344,46	373,39	-3753,08	119267,13	
	23	-444,26	2516,52	-373,39	-27985,25	-333171,53	
7	1	418,34	0,53	266,58	-2677,43	-29,69	
	23	-545,63	-0,53	-266,58	-19981,91	74,56	
8	1	321,80	0,41	205,06	-2059,56	-22,84	
	23	-419,72	-0,41	-205,06	-15370,70	57,35	
9	1	96,57	-2057,80	642,65	-6369,31	104729,32	
	23	-96,57	2660,01	-642,65	-48256,24	-330829,94	
10	1	78,58	-3360,70	518,85	-5196,81	171007,36	
	23	-78,58	4221,00	-518,85	-38905,34	-529792,50	
Máx Comb.		642,20	0,53	909,23	68238,14	569721,81	
Mín Comb.		1	7	1	1	3	
		78,58	-4418,43	205,06	-9046,73	-74,56	
		10	3	8	1	7	

7.4 VERIFICAÇÕES CRÍTICAS

Tabela 23 - Barras, propriedades geométricas e esforços solicitantes:

TIPO DE BARRA	Nº	Largura (cm)	Altura (cm)	Lo em x (cm)	Lo em y (cm)	A1 (cm ²)
ARCO	35	28,00	60,00	1411,00	633,64	1680,00
LONGARINA C1	131	22,00	52,00	2000,00	200,00	1144,00
LONGARINA C2	131	22,00	52,00	2000,00	200,00	1144,00
TRANSVERSINA	138	24,00	52,00	222,00	222,00	1248,00
C.VENT. HORIZ.	256	22,00	52,00	200,00	200,00	1144,00
C.VENT. X	259	12,00	20,00	360,00	360,00	240,00
GUARDA-CORPO	275	12,00	20,00	200,00	200,00	240,00

TIPO DE BARRA	Nº	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	λ _x	λ _y
ARCO	35	504000,00	109760,00	81,464	78,392
LONGARINA C1	131	257781,33	46141,33	133,235	31,492
LONGARINA C2	131	257781,33	46141,33	133,235	31,492
TRANSVERSINA	138	281216,00	59904,00	14,789	32,043
C.VENT. HORIZ.	256	257781,33	46141,33	13,323	31,492
C.VENT. X	259	8000,00	2880,00	62,354	103,923
GUARDA-CORPO	275	8000,00	2880,00	34,64	57,74

TIPO DE BARRA	Nº	COMPRESSÃO (N)	TRAÇÃO (N)	CORTANTE MÁX (N)	M _y (N.cm)	M _x (N.cm)
ARCO	35	184211,34	0,00	10995,65	711723,69	1769036,25
LONGARINA C1	131	226,46	19658,22	5235,06	84439,07	766017,56
LONGARINA C2	131	226,46	35542,67	3173,05	213522,95	338979,09
TRANSVERSINA	138	0,00	371,68	8243,39	111,05	858255,63
C.VENT. HORIZ.	256	0,00	11977,27	1184,82	15668,78	41046,96
C.VENT. X	259	15607,35	0,00	279,46	0,00	27067,42
GUARDA-CORPO	275	594,69	0,00	4418,43	569721,81	44511,08

TIPO DE BARRA	Nº	APENAS AÇÕES PERMANENTES			AÇÕES VARIÁVEIS	
		M _{1gd} y (N.cm)	M _{1gd} x (N.cm)	N _{gd} (N)	N _{gk} (N)	N _{qk} (N)
ARCO	35	1415,00	543785,69	57009,05	43853,12	105340,54
LONGARINA C1	131	3244,21	211416,03	226,46	174,20	30465,97
LONGARINA C2	131	3244,21	211416,03	226,46	174,20	30465,97
TRANSVERSINA	138	7,20	155524,73	1,27	0,98	592,94
C.VENT. HORIZ.	256	883,27	43536,66	4327,13	3328,56	5012,31
C.VENT. X	259	0,00	27067,42	4024,97	3096,13	10969,11
GUARDA-CORPO	275	74,56	19981,91	545,63	419,72	78,58

Tabela 24 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.4.1:

CISALHAMENTO	τ_d (N/cm ²)	VERIFICAÇÃO
ARCO	9,82	OK
LONGARINA C1	6,86	OK
LONGARINA C2	4,16	OK
TRANSVERSINA	9,91	OK
C.VENT. HORIZ.	1,55	OK
C.VENT. X	1,75	OK
GUARDA-CORPO	27,62	OK

Tabela 25 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.3.5:

FLEXOTRAÇÃO	$\sigma_{Nt,d}$ (N/cm ²)	$\sigma_{Mx,d}$ (N/cm ²)	$\sigma_{My,d}$ (N/cm ²)	Km	CODIÇÃO I	CODIÇÃO II	VERIFICAÇÃO
ARCO	0,00	19,77	483,52	0,5	0,34	0,65	OK
LONGARINA C1	17,18	3,60	431,64	0,5	0,31	0,59	OK
LONGARINA C2	31,07	9,11	191,01	0,5	0,18	0,30	OK
TRANSVERSINA	0,30	0,00	372,51	0,5	0,25	0,49	OK
C.VENT. HORIZ.	10,47	0,67	23,13	0,5	0,03	0,04	OK
C.VENT. X	0,00	0,00	93,98	0,5	0,06	0,12	OK
GUARDA-CORPO	0,00	427,29	154,55	0,5	0,67	0,49	OK

Tabela 26 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.3.6:

FLEXOCOMPRESÃO	$\sigma_{Nc,d}$ (N/cm ²)	$\sigma_{Mx,d}$ (N/cm ²)	$\sigma_{My,d}$ (N/cm ²)	Km	CODIÇÃO I	CODIÇÃO II	VERIFICAÇÃO
ARCO	109,65	19,77	483,52	0,5	0,20	0,38	OK
LONGARINA C1	0,20	3,60	431,64	0,5	0,17	0,33	OK
LONGARINA C2	0,20	9,11	191,01	0,5	0,08	0,15	OK
TRANSVERSINA	0,00	0,00	372,51	0,5	0,14	0,28	OK
C.VENT. HORIZ.	0,00	0,67	23,13	0,5	0,01	0,02	OK
C.VENT. X	65,03	0,00	93,98	0,5	0,04	0,07	OK
GUARDA-CORPO	2,48	427,29	154,55	0,5	0,38	0,28	OK

Tabela 27 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.5.4 (condição de flexocompressão para peças medianamente esbeltas):

PEÇA MED. EM Y	λ	PEÇA	TIPO	M1d y (N.cm)	Nd y(N)	ei y (cm)	e1 y (cm)	FE (N) y	ed y (cm)	Md y(N.cm)
ARCO	78	MED. ESBELTA	2	1769036,25	184211,34	9,60	11,72	2096441,75	12,84	2366011,86
LONGARINA C1	31	CURTA	1	766017,56	226,46	3382,53	3383,20	8846081,02	3383,28	766188,15
LONGARINA C2	31	CURTA	1	338979,09	226,46	1496,84	1497,51	8846081,02	1497,55	339138,75
TRANSVERSINA	32	CURTA	1	858255,63	0,00	858255625,00	858255625,74	9321174,49	858255625,83	858255,63
C.VENT. HORIZ.	31	CURTA	1	41046,96	0,00	41046957,00	41046957,67	8846081,02	41046957,67	41046,96
C.VENT. X	104	ESBELTA	3	27067,42	15607,35	1,73	2,93	170415,17	3,23	50413,30
GUARDA-CORPO	58	MED. ESBELTA	2	44511,08	594,69	74,85	75,51	552145,15	75,60	44955,96
PEÇA MED. EM X	λ	PEÇA	TIPO	M1d x (N.cm)	Nd x(N)	ei x (cm)	e1 x (cm)	FE (N) x	ed x (cm)	Md x(N.cm)
ARCO	81,5	ESBELTA	3	711723,69	184211,34	3,86	8,57	1941320,65	9,47	1743578,71
LONGARINA C1	133,2	ESBELTA	3	84439,07	226,46	372,86	379,53	494210,81	379,70	85988,23
LONGARINA C2	133,2	ESBELTA	3	213522,95	226,46	942,86	949,53	494210,81	949,96	215131,29
TRANSVERSINA	14,8	CURTA	1	111,05	0,00	111049,00	111049,74	43757735,81	111049,74	111,05
C.VENT. HORIZ.	13,3	CURTA	1	15668,78	0,00	15668776,00	15668776,67	49421080,77	15668776,67	15668,78
C.VENT. X	62,4	MED. ESBELTA	2	0,00	15607,35	0,00	1,20	473375,47	1,24	19367,37
GUARDA-CORPO	34,6	CURTA	1	569721,81	594,69	958,01	958,68	1533736,52	959,05	570339,42
	VERIFICAÇÃO MED.									
ARCO	OK									
LONGARINA C1	OK									
LONGARINA C2	OK									
TRANSVERSINA	OK									
C.VENT. HORIZ.	OK									
C.VENT. X	OK									
GUARDA-CORPO	OK									

Tabela 28 - Verificação da NBR 7190:1997 ITEM 7.5.4 (condição de flexocompressão para peças esbeltas):

PEÇA MED. EM Y	λ	PEÇA	TIPO	M1d y (N.cm)	Nd y(N)	ei y (cm)	Φ	eig y (cm)	ec y (cm)	e1 y (cm)	FE (N) y	ed y (cm)	Md y(N.cm)
ARCO	78,4	MED. ESBELTA	2	1769036,25	184211,34	9,60	0,8	9,54	0,46	12,17	2096441,75	13,35	2458637,86
LONGARINA C1	31,5	CURTA	1	766017,56	226,46	3382,53	0,8	933,56	1,30	3384,50	8846081,02	3384,59	766483,67
LONGARINA C2	31,5	CURTA	1	338979,09	226,46	1496,84	0,8	933,56	1,30	1498,81	8846081,02	1498,85	339434,27
TRANSVERSINA	32,0	CURTA	1	858255,63	0,00	858255625,00	0,8	122653,58	3,13	858255628,87	9321174,49	858255628,96	858255,63
C.VENT. HORIZ.	31,5	CURTA	1	41046,96	0,00	41046957,00	0,8	10,06	0,01	41046957,67	8846081,02	41046957,68	41046,96
C.VENT. X	103,9	ESBELTA	3	27067,42	15607,35	1,73	0,8	6,72	0,34	3,28	170415,17	3,61	56312,88
GUARDA-CORPO	57,7	MED. ESBELTA	2	44511,08	594,69	74,85	1,8	36,62	0,06	75,57	552145,15	75,65	44989,23
PEÇA MED. EM X	λ	PEÇA	TIPO	M1d x (N.cm)	Nd x(N)	ei x (cm)	Φ	eig (cm)	ec x (cm)	e1 x (cm)	FE (N) x	ed x (cm)	Md x(N.cm)
ARCO	81,5	ESBELTA	3	711723,69	184211,34	3,86	0,8	0,02	0,20	8,77	1941320,65	9,69	1784712,75
LONGARINA C1	133,2	ESBELTA	3	84439,07	226,46	372,86	0,8	14,33	0,55	380,07	494210,81	380,25	86112,25
LONGARINA C2	133,2	ESBELTA	3	213522,95	226,46	942,86	0,8	14,33	0,55	950,07	494210,81	950,51	215255,31
TRANSVERSINA	14,8	CURTA	1	111,05	0,00	111049,00	0,8	5,68	0,00	111049,74	43757735,81	111049,74	111,05
C.VENT. HORIZ.	13,3	CURTA	1	15668,78	0,00	15668776,00	0,8	0,20	0,00	15668776,67	49421080,77	15668776,67	15668,78
C.VENT. X	62,4	MED. ESBELTA	2	0,00	15607,35	0,00	0,8	0,00	0,02	1,22	473375,47	1,26	19655,53
GUARDA-CORPO	34,6	CURTA	1	569721,81	594,69	958,01	1,8	0,14	0,00	958,68	1533736,52	959,05	570339,67
VERIFICAÇÃO MED.													
ARCO	OK												
LONGARINA C1	OK												
LONGARINA C2	OK												
TRANSVERSINA	OK												
C.VENT. HORIZ.	OK												
C.VENT. X	OK												
GUARDA-CORPO	OK												

Figura 38- Esforços Axiais na estrutura gerado pelo STRAP.

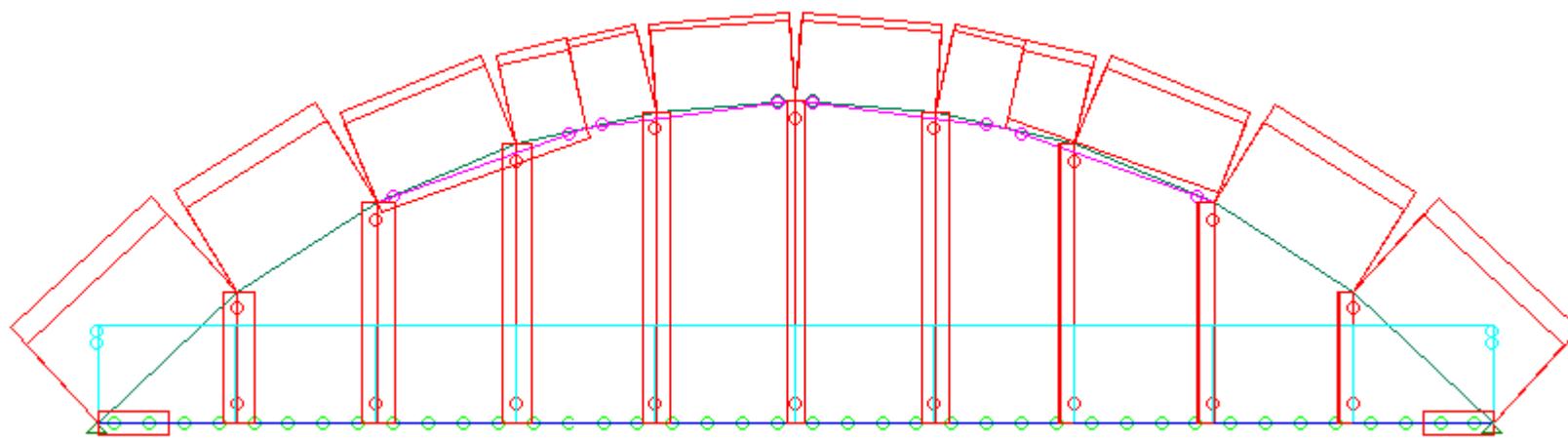
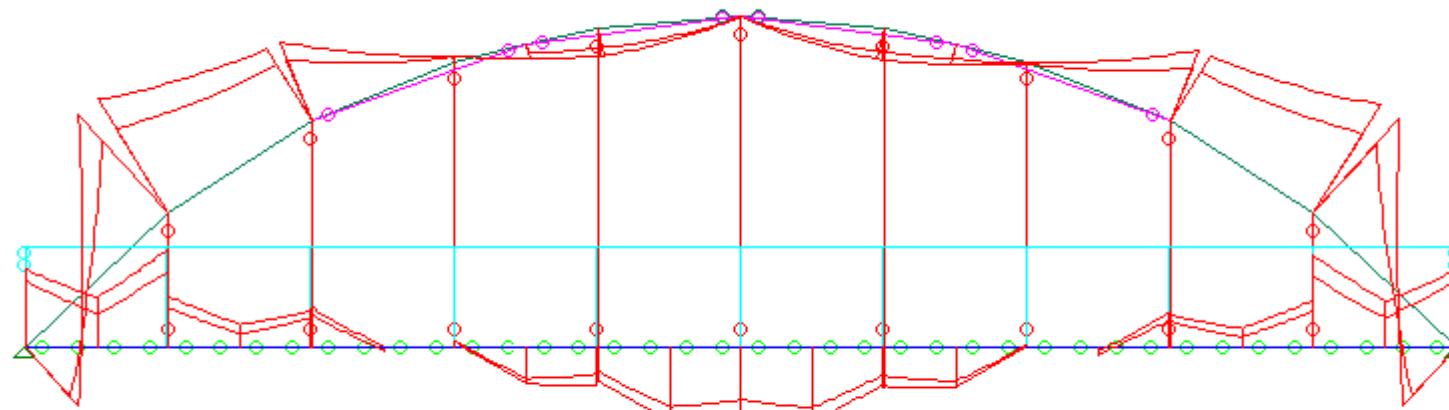


Figura 39 - Diagrama de Momento (My) gerado pelo STRAP.



7.5 VERIFICAÇÃO DE FLECHAS

Ao desenvolver o projeto computacional e analisar os esforços solicitantes sobre o qual a estrutura está submetida; verificou-se o valor de deslocamento máximo de 0,87 cm na estrutura como um todo e de 0,57cm verificando-se apenas as longarinas.

Considerando-se a recomendação da NBR-7190/97, para flechas totais, incluindo o efeito da fluência de não superar 1/350 dos vão, nem 1/175 do comprimento dos balanços correspondentes; verificam-se os valores máximos de 5,71cm e 1,14 cm para a longarina e de 3,22 cm e 3,55 cm para o arco respectivamente.

As restrições devido a apenas ações variáveis geram valores máximos de flecha maiores que os anteriores, de não superar 1/300 dos vão, nem 1/150 do comprimento dos balanços correspondentes; e uma restrição por norma de 15 mm.

Como os valores encontrados pelo software, já eram inferiores as flechas mais restritas de 5,71cm e 1,14 cm para a longarina e de 3,22 cm e 3,55 cm para o arco e inferiores a 15 mm; a estrutura passou na verificação relativa a flecha (apresentam-se nas Figuras 40, 41 e 42 os deslocamentos da estrutura fornecida pelo software STRAP).

Figura 40 - Deslocamentos da Passarela (Vista aérea)

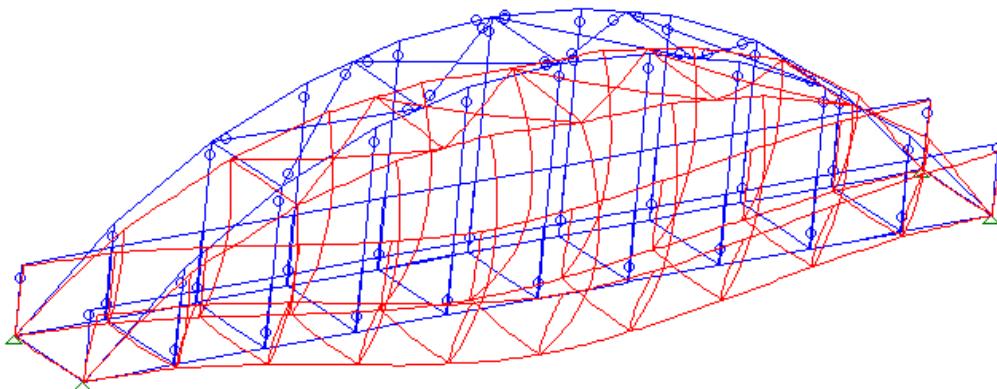


Figura 41 - Deslocamentos da Passarela (Vista frontal).

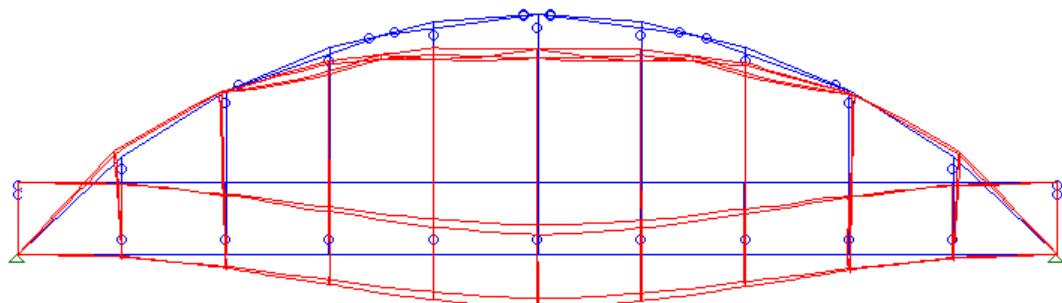
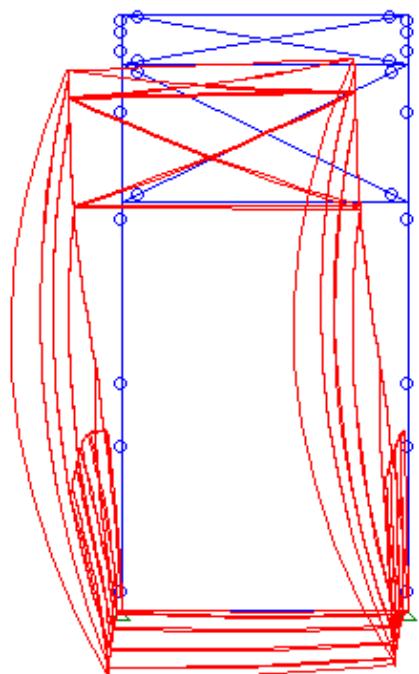


Figura 42- Deslocamentos da Passarela (Vista lateral).



7.6 VERIFICAÇÃO DO CABO DE AÇO

O cabo de aço mais solicitado foi o referente à barra 108, apresentando uma Carga de trabalho de 2,40 tf (0,24 kN). Utilizando-se a equação 26 apresentada anteriormente e assumindo-se o maior fator de segurança igual a 12 admitido pelo manual do fabricante (CIMAF); encontra-se um valor de carga mínima de ruptura de 28,80.

Tabela 29 - Cabo de aço classe 6x19 - alma de aço (Fonte: CIMAF):

Diâmetro		Massa Aprox. (kg/m)	Carga de Ruptura Mínima (tf)	
mm	pol.		IPS	EIPS
3,2	1/8"	0,040	0,65	0,73
4,8	3/16"	0,096	1,46	1,64
8,0	5/16"	0,268	-	4,80
9,5	3/8"	0,352	-	6,86
11,5	7/16"	0,519	-	9,30
13,0	1/2"	0,685	-	12,10
14,5	9/16"	0,868	-	15,20
16,0	5/8"	1,058	-	18,70
19,0	3/4"	1,496	-	26,80
22,0	7/8"	2,036	-	36,10
26,0	1"	2,746	-	47,00
29,0	1 1/8"	3,447	-	59,00
32,0	1 1/4"	4,192	-	72,60
38,0	1 1/2"	6,009	-	103,30
42,0	1 5/8"	7,120	-	122,00
45,0	1 3/4"	8,368	-	141,00
52,0	2"	10,921	-	183,70

Verifica-se que o cabo de aço adotado de 29,0 mm de diâmetro atendeu as características de projeto, uma vez que sua carga de ruptura mínima é de 59,0tf. Calculando-se um fator de segurança relativo a esse cabo de aço, encontra-se um valor próximo a 24. Poder-se-ia reduzir o diâmetro do cabo para um mínimo de 22 milímetros, porém definiu-se que se prosseguiria o projeto com o cabo de 29,00 milímetros de diâmetro resguardando-se pela segurança da estrutura.

8 DETALHAMENTO

As ligações do projeto são compostas por placas de aço e pinos metálicos (parafusos e pregos). Sendo que, para o cálculo das ligações foram utilizadas a norma NBR8800 e a revisão de 2016 da norma NBR7190.

Os detalhamentos da passarela e de suas ligações encontram-se no APÊNDICE B deste projeto.

8.1 VERIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS METÁLICOS

De acordo com a NBR8800, nos elementos metálicos foram verificados: o deslizamento do parafuso (Equação 27), o cisalhamento do parafuso (Equação 28), a pressão de contato em furos (menor valor entre as equações 29 e 30), o colapso por rasgamento em furos (menor valor entre as equações 31 e 32), o escoamento da seção bruta (ESB) da chapa metálica (Equação 33) e a ruptura da seção líquida (RSL) da chapa metálica (Equação 34).

$$Ff, RK = 0,80 \cdot \mu \cdot Ch \cdot Ftb \cdot ns \quad (\text{Equação 27})$$

$$Fv, Rd = \frac{0,40 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} * npc \quad (\text{Equação 28})$$

$$Fc, Rd1 = \frac{1,2 \cdot lf \cdot fu}{\gamma a2} \quad (\text{Equação 29})$$

$$Fc, Rd2 = \frac{2,4 \cdot db \cdot fu}{\gamma a2} \quad (\text{Equação 30})$$

$$Fr, Rd1 = \frac{(0,60 \cdot fu \cdot Anv + Cts \cdot fu \cdot Ant)}{\gamma a2} \quad (\text{Equação 31})$$

$$Fr, Rd2 = \frac{(0,60 \cdot fy \cdot Agv + Cts \cdot fu \cdot Ant)}{\gamma a2} \quad (\text{Equação 32})$$

$$Nt, Rd = \frac{Ag \cdot fy}{\gamma a1} \quad (\text{Equação 33})$$

$$Nt, Rd = \frac{Ae \cdot fu}{\gamma a2} \quad (\text{Equação 34})$$

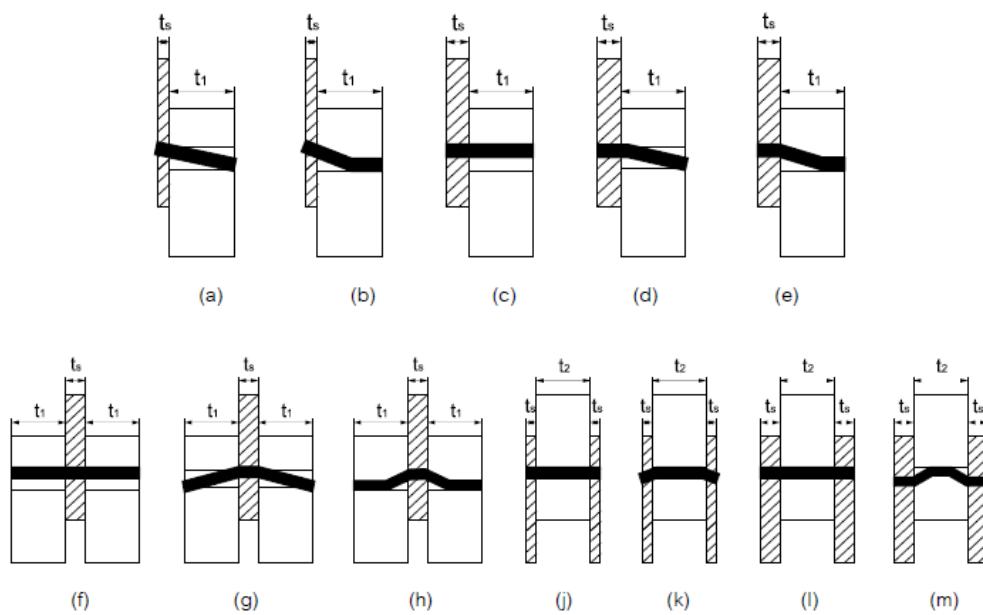
Sendo: μ : 0,35; coeficiente de atrito, superfície classe A;
 Ch : 1,00; fator de furo correspondente ao furo-padrão;
 ns : número de planos de deslizamento;
 npc : número de planos de corte;
 fy : limite de escoamento do aço;

fu: limite de resistência à tração do aço;
 fub: resistência à tração do material do parafuso;
 lf: comprimento relativo ao rasgamento;
 t: espessura da chapa metálica;
 db: diâmetro do parafuso.
 Ab: área bruta do parafuso;
 Ag: área bruta da chapa;
 Avg: área bruta sujeita ao cisalhamento;
 Ant: área líquida sujeita à tração;
 Ae: área líquida efetiva;
 Cts: 1,0 - uniforme e 0,5 - não uniforme;
 $\gamma a1$: 1,10; coeficiente de ponderação.
 $\gamma a2$: 1,35; coeficiente de ponderação.

8.2 VERIFICAÇÕES DA MADEIRA

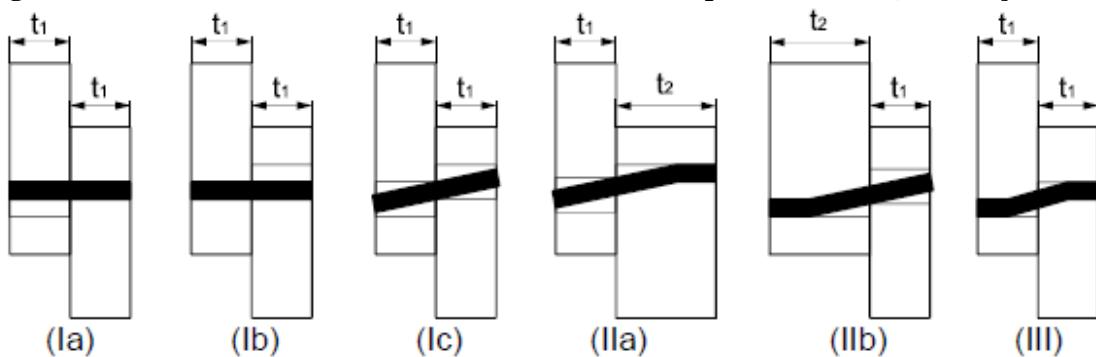
Foram definidos os modos de falha que ocorreriam nas ligações com pinos metálicos e chapa de aço (Figura 43) e nas ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (Figura 44) de acordo com a revisão de 2016 da NBR 7190.

Figura 43 - Modos de falha de ligações com pinos metálicos e chapa de aço



(fonte: revisão de 2016 da NBR7190).

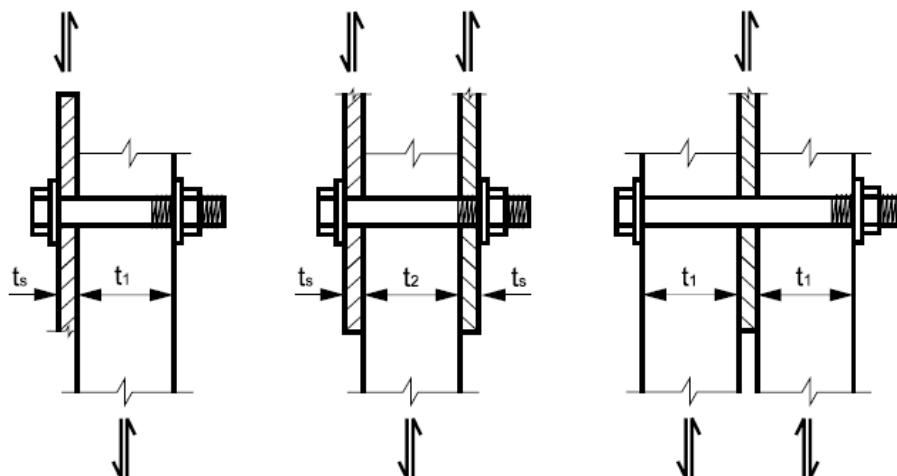
Figura 44 - Modos de falha de elementos de madeira com pinos metálicos, uma seção de corte aço



(fonte: revisão de 2016 da NBR7190).

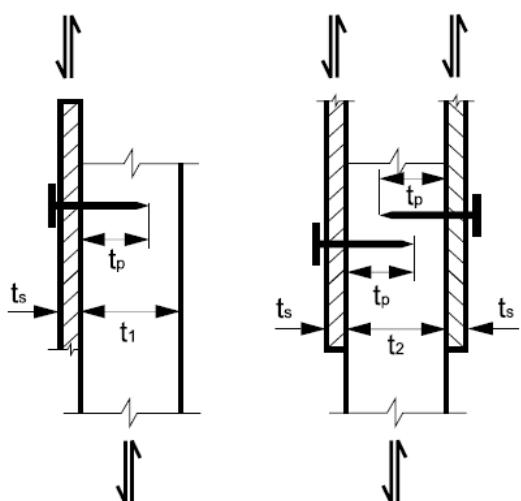
Além disso, foi necessário definir a configuração do parafuso ou prego em cada ligação (Figuras 45 e 46).

Figura 45 - Ligação de elementos de madeira e aço com parafuso passante



(Fonte: revisão de 2016 da NBR7190).

Figura 46 - Ligação de elementos de madeira e aço com pregos em corte simples



(Fonte: revisão de 2016 da NBR7190).

Os modos de ruptura associados às ligações com pinos metálicos (parafusos) e chapa de aço foram: A (Equação 35), B (Equação 36), F (Equação 37), G (Equação 38), H (Equação 39), J (Equação 40) e K (Equação 41). Ao passo que, os modos de ruptura associados às ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (pregos) foram:

Ia, Ib, Ic, IIa, IIb e III (equações apresentadas na Tabela 30).

$$F_{v,Rk} = 0,4 \cdot f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \quad (\text{Equação 35})$$

$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (\text{Equação 36})$$

$$F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \quad (\text{Equação 37})$$

$$F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{e1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (\text{Equação 38})$$

$$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (\text{Equação 39})$$

$$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{e2,k} \cdot t_2 \cdot d \quad (\text{Equação 40})$$

$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{e2,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (\text{Equação 41})$$

Tabela 30 - Equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos, uma seção de corte

Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
(Ia)	$F_{v,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$
(Ib)	$F_{v,Rk2} = f_{e1,k} t_2 d$
(Ic)	$F_{v,Rk3} = \frac{f_{e1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(IIa)	$F_{v,Rk4} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(IIb)	$F_{v,Rk5} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(III)	$F_{v,Rk6} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
$F_{v,Rk}$ é o menor valor dentre os resultados dos seis modos de falha	

(Fonte: revisão de 2016 da NBR7190)

De acordo com a revisão da NBR7190, t1 é a menor espessura dentre os elementos de madeira laterais, para os casos em corte simples e corte duplo, e t2 é a espessura do elemento de madeira central para os casos em corte duplo. Os valores $f_{e1,k}$ e $f_{e2,k}$ são os valores de resistência ao embutimento das madeiras 1 e 2, respectivamente e β é a relação entre $f_{e2,k}$ por $f_{e1,k}$. E, o valor de $M_{y,Rk}$ é dado pela Equação 42 .

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (\text{Equação 42})$$

Sendo: $f_{u,k}$: resistência última a tração do aço do pino metálico;

d : diâmetro efetivo do pino metálico.

Desprezou-se nos cálculos a parcela de resistência $\frac{F_{ax,Rk}}{4}$ que ocorre devido à contribuição do efeito de confinamento.

8.3 TABELAS DE LIGAÇÕES

Foram analisados os esforços solicitantes críticos em cada uma das ligações para se obterem as seções críticas das chapas de aços e o número ideal de pinos metálicos. Então, foram realizadas as verificações dos elementos metálicos e da madeira (Item 8.1 e item 8.2, respectivamente), considerando uma força solicitante mínima de 45kN para as verificações dos elementos metálicos definida pela NBR8800.

Em geral, foram utilizados parafusos de 12 mm ou de 19 mm para as ligações entre os elementos de MLC. Entretanto, para o guarda-corpo foram definidos pregos de 20 centímetros de comprimento por 7,6mm de diâmetro da tabela de pregos em tamanho natural de padronização ABNT PB-58 (PFEIL; PFEIL, 2003) e parafusos auto-atarraxastes de 26 centímetros de comprimento por 7,6mm de diâmetro (os mesmos utilizados na ligação do painel de CLT com as longarinas de MLC, item 8.3.7).

Os espaçamentos entre pinos metálicos e entre pinos metálicos e borda da chapa de aço foram limitados de acordo com a norma NBR7190.

As características dos materiais utilizados encontram-se nas Tabelas 31,32 e 33.

Tabela 31 - Características das chapas de aço:

ESPESSURA (mm)	AÇO	fy (Mpa)	fu (Mpa)
10	ASTM A36	250	400

Tabela 32 - Características dos parafusos:

AÇO	fub (Mpa)	diâmetro (mm)	diâmetro ("")
ASTM A325	825	7,6	5/16
ASTM A325	825	12	1/2
ASTM A325	825	19	3/4

Tabela 33 - Características dos pregos:

AÇO	fub (Mpa)	diâmetro (mm)	diâmetro ("")
ASTM A325	825	7,6	5/16

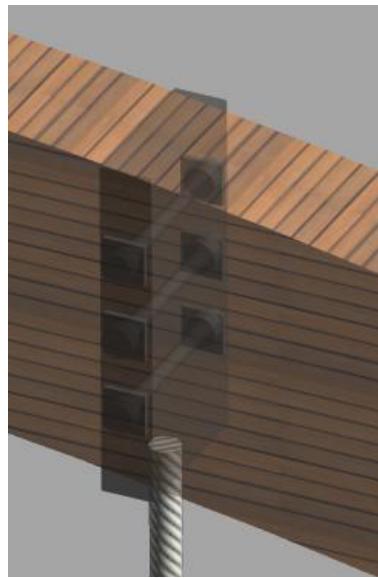
Os parafusos e seus espaçamentos da ligação entre os painéis de CLT e as longarinas de MLC estão especificados no item 8.3.7 deste projeto e foram definidos a partir do catálogo de conectores em painéis de CLT Myticon Timber Connectors White Paper (MYC).

8.3.1 Ligação Arco-tirante

Figura 47 - Ligação arco-tirante.



Figura 48 - Ligação arco-tirante (transparente).



Na ligação entre os cabos de aço (tirantes) e o arco de MLC o esforço crítico foi o maior esforço de compressão no arco e não o esforço e tração dos cabos.

Foram utilizados 3 parafusos de 19 mm de diâmetro e chapas de aço de 10 mm de espessura com as características especificadas nas Tabelas 32 e 31, respectivamente.

Utilizaram-se elementos de ligação padrão para todas as ligações entre os cabos e o arco. Sabe-se que o número de parafusos poderia ser reduzido em algumas dessas ligações para o mínimo construtivo determinado pela NBR7190 de 2 parafusos, uma vez que os esforços de compressão no arco e de tração nos cabos eram diferentes para cada ligação, entretanto, optou-se pela padronização das ligações através da análise do esforço solicitante máximo, tendo em vista que o número de parafusos definidos para ligação mais crítica foram 3 (apenas 1 parafuso a mais do que o mínimo recomendado por norma).

Não foram calculados elementos intermediários entre o cabo de aço e a chapa metálica.

Os cálculos desta ligação estão apresentados nas Tabelas 34 à 39. E, as imagens desta ligação estão apresentadas da Figura 47 à 52.

Tabela 34 - Deslizamento dos parafusos:

TRAÇÃO (KN)	F _{f,Rk} (KN/parafuso)	N _{tsk} (KN)	N _{tsk} mÍN(KN)	F _{sk} (KN)	VERIFICAÇÃO
24	69	16,8	45	22,5	OK

Tabela 35 - Cisalhamento dos parafusos:

TRAÇÃO (KN)	F _{v,Rd} (KN/parafuso)	N _{tsk} (KN)	N _{tsk} mÍN(KN)	F _{sk} (KN)	VERIFICAÇÃO
24	138	16,8	45	22,5	OK

Tabela 36 - Pressão de contato em diferentes posições:

TRAÇÃO (KN)	Fc,Rd1 (KN/parafuso)	Fc,Rd2 (KN/parafuso)	Ntsk (KN)	Ntsk mín(KN)	Fsk (KN)	VERIFICAÇÃO
24	1003	270	16,8	45	22,5	OK
24	2133	270	16,8	45	22,5	OK

Tabela 37 - Rasgamento:

Agv (cm ²)	Anv (cm ²)	Ant (cm ²)	Fv,Rd1 (KN/parafuso)	Fv,Rd2 (KN/parafuso)	Ntsk (KN)	Ntsk mín(KN)	Fsk (KN)	VERIFICAÇÃO
91,8	85,65	7,95	1758	1256	16,8	45	22,5	OK

Tabela 38 - Chapa de aço, ESB (escoamento da seção bruta) e RSL (ruptura da seção líquida):

	TRAÇÃO (KN)	LARGURA (cm)	Ag (cm ²)	Ae (cm ²)	Nt,rd (KN)	Ntsk (KN)	Ntsk mín(KN)	Fsk (KN)	VERIFICAÇÃO
ESB	24	10	10	7,95	227	16,8	45	45	OK
RSL	24	10	10	7,95	236	16,8	45	45	OK

Tabela 39 - Modos de falha na madeira:

	t2 (cm)	d (mm)	fe2,k (N/cm ²)	My,rk (N.cm)	Fv,rk (N/parafuso)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
MODO DE FALHA j	28	19	2650	522798,7804	70490	184211	OK
MODO DE FALHA K	28	19	2650	522798,7804	83441	184211	OK

Figura 49 - Perspectiva 3D.

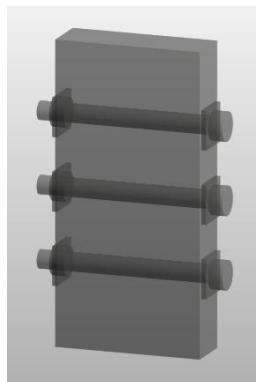


Figura 50 - Perspectiva 3D de outro ângulo.

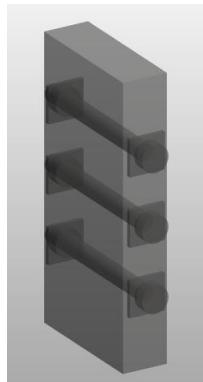


Figura 51 - Vista frontal (unidade: mm).

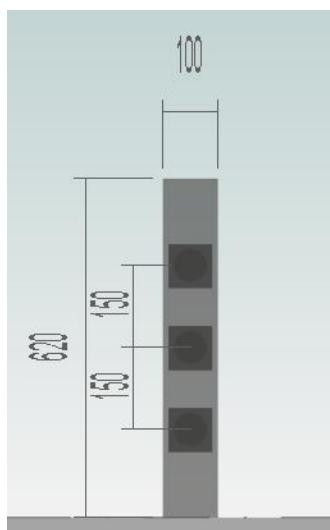
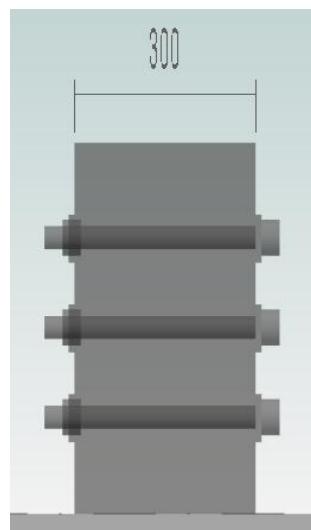


Figura 52 - Vista lateral (unidade: mm).

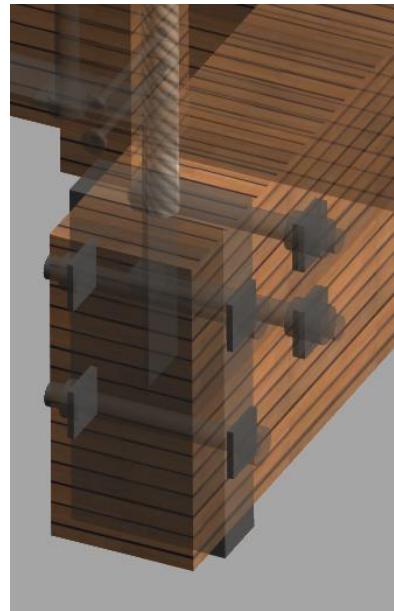


8.3.2 Ligação tirante-transversina

Figura 53 - Ligação tirante-transversina.



Figura 54 - Ligação tirante-transversina (transparente).



Na ligação entre os cabos de aço (tirantes) e as transversinas de MLC o esforço crítico foi o esforço de tração dos cabos.

Foram utilizados 2 parafusos de 19 mm de diâmetro e chapas de aço de 10 mm de espessura com as características especificadas nas Tabelas 32 e 31, respectivamente.

Utilizaram-se elementos de ligação padrão para todas as ligações entre os cabos e as transversinas. O número de parafusos foi o mínimo construtivo determinado pela NBR7190 de 2 parafusos. E, não foram calculados elementos intermediários entre o cabo de aço e a chapa metálica.

Os cálculos desta ligação estão apresentados nas Tabelas 40 à 45. E, as imagens desta ligação estão apresentadas da Figura 53 à 58.

Tabela 40 - Deslizamento dos parafusos:

TRAÇÃO (KN)	Ff,Rk (KN/parafuso)	Ntsk (KN)	Ntsk mín(KN)	Fsk (KN)	VERIFICAÇÃO
24	69	16,8	45	22,5	OK

Tabela 41 - Cisalhamento dos parafusos:

TRAÇÃO (KN)	Fv,Rd (KN/parafuso)	Ntsk (KN)	Ntsk mín(KN)	Fsk (KN)	VERIFICAÇÃO
24	138	16,8	45	22,5	OK

Tabela 42 - Pressão de contato em diferentes posições:

TRAÇÃO (KN)	Fc,Rd1 (KN/parafuso)	Fc,Rd2 (KN/parafuso)	Ntsk (KN)	Ntsk mín(KN)	Fsk (KN)	VERIFICAÇÃO
24	1003	270	16,8	45	22,5	OK
24	1564	270	16,8	45	22,5	OK

Tabela 43 - Rasgamento:

Agv (cm ²)	Anv (cm ²)	Ant (cm ²)	Fv,Rd1 (KN/parafuso)	Fv,Rd2 (KN/parafuso)	Ntsk (KN)	Ntsk mín(KN)	Fsk (KN)	VERIFICAÇÃO
75,8	69,65	7,95	1474	1078	16,8	45	22,5	OK

Tabela 44 - Chapa de aço, ESB (escoamento da seção bruta) e RSL (ruptura da seção líquida):

	TRAÇÃO (KN)	LARGURA (cm)	Ag (cm ²)	Ae (cm ²)	Nt,rd (KN)	Ntsk (KN)	Ntsk mín(KN)	Fsk (KN)	VERIFICAÇÃO
ESB	24	10	10	7,95	227	16,8	45	45	OK
RSL	24	10	10	7,95	236	16,8	45	45	OK

Tabela 45 - Modos de falha na madeira:

	t2 (cm)	d (mm)	fe2,k (N/cm ²)	My,rk (N.cm)	Fv,rk (N/parafuso)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
MODO DE FALHA j	24	19	662,5	522798,7804	15105	24000	OK
MODO DE FALHA K	24	19	662,5	522798,7804	41721	24000	OK

Figura 55 - Perspectiva 3D

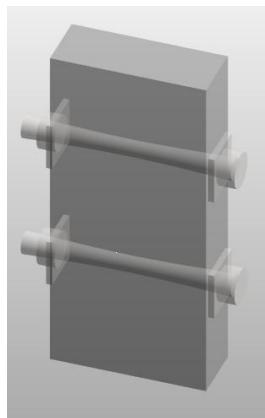


Figura 56 - Perspectiva 3D de outro ângulo.

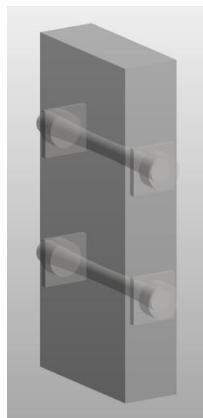


Figura 57 - Vista frontal (unidade: mm).

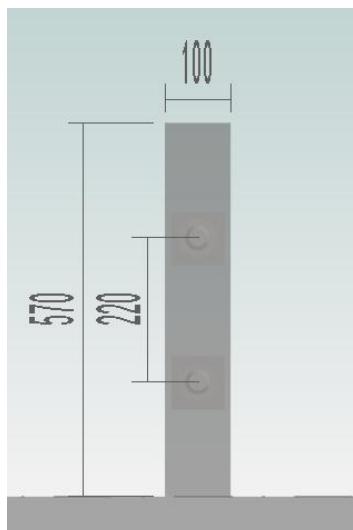
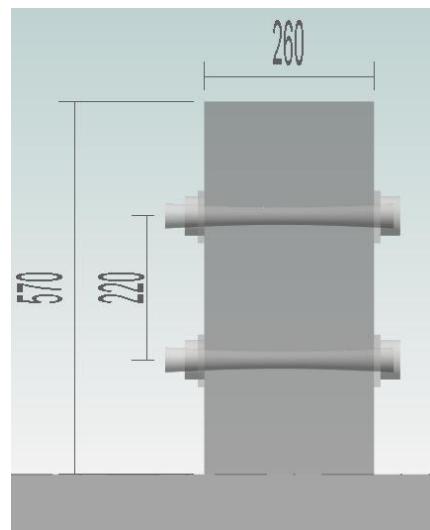
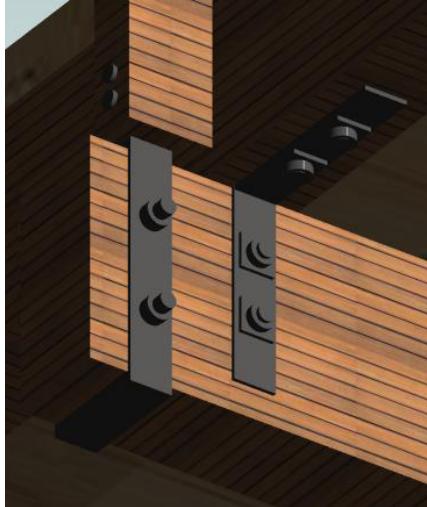


Figura 58 - Vista lateral (unidade: mm).



8.3.3 Ligação longarina-transversina

Figura 59 - Ligação longarina-transversina.



Na ligação entre as longarinas e as transversinas de MLC foram utilizadas cantoneiras de abas iguais e as verificações foram críticas na madeira (os cálculos seguiram o item 8.2 deste projeto).

Foram utilizados 4 parafusos de 19 mm de diâmetro e chapas de aço de 10 mm de espessura para as cantoneiras com as características especificadas nas Tabelas 32 e 31, respectivamente.

Utilizaram-se elementos de ligação padrão para todas as ligações entre as longarinas e as transversinas. O número de parafusos em cada elemento (transversina e longarina) foi o mínimo construtivo determinado pela NBR7190 de 2 parafusos.

Os cálculos desta ligação estão apresentados nas Tabelas 46 e 47. E, as imagens desta ligação estão apresentadas da Figura 59 a 63.

Tabela 46 - Modos de falha na madeira da longarina:

	t1 (cm)	d (mm)	fe1,k (N/cm ²)	My,rk (N.cm)	Fv,rk (N/parafuso)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
MODO DE FALHA A	52	19	662,5	522798,7804	26182	35600	OK
MODO DE FALHA B	52	19	662,5	522798,7804	41721	35600	OK

Tabela 47 - Modos de falha na madeira da transversina:

	t1 (cm)	d (mm)	fe1,k (N/cm ²)	My,rk (N.cm)	Fv,rk (N/parafuso)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
MODO DE FALHA A	24	19	662,5	522798,7804	12084	371	OK
MODO DE FALHA B	24	19	662,5	522798,7804	41721	371	OK

Figura 60 - Perspectiva 3D.



Figura 61 - Perspectiva 3D de outra vista.



Figura 62 - Vista lateral (unidade: mm).

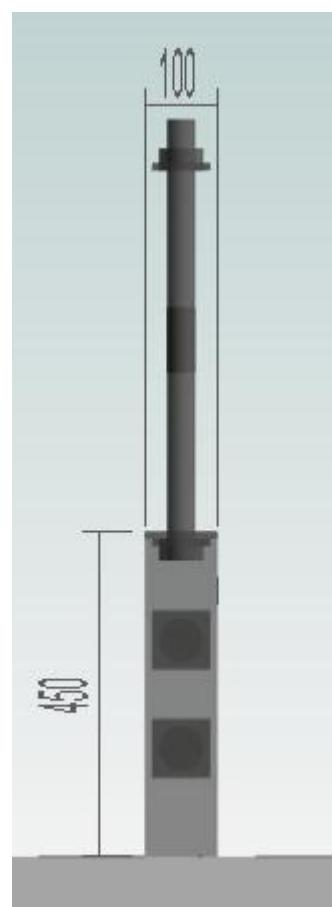
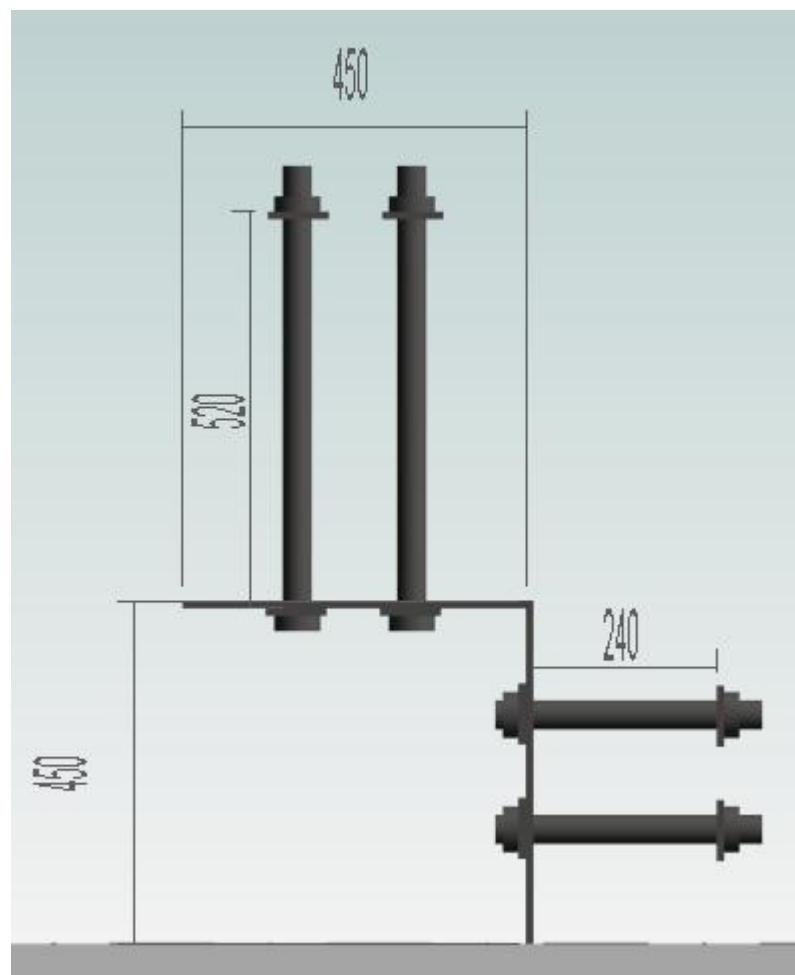


Figura 63 - Vista frontal (unidade: mm)



8.3.4 Ligação do contraventamento em X

Figura 64 - Contraventamento em x.



Figura 65 - Contraventamento em x transparente.



Na conexão entre os elementos do contraventamento em x, foram utilizadas chapas metálicas e parafusos.

Foram utilizados 16 parafusos de 12 mm de diâmetro e chapas de aço de 10 mm de espessura, com as características especificadas nas Tabelas 32 e 31, respectivamente.

Utilizaram-se elementos de ligação padrão para todas as dos contraventamentos em x.

Os cálculos desta ligação estão apresentados nas Tabelas 48 e 49. E, as imagens desta ligação estão apresentadas da Figura 64 a 69.

Tabela 48 - Modos de falha nas madeiras centrais:

	t1 (cm)	d (mm)	fe1,k (N/cm ²)	My,rk (N.cm)	Fv,rk (N/parafuso)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
MODO DE FALHA F	5	12	662,5	158287,4355	39750	15607	OK
MODO DE FALHA G	5	12	662,5	158287,4355	212366	15607	OK
MODO DE FALHA H	5	12	662,5	158287,4355	81590	15607	OK

Tabela 49 - Modos de falha na madeira entre o contraventamento em x e o arco:

	t1 (cm)	t2 (cm)	d (mm)	fe1,k (N/cm ²)	My,rk (N.cm)	Fv,rk (N/parafuso)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
MODO DE FALHA Ia	12	28	12	662,5	158287,4355	9540	15607	OK
MODO DE FALHA Ib	12	28	12	662,5	158287,4355	22260	15607	OK
MODO DE FALHA Ic	12	28	12	662,5	158287,4355	29728	15607	OK
MODO DE FALHA IIa	12	28	12	662,5	158287,4355	39989	15607	OK
MODO DE FALHA IIb	12	28	12	662,5	158287,4355	34650	15607	OK
MODO DE FALHA III	12	28	12	662,5	158287,4355	57693	15607	OK

Figura 66 - Perspectiva 3D do centro.

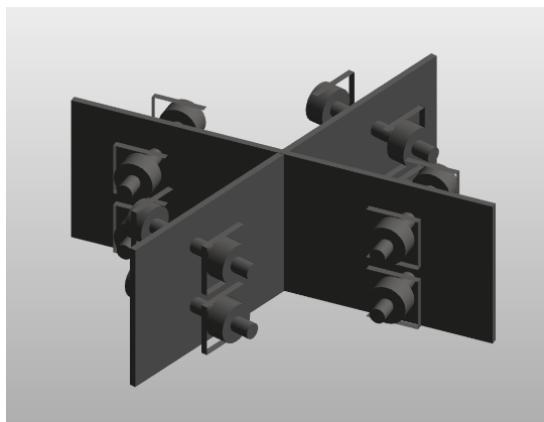


Figura 67 - Ligação entre contraventamento em x e arco.

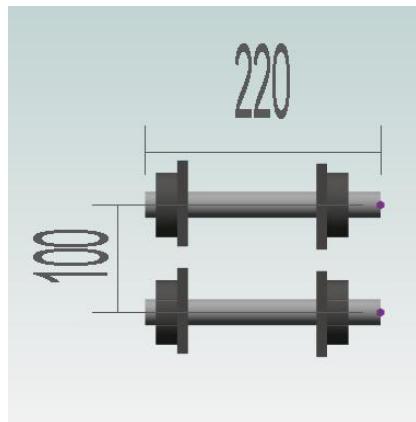


Figura 68 - Contraventamento em x (1).

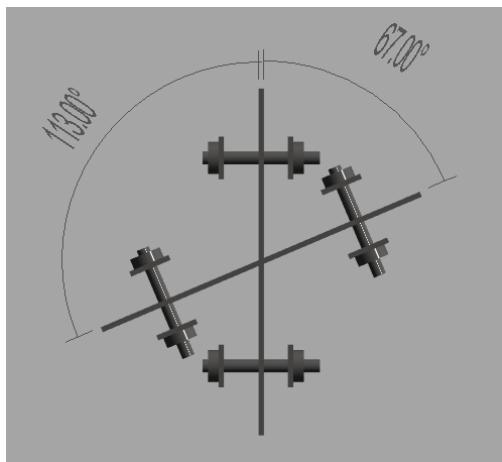
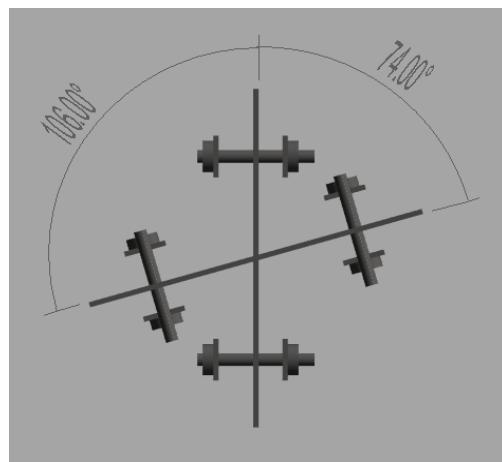


Figura 69 - Contraventamento em x (2).

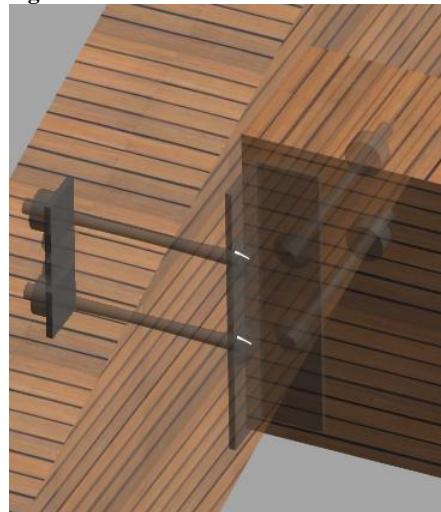


8.3.5 Ligação do contraventamento horizontal

Figura 70 - Cantoneira do contraventamento.



Figura 71 - Cantoneira do contraventamento transparente.



Na ligação entre o arco e o contraventamento horizontal de MLC foram utilizadas cantoneiras de abas iguais e as verificações foram críticas na madeira (os cálculos seguiram o item 8.2 deste projeto).

Foram utilizados 4 parafusos de 19 mm de diâmetro e chapas de aço de 10 mm de espessura para as cantoneiras com as características especificadas nas Tabelas 32 e 31, respectivamente.

Utilizaram-se elementos de ligação padrão para todas as ligações entre o arco e o contraventamento horizontal.

Os cálculos desta ligação estão apresentados na Tabela 50. E, as imagens desta ligação estão apresentadas da Figura 70 à 73.

Tabela 50 - Modos de falha na madeira do contraventamento horizontal:

	t1 (cm)	d (mm)	fe1,k (N/cm ²)	My,rk	Fv,rk (N/parafuso)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
MODO DE FALHA A	24	12	662,5	158287,4	7632	11977,27	OK
MODO DE FALHA B	24	12	662,5	158287,4	18244	11977,27	OK
MODO DE FALHA A	22	12	662,5	158287,4	6996	11977,27	OK
MODO DE FALHA B	22	12	662,5	158287,4	18244	11977,27	OK

Figura 72 - Cantoneira, perspectiva em 3D.

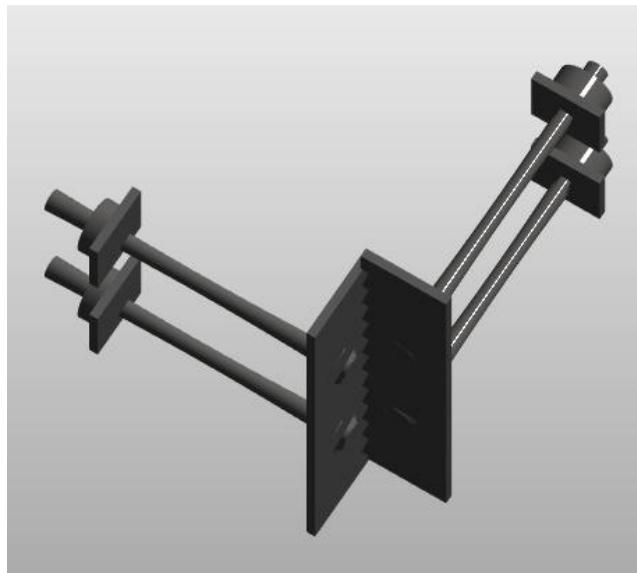
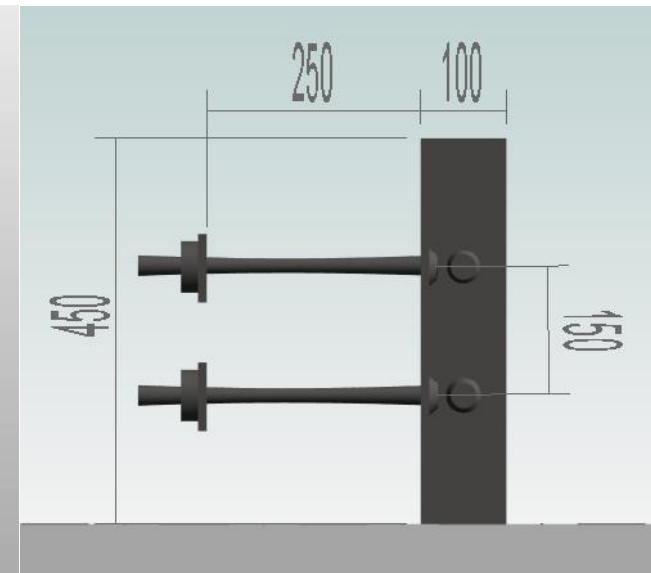


Figura 73 - Cantoneira, vista lateral (unidades:mm).



8.3.6 Ligação do guarda-corpo

Figura 74 - Ligações do guarda corpo.



Nas ligações do guarda-corpo de MLC foram utilizados pregos e parafusos auto-atarrachantes de 7,6 mm de diâmetro e de 20 cm e de 26 cm de comprimento, respectivamente, com as características especificadas na Tabela 32 e 33. Os parafusos de auto-atarraxantes foram utilizados na fixação do guarda-corpo nas longarinas (Figura 74) e são os mesmos especificados no item 8.3.7.

Foram utilizados 2 pregos e 2 parafusos mínimos construtivos nas ligações do guarda-corpo como determinado pela NBR7190.

Os cálculos desta ligação estão apresentados nas Tabelas 51 e 52. E, as imagens desta ligação estão apresentadas da Figura 75 a 78.

Tabela 51 - Modos de falha dos pregos de 7,6 mm de diâmetro:

	t1 (cm)	t2 (cm)	d (mm)	fe1,k (N/cm ²)	My,rk (N.cm)	Fv,rk (N/prego)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
MODO DE FALHA Ia	12	24	7,6	662,5	48271,47208	6042	11977,27	OK
MODO DE FALHA Ib	12	24	7,6	662,5	48271,47208	12084	11977,27	OK
MODO DE FALHA Ic	12	24	7,6	662,5	48271,47208	16189	11977,27	OK
MODO DE FALHA IIa	12	24	7,6	662,5	48271,47208	23209	11978,27	OK
MODO DE FALHA IIb	12	24	7,6	662,5	48271,47208	21672	11979,27	OK
MODO DE FALHA III	12	24	7,6	662,5	48271,47208	25355	11980,27	OK

A capacidade resistente ao corte dos parafusos auto-atarraxantes foi calculada por expressões do EUROCODE 5, considerando $f_y=550$ MPa para parafusos de alta resistência e tomando como referência o livro Estruturas de madeira (PFEIL; PFEIL, 2003).

Verificou-se no catálogo MYC uma resistência ao arrancamento de 295lbf (1,31 kN) por parafusos. Dessa forma 2 parafusos resultam numa resistência ao arrancamento de 2,62 kN, suficiente para a fixação do guarda-corpo nas longarinas.

Tabela 52 - Modos de falha dos pregos de 8,4 mm de diâmetro:

	t1 (cm)	t2 (cm)	t2/t1	d (mm)	fe1,k (N/cm ²)	Mpd (N.cm)	Fv,rk (N/prego)	Fsd (N)	VERIFICAÇÃO
Mecanismo I	6	20	3,3	7,6	662,5	2933,45712	30210	549	OK
Mecanismo II	6	20	3,3	7,6	662,5	2933,45712	99046	549	OK
Mecanismo III (t1)	6	20	3,3	7,6	662,5	2933,45712	10119	549	OK
Mecanismo III (t2)	6	20	3,3	7,6	662,5	2933,45712	3358	549	OK
Mecanismo IV	6	20	3,3	7,6	662,5	2933,45712	1719	549	OK

Figura 75 - Pregos de 7,6 mm de diâmetro.

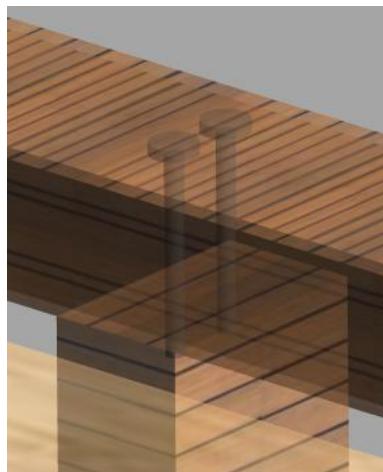


Figura 76 - Prego de 7,6 mm de diâmetro (unidade:mm).

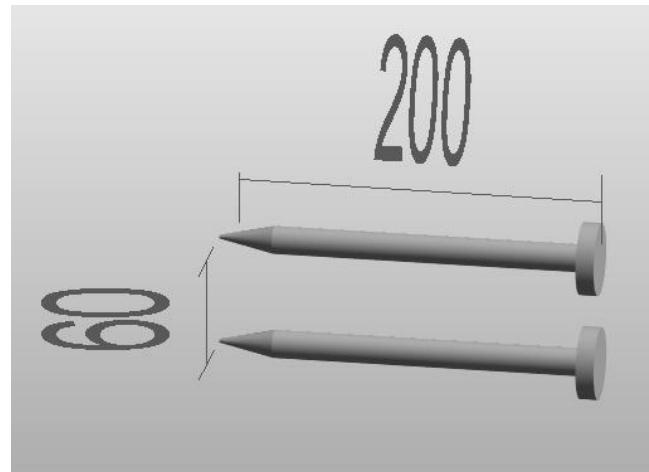


Figura 77 - Parafusos de 7,6 mm de diâmetro.

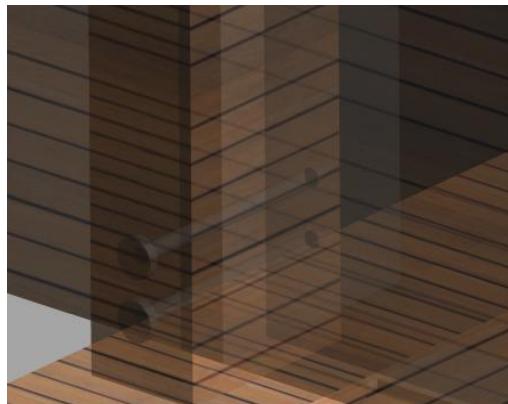
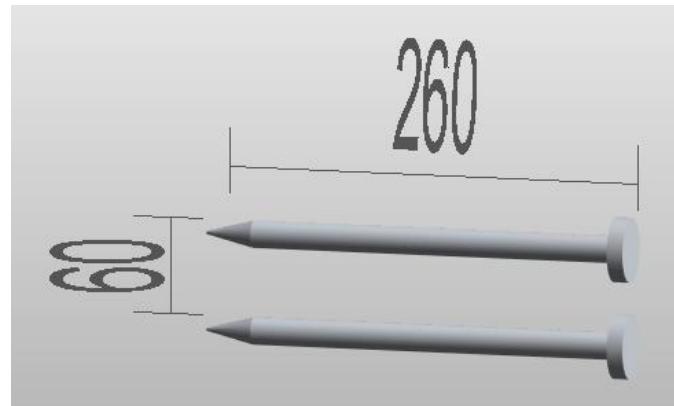


Figura 78 - Parafusos de 7,6 mm de diâmetro (unidades:mm).

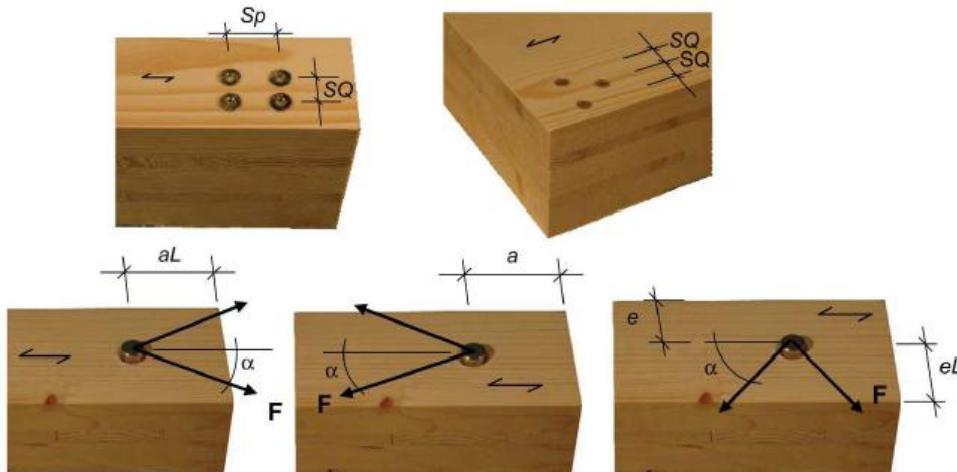


8.3.7 Ligações do painel de CLT

A fixação dos painéis de CLT nas longarinas de MLC foi definida pelo catálogo de conectores em painéis de CLT Myticon Timber Connectors White Paper (MYC).

Na Figura 79 é possível identificar os nomes das distâncias entre parafusos determinada pelo catálogo, sendo as distâncias definidas em função do diâmetro do parafuso da ligação (Tabela 53).

Figura 79 - Distâncias das ligações do painel de CLT



(fonte: MYC).

Tabela 53 - Distâncias das ligações do painel de CLT em função do diâmetro do parafuso:

S_P	S_Q	a_L	a	e_L	e
4D	2.5D	6D	6D	6D	2.5D

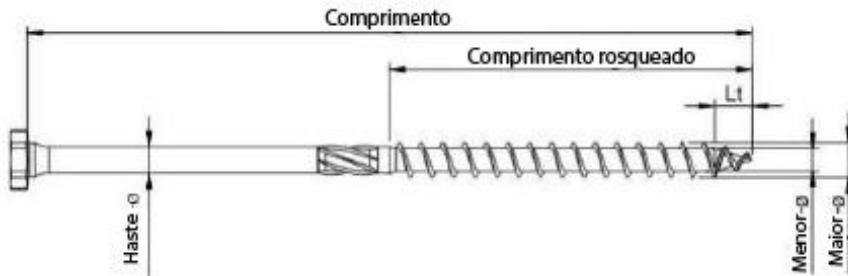
O parafuso indicado para as dimensões do painel de CLT foi o parafuso ASSY Kombi de 7,6 mm de diâmetro (5/16") e 26 cm de comprimento (10 1/4"). O parafuso está ilustrado na Figura 80 e suas dimensões estão especificadas na Tabela 54 (o nome de cada parte do parafuso, que está em inglês pelo catálogo, pode ser identificado pela Figura 81).

Figura 80 - Parafuso SWG ASSY Kombi



(fonte:MYC).

Figura 81 - Nomes das dimensões do parafuso



(fonte: MYC).

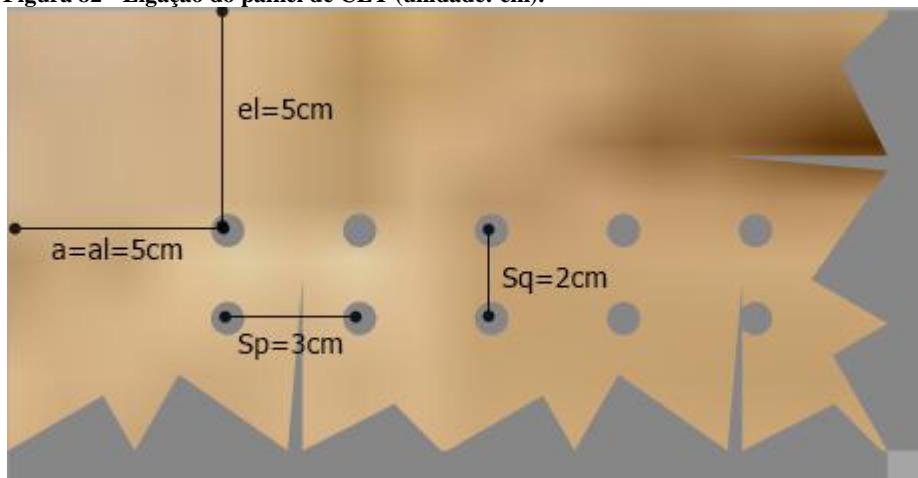
Tabela 54 - Dimensões do parafuso

Maior Ø	Comprimento	Comprimento rosqueado	L_t	Cabeça Ø	Menor Ø	Broca
POLEGADA						
5/16	4-3/4	4	5/16	0.580	0.196	AW 40
	6-1/4	5-5/8				
	7-7/8	7-1/4				
	8-5/8	8				
	10-1/4	9-5/8				
	11-3/4	11-1/8				

(fonte: MYC):

A partir do diâmetro do parafuso, foi possível calcular as distâncias entre eles no painel de CLT (Tabela 53) obtendo-se $Sp=3\text{cm}$, $Sq=2\text{ cm}$, $a=5\text{cm}$ e $el=5\text{cm}$.

Figura 82 - Ligação do painel de CLT (unidade: cm).



Foi calculado um total de 2648 parafusos para a ligação entre os painéis de CLT e as longarinas de MLC.

8.3.8 Apoios e rótulas

Os apoios e rótulas metálicas não foram calculados, apenas modelados em 3D utilizando o software Revit (Figura 83 à 86).

Figura 83 - Apoios metálicos

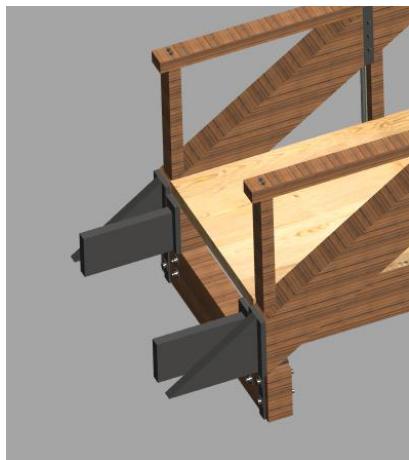


Figura 84 - Apoio metálico dos arcos.



Figura 85 - Apoio metálico das longarinas.

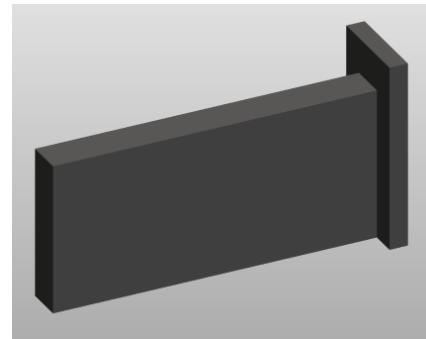


Figura 86 - Rótula metálica.



9 CONCLUSÕES

O projeto da passarela em arco permitiu o desenvolvimento de senso crítico como engenheiro, a liberdade criativa e a utilização de diversas ferramentas tecnológicas auxiliares (AutoCad, Revit, STRAP). Foi a partir da utilização do software de análise estrutural (STRAP) que se verificou a importância do conhecimento das vinculações entre as barras da estrutura, das características dos materiais e dos tipos de apoios utilizados no desenvolvimento do projeto. Foi necessário também estar a par da convenção de sinais e de eixos para uma correta análise dos dados obtidos pelo programa.

Por outro lado, a escolha do arco em tabuleiro inferior sustentado por tirantes resultou em um projeto de passarela com característica estética agradável, além de ter comprovado que o arco estaria submetido a tensões de compressão, com valores mais críticos nas bordas, ao passo que os tirantes estariam submetidos a tensões de tração.

Por fim, foi possível aperfeiçoar os conceitos aprendidos ao longo do curso, exigindo maior enfoque na área de estruturas. Verificou-se a complexidade envolvida na elaboração do projeto de engenharia, sendo necessário o conhecimento de diversos tipos de materiais, normas e manuais, uma vez que é comum o uso de diferentes tipos de materiais em um mesmo projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

ABRANTES, C. A. **Determinação da carga crítica de instabilidade lateral no regime linear elástico em vigas de madeira laminada colada (MLC)**. 2011. 219 f. Tese (parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

ATIR Engineering Software. **STRAP - Structural Analysis Programs**. Disponível em: <<http://www.atirsoft.com/>>. Acesso em: 08 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7188**: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT; 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT; 2008.

BLASS, H. J. et al. **Timber Engineering STEP 1**. Centrum Hout, The Netherlands, 1995. ISBN: 90-5645-001-8.

CALIL JR., C. et al. **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 2006. 252p. ISBN: 85-98156-19-1.

CIMAF. **Manual técnico de cabos.** São Paulo, 2009. 105p.

CRUZ, H. Estruturas de madeira lamelada colada em Portugal. **Instrumentos para garantia da qualidade**, Rpee, série II, n. 1, p. 45-56, Julho, 2007.

GLUED LAMINATED TIMBER ASSOCIATION. **Structural glued laminated timber –Design Essentials.** Chiltern House, Stocking Lane, Hughenden Valley, HighWycombe, Buckinghamshire, HP14 4ND, UK, 2010. 9p.

KLH UK. **Structural Pre-analysis tables.** Disponível em: < <http://www.klhuk.com/> >. Acesso em: 24 ago. 2016.

KLH UK. **Technical Information - Technical Characteristics.** Disponível em: < <http://www.klhuk.com/> >. Acesso em: 24 ago. 2016.

MLC. **Madeira laminada colada (MLC).** Disponível em: < <http://www.istoeengenharia.wordpress.com/> >. Acesso em: 09 out. 2016.

MYC. **MyTicon Timber Connectors white paper.** Disponível em: < <http://www.my-ti-con.com/> >. Acesso em: 01 out. 2016.

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de madeira.** 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.

ROAD TRANSPORT. **Examples of arch bridges.** Disponível em: < <http://www.visualdictionaryonline.com/> >. Acesso em: 24 ago. 2016.

SCALIANTE, R. M. **Pontes em vigas e tabuleiros em painéis de madeira laminada colada (MLC).** 2014. 212 f. Dissertação (parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada.** 2003. 81 f. Dissertação (parte dos requisitos para obtenção

do título de Mestre em Engenharia de Estruturas) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

WESTERN WOOD STRUCTURES. **Pedestrian timber bridges.** Disponível em: <<http://www.westernwoodstructures.com/>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

¹De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

APÊNDICE A RESULTADOS MÁXIMOS DO STRAP

*** For demonstration purposes only ***

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:1
Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
1	Máx Comb. Mín Comb.	230.751 7 -35032.715 2	192.362 6 -2714.154 2	5015.226 1 126.890 8	9960.828 2 -339.400 4	-48126.828 10 -776434.938 1	13040.373 6 -216390.375 2
2	Máx Comb. Mín Comb.	183.812 7 -13579.841 2	1582.748 2 0.193 8	5990.095 1 699.377 8	-10.170 8 -4122.285 2	-19524.428 10 -810434.688 1	110061.688 2 8.072 8
3	Máx Comb. Mín Comb.	2243.437 2 27.012 8	1274.228 2 1.362 8	7333.000 1 1060.798 8	-9.492 8 -9323.430 2	59871.895 9 -682327.875 1	73595.281 2 -1223.600 6
4	Máx Comb. Mín Comb.	13095.427 2 -156.726 7	985.829 2 -134.171 2	7860.697 1 1191.212 8	15.439 7 -9759.426 2	451140.031 1 -299236.844 1	41079.547 2 -8211.886 2
5	Máx Comb. Mín Comb.	19009.400 2 -304.204 7	695.323 2 -424.677 2	8093.007 1 1223.624 8	11.461 7 -4974.737 2	976502.813 1 -7232.109 10	10201.229 2 -24564.914 2
6	Máx Comb. Mín Comb.	20115.592 2 -300.759 7	405.372 2 -714.628 2	2293.247 1 -608.844 7	4976.565 2 -8.624 7	993255.625 1 209935.172 10	-2.525 8 -39009.465 2
7	Máx Comb. Mín Comb.	16450.197 2 -145.459 7	111.252 2 -1008.748 2	2474.686 1 -566.294 7	9691.318 2 -29.405 7	497342.125 1 50925.398 10	1.646 7 -51880.723 2
8	Máx Comb. Mín Comb.	7862.882 2 35.860 8	-1.778 8 -1303.028 2	2899.454 1 -398.368 7	9222.987 2 -11.213 7	134649.156 10 -175361.375 1	2227.881 2 -72074.961 2
9	Máx Comb. Mín Comb.	190.351 7 -5735.295 2	-1.320 8 -1596.328 2	4074.395 1 52.384 8	4039.669 2 3.724 8	64657.605 10 -559276.375 1	7767.401 2 -95865.422 2
10	Máx Comb. Mín Comb.	221.013 7 -24313.680 2	0.369 7 -1686.746 2	4919.385 1 622.157 8	366.327 4 -9930.079 2	-1941.495 10 -734450.125 1	2252.940 3 -113260.344 2
11	Máx Comb. Mín Comb.	36728.414 2 171.226 8	91.641 6 -2073.923 2	4509.485 1 126.779 8	6029.954 2 -2478.696 6	-122600.359 8 -913277.188 1	11029.858 6 -216891.688 2
12	Máx Comb. Mín Comb.	14639.191 2 137.390 8	1214.204 2 -0.377 7	6491.708 1 700.390 8	8.237 7 -9954.659 3	-119455.664 8 -1049216.62 1	100789.344 2 -44.870 7

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:2
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
13	Máx Comb. Mín Comb.	31.068 7 -1929.586 2	896.909 2 -2.060 7	8155.066 1 1058.580 8	4.869 7 -14309.784 2	-14746.726 4 -841116.688 1	63829.176 2 -203.923 7
14	Máx Comb. Mín Comb.	-121.560 8 -13636.281 2	599.320 2 -2.485 7	8771.606 1 1187.737 8	12.140 7 -14605.090 2	518083.750 1 -323384.031 1	30417.533 2 -3588.450 2
15	Máx Comb. Mín Comb.	-234.068 8 -20223.133 2	308.844 2 -209.675 2	8957.862 1 1222.236 8	7.194 7 -9832.782 2	1197909.125 1 96041.320 8	-0.123 8 -15905.714 2
16	Máx Comb. Mín Comb.	-227.090 8 -21425.594 2	26.819 5 -493.584 2	1406.546 1 -630.463 2	237.733 5 -1964.856 3	1213903.250 1 245744.891 8	4.399 7 -30084.211 2
17	Máx Comb. Mín Comb.	-105.314 8 -17260.949 2	1.848 7 -782.082 2	1562.457 1 -595.127 2	4682.635 2 -169.247 6	562864.875 1 95595.094 8	192.233 7 -55816.293 2
18	Máx Comb. Mín Comb.	51.652 7 -7995.794 2	2.526 7 -1073.982 2	2103.753 1 -395.137 7	4173.078 2 -210.213 6	47656.074 9 -170772.469 1	706.417 3 -81322.391 2
19	Máx Comb. Mín Comb.	6173.409 2 146.618 8	2.017 7 -1363.688 2	3604.460 1 53.197 8	160.215 5 -1052.508 3	-118859.563 8 -695403.000 1	5317.879 2 -105124.914 2
20	Máx Comb. Mín Comb.	25043.072 2 169.117 8	-0.366 8 -1327.237 2	5408.014 1 621.636 8	-236.638 8 -9721.122 2	-122558.133 8 -968675.938 1	1358.469 6 -123276.508 2
21	Máx Comb. Mín Comb.	7930.368 2 -0.844 7	-31.870 8 -7501.081 2	12108.372 2 369.851 8	7.496 7 -7138.954 2	446474.313 1 -1128696.50 2	1680.761 4 -793514.250 2
22	Máx Comb. Mín Comb.	5.253 7 -1428.736 3	2.275 7 -2030.068 2	10963.719 1 742.932 8	1467.637 3 4.303 8	870933.250 1 -516493.375 3	1921.846 2 -223415.766 2
23	Máx Comb. Mín Comb.	0.833 7 -2011.930 2	8.667 7 -1502.736 2	11103.597 1 745.448 8	8371.604 2 -0.585 7	855814.688 1 -567588.188 3	378.106 7 -167645.563 2
24	Máx Comb. Mín Comb.	-2.113 8 -2066.425 2	11.156 7 -984.778 2	11070.478 1 746.674 8	11720.655 2 -9.078 7	856032.250 1 -556393.000 3	496.426 7 -110377.867 2

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:3
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
25	Máx Comb. Mín Comb.	-0.860 8 -2054.689 2	8.020 7 -474.674 2	11012.888 1 744.960 8	9089.856 2 -13.135 7	857564.688 1 -544295.563 3	356.081 7 -53717.039 2
26	Máx Comb. Mín Comb.	-1.301 8 -2047.484 2	21.307 3 0.228 8	10958.072 1 745.143 8	45.832 2 -7.130 7	857790.750 1 -535831.250 3	2241.728 3 -206.380 2
27	Máx Comb. Mín Comb.	-1.674 8 -2054.743 2	514.111 2 -7.577 7	11012.991 1 745.356 8	5.993 7 -8989.910 2	857785.125 1 -543930.313 3	57835.355 2 -317.822 7
28	Máx Comb. Mín Comb.	-1.339 8 -2064.316 2	1017.423 2 -11.048 7	11067.607 1 746.160 8	14.236 7 -11618.212 2	855692.313 1 -556467.500 3	114163.516 2 -487.150 7
29	Máx Comb. Mín Comb.	-0.275 8 -2042.457 2	1531.798 2 -9.045 7	11125.648 1 745.748 8	8.332 7 -8342.070 2	854053.875 1 -571977.875 3	171031.125 2 -413.301 7
30	Máx Comb. Mín Comb.	3.109 7 -1492.430 3	2038.579 2 -2.919 7	11035.288 1 745.195 8	-3.494 8 -1587.708 3	864174.250 1 -531630.438 3	226364.938 2 -158.616 7
31	Máx Comb. Mín Comb.	7940.477 2 -1.867 7	7048.964 2 31.496 8	12105.682 2 370.795 8	6909.832 2 -11.017 7	450462.375 1 -1120832.25 2	782389.063 2 -2225.125 1
32	Máx Comb. Mín Comb.	224.500 7 -23960.805 2	1667.216 2 -0.234 7	-619.033 8 -5124.040 1	9935.190 2 -357.929 7	-48333.535 10 -778595.313 1	1942.703 3 -110546.359 2
33	Máx Comb. Mín Comb.	0.844 7 -7930.368 2	49.436 7 -7491.347 2	7150.519 2 -2399.572 4	8.458 7 -7136.438 2	913196.250 2 -6822.378 7	787324.438 2 -4575.994 7
34	Máx Comb. Mín Comb.	25360.865 2 170.091 8	1379.272 2 0.352 8	-618.397 8 -5652.066 1	6039.773 2 -2465.704 6	-122516.188 8 -1017436.75 1	1879.187 6 -126032.008 2
35	Máx Comb. Mín Comb.	184211.344 1 42369.344 8	6718.616 2 20.348 8	-1346.693 8 -10995.652 1	39.266 7 -1970.245 2	934295.625 1 -1769036.25 1	1372162.375 2 -153388.969 2
36	Máx Comb. Mín Comb.	168451.922 1 38873.191 8	4134.183 2 20.338 8	2985.330 1 -357.115 7	26850.045 2 -228.064 7	-293228.156 8 -1769083.75 1	1391.543 7 -1123906.00 2

*** For demonstration purposes only ***

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:4
Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
37	Máx Comb. Mín Comb.	139122.188 1 33262.965 8	1.009 7 -1598.031 2	5972.579 1 224.668 8	-82.387 8 -27684.781 2	-70714.055 8 -1316486.50 1	-1118.997 8 -442766.750 2
38	Máx Comb. Mín Comb.	130861.984 1 31749.498 8	0.700 7 -1851.601 2	3751.610 2 866.570 8	171.697 7 -11875.296 2	77554.320 7 -289265.250 2	89107.523 2 -100886.969 2
39	Máx Comb. Mín Comb.	125141.508 1 31160.035 8	209.817 2 -2.163 7	710.317 7 -2653.241 1	46.053 7 -20346.682 2	321885.719 1 0.000 1	42081.184 2 -433.858 7
40	Máx Comb. Mín Comb.	124866.289 1 31162.305 8	2.885 7 -171.533 2	2968.035 1 -704.573 7	19562.148 2 -32.778 7	385021.344 1 0.000 1	34402.953 2 -578.677 7
41	Máx Comb. Mín Comb.	128451.039 1 31859.652 8	3.636 7 -398.487 2	625.877 7 -2681.894 1	14200.480 2 21.928 8	384816.094 1 52890.820 8	77847.375 2 -900.364 7
42	Máx Comb. Mín Comb.	138400.031 1 33260.512 8	1783.703 2 -0.564 7	-223.946 8 -5841.489 1	27668.959 2 62.654 8	-21931.012 10 -1176257.87 1	-1125.536 8 -477725.906 2
43	Máx Comb. Mín Comb.	167007.234 1 38869.570 8	-20.359 8 -4229.437 2	354.256 7 -3177.711 1	224.626 7 -25149.711 2	-291881.219 8 -1674092.75 1	1369.871 7 -1127867.87 2
44	Máx Comb. Mín Comb.	182767.375 1 42365.359 8	-20.618 8 -6588.471 2	10606.079 1 1342.750 8	646.504 9 -37.233 7	923390.938 1 -1674069.87 1	1354226.875 2 -135007.703 2
45	Máx Comb. Mín Comb.	150236.766 1 42382.609 8	6943.621 2 -35.000 7	-1346.575 8 -8640.891 1	54.036 7 -4407.392 2	780711.313 1 -1282679.87 1	1369203.000 2 -186952.703 2
46	Máx Comb. Mín Comb.	136695.875 1 38893.012 8	4493.999 2 -33.950 7	2201.730 1 -922.476 2	30383.623 2 31.568 8	-294005.125 8 -1282831.37 1	6610.688 7 -994066.313 2
47	Máx Comb. Mín Comb.	120724.867 1 33254.918 8	1.667 7 -2440.390 2	4782.452 1 225.712 8	157.863 7 -27807.395 2	-71263.813 8 -1007992.37 1	2178.893 7 -407154.656 2
48	Máx Comb. Mín Comb.	113557.766 1 31733.924 8	0.831 7 -3394.501 2	2598.851 1 -66.770 10	-110.601 8 -13393.988 2	77355.578 7 -202072.031 1	208680.188 2 -92462.844 2

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:5
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
49	Máx Comb. Mín Comb.	114449.195 1 31146.781 8	899.614 2 -897.420 2	1012.706 2 -2125.940 1	4.706 7 -18176.320 2	216129.266 1 -5868.409 5	3990.309 3 -44941.992 2
50	Máx Comb. Mín Comb.	114105.500 1 31149.842 8	859.462 2 -937.570 2	2444.739 1 -702.744 7	18518.354 2 -8.672 7	280068.156 1 0.000 1	7832.764 2 -41135.613 2
51	Máx Comb. Mín Comb.	117271.211 1 31842.658 8	-1.092 8 -1892.959 2	621.682 7 -2180.954 1	17167.984 2 -27.203 7	280260.250 1 30179.252 10	157539.656 2 316.814 8
52	Máx Comb. Mín Comb.	119867.836 1 33261.117 8	2295.544 2 -1.702 7	-86.424 5 -4675.801 1	27677.939 2 -155.165 7	52127.445 10 -873541.563 1	2251.063 7 -381777.094 2
53	Máx Comb. Mín Comb.	135010.016 1 38892.305 8	34.318 7 -4537.226 2	550.321 2 -2398.080 1	-151.253 8 -30340.133 2	-177652.609 5 -1194552.12 1	6743.930 7 -1007064.00 2
54	Máx Comb. Mín Comb.	148516.500 1 42388.402 8	34.645 7 -6988.123 2	8276.132 1 892.851 5	5316.719 2 56.004 8	769718.313 1 -1194544.37 1	1378536.250 2 -189713.000 2
55	Máx Comb. Mín Comb.	-3023.546 8 -10943.437 1	749.876 2 -751.288 2	792.236 7 -1139.884 2	1.094 10 -0.282 7	54359.086 2 -36583.730 2	41574.676 2 -160.978 2
56	Máx Comb. Mín Comb.	-1654.203 5 -5950.555 1	4358.570 2 -4.226 7	4851.941 2 -795.815 7	6.346 7 -6082.060 2	438891.188 2 -462331.375 2	491956.750 2 -475645.875 2
57	Máx Comb. Mín Comb.	-1789.213 8 -6192.567 1	3.741 7 -5499.393 2	4834.594 2 -795.861 7	6087.160 2 -1.380 7	422742.094 2 -474629.344 2	441155.500 2 -520094.813 2
58	Máx Comb. Mín Comb.	6469.858 2 150.029 8	1422.374 2 -1.913 7	-45.921 8 -3671.949 1	8.237 7 -9954.659 3	-119455.523 8 -761310.250 1	5367.106 2 -109450.797 2
59	Máx Comb. Mín Comb.	198.667 7 -5485.008 2	1588.955 2 1.345 8	-45.941 8 -4151.623 1	-10.539 8 -4127.300 2	-20092.854 10 -620500.563 1	7874.180 2 -94083.359 2
60	Máx Comb. Mín Comb.	8078.856 2 46.500 8	1302.988 2 1.761 8	407.956 7 -2816.021 1	21.719 7 -9319.023 2	59796.367 9 -226898.141 1	2241.993 2 -71690.859 2

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:6
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
61	Máx Comb. Mín Comb.	57.370 7 -7728.774 2	1133.952 2 -2.326 7	451.632 5 -2003.119 1	4.869 7 -14309.784 2	-14746.573 4 -223329.000 1	652.558 3 -86432.406 2
62	Máx Comb. Mín Comb.	16611.199 2 -132.603 7	1009.535 2 -110.465 2	578.029 7 -2296.140 1	11.925 7 -9776.283 2	451106.125 1 12422.044 10	-0.763 8 -51920.211 2
63	Máx Comb. Mín Comb.	-102.274 8 -17082.672 2	839.615 2 -1.811 7	918.534 2 -1378.595 1	12.140 7 -14605.090 2	518083.938 1 95334.164 8	179.590 7 -61260.676 2
64	Máx Comb. Mín Comb.	20182.578 2 -294.868 7	714.019 2 -405.980 2	620.277 7 -2073.456 1	12.223 7 -4972.223 2	976880.875 1 218142.734 10	-0.724 8 -38968.430 2
65	Máx Comb. Mín Comb.	-226.201 8 -21363.256 2	549.198 2 -0.096 7	1030.871 2 -1184.150 1	7.194 7 -9832.782 2	1197909.375 1 245721.094 8	9.228 7 -34656.582 2
66	Máx Comb. Mín Comb.	18949.502 2 -312.259 7	424.633 2 -695.367 2	-1215.367 8 -7873.316 1	4981.584 2 4.173 8	993294.438 1 50325.504 10	8810.117 2 -24546.674 2
67	Máx Comb. Mín Comb.	-235.168 8 -20295.301 2	266.444 2 -245.529 2	-1213.576 8 -8735.921 1	237.733 5 -1964.856 3	1213903.375 1 100445.953 8	4.394 7 -18725.992 2
108	Máx Comb. Mín Comb.	-4329.059 8 -23983.734 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
109	Máx Comb. Mín Comb.	-4085.576 8 -23686.598 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
110	Máx Comb. Mín Comb.	-3841.829 8 -22469.576 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
111	Máx Comb. Mín Comb.	-3716.860 8 -21811.844 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
112	Máx Comb. Mín Comb.	-1927.357 8 -13694.162 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:7
Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)						
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3
113	Máx Comb. Mín Comb.	-3717.397 8 -21762.623 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
114	Máx Comb. Mín Comb.	-3842.986 8 -22368.684 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
115	Máx Comb. Mín Comb.	-4087.354 8 -23517.961 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
116	Máx Comb. Mín Comb.	-4329.736 8 -23884.688 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
117	Máx Comb. Mín Comb.	-4328.426 8 -20107.738 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
118	Máx Comb. Mín Comb.	-4085.978 8 -20277.059 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
119	Máx Comb. Mín Comb.	-3840.965 8 -19427.184 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
120	Máx Comb. Mín Comb.	-3715.075 8 -19086.309 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
121	Máx Comb. Mín Comb.	-1923.098 8 -12889.674 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
122	Máx Comb. Mín Comb.	-3716.705 8 -19042.293 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
123	Máx Comb. Mín Comb.	-3841.617 8 -19325.662 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1
124	Máx Comb. Mín Comb.	-4087.913 8 -20081.721 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1

*** For demonstration purposes only ***

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:8
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
125	Máx Comb. Mín Comb.	-4330.242 8 -19935.250 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	0.000 1 0.000 1	
126	Máx Comb. Mín Comb.	12935.905 2 -170.002 7	133.718 2 -986.282 2	-1181.268 8 -7683.080 1	9712.421 2 3.129 8	496506.406 1 -222155.750 1	39158.547 2 -8176.405 2
127	Máx Comb. Mín Comb.	2011.276 2 16.573 8	-1.463 8 -1278.352 2	-1052.712 8 -7250.612 1	9243.635 2 -15.476 7	134692.766 10 -597216.875 1	71435.078 2 -1211.840 6
128	Máx Comb. Mín Comb.	24.922 7 -2243.121 2	1.910 7 -826.010 2	-1050.324 8 -8054.609 1	4173.078 2 -210.213 6	47656.074 9 -751161.625 1	55444.461 2 -186.144 7
129	Máx Comb. Mín Comb.	177.679 7 -13893.033 2	-0.308 8 -1584.926 2	-693.751 8 -6068.834 1	4044.496 2 10.323 8	64779.477 10 -747765.125 1	107117.039 2 -10.154 7
130	Máx Comb. Mín Comb.	14282.130 2 135.298 8	0.427 7 -1144.312 2	-693.190 8 -6559.842 1	160.215 5 -1052.508 3	-118859.406 8 -979234.438 1	91789.820 2 -45.323 7
131	Máx Comb. Mín Comb.	226.463 7 -35542.672 2	2688.528 2 -189.757 6	-122.915 8 -5235.059 1	366.327 4 -9930.079 2	-1941.495 10 -766017.563 1	12937.663 6 -213522.953 2
132	Máx Comb. Mín Comb.	36327.766 2 169.546 8	2061.909 2 -91.987 6	-125.524 8 -4772.642 1	-236.638 8 -9721.122 2	-122558.133 8 -905138.750 1	10526.772 6 -216398.141 2
133	Máx Comb. Mín Comb.	-124.554 8 -13836.331 2	2.512 7 -533.076 2	-1178.539 8 -8588.310 1	4682.635 2 -169.247 6	562865.063 1 -244509.469 1	23073.777 2 -3569.029 2
134	Máx Comb. Mín Comb.	3.611 7 -784.620 2	-1.861 8 -1979.038 2	-742.510 8 -8192.537 1	1467.637 3 4.303 8	870778.250 1 -593.243 7	221596.844 2 -179.640 4
135	Máx Comb. Mín Comb.	0.471 7 -647.044 3	-6.644 8 -1652.050 2	-746.345 8 -8102.793 1	8371.604 2 -0.585 7	855836.500 1 132.238 8	169105.375 2 -1746.787 1
136	Máx Comb. Mín Comb.	-0.671 8 -642.716 3	-8.401 8 -1034.214 2	-746.424 8 -8140.877 1	11720.655 2 -9.078 7	855929.438 1 -32.262 6	113749.648 2 -2147.065 1

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:9
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
137	Máx Comb. Mín Comb.	-0.203 8 -636.948 3	-6.042 8 -522.428 2	-746.472 8 -8194.243 1	9089.856 2 -13.135 7	858172.875 1 -6718.027 2	56972.547 2 -1651.885 1
138	Máx Comb. Mín Comb.	-0.975 8 -643.605 3	0.028 7 -3.072 2	-744.737 8 -8243.386 1	45.832 2 -7.130 7	858255.625 1 -16427.963 2	139.494 2 -201.480 2
139	Máx Comb. Mín Comb.	-1.519 8 -640.282 3	519.292 2 6.019 8	-747.122 8 -8198.791 1	5.993 7 -8989.910 2	858375.313 1 -6947.452 2	1510.651 1 -56883.090 2
140	Máx Comb. Mín Comb.	-1.228 8 -643.043 3	1036.425 2 8.321 8	-746.844 8 -8143.397 1	14.236 7 -11618.212 2	856173.000 1 -22.259 6	2221.227 1 -113829.789 2
141	Máx Comb. Mín Comb.	-0.659 8 -654.669 3	1543.883 2 6.662 8	-745.802 8 -8086.007 1	8.332 7 -8342.070 2	853872.000 1 47.118 8	1835.719 1 -170385.703 2
142	Máx Comb. Mín Comb.	4.193 7 -821.994 2	2017.386 2 1.804 8	-742.268 8 -8130.923 1	-3.494 8 -1587.708 3	864035.438 1 -563.415 7	539.522 1 -223857.594 2
143	Máx Comb. Mín Comb.	1.867 7 -7940.477 2	7174.555 2 -49.327 7	7150.392 2 -2396.376 4	6906.468 2 -13.861 7	920562.063 2 -6363.622 7	4579.628 7 -796361.813 2
144	Máx Comb. Mín Comb.	305.672 7 -37.245 10	1932.926 3 -1.513 7	123.847 1 -114.673 2	3585.114 3 -18.804 7	-1500.297 8 -16638.447 1	245321.891 3 -186.434 7
145	Máx Comb. Mín Comb.	-29.520 8 -285.158 2	1588.584 3 -1871.460 3	102.239 7 -236.684 2	0.000 1 0.000 1	3484.962 7 -17511.479 2	30508.271 2 -75831.148 3
146	Máx Comb. Mín Comb.	93.225 4 -235.264 2	1640.673 3 -2018.071 3	349.467 1 -86.732 7	4.714 7 -880.333 2	10438.726 9 -29684.168 1	61103.402 3 -54887.426 3
147	Máx Comb. Mín Comb.	912.102 1 213.771 5	1766.002 3 -1892.742 3	516.692 1 -42.690 7	0.610 7 -502.144 2	29798.787 1 -43587.668 1	67256.320 3 -30198.410 3
148	Máx Comb. Mín Comb.	2089.892 1 486.923 8	1821.579 3 -1837.164 3	537.652 1 -38.270 7	-0.073 8 -424.490 2	35545.363 1 -42033.125 1	67692.367 3 -27028.725 3

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:10
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)						
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3
149	Máx Comb. Mín Comb.	3042.564 1 693.933 8	1814.328 3 -1844.416 3	397.959 1 -81.400 7	0.294 7 -188.618 2	26628.178 1 -23011.668 1
150	Máx Comb. Mín Comb.	3105.986 1 697.099 8	1774.106 3 -1884.638 3	83.920 7 -357.819 1	187.189 2 0.008 8	22765.209 1 -18846.627 1
151	Máx Comb. Mín Comb.	2254.108 1 493.631 8	1763.177 3 -1895.568 3	38.846 7 -513.042 1	406.808 2 -0.145 7	33483.527 1 -39172.789 1
152	Máx Comb. Mín Comb.	1122.082 1 230.643 8	1815.634 3 -1843.110 3	42.237 7 -511.343 1	390.773 2 -0.298 7	29793.469 1 -42523.156 1
153	Máx Comb. Mín Comb.	212.789 1 25.524 8	1973.018 3 -1685.726 3	84.170 7 -373.035 1	754.817 2 -4.723 7	12883.769 1 -31771.188 1
154	Máx Comb. Mín Comb.	-28.848 8 -107.326 1	1821.754 3 -1641.783 3	216.261 1 -105.512 7	0.000 1 0.000 1	3712.563 7 -13135.022 1
155	Máx Comb. Mín Comb.	181.731 7 -19.258 9	1.255 7 -1641.867 3	-28.848 8 -107.326 1	19.025 7 -3746.746 3	0.000 1 -5473.637 1
156	Máx Comb. Mín Comb.	25310.176 2 118.064 8	0.943 7 -2914.777 3	-1626.364 8 -6446.874 1	506487.313 3 476.301 8	-213666.438 8 -1048712.50 1
157	Máx Comb. Mín Comb.	5876.968 2 -67.259 7	-1.279 8 -3554.802 3	-1004.065 8 -4359.368 1	555235.813 3 -70.471 7	-165222.938 8 -835585.688 1
158	Máx Comb. Mín Comb.	-220.097 8 -8605.397 2	-4.570 8 -3723.248 3	-496.916 5 -2541.925 1	543892.313 3 -67.233 7	-49506.996 8 -316481.750 1
159	Máx Comb. Mín Comb.	-309.663 8 -17833.602 2	-1.394 8 -3882.044 3	-56.406 5 -1753.468 1	535458.813 3 14.060 8	346090.188 1 95952.164 8
160	Máx Comb. Mín Comb.	-228.118 8 -21469.303 2	-0.303 8 -4068.521 3	175.153 5 -1251.563 1	534011.188 3 50.629 8	1112108.250 1 265303.875 8

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:11
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
161	Máx Comb. Mín Comb.	-31.996 8 -19726.955 2	1.546 7 -4314.857 3	-2103.077 8 -9101.144 1	545292.813 3 21.865 8	455932.125 1 111566.125 8	2074.161 2 -9780.069 3
162	Máx Comb. Mín Comb.	180.789 7 -13048.188 2	1.958 7 -4623.008 2	-2107.204 8 -9113.628 1	557320.813 3 -70.022 7	-26446.422 8 -176855.969 1	32869.293 2 -241.734 7
163	Máx Comb. Mín Comb.	289.271 7 -1614.683 2	2.274 7 -4981.817 2	-2014.309 8 -8723.073 1	570865.563 3 -73.939 7	-147641.328 8 -700497.000 1	65992.617 2 -186.140 7
164	Máx Comb. Mín Comb.	652.466 1 137.562 10	-1.708 8 -3512.627 3	-22.272 5 -238.773 1	1578.923 3 -8.233 7	14109.308 1 214.186 8	179953.844 3 -5.582 7
165	Máx Comb. Mín Comb.	542.484 1 115.109 10	0.766 7 -3783.085 3	-201.759 8 -882.504 1	735.942 2 -1.932 7	53832.082 1 2032.316 8	192454.344 3 -482.972 3
166	Máx Comb. Mín Comb.	407.419 2 16.510 9	0.416 7 -3714.546 3	-263.056 8 -1177.791 1	577.616 2 -0.337 7	71815.188 1 2611.431 8	189417.344 3 -91.707 2
167	Máx Comb. Mín Comb.	332.485 7 -96.563 9	0.039 7 -3652.212 3	-207.049 8 -952.858 1	414.307 2 -0.669 7	58557.012 1 2161.670 8	186105.297 3 -252.254 2
168	Máx Comb. Mín Comb.	241.416 7 -322.059 9	-0.003 8 -3617.081 3	-2.977 8 -109.755 2	1.356 2 -0.574 4	6652.996 2 27.237 8	184201.672 3 -403.663 2
169	Máx Comb. Mín Comb.	330.274 7 -110.155 9	-0.011 8 -3648.037 3	852.167 1 203.688 8	0.492 7 -410.237 2	-2111.712 8 -52350.590 1	185926.688 3 -213.806 2
170	Máx Comb. Mín Comb.	378.652 7 -3.127 10	0.396 7 -3711.717 3	1132.180 1 263.122 8	0.500 7 -537.661 2	-2600.296 8 -68970.875 1	189336.313 3 -21.128 7
171	Máx Comb. Mín Comb.	513.663 1 78.442 10	0.538 7 -3816.448 3	909.234 1 205.062 8	1.567 7 -580.543 2	-2059.557 8 -55417.652 1	194156.531 3 -482.339 3
172	Máx Comb. Mín Comb.	665.390 1 146.990 10	-1.608 8 -3507.654 3	320.115 1 54.372 8	8.417 7 -1506.037 3	-176.564 8 -18642.182 1	179616.453 3 -14.112 7

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:12
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
173	Máx Comb. Mín Comb.	-30.589 8 -132.019 1	1.553 7 -52.189 2	106.832 2 -202.511 1	0.746 3 0.215 9	3827.938 2 -10717.866 1	9406.052 2 -927.329 2
174	Máx Comb. Mín Comb.	134.449 1 -19.763 5	26.896 2 -0.844 7	327.635 1 -86.761 7	-3.668 8 -138.757 3	9520.013 9 -26251.391 1	9493.296 2 -244.148 7
175	Máx Comb. Mín Comb.	891.126 1 217.918 5	39.919 2 -0.264 7	449.905 1 -42.624 7	0.184 7 -461.015 2	23599.557 1 -36429.355 1	4609.652 2 -3374.145 2
176	Máx Comb. Mín Comb.	1853.699 1 486.647 8	37.382 2 -0.020 7	462.324 1 -37.961 7	1.126 7 -494.947 2	27475.000 1 -35037.734 1	6.617 7 -10206.924 2
177	Máx Comb. Mín Comb.	2623.298 1 693.531 8	23.406 2 0.013 8	348.749 1 -81.185 7	0.934 7 -213.999 2	19961.887 1 -19835.984 1	8.953 7 -14434.353 2
178	Máx Comb. Mín Comb.	2681.754 1 697.226 8	-0.025 8 -22.905 2	98.716 2 -312.098 1	202.680 2 -0.061 7	16456.490 1 -16011.087 1	27.344 7 -14415.323 2
179	Máx Comb. Mín Comb.	2005.487 1 494.033 8	0.059 7 -37.017 2	39.228 5 -440.013 1	486.858 2 -1.400 7	25612.848 1 -32437.820 1	24.264 7 -10297.440 2
180	Máx Comb. Mín Comb.	1080.256 1 230.458 8	0.462 7 -39.404 2	41.977 7 -446.797 1	461.765 2 -1.184 7	23785.629 1 -35621.707 1	4328.827 2 -3552.006 2
181	Máx Comb. Mín Comb.	296.850 1 25.134 8	0.803 7 -28.436 2	84.196 7 -351.360 1	144.711 3 3.645 8	11936.025 1 -28384.063 1	9503.579 2 -247.423 7
182	Máx Comb. Mín Comb.	27.966 2 -55.748 4	51.236 2 -1.300 7	196.884 7 -132.929 2	0.525 3 -0.388 9	5877.917 2 -9253.203 7	9394.202 2 -955.443 2
183	Máx Comb. Mín Comb.	157.243 7 -24079.135 2	623.642 3 2.000 8	-1626.177 8 -5873.080 1	20774.840 2 -555.227 7	-213643.875 8 -810673.250 1	-51.824 8 -111582.828 2
184	Máx Comb. Mín Comb.	-49.539 8 -5847.289 2	540.315 3 0.856 8	-1002.062 8 -4788.605 1	44.167 7 -2195.668 3	-165801.031 8 -686577.750 1	-139.362 8 -95493.531 2

*** For demonstration purposes only ***

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:13
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
185	Máx Comb. Mín Comb.	7593.995 2 -281.433 7	323.559 3 1.736 8	-610.986 8 -3340.781 1	73.256 7 -9681.365 2	-49994.855 8 -305894.063 1	-176.735 8 -72703.055 2
186	Máx Comb. Mín Comb.	16191.891 2 -403.083 7	111.152 6 -96.183 2	-442.953 8 -2694.287 1	-20.013 8 -11998.579 2	202772.938 1 -15229.123 10	-126.157 8 -47080.563 2
187	Máx Comb. Mín Comb.	20082.371 2 -300.040 7	12.461 6 -359.686 2	-340.591 8 -2224.383 1	-44.646 8 -11687.380 2	803619.375 1 209777.656 10	-0.192 8 -19778.230 3
188	Máx Comb. Mín Comb.	19203.619 2 -47.591 7	-1.180 8 -681.210 2	-2101.835 8 -8258.250 1	2758.670 2 -8.245 7	306653.844 1 58417.789 10	10616.383 2 -458.586 6
189	Máx Comb. Mín Comb.	13344.182 2 132.649 8	-1.798 8 -983.451 2	-2105.022 8 -8189.025 1	9208.242 2 -24.626 7	-14756.166 5 -168791.922 1	41758.129 2 187.301 8
190	Máx Comb. Mín Comb.	2416.830 2 221.307 8	-1.428 8 -1289.147 2	-2006.165 8 -7857.335 1	11148.057 2 105.801 8	-107318.625 5 -554231.313 1	74515.039 2 140.933 8
191	Máx Comb. Mín Comb.	733.828 1 68.321 10	2.267 7 -79.137 2	-50.870 8 -266.090 1	172.526 3 6.921 8	15500.603 1 -20687.645 1	10841.889 2 -300.623 7
192	Máx Comb. Mín Comb.	622.412 1 49.106 10	-0.403 8 -12.923 2	-202.069 8 -752.652 1	496.484 2 0.993 8	45815.605 1 -56545.043 1	2094.009 2 -19.841 7
193	Máx Comb. Mín Comb.	514.804 2 7.781 9	2.708 2 -1.267 4	-263.325 8 -963.946 1	638.314 2 -0.706 7	58665.281 1 -72431.344 1	184.130 4 -315.254 2
194	Máx Comb. Mín Comb.	456.882 7 -70.342 9	13.907 2 0.115 8	-207.606 8 -771.036 1	455.827 2 -0.610 7	47300.051 1 -57560.859 1	13.526 7 -2151.086 2
195	Máx Comb. Mín Comb.	365.922 7 -227.027 9	46.124 2 0.021 8	-3.234 8 -98.927 2	6.173 2 -0.564 7	6015.543 2 -7438.494 2	-6.789 8 -6689.854 2
196	Máx Comb. Mín Comb.	455.012 7 -82.310 9	14.070 2 0.163 8	679.487 1 160.825 5	0.290 7 -444.869 2	50748.305 1 -41661.953 1	1.284 7 -2205.070 2

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:14
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
197	Máx Comb. Mín Comb.	503.392 7 -15.194 10	2.701 2 -1.306 4	924.834 1 263.476 8	1.026 7 -633.685 2	69573.086 1 -56204.387 1	196.200 4 -317.818 2
198	Máx Comb. Mín Comb.	595.161 1 14.958 10	-0.242 8 -11.304 2	782.293 1 205.145 8	-0.472 8 -503.354 2	58828.602 1 -47563.234 1	1914.047 2 12.815 8
199	Máx Comb. Mín Comb.	747.765 1 78.900 10	2.103 7 -79.672 2	345.605 1 54.269 8	-6.713 8 -180.069 3	27060.525 1 -19941.801 1	10959.134 2 -285.418 7
200	Máx Comb. Mín Comb.	310.711 2 -7.158 9	1.755 7 -52.091 2	129.199 1 -270.753 2	20.326 7 -941.346 2	1717.853 10 -9304.172 1	238.744 7 -7084.414 2
201	Máx Comb. Mín Comb.	335.584 2 4.647 9	1.477 7 -51.254 2	27.338 2 -57.109 4	929.804 2 -21.621 7	7766.806 4 -3717.980 2	200.930 7 -6970.481 2
204	Máx Comb. Mín Comb.	128787.594 1 31857.320 8	432.690 2 -4.900 7	3000.681 1 -620.520 7	-2.253 8 -13743.602 2	321856.344 1 -22764.379 10	89192.953 2 -830.105 7
205	Máx Comb. Mín Comb.	130196.391 1 31745.283 8	2039.725 2 -0.564 7	-862.930 8 -3558.073 1	12645.641 2 -170.114 7	226131.328 2 -142192.688 1	113253.109 2 -96044.945 2
219	Máx Comb. Mín Comb.	248.053 7 -13636.396 2	0.633 7 -1664.981 2	-1703.295 8 -6829.208 1	15044.291 2 -312.696 7	-151228.656 5 -734311.750 1	110551.836 2 27.803 8
220	Máx Comb. Mín Comb.	14478.686 2 191.607 8	-1.835 8 -4979.921 2	-1703.547 8 -7363.881 1	527925.938 3 180.724 8	-208798.359 8 -969427.000 1	103162.000 2 -62.801 7
254	Máx Comb. Mín Comb.	117688.188 1 31842.668 8	1854.817 2 1.704 8	2474.236 1 -617.704 7	74.128 7 -17939.020 2	215803.578 1 -98735.914 10	146142.000 2 328.148 8
255	Máx Comb. Mín Comb.	112758.070 1 31743.098 8	3248.087 2 -1.984 7	286.683 10 -2436.652 1	12296.174 2 83.530 8	107931.000 2 -100995.695 4	187986.906 2 -98132.391 2
256	Máx Comb. Mín Comb.	-3328.559 8 -11977.272 1	1184.818 2 -820.531 2	791.753 7 -826.914 2	9389.520 2 -12.277 7	43536.664 7 -9498.932 2	31986.248 2 -61722.793 2

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:15
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
257	Máx Comb. Mín Comb.	-3324.204 8 -11818.784 1	0.982 7 -292.548 2	791.499 7 -831.692 2	10.063 7 -9309.933 2	46232.121 2 -2105.216 2	30547.252 2 -34398.445 2
258	Máx Comb. Mín Comb.	8585.428 1 -147.653 5	0.000 4 0.000 2	279.458 1 -279.458 7	54.867 4 -107.400 2	27067.418 1 0.000 10	0.000 2 0.000 8
259	Máx Comb. Mín Comb.	15763.100 1 3096.133 8	0.000 8 0.000 1	279.458 7 -279.458 1	-37.758 8 -301.802 2	27067.418 1 0.000 8	0.000 7 0.000 10
260	Máx Comb. Mín Comb.	9437.301 1 2533.399 8	0.000 10 0.000 1	279.458 7 -279.458 1	-77.694 8 -435.713 1	26208.779 1 0.000 9	0.000 2 0.000 8
261	Máx Comb. Mín Comb.	10071.398 1 2536.293 8	0.000 9 0.000 7	279.458 2 -279.458 1	226.984 1 -0.432 5	26208.779 1 0.000 7	0.000 9 0.000 7
262	Máx Comb. Mín Comb.	9997.970 1 2531.215 8	0.000 8 0.000 1	279.458 2 -279.458 1	-0.495 5 -227.025 1	26208.779 1 0.000 9	0.000 2 0.000 8
263	Máx Comb. Mín Comb.	9289.955 1 2536.034 8	0.000 8 0.000 1	279.458 2 -279.458 1	433.746 1 77.437 8	26208.779 1 0.000 8	0.000 9 0.000 7
264	Máx Comb. Mín Comb.	15577.382 1 3095.448 8	0.000 1 0.000 8	279.458 1 -279.458 7	255.034 2 37.178 8	27067.418 1 0.000 8	0.000 5 0.000 3
265	Máx Comb. Mín Comb.	8235.036 1 -629.874 5	0.000 8 -0.001 1	279.458 2 -279.458 1	152.092 2 -49.110 7	27067.418 1 0.000 2	0.000 2 0.000 6
266	Máx Comb. Mín Comb.	178.461 7 -37.245 10	1932.793 3 -1.311 7	285.156 2 29.520 8	3586.413 3 -19.002 7	0.000 1 -11600.589 2	81022.031 3 -66.882 7
267	Máx Comb. Mín Comb.	308.942 7 -19.258 9	1.200 7 -1986.486 3	-28.896 8 -107.498 1	19.101 7 -3747.520 3	-1480.544 8 -14622.036 1	252541.125 3 -165.662 7
268	Máx Comb. Mín Comb.	780.344 1 137.546 10	-1.707 8 -3854.366 3	-22.272 5 -238.773 1	1578.923 3 -8.233 7	1931.880 1 -18363.832 1	507587.625 3 82.833 8

*** For demonstration purposes only ***

TCC - Diego - GEOMETRIA e ações (24-09-2016)
 PASSARELA EM ARCO
Preparado por: DIEGO C. BOTELHO

Página:16
 Data: 24/09/16

MÁX. RESULTADOS (Unids: N, N*cm)							
Barra	Axial	V2	V3	MT	M2	M3	
269	Máx Comb. Mín Comb.	671.212 1 115.833 10	0.771 7 -4386.030 3	-201.759 8 -882.504 1	735.942 2 -1.932 7	8824.356 1 -66188.516 1	565204.625 3 -77.292 7
270	Máx Comb. Mín Comb.	535.611 2 17.207 9	0.416 7 -4316.839 3	-263.056 8 -1177.791 1	577.616 2 -0.337 7	11747.857 1 -88364.359 1	556346.813 3 -69.979 7
271	Máx Comb. Mín Comb.	460.968 7 -96.091 9	0.024 7 -4254.921 3	-207.049 8 -952.858 1	414.307 2 -0.669 7	9961.273 1 -71031.633 1	547785.625 3 -13.173 7
272	Máx Comb. Mín Comb.	369.713 7 -321.530 9	-0.026 8 -4219.617 3	-2.977 8 -109.755 2	1.356 2 -0.574 4	1055.500 2 -8273.658 2	542852.313 3 -8.683 7
273	Máx Comb. Mín Comb.	458.562 7 -109.567 9	-0.015 8 -4250.135 3	852.167 1 203.688 8	0.492 7 -410.237 2	63544.125 1 -8890.072 1	547190.688 3 -6.328 7
274	Máx Comb. Mín Comb.	506.056 7 -2.563 10	0.397 7 -4313.665 3	1132.180 1 263.122 8	0.500 7 -537.661 2	85005.555 1 -11229.713 1	555995.938 3 -54.267 7
275	Máx Comb. Mín Comb.	642.201 1 78.578 10	0.528 7 -4418.434 3	909.234 1 205.062 8	1.567 7 -580.543 2	68238.141 1 -9046.730 1	569721.813 3 -74.560 7
276	Máx Comb. Mín Comb.	795.248 1 147.525 10	-1.584 8 -4109.900 3	320.115 1 54.372 8	8.417 7 -1506.037 3	24893.455 1 -2316.317 1	528922.563 3 70.086 8
* Máximo Barra Comb.		184211.344 35 1	7174.555 143 2	12108.372 21 2	570865.563 163 3	1213903.375 67 1	1378536.250 54 2
* Mínimo Barra Comb.		-35542.672 131 2	-7501.081 21 2	-10995.652 35 1	-30340.133 53 2	-1769083.75 36 1	-1127867.87 43 2

APÊNDICE B

FOLHAS DE DETALHAMENTO

