

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS Uni – ANHANGUERA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DIMENSIONAMENTO DE UM QUIOSQUE DE MADEIRA COM TELHA
CERÂMICA**

BRUNO LEONARDO NAZARO SANTOS

GOIÂNIA
MAIO/2020

BRUNO LEONARDO NAZARO SANTOS

**DIMENSIONAMENTO DE UM QUIOSQUE DE MADEIRA COM TELHA
CERÂMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Goiás – Uni ANHANGUERA, sob orientação do Professor Mestre Eduardo Mariano Cavalcante de Castro, como requisito parcial para obtenção do título Bacharelado em Engenharia Civil.

GOIÂNIA
MAIO/2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNO LEONARDO NAZARO SANTOS

DIMENSIONAMENTO DE UM QUIOSQUE DE MADEIRA COM TELHA CERÂMICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni – ANHANGUERA, defendido e aprovado em 25 de maio de 2020 pela banca examinadora constituída por:



Prof. Me. Eduardo Mariano Cavalcante de Castro

Orientador



Prof. Esp. Aurélio Caetano Feliciano

Membro



Prof. Me. Fernando Pinheiro Camilo

Membro

Dedico esse trabalho há
Deus que sempre esteve
comigo e me mantém firme
as suas vontades.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter sido misericordioso com a minha vida, estando presente nos momentos que mais precisei.

Agradeço a meu Pai Raimundo, pelo apoio na escolha da minha profissão, por ser um grande exemplo de homem, por proporcionar que o seu filho pudesse ter oportunidade de cursar um ensino superior, e também por ser bem paciente com seu filho.

Agradeço a minha mãe Lúcia, pelos valiosos conselhos ao longo da minha vida e todo amor. Por se dedicar a cuidar de mim, e por também por saber me disciplinar quando necessários

Agradeço os meus irmãos Daniel, Gabriel, Rafael e minhas irmãs Rayanne e Luciara, porém além grandes irmãos para mim, são ótimos amigos e me ajudaram bastante.

Agradeço os meus amigos de faculdade Jonas e Ricardo, pelas grandes horas de alegria, conversa e trabalhos que realizamos juntos.

Agradeço aos meus amigos, Alexandre, Guthierre, Hayslan, Lucas, Rodrigo, Tallison e Willian, pelos grandes conselhos e risos que compartilhamos juntos, que nossa amizade continue ainda mais.

Agradeço ao meu orientador Professor Ms. Eduardo Cavalcante, pela sua grande paciência e disposição ao me orientar no meu trabalho.

RESUMO

A madeira é uns dos materiais que mais foi empregado pelo homem desde os princípios da humanidade, sendo usado como artesanato, criação de ferramentas, utensílios, e na área de construção, como pontes, cabanas, barcos e entre outros. Mas, ao longo dos tempos, se tornou um material menos utilizado na composição de estruturas, sendo ultrapassada por materiais como a estruturas metálicas e de concreto armado. Este trabalho objetivou transformar uma cobertura em estrutura metálica para de madeira serrada, por meio de um estudo de caso composto a partir do projeto estrutural de quiosque comercial com cobertura em telha cerâmica concebido originalmente em metálica. Para fins de comparação, o quiosque será redimensionado com todos os elementos estruturais em madeira serrada tipo Ypê, e preservando as locações dos elementos, de acordo com o projeto original. As cargas e os demais elementos considerados no dimensionamento permaneceram os padrões e diretrizes exigida pelas normas vigentes. Também foram desenvolvidos recurso fundamentais a estabilidade da estrutura, atendendo as especificações do projeto arquitetônico. Os resultados todos dimensionamento do quiosque constatou que os elementos de madeira possuíam peças mais robusta em comparação ao de metálica, e o aumento nas peças estavam previstos, considerando o fato que madeira possui limitações em sua resistência mecânica, ao contrário de sua concorrente a metálica. Mas, em termos de estética a madeira possui parte arquitetônica diferenciada.

PALAVRAS-CHAVES: Estruturas de madeira, análise estrutural, adequação estrutural, estrutura metálica.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é uns dos materiais mais antigos aos longos dos anos, estando constantemente empregado ao uso do homem. Mesmo com enorme tempo de utilização do material, só na metade do século XX passaram a estabelecer contexto técnicos que foram aplicadas as estruturas de madeira. Logo, depois da segunda Guerra Mundial, as investigações técnicas no uso do material como elemento estrutural, sofreram um alto aumento, colocando hoje os mais específicos métodos, para iniciar um projeto de estruturas de madeira, tendo os diversos tipos de variações técnicas, afirma PFEIL e PFEIL (2003).

No momento, até então no Brasil existe um receio em relação a aplicação da madeira em grandes estruturas. Isto se deve ao fato do material possui um preço significativo elevado em relação ao demais materiais e por possui carências nas realizações de projetos estruturais adequados. As edificações em madeira normalmente são efetuadas por carpinteiros que não são capacitados para projetar, mas somente para executar. Como resultado, as edificações de madeira são expostas aos mais variáveis tipos de disfunções, o que gera um entendimento enganado sobre o material. É habitual se escutar a frase insensata estabelecida na sociedade: “ a madeira é um material fraco”. Isto mostra um grande grau de ignorância, causado pela própria comunidade. Em encargo disto, não se pode pegar como exemplo da maior parte de edificações construídas sem o devido projeto, pois podem estabelecer parte do rol de edificações “contaminadas” pelo descaso à madeira ou resultantes de maus projetos, afirma GESUALDO (2003).

A aplicação da madeira na elaboração de projetos de estruturas vem crescendo no país. Contudo se deve ao aumento da conscientização de engenheiros e arquitetos sobre as vantagens aplicadas no uso da madeira como elemento estrutural em relação aos demais materiais estruturais, afirma Junior, Lahr e Dias (2003). A madeira é um ótimo material para ser trabalhado, desde a fase de produção até a fase de utilização estrutural, completa GESUALDO (2003).

A madeira possui diversas variações de tipo como: madeira serrada, madeira laminada colada, madeira em tora, madeira compensada e madeira reconstituídas. O procedimento estrutural desses diversos tipos de madeira está referente com o a disposição da estrutura

interna, que conforme aspecto da peça estrutural resulta em uma alta ou baixa grau de anisotropia, afirma ALMEIDA (2012).

No presente artigo proposto o redimensionamento um quiosque em telha cerâmica, utilizando a NBR 7190/97 Projeto de Estruturas de madeira, como embasamento mínimo dos critérios abordados nos materiais e métodos. O projeto estrutural metálico será cedido pelo Eng. Civil Eduardo Mariano Cavalcante de Castro. Tendo como objetivo dimensionar um quiosque de madeira que anteriormente se encontrava em metálica, levantando um balanço de custo de benefícios desses dois materiais e uma análise estrutural simplificada. Contudo será analisado a vantagem e desvantagens na utilização de madeira como elemento estrutural principal, onde se levará em conta o limite de sua utilização visando as normas vigentes de segurança.

Ao longo dos anos a madeira foi utilizada de várias formas e métodos, por vários tipos de civilizações, como construções de casas, pontes, navios, ferramentas e artesanato, levando em conta a sua cultura, clima, terreno e cataclismo, a madeira se tornou necessária para o desenvolvimento da humanidade.

Com o avanço tecnológicos em materiais de construção ao longo dos anos a madeira foi perdendo o seu espaço e sua importância para os engenheiros projetista e calculista da atualidade. Sendo um material utilizado mais para acabamento, reforços, e atividades secundárias como formas e escoras para estruturas de concreto, a madeira deixou de ser necessária e passou a ser secundária em diversas obras. De acordo com Selmo e Djanikian (2000), a madeira é um ótimo material, onde está presente em todo o mundo, tendo um custo reduzido, e ser de reserva renovável, em comparação os demais materiais.

É bem comum em obras brasileiras utilizar o concreto em quase todos aspectos estruturais, já que é um material bastante resistente e duradouro. A madeira vem sendo utilizada em maioria das vezes em cobertura de obras residenciais, no caso do presente trabalho propõem a madeira em todos os elementos dos projetos estruturais, menos nas concepções de alvenaria, se baseando somente no projeto estrutural metálico.

Esta pesquisa se justifica pôr o material apresentado ter grandes vantagens estéticas e conforto térmico, e atende as normas técnicas de estruturas para o dimensionamento do quiosque. O dimensionamento de um quiosque em madeira com telha cerâmica, que

anteriormente era concebido em cobertura metálica com pilares de concreto, atenderá os requisitos mínimos para sua implantação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Estruturas de madeira

De acordo com Zenid (2000), as características da madeira, a tornam um material bem mais desejável se comparado a outros materiais. Alguns desses, são o seu baixo consumo de energia para produção, onde tem uma grande resistência característica, com ótimo isolante de temperatura e eletricidade, além de uma facilidade de manuseio por máquinas e mão de obra.



Figura 1. Processo de formação da madeira.

Segundo Szucs et al. (2016), é necessário o conhecimento das características da madeira para a aplicação estruturalmente, podendo ser influenciados pelas condições do material como os tipos de espécies, região de origem, anatomia, variação química. Ainda de acordo com Szucs et al (2016), a madeira é um material ortótropo, podendo ter reações diversas ao desenvolvimento das fibras. Portanto há uma diversidade na variação dos eixos longitudinal, radial e tangencial. Já em Gesualdo (2003), afirma que a madeira é determinada como anisotrópico, tendo diversas características em comparação aos planos ou sentidos

perpendiculares entre si. Não há conformidade em relação a quaisquer eixos. (ver Figura 2).

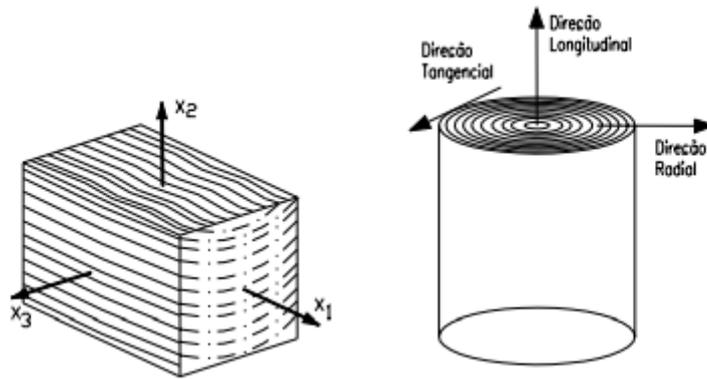


Figura 2. Eixos em relação com os sentidos dos ligamentos da madeira.

A madeira pode resistir os esforços de compressão, tração, cisalhamento e flexão. Onde suportar diversas ações com a variação dos esforços referentes as fibras e o tipo de esforços solicitante. Tem o sentido que, mesmo atuando um esforço em relação a fibras, a resistência de tração se altera com a de compressão afirma SZUCS et al. (2016).

O esforço de compressão no material pode efetuar através de três sentido: paralela, normal e inclinada em associação as fibras. Na ocasião do esforço paralelo na peça, os vigores atuam associadamente ao comprimento das células. Há reação das células efetuam uma alta resistência do material ao esforço de compressão. No caso de esforços normais ou perpendicular nos ligamentos, o material expõe contrariedade menores que atuação da força de compressão paralela, pelo fato da resultante atuante ir ao sentido normal ao comprimento das células, sentido em que possuem menor contrariedade. Os rendimentos da resistência a força de compressão normal é $\frac{1}{4}$ dos rendimentos a força paralelas, segundo Szucs et al. (2016). Em atuação de forças de compressão inclinadas em correspondências as fibras do material, exerce resultados de resistências intermediários em correlação a execução de força paralela e a normal, completa Junior, Lahr e Dias (2003).

O esforço de tração pode ocorrer em dois casos diferentes na estrutura de peças da madeira: esforço em paralelo ou perpendicular às suas fibras. As características do material relacionados a seus esforços divergem imensamente. Onde a ruptura pelo esforço em paralelo pode suceder por deslize entre suas fibras ou interrupção de suas paredes. Em ambos a estrutura da madeira mostra baixos ações de deformação e altos ações de resistência. Já a ruptura por esforço normal, o material mostra baixos ações de resistência, pois as forças que

atuam no sentido perpendicular nos ligamentos, pendendo a desagrega, com ações baixas de deformação. Pela razão da baixa resistência da estrutura da madeira neste sentido, devem ser rejeitadas em projeto, afirma Junior, Lahr e Dias (2003).

Ainda de acordo Junior, Lahr e Dias (2003), os sentidos de ação das tensões de cisalhamento tem interferência objetiva na capacidade de resistir do material, para este gênero de esforços. Na ocasião que este plano é perpendicular no sentido dos ligamentos, a madeira resulta grande resistência pelo caso de a fratura cisalhar esses fundamentos. Antes de acontecer o rompimento, o material mostra questões de resistências no esforço de compressão normal.

No momento que a madeira é submetida flexão simples, acontecem tensões: força de compressão paralela aos ligamentos, tração paralela aos ligamentos, cisalhamento horizontal e nos locais das bases, compressão normalmente os ligamentos do material. O rompimento das peças do material sofridas pelas tensões de flexão acontece pela composição de pequenas falhas no esforço de compressão ocorridas pelo progresso de enrugamentos de compressão macroscópicos. Este fato gera adição da área comprimida na seção e a diminuição da área tracionada, pode acontecer, um rompimento por tração, completa Junior, Lahr e Dias (2003).

Segundo Junior, Lahr e Dias (2003), a existência de água na madeira pode ser simplesmente compreendida adquirindo por origem alguns pontos associados à fisiologia do material. Por intercessão de seu conjunto radicular, capta água e sais minerais do solo, fazendo a resolução designada seiva bruta, que, pelo meio de do alburno, em ação vertical crescente, alcance até as folhas. Das folhas até a fundação, sai a seiva elaborada, formada de água e de elemento que constituem a fotossíntese. Daí ocorre que a estrutura da madeira viva ou recém abatidas expõe uma superior taxa de umidade.

O teor de umidade e tempo de ações de forças podem afetar a capacidade de resistir das estruturas de madeira. A resistência da madeira também inversamente correspondente ao valor do teor de umidade, de acordo com Cruz e Nunes (2006). A umidade do material tem amplo relevância sobre as suas características, completa Pfeil e Pfeil (2003).

Para a averiguação da segurança de uma estrutura de madeira devem adotar as piores classes dos elementos. Em preferência, assume para a apuração estrutural, o atributo médio do material aplicado estruturalmente, em continuidade para averiguação mais distinta para os

elementos de péssima qualidade, dispondo em estimativa a sua relevância na estrutura e o grau tensões aí aplicadas, afirma Cruz (2011).

2.2. Tipos de madeiras estruturais

Segundo Gesualdo (2003), a utilização da madeira como elemento estrutural são classificadas em dois tipos: coníferas e dicotiledôneas.

As coníferas são consideradas madeiras moles, pelas suas menores capacidade de resistência, densidade inferior em comparação as dicotiledôneas. Consistem de folhas com geometria de escamas ou agulhas; de origem das regiões de temperaturas frias. Os dois exemplos de maior importância são as madeiras Pinho de Paraná e os Pinus. As generalidades anatômicas são os traqueídes e os raios medulares, afirma Gesualdo (2003).

As dicotiledôneas são consideradas madeiras firmes pelas suas maiores capacidade de resistência, onde tem densidade superior e se localiza em regiões de temperaturas quentes. Por exemplo todos os tipos de madeiras na região da Amazônica. Podemos citar precisamente as subsequentes espécies de madeira como: Peroba Rosa, Aroeira, os Eucaliptos, Garapa, Ipê, Pau Marfim, Faveiro, Angico, etc. As generalidades anatômicas que fazem a composição desse tipo de madeira são os vasos, ligamentos e raios medulares, completa Gesualdo (2003).

No projeto estrutural de madeira podem ocorrer uma derivada tipos de situações como, situações duradouras, situações transitórias e situações excepcionais. Para cada projeto deve averiguar o tipo de situação encontrada.

2.3. Classes de resistências

A madeira é determinada através de classes de resistências, classes essas que são divididas em coníferas e dicotiledôneas, como mostram a tabelas abaixo, de acordo com GESUALDO (2003).

Tabela 1. Classes de resistências da Coníferas.

| CONÍFERAS | | | | | |
|---|-------------|------------|--------------|----------------------|----------------------|
| (valores nas condições padrões de referência U=12%) | | | | | |
| CLASSES | fcok | fvk | Eco,m | Pbas,m | Paparente |
| | (MPa) | (MPa) | (MPa) | (Kg/m ³) | (Kg/m ³) |
| C 20 | 20 | 4 | 3500 | 400 | 500 |
| C 25 | 25 | 5 | 8500 | 450 | 550 |
| C 30 | 30 | 6 | 14500 | 500 | 600 |

Tabela 2. Classes de resistência das dicotiledôneas.

| DICOTILEDÔNEAS | | | | | |
|---|-------------|------------|--------------|----------------------|----------------------|
| (valores nas condições padrões de referência U=12%) | | | | | |
| CLASSES | fcok | fvk | Eco,m | Pbas,m | Paparente |
| | (MPa) | (MPa) | (MPa) | (Kg/m ³) | (Kg/m ³) |
| C 20 | 20 | 4 | 9500 | 500 | 650 |
| C 30 | 30 | 5 | 14500 | 650 | 800 |
| C 40 | 40 | 6 | 19500 | 750 | 950 |
| C 60 | 60 | 8 | 24500 | 800 | 1000 |

São quatro tipos de características de uma estrutura de madeira a serem avaliadas no dimensionamento de fundamentos estruturais: densidade, resistência, rigidez e umidade. A densidade é empregada na definição do carga própria da estrutura de madeira, para a resistência, podem ser usados resultados adquiridos em teste de caracterização de espécies, efetuados em laboratório, ou com resultados de resistências proporcionado pela norma brasileira, que mostra propriedades de várias espécies, ou de acordo com a classe de resistência a que espécie pertença. Esses resultados são definidos pela maior tensão aplicada a corpo de prova verificados de acordo com a norma e neutros de falhas. Afirma Junior, LAHR e DIAS (2003).

2.4. Vantagens na utilização de madeira na estrutura

A madeira em encargo da enorme disponibilidade, devido a quantidade de áreas florestais presentes, pela facilidade de extração do material, em que não há obrigação de altas tecnologias ou mão de obra técnica especializada para obtenção do material, ocasionando um baixo custo de produção, afirma Diniz (2018).

O isolamento é uma qualidade necessária para a diminuição da energia disponível para o aquecimento e climatização de edifícios em geral. A madeira é um isolante natural que pode diminuir a aumento no consumo de energia disponibilizada na climatização de espaços. Expõe ótimas situações naturais de isolamento térmico e acústico. Possui uma grande resistência a esforços de tração e compressão, tem uma baixa massa volumétrica e uma resistência mecânica alta, afirma Castilho (2017).

2.5. Desvantagens na utilização de madeira na estrutura

Uma das principais desvantagens a madeira na sua utilização é a higroscopicidade que atingem várias características no material em razão do teor de umidade. A higroscopicidade é capacidade do material absorver água pelo meio ambiente, como afirma Vedana (2011).

Um material eminentemente inflamável, podendo gerar incêndios no seu uso inicialmente. Contudo possui materiais que podem retardar o efeito ocasionado pelo fogo na madeira. Caso não receba um tratamento de antemão, o material fica vulnerável em relação a agentes externos, como cupim e outros tipos de pragas e insetos, e sofre de oscilação devido as condições ambientais, assim ocasionando dilatação devido a umidade, afirma Castilho (2017).

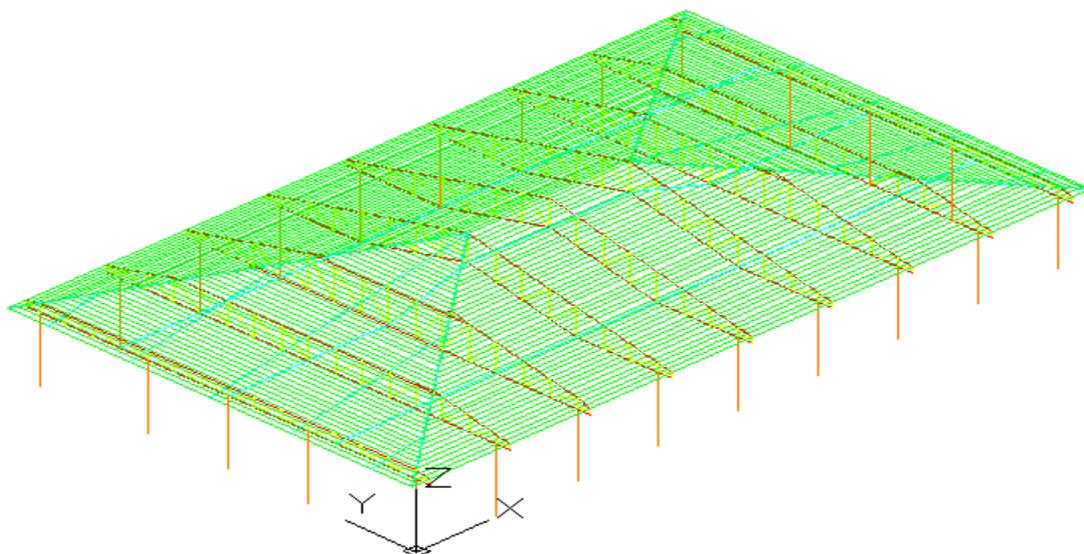
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Concepção do projeto estrutural

O projeto original do estudo de caso tanto o arquitetônico e o estrutural em metálica foram cedidos pelo engenheiro civil Eduardo Mariano Cavalcante de Castro. O projeto possui uma área de construção de aproximadamente 1469,10 m² com um perímetro de 157,90 m. Tendo como objetivo comercial um quiosque, possui uma área de passeio de 1247,92 m² como visto na figura abaixo.

O dimensionamento da estrutura de madeira, foi baseada no projeto metálico já dimensionado para esse projeto arquitetônico, utilizando o projeto metálico como base para o pré-dimensionamento da estrutura de madeira, se baseando na recomendações da planta baixa arquitetônica como locações de pilares, altura de alvenaria, inclinação de telhado e pé direito par propor um pré-dimensionamento para a estrutura de madeira, pois como já dito nesse presente artigo que tem como objetivo a comparação entre os dois elementos estruturais, onde as adequações foram restritas somente ao risco de rompimento de estrutura ou perigo ao usuário.

Como esse estudo tem como objetivo a comparação entres os dois projetos, as alterações que obtiveram foram mínimas, respeitando as medidas, locações e arquitetura no projeto original. O pré-dimensionamento da estrutura se assemelhou a da estrutura metálica,



assim, assegurando a mais possível comparação os entres.

Figura 4. Projeto original estrutural metálica.

Fonte: Eng. Eduardo Mariano

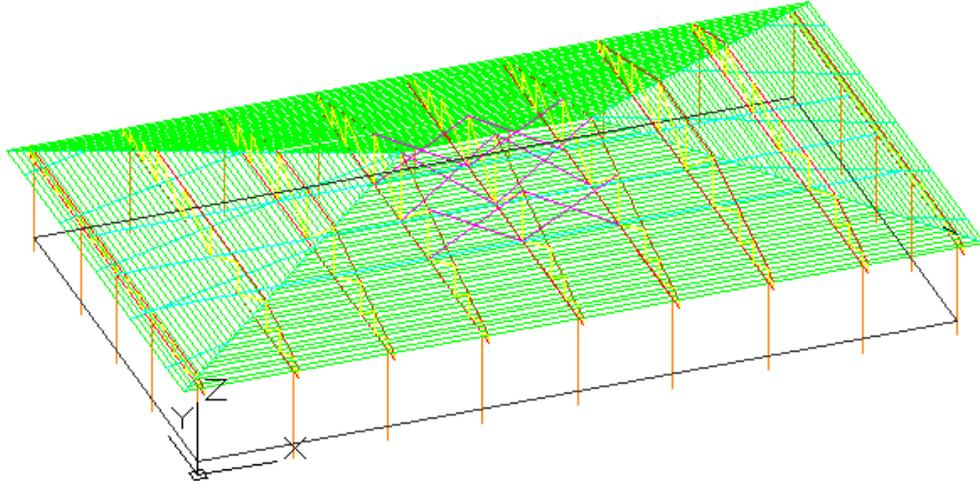


Figura 5. Projeto estrutural de madeira pré-dimensionado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O projeto original em comparação com o projeto de madeira teve algumas adequações em alturas de suas treliças centrais como pode ser visto na Figura 5. Houve um acréscimo no projeto em madeira na utilização de contraventamentos verticais centrais na estrutura, onde no projeto original os contraventamentos eram horizontais, utilizando mãos francesas.

Após a remodelação do projeto original estrutural utilizando o software AutoCad 2018 Figura 4, foram criados um arranjo unifilar tridimensional dos elementos estruturais, onde posteriormente, exportado para o software SAP2000 (Software utilizado para análise estrutural e dinâmica, sendo em três dimensões, tanto para linear e não linear), e que foram projetados todos as seções dos elementos de madeira para estrutura utilizando como base as recomendações mínimas de seções adotados pela norma da ABNT NBR 7190/97 padronizada para madeira serrada.

Em seguida, foi definido a locação dos elementos, e suas respectivas alturas obedecendo o projeto arquitetônico, e as cargas atuantes na estrutura para determinar os devidos esforços.

3.2. Tipo de madeira

Com base na região, clima, e no comercial foi decidido a escolha da classe da madeira dicotiledôneas, levando em conta a região centro oeste como local da implantação do projeto e a qualidade na resistência do material, foi decidido a escolha da espécie de madeira nativa Ypê com material estrutural do projeto. Onde como visto na tabela abaixo possui umas das

| Tabela II.7 – Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento (U = 12%) | | | | | | | |
|--|------------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Nome vulgar | Nome botânico | $\rho_{ap(12\%)}$ kg/m ³ | f_{c0} MPa | f_{t0} MPa | f_{90} MPa | f_v MPa | E_{c0} MPa |
| Angelim araroba | <i>Vataireopsis araroba</i> | 688 | 50,5 | 69,2 | 3,1 | 7,1 | 12876 |
| Angelim ferro | <i>Hymenolobium spp</i> | 1170 | 79,5 | 117,8 | 3,7 | 11,8 | 20827 |
| Angelim pedra | <i>Hymenolobium petraeum</i> | 694 | 59,8 | 75,5 | 3,5 | 8,8 | 12912 |
| Angelim p. verdadeiro | <i>Dinizia excelsa</i> | 1170 | 76,7 | 104,9 | 4,8 | 11,3 | 16694 |
| Canafistula | <i>Cassia ferruginea</i> | 871 | 52,0 | 84,9 | 6,2 | 11,1 | 14613 |
| Cedro amargo | <i>Cedrella odorata</i> | 604 | 39,0 | 58,1 | 3,0 | 6,1 | 9839 |
| Cedro doce | <i>Cedrella spp</i> | 600 | 31,5 | 71,4 | 3,0 | 5,6 | 8058 |
| Champagne | <i>Dipterys odorata</i> | 1090 | 93,2 | 133,5 | 2,9 | 10,7 | 23002 |
| Eucalipto alba | <i>Eucalyptus alba</i> | 705 | 47,3 | 69,4 | 4,6 | 9,5 | 13409 |
| Eucalipto citriodora | <i>Eucalyptus citriodora</i> | 999 | 62,0 | 123,6 | 3,9 | 10,7 | 18421 |
| Eucalipto grandis | <i>Eucalyptus grandis</i> | 640 | 40,3 | 70,2 | 2,6 | 7,0 | 12813 |
| Eucalipto paniculata | <i>Eucalyptus paniculata</i> | 1087 | 72,7 | 147,4 | 4,7 | 12,4 | 19881 |
| Eucalipto punctata | <i>Eucalyptus punctata</i> | 948 | 78,5 | 125,6 | 6,0 | 12,9 | 19360 |
| Eucalipto saligna | <i>Eucalyptus saligna</i> | 731 | 46,8 | 95,5 | 4,0 | 8,2 | 14933 |
| Eucalipto umbra | <i>Eucalyptus umbra</i> | 889 | 42,7 | 90,4 | 3,0 | 9,4 | 14577 |
| Eucalipto urophylla | <i>Eucalyptus urophylla</i> | 739 | 46,0 | 85,1 | 4,1 | 8,3 | 13166 |
| Ipê | <i>Tabebuia serratifolia</i> | 1068 | 76,0 | 96,8 | 3,1 | 13,1 | 18011 |
| Jatobá | <i>Hymenaea spp</i> | 1074 | 93,3 | 157,5 | 3,2 | 15,7 | 23607 |
| Louro preto | <i>Ocotea spp</i> | 684 | 56,5 | 111,9 | 3,3 | 9,0 | 14185 |
| Maçaranduba | <i>Manikara spp</i> | 1143 | 82,9 | 138,5 | 5,4 | 14,9 | 22733 |
| Sucupira | <i>Diploptropis spp</i> | 1106 | 95,2 | 123,4 | 3,4 | 11,8 | 21724 |

melhores resistências de trabalho em comparação aos outros exemplos de madeira.

Tabela 1. Classes de espécies das dicotiledôneas.

- Fonte: GESUALDO (2003)

3.3. Definição da carga permanente

O telhado da estrutura será dimensionado para recebimento da telha cerâmica americana que possui um design inspirado na telha portuguesa, mas tendo diversas qualificações para o seu uso. As medidas da telha americana são de 43 x 26 cm, onde possui

uma galga mínima de 36,0 cm, e com um peso de 3,1 kg/peça. A inclinação de um telhado onde uma telha americana é utilizada parte – se da inclinação de 35% usualmente, mas poderá utilizar uma inclinação menor, mas se a inclinação for maior que 45% recomenda – se a amarração da telha, no caso do projeto não necessitará. No projeto arquitetônico houve uma discrepância na inclinação adotada, onde foi observado que telhado possui quatro águas, onde as águas das fachada e traseira possui um inclinação diferente comparadas com as das águas laterais, sendo 28% e 21% respectivamente, mas como o objetivo do projeto é a comparação entre a estrutura metálica e a madeira, e a permanência da inclinação original do projeto.

Assim foram adotados os pesos da telha para determinar as combinações de carregamento do projeto.



Figura 6. Ilustração de uma telha cerâmica americana.

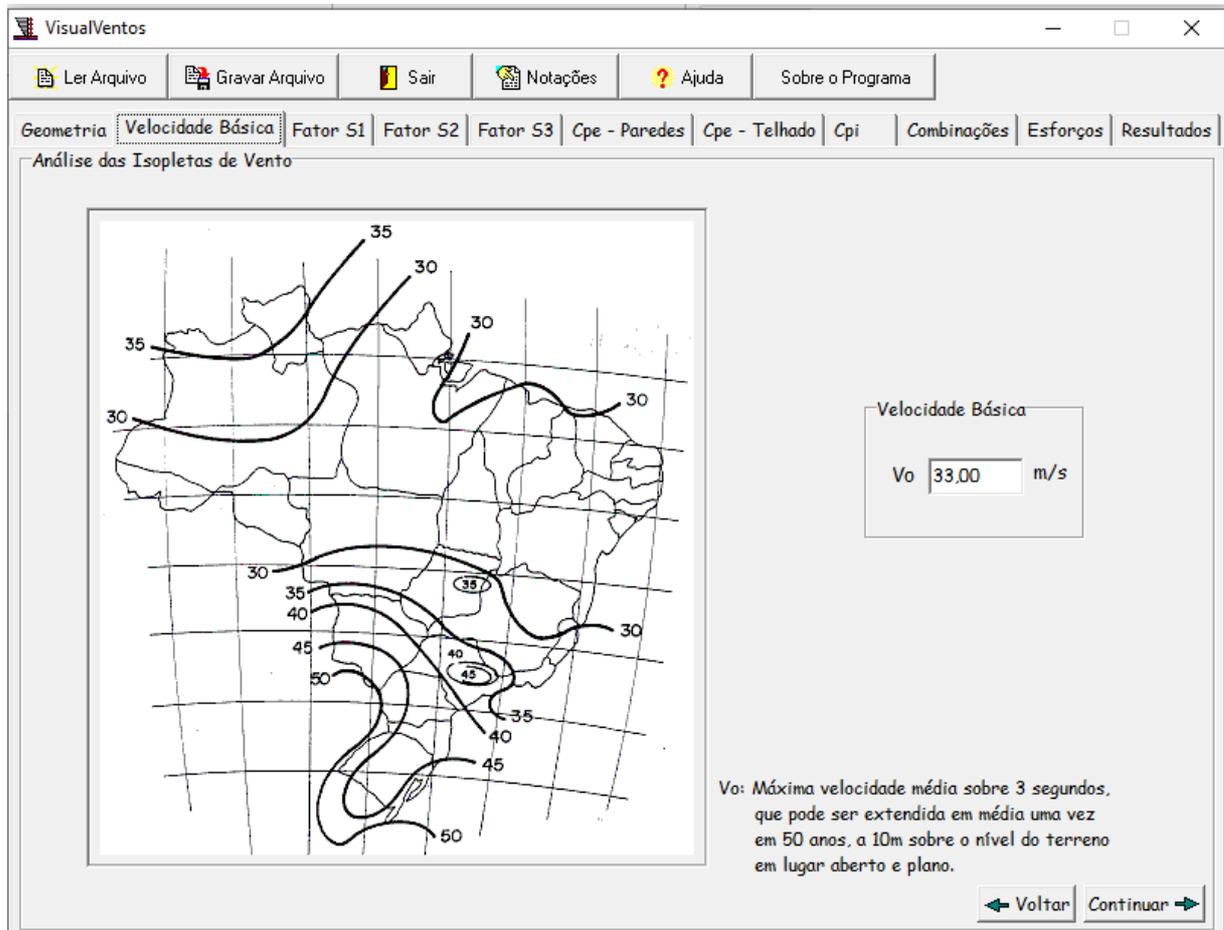
Fonte: Catálogo Faulim (2006).

3.4. Ação do vento

Por uma forma de harmonizar o projeto na utilização de catálogos técnicos, softwares diversos e normas técnicas, as unidades de força e de medida foram definidas como KiloNewton e metro na elaboração do dimensionamento. Os carregamentos abordados na estrutura se basearam nas normas técnicas NBR 6120 e NBR 7190, e dos catálogos dos fabricantes, para determinação do peso próprio, sobrecarga e carga permanente.

A classe de carregamento de longa duração de acordo com NBR7190.

Os esforços ocasionados pelo vento foram considerados de acordo com a norma NBR6123. Com a verificação da região localizada a implantação do projeto, com a velocidade do vento igual à 33m/s. As cargas de vento foram dimensionadas com o auxílio do software



gratuito Visual Ventos.

Figura 7. Velocidade adotada no projeto utilizando o software Visual Ventos.

Fonte: Visual Ventos.

3.5. Concepção das combinações de carregamentos

Obteve um conjunto total de 9 combinações levando em conta, todos os piores tipos de situação de carregamento na estrutura se baseando nas recomendações mínimas da ABNT NBR 7190. Essas combinações foram inseridas no software SAP2000, para o dimensionamento da estrutura.

As combinações de ações de carga foram determinadas de acordo NBR7190 na seção de 5.5 **ações nas estruturas de madeira**, onde foram adotados os fatores de utilização e combinação ao projeto.

Ao dimensionar as combinações de cargas na estrutura uma tabela de carregamentos dos elementos do SAP2000 foi gerada, para que o dimensionamento das seções utilizando o software gratuito TACO. Ao utilizar o software o programa estava redimensionando as combinações do SAP2000, portanto estava super dimensionando o carregamento. Assim, o valor de ponderação para a da rodagem do programa SAP2000 igual ao 1 em todas as combinações, para que uma planilha de carregamento que será dimensionada no programa TACO, aonde multiplicará com os coeficientes de ponderação de ações da NBR6123.

As principais combinações utilizadas no dimensionamento estrutural foram:

$$1^{\text{a}} \text{ Combinação SC} = (1,35 \times \text{PP} + 1 \times \text{CP} + 1,4 \times \text{SC}) \quad (1)$$

$$2^{\text{a}} \text{ Combinação V0}^{\circ} = (1,35 \times \text{PP} + 1 \times \text{CP} + 1 \times \text{V0}^{\circ}) \quad (2)$$

$$3^{\text{a}} \text{ Combinação V90}^{\circ} = (1,35 \times \text{PP} + 1 \times \text{CP} + 1 \times \text{V90}^{\circ}) \quad (3)$$

$$4^{\text{a}} \text{ Combinação V180}^{\circ} = (1,35 \times \text{PP} + 1 \times \text{CP} + 1 \times \text{V180}^{\circ}) \quad (4)$$

$$5^{\text{a}} \text{ Combinação V270}^{\circ} = (1,35 \times \text{PP} + 1 \times \text{CP} + 1 \times \text{V270}^{\circ}) \quad (5)$$

$$6^{\text{a}} \text{ Combinação SC} = (1,35 \times \text{PP} + 0 \times \text{CP} + 1 \times \text{V0}^{\circ}) \quad (6)$$

$$7^{\text{a}} \text{ Combinação SC} = (1,35 \times \text{PP} + 0 \times \text{CP} + 1 \times \text{V90}^{\circ} \text{ SC}) \quad (7)$$

$$8^{\text{a}} \text{ Combinação SC} = (1,35 \times \text{PP} + 0 \times \text{CP} + 1 \times \text{V180}^{\circ}) \quad (8)$$

$$9^{\text{a}} \text{ Combinação SC} = (1,35 \times \text{PP} + 0 \times \text{CP} + 1 \times \text{V270}^{\circ}) \quad (9)$$

Onde:

- SC (Método dos Estados Limites para a Sobrecarga)
- PP (Peso próprio da estrutura)
- CP (Carga permanente da estrutura, que no caso seria a telha cerâmica)
- V0 (Método dos Estados Limites para o Vento a 0°)
- V90 (Método dos Estados Limites para o Vento a 90°)
- V180 (Método dos Estados Limites para o Vento a 180°)
- V270 (Método dos Estados Limites para o Vento a 270°)

3.6. Dimensionamento da estrutura

Em seguida, as planilhas dos elementos construtivos, banzos centrais, banzo da fachada, diagonal central, diagonal da fachada, pilares, vigas, contraventamentos e terças constada no anexo A.

O software Taco para o cálculo das combinações e obteve assim a seção mínima de projeto, para todos os elementos estruturais. Quando o software foi calculado utilizando a unidade em metros, o mesmo não obtinha um resultado com todas as casas decimais, assim ocasionando um super dimensionamento nas escolhas das seções, sendo assim, as unidades em Kilo-Newton e centímetros para que o programa calcule em quaisquer problemas e o dimensionamento ocorra de forma que as peças e seções sejam escolhidas levando em conta o carregamento.

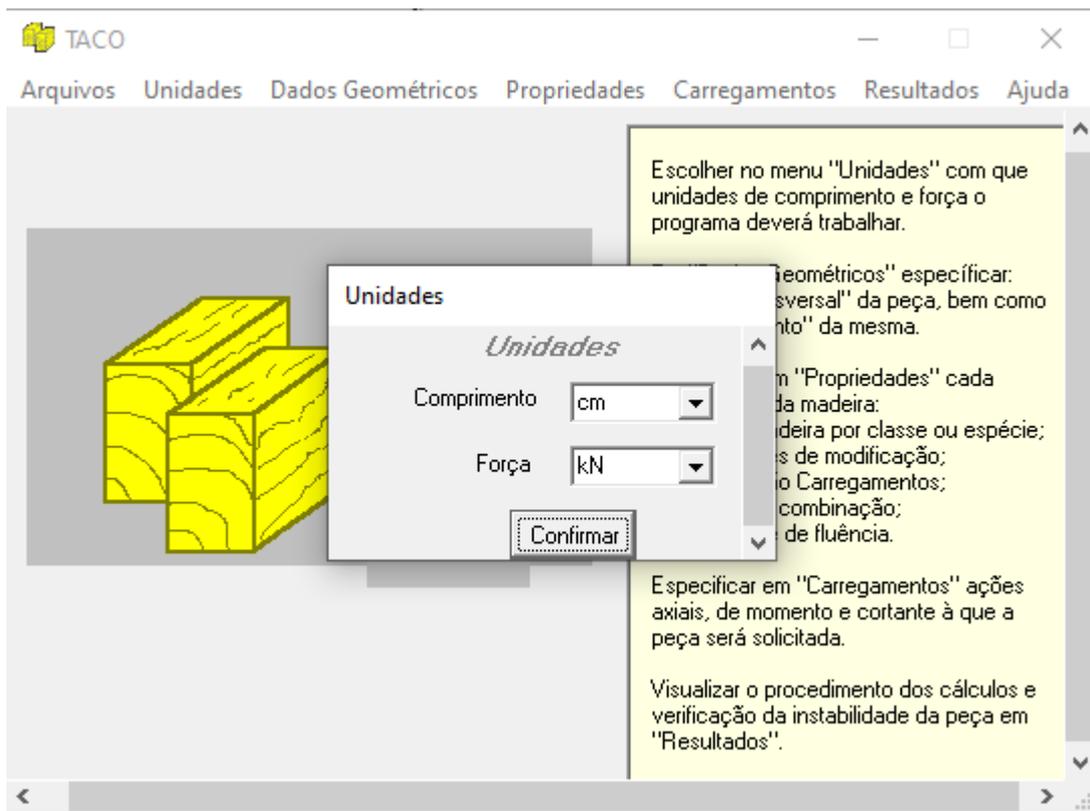


Figura 7. Definição do tipo de unidades utilizada no programa Taco.

Fonte: TACO

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao dimensionar um projeto estrutural em madeira deve – se levar em contas alguns riscos que poderá ocorrer na estrutura, para que possa diminuir as variações dimensionais da madeira, logo após o levantamentos dos componentes ou na sua execução em obra, é fundamental que o material se demonstra o mais próximo do teor em água com as condições da região de sua implantação. (CRUZ e NUNES, 2003).

O estudo de caso consistiu no redimensionamento de toda a estrutura em madeira. O sistema estrutural foi alterado que entre de acordo com o material que será utilizado, no caso a madeira, porém, no contexto as locações dos elementos permaneceram nos respectivos lugares para que a comparação entre os materiais fique o máximo possível homogênea.

Após obtidos os resultados da análise da estrutura no SAP2000® e importação do carregamento no programa de dimensionamento (Taco©), determinação as seções mínimas para os elementos estruturais.

4.1. Flexotração

De acordo com a norma 7190/97, as peças sujeitas à flexotração, tem a sua situação de segurança demonstrada pelas suas duas expressões rigorosamente aplicadas ao ponto em que são solicitados na borda mais tracionada, assim, determinando uma função linear para as tensões de força normal de tração.

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t0,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t0,d}} \leq 1 \quad (10)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t0,d}} \leq 1 \quad (11)$$

Onde, $\sigma_{Nt,d}$ é o resultado do cálculo de parcela de tensão normal, sendo apenas da tensão normal de tração, $f_{t0,d}$ é a resistência da tração paralela às fibras, os demais símbolos tem como definição no item 7.3.4 da NBR 7190/97.

4.2. Flexocompressão

Em seguida, a norma 7190/97 determina que a flexocompressão é submetida a uma condição de segurança em relação a resistência das seções transversais, que é expressão com duas expressões, que são aplicadas no ponto crítico de solicitação da compressão, considerando-se uma função quadrática, devido o esforço de compressão na peça.

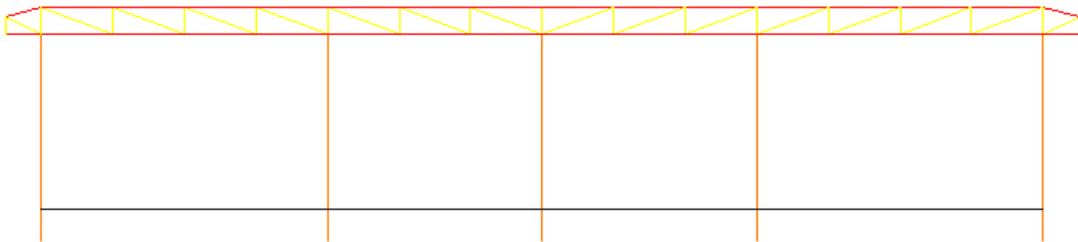
$$\left\{ \frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right\}^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (12)$$

$$\left\{ \frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right\}^2 + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (13)$$

Onde, $\sigma_{Nc,d}$ é o resultado do cálculo de parcela de tensão normal, sendo apenas da tensão normal de compressão, $f_{c0,d}$ é a resistência a compressão paralela às fibras, os demais símbolos tem como definição no item 7.3.4 da NBR 7190/97.

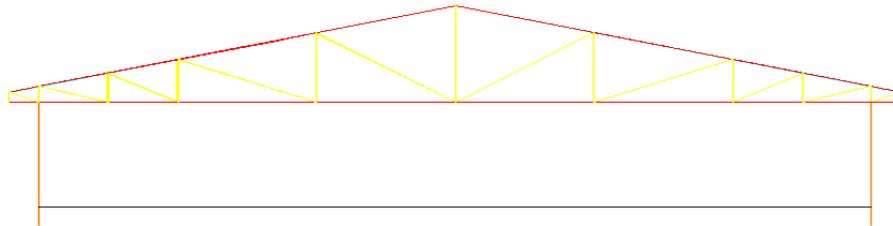
4.3. Dimensionamentos dos elementos estruturais

Os dimensionamentos dos banzos foram divididos em dois, sendo um banzo da fachada que consta a primeira e a última treliça do projeto estrutural, tendo a maioria de suas diagonais com altura



similares, e o outro dimensionamento ocasionou com os restantes das treliças.

Figura 8. Banzo da fachada do projeto em madeira.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 9. Banzo central do projeto em madeira.

Fonte: elaborado pelo autor

O dimensionamento dos pilares foi realizado com seus perfis sendo totalmente iguais, considerando os maiores esforços exercidos na peça, considerando o momento fletor (M_x e M_y), esforços cortantes (V_2 e V_3) e forças axiais ou normais (P), assim ocasionado na verificação isolada de cada peça do elemento.

Demonstrado no Apêndice A, o roteiro do dimensionamento das peças das estruturas como pilares, vigas, banzos, terças, diagonais e contraventamentos. Assim, resultou nas seguintes seções mínimas para as peças, como visto na tabela 1, abaixo.

| ELEMENTOS ESTRUTURAIS | SEÇÕES |
|------------------------------|---------------|
| PILARES | 25x25 cm |
| BANZO DA FACHADA | 12x12 cm |
| BANZOS | 20x20 cm |
| DIAGONAIS DA FACHADA | 7x7 cm |
| DIAGONAIS | 7x7 cm |
| CONTRAVENTAMENTOS | 10x10 cm |
| TERÇAS | 15x15 cm |
| VIGAS | 16x24 cm |

Tabela 1. Seções dos elementos estruturais.

Fonte: Elaborada pelo autor.

As planilhas de carregamentos dos elementos estruturais exportado pelo programa SAP2000, para a sua importação no TACO, assim, iniciasse o dimensionamento das seções mínimas para os recebimentos dos esforços solicitantes, onde as planilhas constam no Anexo A.

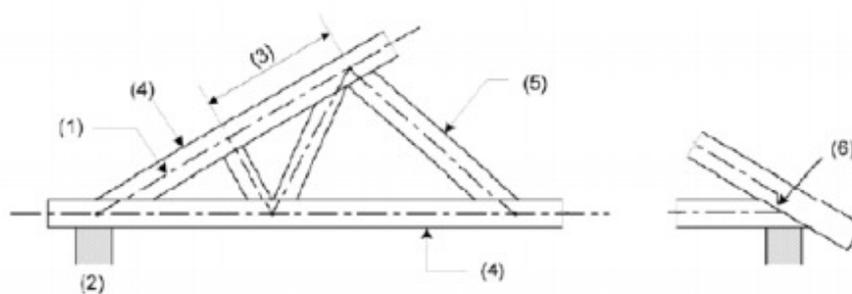
O dimensionamento do carregamento do vento foi obtido, através do auxílio dos softwares Visual Ventos, com o seu memorial de cálculo apresentado no Anexo B. Assim foi possível a determinação do carregamento onde a estrutura consistia no seu CPI sendo 4 faces igualmente permeáveis observado pelo projeto arquitetônico.

Após o detalhamento e dimensionamento das estruturas, resultou que mesmo com algumas discrepâncias observadas ao início do projeto, como alguns fatos de dados ou incompatibilização de projetos, obteve um dimensionamento que adequa nas diretrizes recomendadas pelas normas de segurança estrutural.

4.4. Análise e comportamento estrutural.

A análise do projeto, demonstram uma variação de dois métodos para a análise de estruturas trianguladas planas, o método geral e o método simples empregue a estruturas das quais as ligações são compostas por placas denteadas. O método geral determina que ao realizar os cálculos de esforços e deformações, deve ser analisado a excentricidade dos apoios, do mesmo modo com o deslizamento das ligações e a deformação do apoio da estrutura. (CORREA,2009).

A singularidades das ligações deve ser interpretada corretamente no modelo de cálculo. Assim cada membro (exterior ou interior) dever ser demonstrado por uma peça de barra conforme o eixo do membro. Também se for preciso, utilizara barras fictícias para demonstrar a excentricidade das ligações, como a Figura 10 demonstra. (CORREIA,2009).



(1) Perna; (2) Apoio; (3) Tramo; (4) Membro exterior; (5) Membro interior; (6) Barra fictícia, que traduz a excentricidade da ligação

Figura 10. Exemplo do modelo de cálculo.

Fonte: Correia, 2009.

O cálculo e o detalhamento das ligações entre os elementos de madeira, não serão apresentados nesse trabalho, apenas o dimensionamento das seções no Apêndice A.

As reações alcançadas na análise estrutural, demonstrada no SAP2000, São de carregamentos no eixo normal ao plano, e no eixo de maior inercia e no eixo de menor inercia, como também a deflexão da estrutura.

As Figuras 11, 12 e 13 demonstram os diagramas dos esforços e momentos fletores ocorridos nos elementos estruturais, com a junção das combinações realizadas no dimensionamento das peças.

Ao esquematizar a geometria e as combinações de esforços, realizou a análise do modelo estrutural no SAP2000.

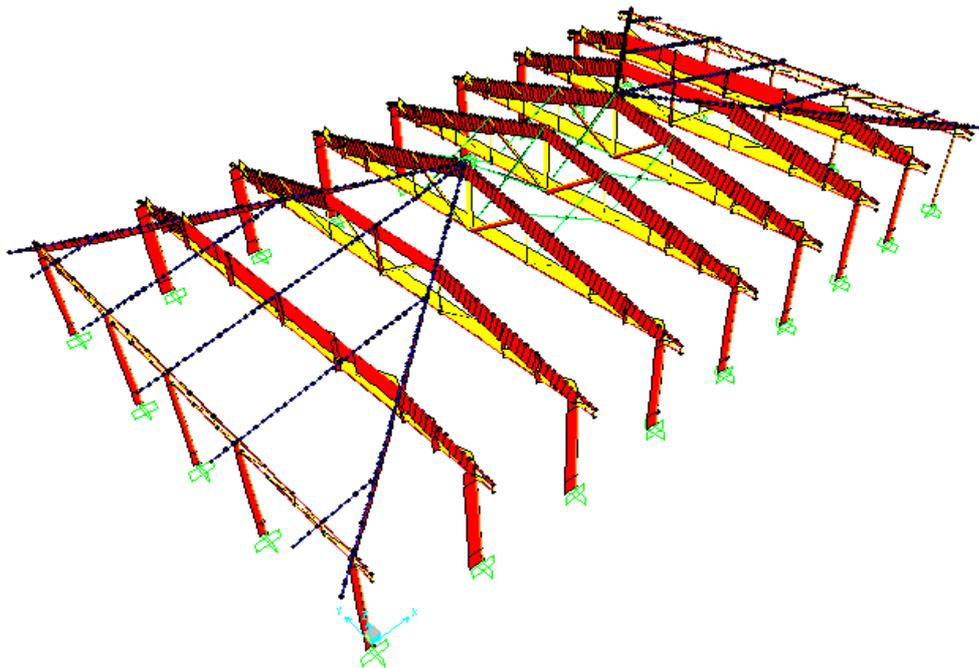


Figura 11. Diagrama de esforço normal (Combinação 1. SC).

Fonte: SAP2000®.

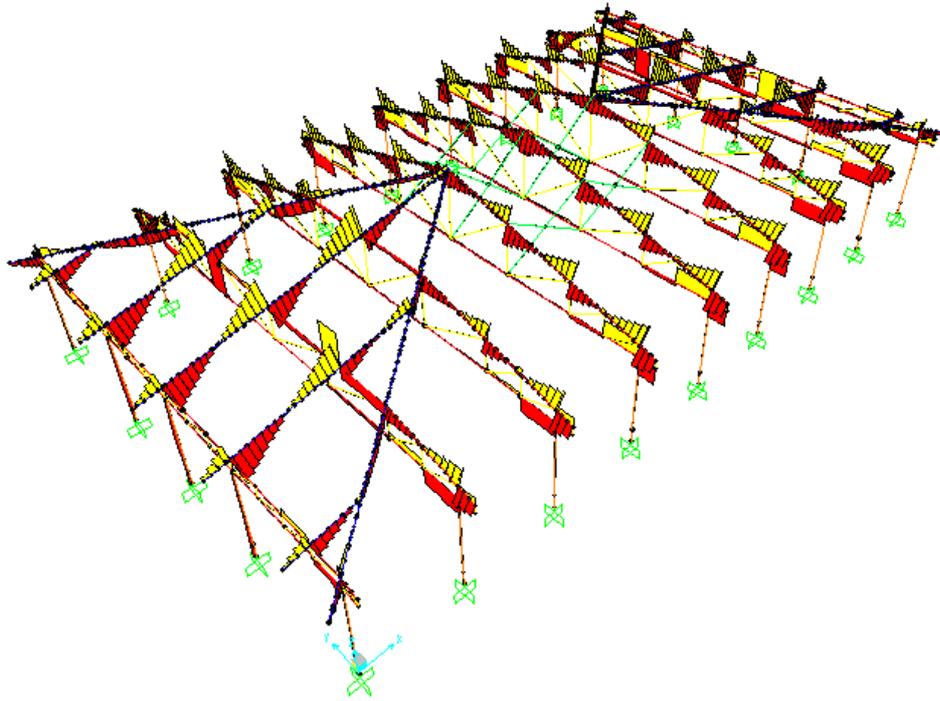


Figura 11. Diagrama de esforço cortante (Carregamento permanente).

Fonte: SAP2000®.

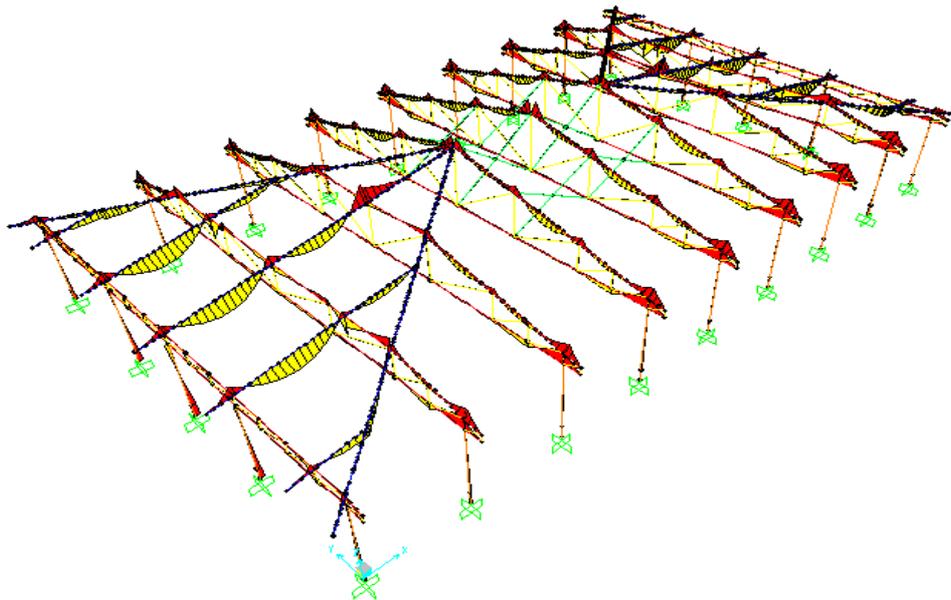
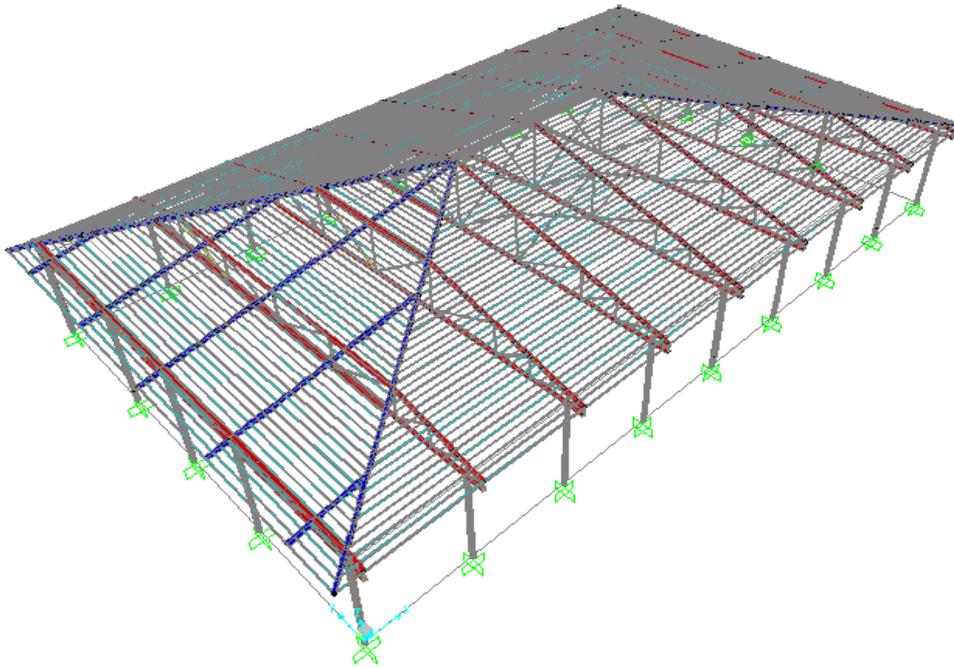


Figura 11. Diagrama de esforço momento fletor (Carregamento permanente).

Fonte: SAP2000®.

Assim, ao dimensionar todos os elementos da estrutura em madeira, obteve – se a



representação das suas características em 3D, mostrado na Figura 12.

Figura 12. Modelo representativo da geometria final da estrutura em madeira.

Fonte: SAP2000®.

4.5. Ligações

Os elementos de madeira bruta têm o comprimento limitado restrito pelas dimensões das árvores, formas de transportes etc. Os elementos de madeira serrada são produzidos em tamanhos ainda mais restringido, usualmente de 4 a 5 m. Para executar a estrutura, os elementos são ligados entre si, manuseando vários instrumentos, de acordo com a Figura 13 e 14. Os mais predominantes tipos de ligação aplicados são: colagem, pregos, grampos, braçadeiras, pinos, parafusos, conectores metálicos, tarugos e entalhes. (PFEIL e PFEIL,2003).

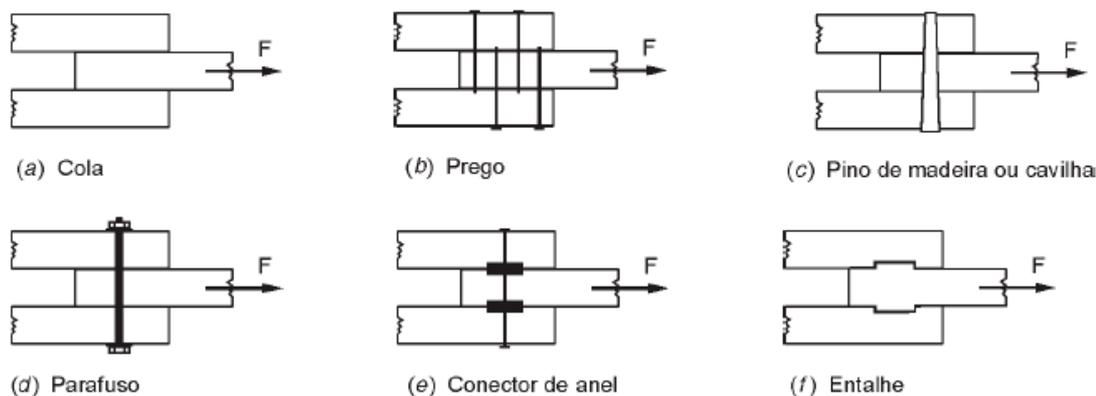


Figura 13. Tipos de ligações estruturais.

Fonte: PFEIL,2003

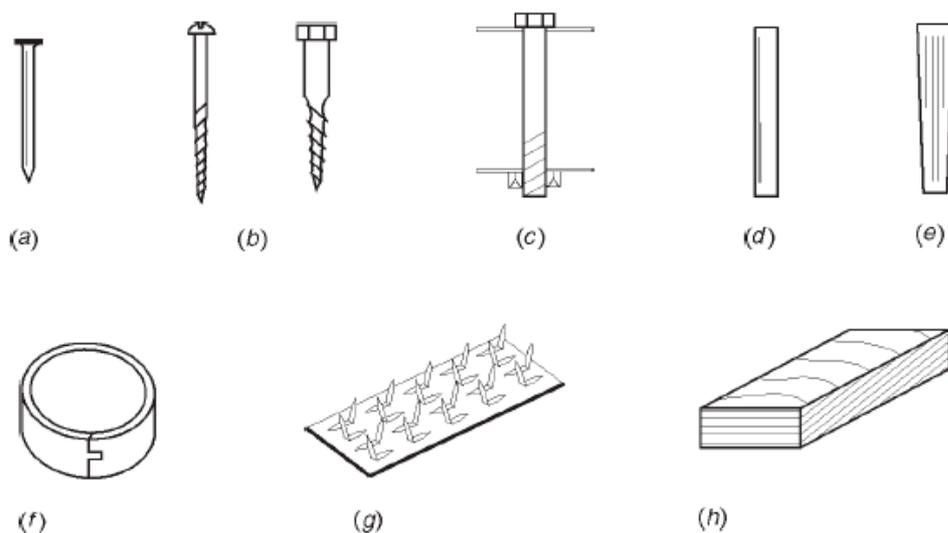


Figura 14. Conectores para ligações em estruturas de madeira: (a) prego; (b) parafuso auto – atarraxante; (c) parafuso com porca e arruela; (d) pino metálico; (e) pino de madeira; (f) conector de anel metálico; (g) chapa com dentes estampados; (h) tarugo de madeira.

Fonte: PFEIL, 2003.

O desenvolvimento e o cálculo das ligações entre os elementos do projeto estrutural, não serão apresentadas nesse trabalho, somente a ilustração dos tipos de ligações mostrados nas Figuras 13 e 14.

4.6. Comparativo de Custos

Ao início do trabalho foi proposto como uns dos objetivos as comparações de custos entre os materiais empregados, mas, ao iniciar o dimensionamento do projeto uma situação, one o detalhamento de custos entre a metálica e a madeira, necessitaria de um período de tempo adequado para a sua resolução total.

Assim nesse estudo de caso, não terá o detalhamento de custos entre os dois materiais, portanto a comparação desses materiais para a determinação de quais seriam mais econômicos não terá um resultado com valores de preços comerciais. Mas, analisando a mercado comercial de forma superficial, com a experiência, abordada pelos projetista que utilizam tais materiais, assim, concluir de forma simples que a metálica seria mais econômico em comparação com madeira, pelo ramo de produção ser mais efetivo e possuir grande demanda e estoques em várias regiões, que seria a grande desvantagem do segundo material.

5. CONCLUSÃO

Ao dimensionamento da carga permanente utilizando a telha cerâmica americana, foi notado que o projeto possuía uma inclinação de 28% apresentado na planta baixa, mas ao verificar as inclinação, obteve que somente as águas laterais do quiosque possuía tal inclinação, sendo que as águas frontais e de fundo, possuía uma inclinação menor de aproximadamente 21%, mas como o objetivo é a comparação das estruturas, optar em não alterar a inclinação obtida no projeto.

As alterações ocorridas no projeto em madeira, foram baseados nas diretrizes da NBR7190 e com a experiência abordada no uso de madeira como elemento estrutural., assim alterando as dimensões e posições dos contraventamentos, onde é comum a utilização horizontal em várias estruturas metálicas, com isso, assim, para verticais mais usualmente utilizada em estruturas de madeira.

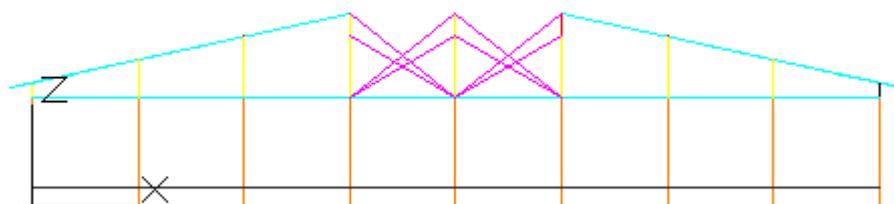


Figura 10. Contraventamentos em cor roxo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A comparação de custo dos projetos estruturais não foi possível, pela falta de tempo ocorrida pelo efeito de força maior, acontecido pelo a inserção do surto do Covid – 19 no país, assim, decretando quarentena no regime educacional.

Ao analisar a estrutura em madeira, constatou que pelo fato do material possuiu grandes limitações ao percorrer grandes vãos, o tamanho dos seus elementos se tornou mais robustos em comparação com os elementos metálicos.

Apesar das ponderações e observações sobre as discordâncias de parecer, o objetivo do estudo de caso representou na confrontação entre os projetos de metálica e de estruturas em madeira, ajustando somente o novo projeto para recomendações mínimas adotadas para a utilização do material, sendo alterações que não computem uma taxa de mudança de projeto original. Portanto, os dois resultados estruturais atendem, cada qual com as suas características, o mesmo conceito arquitetônico, assegurado sistemas seguros e economicamente viáveis.

O estudo de caso, com a observação que o uso da madeira de forma a providenciar um estética melhorada quiosque dimensionada, possui elevada vantagem em relação a metálica, mesmo podendo ser um material comercialmente, mais caro, em comparação ao usado no projeto original, proporcionar uma estética e conforto visual, assim, sendo para uso em quiosque comercial, que dos seus principais objetivos, seriam na atração de clientes, a estética da madeira atende o requisito adequado para a utilização.

REFERÊNCIAS

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

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

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

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

ALMEIDA, F. A. L. D. **A madeira como material estrutural: projeto da estrutura da cobertura de um edifício.** Porto. Portugal. 2012.

CASTILHO, H. **Uso da madeira na construção civil.** Belo Horizonte. 2017. Disponível em <<http://henriquecastilho.com.br/blog/uso-madeira-construcao-civil>>. Acesso em 18 de novembro de 2019.

CORREIA, E. A. S. **Análise e dimensionamento de estruturas de madeira.** Porto. Portugal. 2009.

CRUZ, H. **Inspeção, avaliação e conservação de estruturas de madeira.** JMC´2011. 1ª Jornada de materiais na construção. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP. Porto, 2011. p. 215-227.

DINIZ, D. P. V. **Estruturas de madeira e de aço para telhados: vantagens e desvantagens do uso na engenharia civil.** Angicos: UFERSA. 2018.

GESUALDO, F. A. R. **Estrutura de madeiras.** Notas de aula, Faculdade de Engenharia Civil. UFU (Universidade Federal de Uberlândia), 2003. 106 P.

JUNIOR, C. C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A.; **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira.** Barueri: Manole, 2003. p. 152.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: LTC, 2003, 6º edição revisada. 224 p.

SZCUS, C. A.; et al. **Estruturas de madeira.** Apostila de madeiras. Florianópolis: UFSC, 2016. 213 P.

SELMO, S.; DJANIKIAN, J. G. **Madeiras.** In. PCC 339, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000, Anais.

VEDANA, Camila. **Materiais de construção civil 1: Madeiras.** Sinop: Universidade do Estado de Mato Grosso, 2011, notas de aula.

ZENID, G. J. **Qualificação de produtos de madeira para a construção civil.** In: SEMINÁRIO DE INDUSTRIALIZAÇÃO E USO DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 2., Caxias do sul. **Anais...** Caxias do Sul: SINDIMADEIRA, 2001.p 61-76.

ANEXO “A”

ESFORÇO - P

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|---------------------|-------------|-----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| 622 | 5,1 | COMB9 1PP+0CP+1V270 | Combination | 18 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 622-1 | 5,1 |
| 613 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -82 | 0 | 1 | 0 | 3 | -1 | 613-1 | 0 |

ESFORÇO - V2

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|-----------------------|-------------|----|-----|----|---|----|-----|-----------|-------------|
| 664 | 0 | COMB5 - 1PP+1CP+1V270 | Combination | -7 | 14 | -1 | 0 | -3 | 22 | 664-1 | 0 |
| 660 | 0 | COMB8 1PP+0CP+1V180 | Combination | -2 | -16 | 0 | 0 | 0 | -23 | 660-1 | 0 |

ESFORÇO - V3

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|---------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| 656 | 0 | COMB7 1PP+0CP+1V90 | Combination | 14 | 0 | 5 | 0 | 8 | 2 | 656-1 | 0 |
| 658 | 0 | COMB9 1PP+0CP+1V270 | Combination | 14 | 0 | -5 | 0 | -8 | 2 | 658-1 | 0 |

ESFORÇO - M2

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|-----------------------|-------------|-----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| 658 | 0 | COMB3 - 1PP+1CP+1V90 | Combination | -35 | 1 | 4 | 0 | 8 | 5 | 658-1 | 0 |
| 656 | 0 | COMB5 - 1PP+1CP+1V270 | Combination | -35 | 1 | -4 | 0 | -8 | 5 | 656-1 | 0 |

ESFORÇO - M3

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|-----------------------|-------------|----|-----|----|---|----|-----|-----------|-------------|
| 664 | 0 | COMB5 - 1PP+1CP+1V270 | Combination | -7 | 14 | -1 | 0 | -3 | 22 | 664-1 | 0 |
| 660 | 0 | COMB8 1PP+0CP+1V180 | Combination | -2 | -16 | 0 | 0 | 0 | -23 | 660-1 | 0 |

Tabela 1. Resultados das combinações realizada no SAP200 dos elementos pilares.

ESFORÇO - P

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|----------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| 289 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 22 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 289-1 | 0 |
| 639 | 0 | COMB3 - 1PP+1CP+1V90 | Combination | -6 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 639-1 | 0 |

ESFORÇO - V2

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|--------------------|-------------|---|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| 707 | 1,96429 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | -4 | 707-1 | 1,96429 |
| 694 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 3 | -4 | 0 | 0 | 0 | -4 | 694-1 | 0 |

ESFORÇO - V3

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|--------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|-----------|-------------|
| 690 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -3 | -3 | 7 | 1 | 3 | -2 | 690-1 | 0 |
| 709 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -3 | -3 | -7 | -1 | -3 | -2 | 709-1 | 0 |

ESFORÇO - M2

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|--------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|-----------|-------------|
| 293 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -3 | -3 | 7 | 1 | 3 | -2 | 293-1 | 0 |
| 246 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -3 | -3 | -7 | -1 | -3 | -2 | 246-1 | 0 |

ESFORÇO - M3

| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
|-------|---------|--------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|-----------|-------------|
| 639 | 1,96429 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -3 | -2 | 0 | -1 | 0 | 5 | 639-1 | 1,96429 |
| 694 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 3 | -4 | 0 | 0 | 0 | -4 | 694-1 | 0 |

Tabela 2. Resultados das combinações realizada no SAP200 dos elementos banzos da fachada.

| ESFORÇO - P | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------------|------|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 304 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 201 | -1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 304-1 | 0 |
| 828 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -157 | -3 | 0 | 0 | 0 | -4 | 828-1 | 0 |

| ESFORÇO - V2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|------|-----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 981 | 1,30952 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -128 | 14 | 0 | 0 | 0 | -4 | 981-1 | 1,30952 |
| 830 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -130 | -15 | 0 | 0 | 0 | -4 | 830-1 | 0 |

| ESFORÇO - V3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|------|----|-----|----|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 641 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -139 | -8 | 14 | 4 | 6 | -7 | 641-1 | 0 |
| 675 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -138 | -7 | -14 | -4 | -6 | -6 | 675-1 | 0 |

| ESFORÇO - M2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|------|----|-----|----|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 641 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -139 | -8 | 14 | 4 | 6 | -7 | 641-1 | 0 |
| 675 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -138 | -7 | -14 | -4 | -6 | -6 | 675-1 | 0 |

| ESFORÇO - M3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|------|-----|----|---|----|-----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 830 | 1,30952 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -130 | -14 | 0 | 0 | 0 | 15 | 830-1 | 1,30952 |
| 307 | 2,29167 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 18 | 9 | 0 | 0 | 0 | -14 | 307-1 | 2,29167 |

Tabela 3. Resultados das combinações realizada no SAP200 dos elementos banzos.

| ESFORÇO - P | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------------|-----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 121 | 2,11524 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 121-1 | 2,11524 |
| 61 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 61-1 | 0 |

| ESFORÇO - V2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|-----------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 126 | 0 | COMB9 1PP+0CP+1V270 | Combination | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 126-1 | 0 |
| 146 | 0 | COMB4 - 1PP+1CP+1V180 | Combination | -7 | -4 | 0 | 0 | 0 | -2 | 146-1 | 0 |

| ESFORÇO - V3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|-----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 71 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 71-1 | 0 |
| 106 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 106-1 | 0 |

| ESFORÇO - M2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|-----------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 132 | 0 | COMB4 - 1PP+1CP+1V180 | Combination | -4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 132-1 | 0 |
| 152 | 0 | COMB4 - 1PP+1CP+1V180 | Combination | -4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 152-1 | 0 |

| ESFORÇO - M3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|-----------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 146 | 0,78475 | COMB8 1PP+0CP+1V180 | Combination | 4 | -4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 146-1 | 0,78475 |
| 126 | 0 | COMB4 - 1PP+1CP+1V180 | Combination | -7 | -4 | 0 | 0 | 0 | -2 | 126-1 | 0 |

Tabela 4. Resultados das combinações realizada no SAP200 dos elementos diagonais da fachada.

| ESFORÇO - P | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------------|-----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 200 | 2,42231 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200-1 | 2,42231 |
| 86 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -72 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 86-1 | 0 |

| ESFORÇO - V2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|-----------------------|-------------|-----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 266 | 0 | COMB3 - 1PP+1CP+1V90 | Combination | -30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 266-1 | 0 |
| 93 | 0 | COMB5 - 1PP+1CP+1V270 | Combination | -3 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93-1 | 0 |

| ESFORÇO - V3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|-----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 86 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -72 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 86-1 | 0 |
| 83 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -72 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 83-1 | 0 |

| ESFORÇO - M2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|-----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 83 | 0,78475 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -71 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 83-1 | 0,78475 |
| 86 | 0,78475 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -72 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 86-1 | 0,78475 |

| ESFORÇO - M3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|----------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 96 | 0 | COMB6 1PP+0CP+1VO | Combination | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 96-1 | 0 |
| 264 | 0 | COMB3 - 1PP+1CP+1V90 | Combination | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 264-1 | 0 |

Tabela 5. Resultados das combinações realizada no SAP200 dos elementos diagonais.

| ESFORÇO - P | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 3810 | 3,75452 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3810-1 | 3,75452 |
| 3817 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3817-1 | 0 |

| ESFORÇO - V2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|---------------------|-------------|---|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 3822 | 3,3832 | COMB8 1PP+0CP+1V180 | Combination | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3822-1 | 3,3832 |
| 3826 | 0 | COMB2 - 1PP+1CP+1V0 | Combination | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3826-1 | 0 |

| ESFORÇO - V3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|-----------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 3818 | 0 | COMB5 - 1PP+1CP+1V270 | Combination | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3818-1 | 0 |
| 3817 | 0 | COMB7 1PP+0CP+1V90 | Combination | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3817-1 | 0 |

| ESFORÇO - M2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|----|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 3818 | 3,38456 | COMB7 1PP+0CP+1V90 | Combination | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3818-1 | 3,38456 |
| 3817 | 0 | COMB7 1PP+0CP+1V90 | Combination | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3817-1 | 0 |

| ESFORÇO - M3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|---------------------|-------------|---|----|----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 3826 | 3,38456 | COMB2 - 1PP+1CP+1V0 | Combination | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3826-1 | 3,38456 |
| 3819 | 0 | COMB6 1PP+0CP+1V0 | Combination | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3819-1 | 0 |

Tabela 6. Resultados das combinações realizada no SAP200 dos elementos contraventamentos.

| ESFORÇO - P | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|-----------------------|-------------|-----|----|-----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 2689 | 0,27963 | COMB5 - 1PP+1CP+1V270 | Combination | 12 | 0 | -2 | 0 | 1 | 0 | 2689-1 | 0,27963 |
| 2236 | 0,39299 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -69 | 1 | -16 | 0 | 8 | -2 | 2236-1 | 0,39299 |

| ESFORÇO - V2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|----|-----|----|---|----|-----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 3092 | 0,16889 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 2 | 15 | 0 | 0 | 0 | -16 | 3092-1 | 0,16889 |
| 3095 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -4 | -15 | 1 | 1 | 0 | -8 | 3095-1 | 0 |

| ESFORÇO - V3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|-----|----|-----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 3078 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -64 | 3 | 20 | 0 | -8 | -2 | 3078-1 | 0 |
| 3084 | 0 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -65 | 3 | -20 | 0 | 8 | -2 | 3084-1 | 0 |

| ESFORÇO - M2 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|-----|----|-----|---|----|----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 3084 | 0,05502 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -65 | 3 | -20 | 0 | 9 | -3 | 3084-1 | 0,05502 |
| 3078 | 0,05502 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -64 | 3 | 20 | 0 | -9 | -2 | 3078-1 | 0,05502 |

| ESFORÇO - M3 | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|--------------------|-------------|----|----|----|---|----|-----|-----------|-------------|
| Frame | Station | OutputCase | CaseType | P | V2 | V3 | T | M2 | M3 | FrameElem | ElemStation |
| 2338 | 0,365 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | -1 | -1 | 0 | 1 | 0 | 14 | 2338-1 | 0,365 |
| 3092 | 0,16889 | COMB1 - 1PP+1CP+1C | Combination | 2 | 15 | 0 | 0 | 0 | -16 | 3092-1 | 0,16889 |

Tabela 7. Resultados das combinações realizada no SAP200 dos elementos das vigas.

APÊNDICE “A”

APÊNDICE A. Memorial de cálculo aplicado para o dimensionamento do projeto estrutural em madeira com telha cerâmica.

1. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Dados do projeto em metálica, utilizados para o dimensionamento do quiosque em madeira:

- $A = 48,85$ metros;
- $B = 27,5$ metros;
- $h = 6,78$ metros;
- β ou $h' = 28,47$ % inclinação obtida através da planta arquitetônica.
- Altura diagonal inicial sobre o pilar = $0,78$ metros;
- DEP = $5,85$ metros;
- Pilares de Oitão = $7,85$ metros; conforme orientado pela arquitetura $5,89$ metros.
- $V_o = 33$ m/s (Goiânia – Go).
- Telha cerâmica tipo americana conforme projeto de arquitetura. Obs. Não está prevista instalação de forro ou de qualquer tipo de carga especial.
- CP1 = 4 Faces igualmente permeáveis.
- Todos os perfis dos pilares serão em madeira serrada tipo tola, com diâmetro pré – adotado de 25 cm.

Dados do carregamento abordado na estrutura se baseando nas recomendações mínimas da NBR7190.

- Sobrecarga da cobertura = $0,25$ KN/m²,
- Carga permanente da estrutura = $0,1389$ Kn/m², Peso da telha.
- Relevo S1 = $1,0$;
- Fator S2 = $0,93$;
- Fator S3 = $1,0$;

Calculo da h'

$$h' = b/2 * \beta$$

$$h' = 27,5/2 * 28,47/100 = 3,87 \text{ m}$$

1.1. Carga do vento.

- $Q = 0,57 \text{ Kn/m}^2$ ou 57 kgf/m^2 , valor obtido utilizando o software Visual Ventos, Anexo B.

1.1. Vão máximo da telha cerâmica.

A partir do valor da carga de vento, e com a combinação a seguir, encontramos o Vão Máximo da Telha.

- $q = \frac{V_0^2}{8} = \frac{33^2}{8} = 136 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

1.2. Cálculo da velocidade característica do vento

- $V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$
- $V_k = 33,00 \times 1,00 \times 0,93 \times 1,00$
- $V_k = 30,69 \text{ m/s}$

2. DEFINIÇÃO DAS SEÇÕES DO ELEMENTOS ESTRUTURAIS

2.1. Propriedade da madeira

- Tipo Madeira- Ipê

$$f_{cok} = 7.60 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{tok} = 9.68 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{vk} = f_{cok} * 0,15 \quad f_{vk} = 1.31 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{com} = 1801.10 \text{ kN/cm}^2$$

$$K_{mod} = K_{mod1} * K_{mod2} * K_{mod3}$$

$$K_{mod} = 0.70 * 1.00 * 0.80$$

$$K_{mod} = 0.56$$

2.2. Dimensionamento do Pilares.

2.2.1. Cálculo dos esforços a momento fletor

Cálculo do esforço do momento fletor. O frame 660 utilizado para cálculo, visto na tabela do Anexo A.

- Unidades utilizada no cálculo: KN (KiloNewton) e cm (Centímetros).

2.2.2. Seção transversal

$$A = 625.00 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 32552.08 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 32552.08 \text{ cm}^4$$

$$I_{min} = 32552.08 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 7.22 \text{ cm}$$

$$i_z = 7.22 \text{ cm}$$

$$i_{min} = 7.22 \text{ cm}$$

$$L = 600.00 \text{ cm}$$

2.2.3. Carregamentos

$$F1 \rightarrow -2.00 \text{ kN}$$

$$M1 \rightarrow -2300.00 \text{ kN*cm}$$

$$V1 \rightarrow -16.00 \text{ kN}$$

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$$

$$F_{d1} = 0.90 * -2.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$F_{d1} = 2.80 \text{ kN}$$

$$M_{dy1} = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$$

$$M_{dy1} = 1.40 * -4725.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$M_{dy1} = 6615.00 \text{ kN * cm}$$

$$M_{dz1} = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$$

$$M_{dz1} = 1.40 * -25.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$M_{dz1} = 35.00 \text{ kN * cm}$$

$$K_M = 0.50$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$\begin{aligned} M_{d1} &= 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3) \\ M_{d1} &= 0.90 * -2300.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\ M_{d1} &= 3220.00 \text{ kN} * \text{cm} \end{aligned}$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$\begin{aligned} V_{d1} &= 1.40 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q) \\ V_{d1} &= 1.40 * -8.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\ V_{d1} &= 11.20 \text{ kN} \end{aligned}$$

Compressão paralelas a fibras

$$\begin{aligned} f_{cod} &= K_{mod} * (E_{com} / 1.4) \\ f_{cod} &= 0.56 * (7.60 / 1.40) \\ f_{cod} &= 3.04 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Esbeltez} &= L / R_{min} \\ \text{Esbeltez} &= 600.00 / 7.22 \\ \text{Esbeltez} &= 69.28 \end{aligned}$$

40 < Esbeltez <= 80 - Peça Medianamente Curta

- Tensões atuantes devido à força normal

$$\begin{aligned} T_{cod1} &= F_{d1} / A \\ T_{cod1} &= 2.80 / 625.00 \text{ kN/cm}^2 \\ T_{cod1} &= 0.00 \end{aligned}$$

- Tensões atuantes devido ao Momento

$$\begin{aligned} e_a &= L / 300 \\ e_a &= 600.00 / 300 \\ e_a &= 2.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_i &= M_{d1} / F_{d1} \\ e_i &= 3220.00 / 2.80 \\ e_i &= 0.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_1 &= e_i + e_a \\ e_1 &= 0.00 + 2.00 \\ e_1 &= 2.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{coef} &= K_{mod} * E_{com} \\ E_{coef} &= 0.56 * 1801.10 \\ E_{coef} &= 1008.62 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_e &= (\pi^2 * E_{coef} * I_{min}) / L^2 \\ F_e &= (\pi^2 * 1008.62 * 32552.10) / 600.00^2 \\ F_e &= 900.12 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$e_d = e_1 * (F_e / (F_e - F_{d1}))$$

$$ed = 2.00 * (900.12 / (900.12 - 2.80))$$
$$ed = 2.01 \text{ cm}$$

$$\text{Med1} = Fd1 * ed$$
$$\text{Med1} = 2.80 * 2.01$$
$$\text{Med1} = 5.62 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{TMed1} = (\text{Med1} / I_{\text{min}}) * y$$
$$\text{TMed1} = (5.62 / 32552.10) * 12.50$$
$$\text{TMed1} = 0.00 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$(\text{Tcod1}/f_{\text{cod}}) + (\text{TMed1}/f_{\text{cod}}) \leq 1$$
$$(0.00 / 3.04) + (0.00 / 3.04) \leq 1$$
$$0.00 \leq 1 \quad \text{Ok!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

2.2.4. Flexocompressão

$$\text{Tcod1} = Fd1 / A$$
$$\text{Tcod1} = 2.80 / 625.00$$
$$\text{Tcod1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$\text{TMyd1} = Md1y / I_y * 12.50$$
$$\text{TMyd1} = 6615.00 / 32552.10 * 12.50$$
$$\text{TMyd1} = 2.54 \text{ kN / cm}^2$$

$$\text{TMzd1} = Md1z / I_z * 12.50$$
$$\text{TMzd1} = 35.00 / 32552.10 * 12.50$$
$$\text{TMzd1} = 0.01 \text{ kN / cm}^2$$

$$(\text{Tcod1}/f_{\text{cod}})^2 + (\text{TMyd1}/f_{\text{cod}}) + (\text{KM} * \text{TMzd1}/f_{\text{cod}}) \leq 1$$
$$0.84 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(\text{Tcod1}/f_{\text{cod}})^2 + (\text{KM} * \text{TMyd1}/f_{\text{cod}}) + (\text{TMzd1}/f_{\text{cod}}) \leq 1$$
$$0.42 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

2.2.5. Flexão simples composta

$$W_c = I_y / z_1$$
$$W_c = 32552.10 / 12.50$$
$$W_c = 2604.17 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$
$$W_t = 2604.17 \text{ cm}^3$$

$$f_{\text{cod}} = K_{\text{mod}} * (E_{\text{com}} / 1.4)$$
$$f_{\text{cod}} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cd1} = M_{d1y} / W_c$$

$$T_{cd1} = 6615.00 / 2604.17$$

$$T_{cd1} = 2.54 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{td1} = M_{d1y} / W_t$$

$$T_{td1} = 6615.00 / 2604.17$$

$$T_{td1} = 2.54 \text{ kN / cm}^2$$

- Verificação

$$T_{cd1} \leq f_{cod} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{tod}$$

$$2.54 \leq 3.04 \text{ e } 2.54 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

2.2.6. Cisalhamento

$$f_{vod} = K_{mod} * f_{vok} / 1.8$$

$$f_{vod} = 0.56 * 1.31 / 1.80$$

$$f_{vod} = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 78.13 \text{ cm}^3$$

$$C_{d1} = (3/2) * V_{d1} / A$$

$$C_{d1} = (3/2) * 11.20 / 625.00$$

$$C_{d1} = 0.03 \text{ kN / cm}^2$$

$$C_{d1} \leq f_{vod}$$

$$0.03 \leq 0.41$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

2.3. Cálculo dos esforços a compressão

2.3.4. Carregamentos

$$F1 \rightarrow -82.00 \text{ kN}$$

$$M1 \rightarrow 100.00 \text{ kN*cm}$$

$$V1 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$$

- Combinação das Ações Normais

$$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$$

$$Fd1 = 0.90 * -82.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Fd1 = 114.80 \text{ kN}$$

$$Mdy1 = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$$

$$Mdy1 = 1.40 * -925.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdy1 = 1295.00 \text{ kN} * \text{cm}$$

$$Mdz1 = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$$

$$Mdz1 = 1.40 * -1025.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdz1 = 1435.00 \text{ kN} * \text{cm}$$

$$KM = 0.50$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$Md1 = 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3)$$

$$Md1 = 0.90 * 100.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Md1 = 90.00 \text{ kN} * \text{cm}$$

2.3.2. Compressão paralelas as fibras

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$Esbeltez = L / R_{min}$$

$$Esbeltez = 600.00 / 7.22$$

$$Esbeltez = 83.10$$

80 < Esbeltez <= 140 - Peça Esbelta

- Tensões atuantes devida à força normal

$$T_{cod1} = Fd1 / A$$

$$T_{cod1} = 114.80 / 625.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cod1} = 0.18$$

- Tensões atuantes devido ao Momento

$$E_{coef} = K_{mod} * E_{com}$$

$$E_{coef} = 0.56 * 1801.10$$

$$E_{coef} = 1008.62 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_e = (\pi^2 * E_{coef} * I_{min}) / L^2$$

$$F_e = (\pi^2 * 1008.62 * 32552.10) / 600.00^2$$

$$F_e = 900.12 \text{ kN}$$

$$e_a = L / 300$$

$$e_a = 600.00 / 300$$

$$e_a = 2.00 \text{ cm}$$

$$e_i = M_{d1} / F_{d1}$$

$$e_i = 90.00 / 114.80$$

$$e_i = 0.78 \text{ cm}$$

$$c = (\zeta * (F_1 + ((w_1 + w_2) * F_3))) / (F_e - (F_1 + ((w_1 + w_2) * F_3)))$$

$$c = (0.80 * (-82.00 + ((0.50 + 0.30) * 0.00))) / (900.12 - (-82.00 + ((0.50 + 0.30) * 0.00)))$$

$$c = 0.08$$

$$e_{ig} = M_{d1} / F_1$$

$$e_{ig} = 90.00 / -82.00$$

$$e_{ig} = 1.10 \text{ cm}$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) * (\exp(c) - 1)$$

$$e_c = (1.10 + 2.00) * (\exp(0.08) - 1)$$

$$e_c = 0.26 \text{ cm}$$

$$e_{1ef} = e_i + e_a + e_c$$

$$e_{1ef} = 0.78 + 2.00 + 0.26$$

$$e_{1ef} = 3.04 \text{ cm}$$

$$M_{ed1} = F_{d1} * e_{1ef} * (F_e / (F_e - F_{d1}))$$

$$M_{ed1} = 114.80 * 3.04 * (900.12 / (900.12 - 0.00))$$

$$M_{ed1} = 400.35 \text{ kN*cm}$$

$$T_{Med1} = (M_{ed1} / I_{min}) * y$$

$$T_{Med1} = (400.35 / 32552.10) * 12.50$$

$$T_{Med1} = 0.15 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$(T_{cod1} / f_{cod}) + (T_{Med1} / f_{cod}) \leq 1$$

$$(0.18 / 3.04) + (0.15 / 3.04) \leq 1$$

$$0.11 \leq 1 \quad \text{Ok!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

2.3.3. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 114.80 / 625.00$$

$$T_{cod1} = 0.18 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 12.50$$

$$T_{Myd1} = 1295.00 / 32552.10 * 12.50$$

$$T_{Myd1} = 0.50 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 12.50$$

$$T_{Mzd1} = 1435.00 / 32552.10 * 12.50$$

$$T_{Mzd1} = 0.55 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{cod1} / f_{cod})^2 + (T_{Myd1} / f_{cod}) + (K_M * T_{Mzd1} / f_{cod}) \leq 1$$

$$0.26 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{cd1}/f_{cod})^2 + (K_M * T_{Myd1}/f_{cod}) + (T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.27 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

2.3.4. Flexão simples – Tensão normal

$$W_c = I_y / z_1$$

$$W_c = 32552.10 / 12.50$$

$$W_c = 2604.17 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$

$$W_t = 2604.17 \text{ cm}^3$$

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cd1} = M_{d1y} / W_c$$

$$T_{cd1} = 1295.00 / 2604.17$$

$$T_{cd1} = 0.50 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{td1} = M_{d1y} / W_t$$

$$T_{td1} = 1295.00 / 2604.17$$

$$T_{td1} = 0.50 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$T_{cd1} \leq f_{cod} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{tod}$$

$$0.50 \leq 3.04 \text{ e } 0.50 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

2.4. Cálculo dos esforços a tração

Frame 622 – comprimento L =

2.4.1. Carregamentos

$$F_1 \rightarrow 18.00 \text{ kN}$$

$$M_1 \rightarrow 0.00 \text{ kN*cm}$$

$$V_1 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$$

$$F_2 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$$

$$M_2 \rightarrow 0.00 \text{ kN*cm}$$

$$V_2 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$$

$$F_3 \rightarrow 0.00 \text{ kN*cm}$$

M3 -> 0.00 kN

V3 -> 0.00 kN

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F_1 + 1.40 (F_2 + 0.60 * F_3)$$

$$F_{d1} = 0.90 * 18.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$F_{d1} = 16.20 \text{ kN}$$

2.4.2. TRAÇÃO PARALELA AS FIBRAS

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 30.12 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{tod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{tod1} = 16.20 / 625.00$$

$$T_{tod1} = 0.03 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$f_{tod} \geq T_{tod1}$$

$$30.12 \geq 0.03 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

2.4.3. FLEXOTRAÇÃO

$$T_{tod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{tod1} = 16.20 / 625.00$$

$$T_{tod1} = 0.03 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 12.50$$

$$T_{Myd1} = 292.50 / 32552.10 * 12.50$$

$$T_{Myd1} = 0.11 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 12.50$$

$$T_{Mzd1} = 202.50 / 32552.10 * 12.50$$

$$T_{Mzd1} = 0.08 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{tod1}/f_{tod}) + (T_{Myd1}/f_{tod}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{tod}) \leq 1$$

$$0.01 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{tod1}/f_{tod}) + (K_M * T_{Myd1}/f_{tod}) + (T_{Mzd1}/f_{tod}) \leq 1$$

$$0.01 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok!

Ok! Peça suporta carregamento!

Portanto, após a realização do dimensionamento do pilar, resultou na escolha da seção mínima de 25x25 cm.

3. DIMENSIONAMENTO DO BANZO DA FACHADA

3.1. Cálculo dos esforços a compressão

Frame 639 – comprimento $L = 196$ cm.

3.1.1. Seção transversal

$A = 144.00$ cm²
 $I_y = 1728.00$ cm⁴
 $I_z = 1728.00$ cm⁴
 $I_{min} = 1728.00$ cm⁴
 $i_y = 3.46$ cm
 $i_z = 3.46$ cm
 $i_{min} = 3.46$ cm
 $L = 196.00$ cm

3.1.2. Carregamentos

$F1 \rightarrow -6.00$ kN
 $M1 \rightarrow 0.00$ kN*cm
 $V1 \rightarrow -1.00$ kN

- Combinação das Ações Normais

$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$
 $Fd1 = 0.90 * -6.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Fd1 = 8.40$ kN

$Mdy1 = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$
 $Mdy1 = 1.40 * -85.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Mdy1 = 119.00$ kN * cm

$Mdz1 = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$
 $Mdz1 = 1.40 * -36.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Mdz1 = 50.40$ kN * cm

$KM = 0.50$

- Combinação das Ações Cortantes

$Vd1 = 1.40 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$
 $Vd1 = 1.40 * -0.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Vd1 = 0.70$ kN

3.1.3. Compressão paralelas as fibras

$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$
 $f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$
 $f_{cod} = 3.04$ kN/cm²

$Esbeltez = L / R_{min}$
 $Esbeltez = 196.00 / 3.46$

Esbeltez = 56.65

40 < Esbeltez <= 80 - Peça Medianamente Curta

- Tensões atuantes devido à força normal

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 8.40 / 144.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cod1} = 0.06$$

- Tensões atuantes devido ao Momento

$$e_a = L / 300$$

$$e_a = 196.00 / 300$$

$$e_a = 0.65 \text{ cm}$$

$$e_i = M_{d1} / F_{d1}$$

$$e_i = 450.00 / 8.40$$

$$e_i = 0.00 \text{ cm}$$

$$e_1 = e_i + e_a$$

$$e_1 = 0.00 + 0.65$$

$$e_1 = 0.65 \text{ cm}$$

$$E_{coef} = K_{mod} * E_{com}$$

$$E_{coef} = 0.56 * 1801.10$$

$$E_{coef} = 1008.62 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_e = (\pi^2 * E_{coef} * I_{min}) / L^2$$

$$F_e = (\pi^2 * 1008.62 * 1728.00) / 196.00^2$$

$$F_e = 447.77 \text{ kN}$$

$$e_d = e_1 * (F_e / (F_e - F_{d1}))$$

$$e_d = 0.65 * (447.77 / (447.77 - 8.40))$$

$$e_d = 0.67 \text{ cm}$$

$$M_{ed1} = F_{d1} * e_d$$

$$M_{ed1} = 8.40 * 0.67$$

$$M_{ed1} = 5.59 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{Med1} = (M_{ed1} / I_{min}) * y$$

$$T_{Med1} = (5.59 / 1728.00) * 6.00$$

$$T_{Med1} = 0.02 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$(T_{cod1} / f_{cod}) + (T_{Med1} / f_{cod}) \leq 1$$

$$(0.06 / 3.04) + (0.02 / 3.04) \leq 1$$

$$0.03 \leq 1 \quad \text{Ok!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.1.4. Flexocompressão

$$Tcod1 = Fd1 / A$$

$$Tcod1 = 8.40 / 144.00$$

$$Tcod1 = 0.06 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$TMyd1 = Md1y / Iy * 6.00$$

$$TMyd1 = 119.00 / 1728.00 * 6.00$$

$$TMyd1 = 0.41 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$TMzd1 = Md1z / Iz * 6.00$$

$$TMzd1 = 50.40 / 1728.00 * 6.00$$

$$TMzd1 = 0.17 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$(Tcod1/fcod)^2 + (TMyd1/fcod) + (KM * TMzd1/fcod) \leq 1$$

$$0.17 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(Tcod1/fcod)^2 + (KM * TMyd1/fcod) + (TMzd1/fcod) \leq 1$$

$$0.13 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.1.5. Flexão simples – Tensão normal

$$Wc = Iy / z1$$

$$Wc = 1728.00 / 6.00$$

$$Wc = 288.00 \text{ cm}^3$$

$$Wt = Wc$$

$$Wt = 288.00 \text{ cm}^3$$

$$fcod = Kmod * (Ecom / 1.4)$$

$$fcod = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$fcod = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$ftod = Kmod * ftok / 1.8$$

$$ftod = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$ftod = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$Tcd1 = Md1y / Wc$$

$$Tcd1 = 119.00 / 288.00$$

$$Tcd1 = 0.41 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$Ttd1 = Md1y / Wt$$

$$Ttd1 = 119.00 / 288.00$$

$$Ttd1 = 0.41 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

- Verificação

$$Tcd1 \leq fcod \text{ e } Tcd1 \leq ftod$$

$$0.41 \leq 3.04 \text{ e } 0.41 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.1.6. Cisalhamento

$$f_{vod} = K_{mod} * f_{vok} / 1.8$$

$$f_{vod} = 0.56 * 1.31 / 1.80$$

$$f_{vod} = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 18.00 \text{ cm}^3$$

$$C_{d1} = (3/2) * V_{d1} / A$$

$$C_{d1} = (3/2) * 0.70 / 144.00$$

$$C_{d1} = 0.01 \text{ kN / cm}^2$$

$$C_{d1} \leq f_{vod}$$

$$0.01 \leq 0.41$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.2. Calculo dos esforços a tração

Frame 289 – comprimento 196 cm.

3.2.1. Carregamentos

$$F1 \rightarrow 22.00 \text{ kN}$$

$$M1 \rightarrow 0.00 \text{ kN*cm}$$

$$V1 \rightarrow -1.00 \text{ kN}$$

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$$

$$F_{d1} = 0.90 * 22.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$F_{d1} = 19.80 \text{ kN}$$

$$M_{dy1} = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$$

$$M_{dy1} = 1.40 * 83.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$M_{dy1} = 74.70 \text{ kN * cm}$$

$$M_{dz1} = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$$

$$M_{dz1} = 1.40 * 132.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$M_{dz1} = 118.80 \text{ kN * cm}$$

$$KM = 0.50$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$V_{d1} = 1.40 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$$

$$V_{d1} = 1.40 * -0.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$V_{d1} = 0.70 \text{ kN}$$

3.2.2. Tração paralelas as fibras

$$\begin{aligned}f_{tod} &= K_{mod} * f_{tok} / 1.8 \\f_{tod} &= 0.56 * 9.68 / 1.80 \\f_{tod} &= 30.12 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{tod1} &= F_{d1} / A \\T_{tod1} &= 19.80 / 144.00 \\T_{tod1} &= 0.14 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

- Verificação

$$\begin{aligned}f_{tod} &\geq T_{tod1} \\30.12 &\geq 0.14 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.2.3. Flexotração

$$\begin{aligned}T_{tod1} &= F_{d1} / A \\T_{tod1} &= 19.80 / 144.00 \\T_{tod1} &= 0.14 \text{ kN / cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{Myd1} &= M_{d1y} / I_y * 6.00 \\T_{Myd1} &= 74.70 / 1728.00 * 6.00 \\T_{Myd1} &= 0.26 \text{ kN / cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{Mzd1} &= M_{d1z} / I_z * 6.00 \\T_{Mzd1} &= 118.80 / 1728.00 * 6.00 \\T_{Mzd1} &= 0.41 \text{ kN / cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(T_{tod1}/f_{tod})+(T_{Myd1}/f_{tod})+(K_M * T_{Mzd1}/f_{tod}) &\leq 1 \\0.02 &\leq 1 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(T_{tod1}/f_{tod})+(K_M * T_{Myd1}/f_{tod})+(T_{Mzd1}/f_{tod}) &\leq 1 \\0.02 &\leq 1 \quad \text{OK!}\end{aligned}$$

Ok! Peça suporta carregamento!

3.2.4. Flexão simples – Tensão normal

$$\begin{aligned}W_c &= I_y / z_1 \\W_c &= 1728.00 / 6.00 \\W_c &= 288.00 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_t &= W_c \\W_t &= 288.00 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{cod} &= K_{mod} * (E_{com} / 1.4) \\f_{cod} &= 0.56 * (7.60 / 1.40) \\f_{cod} &= 3.04 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{t0d} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$
$$f_{t0d} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cd1} = M_{d1y} / W_c$$
$$T_{cd1} = 74.70 / 288.00$$
$$T_{cd1} = 0.26 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{td1} = M_{d1y} / W_t$$
$$T_{td1} = 74.70 / 288.00$$
$$T_{td1} = 0.26 \text{ kN / cm}^2$$

- Verificação

$$T_{cd1} \leq f_{c0d} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{t0d}$$
$$0.26 \leq 3.04 \text{ e } 0.26 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.2.5. Cisalhamento

$$f_{v0d} = K_{mod} * f_{v0k} / 1.8$$
$$f_{v0d} = 0.56 * 1.31 / 1.80$$
$$f_{v0d} = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 18.00 \text{ cm}^3$$

$$C_{d1} = (3/2) * V_{d1} / A$$
$$C_{d1} = (3/2) * 0.70 / 144.00$$
$$C_{d1} = 0.01 \text{ kN / cm}^2$$

$$C_{d1} \leq f_{v0d}$$
$$0.01 \leq 0.41$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.3. Cálculo do esforço a momento fletor

Frame 639 – comprimento de L = 196 cm.

3.3.1. Carregamentos

$$F_1 \rightarrow -3.00 \text{ kN}$$
$$M_1 \rightarrow 500.00 \text{ kN*cm}$$
$$V_1 \rightarrow -2.00 \text{ kN}$$

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F_1 + 1.40 (F_2 + 0.60 * F_3)$$
$$F_{d1} = 0.90 * -3.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$
$$F_{d1} = 4.20 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{dy1} &= 1.40 * MF_{1y} + 1.40(MF_{2y} + 0.60 * MF_{3y}) \\ M_{dy1} &= 1.40 * 384.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\ M_{dy1} &= 345.60 \text{ kN} * \text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{dz1} &= 1.40 * MF_{1z} + 1.40(MF_{2z} + 0.60 * MF_{3z}) \\ M_{dz1} &= 1.40 * -18.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\ M_{dz1} &= 25.20 \text{ kN} * \text{cm} \end{aligned}$$

$$KM = 0.50$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$\begin{aligned} M_{d1} &= 0.90 * M_1 + 1.40 (M_2 + 0.60 * M_3) \\ M_{d1} &= 0.90 * 500.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\ M_{d1} &= 450.00 \text{ kN} * \text{cm} \end{aligned}$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$\begin{aligned} V_{d1} &= 1.40 * V_{1Q} + 1.40 (V_{2Q} + 0.60 * V_{3Q}) \\ V_{d1} &= 1.40 * -1.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\ V_{d1} &= 1.40 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.3.2. Compressão paralelas as fibras

$$\begin{aligned} f_{cod} &= K_{mod} * (E_{com} / 1.4) \\ f_{cod} &= 0.56 * (7.60 / 1.40) \\ f_{cod} &= 3.04 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Esbeltez} &= L / R_{min} \\ \text{Esbeltez} &= 196.00 / 3.46 \\ \text{Esbeltez} &= 56.65 \end{aligned}$$

40 < Esbeltez <= 80 - Peça Medianamente Curta

- Tensões atuantes devido à força normal

$$\begin{aligned} T_{cod1} &= F_{d1} / A \\ T_{cod1} &= 4.20 / 144.00 \text{ kN/cm}^2 \\ T_{cod1} &= 0.03 \end{aligned}$$

- Tensões atuantes devido ao Momento

$$\begin{aligned} e_a &= L / 300 \\ e_a &= 196.00 / 300 \\ e_a &= 0.65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_i &= M_{d1} / F_{d1} \\ e_i &= 450.00 / 4.20 \\ e_i &= 0.00 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$e1 = e_i + e_a$$
$$e1 = 0.00 + 0.65$$
$$e1 = 0.65 \text{ cm}$$

$$E_{coef} = K_{mod} * E_{com}$$
$$E_{coef} = 0.56 * 1801.10$$
$$E_{coef} = 1008.62 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_e = (\pi^2 * E_{coef} * I_{min}) / L^2$$
$$F_e = (\pi^2 * 1008.62 * 1728.00) / 196.00^2$$
$$F_e = 447.77 \text{ kN}$$

$$e_d = e1 * (F_e / (F_e - F_{d1}))$$
$$e_d = 0.65 * (447.77 / (447.77 - 4.20))$$
$$e_d = 0.66 \text{ cm}$$

$$M_{ed1} = F_{d1} * e_d$$
$$M_{ed1} = 4.20 * 0.66$$
$$M_{ed1} = 2.77 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{Med1} = (M_{ed1} / I_{min}) * y$$
$$T_{Med1} = (2.77 / 1728.00) * 6.00$$
$$T_{Med1} = 0.01 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$(T_{cod1} / f_{cod}) + (T_{Med1} / f_{cod}) \leq 1$$
$$(0.03 / 3.04) + (0.01 / 3.04) \leq 1$$
$$0.01 \leq 1 \quad \text{Ok!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.3.3. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$
$$T_{cod1} = 4.20 / 144.00$$
$$T_{cod1} = 0.03 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 6.00$$
$$T_{Myd1} = 345.60 / 1728.00 * 6.00$$
$$T_{Myd1} = 1.20 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 6.00$$
$$T_{Mzd1} = 25.20 / 1728.00 * 6.00$$
$$T_{Mzd1} = 0.09 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{cod1} / f_{cod})^2 + (T_{Myd1} / f_{cod}) + (K_M * T_{Mzd1} / f_{cod}) \leq 1$$
$$0.41 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{cod1} / f_{cod})^2 + (K_M * T_{Myd1} / f_{cod}) + (T_{Mzd1} / f_{cod}) \leq 1$$
$$0.23 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.3.4. Flexão simples – Tensão normal

$$W_c = I_y / z_1$$
$$W_c = 1728.00 / 6.00$$
$$W_c = 288.00 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$
$$W_t = 288.00 \text{ cm}^3$$

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$
$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$
$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$
$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$
$$f_{tod} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cd1} = M_{d1y} / W_c$$
$$T_{cd1} = 345.60 / 288.00$$
$$T_{cd1} = 1.20 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{td1} = M_{d1y} / W_t$$
$$T_{td1} = 345.60 / 288.00$$
$$T_{td1} = 1.20 \text{ kN / cm}^2$$

- Verificação

$$T_{cd1} \leq f_{cod} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{tod}$$
$$1.20 \leq 3.04 \text{ e } 1.20 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

3.3.5. Cisalhamento

$$f_{vod} = K_{mod} * f_{vok} / 1.8$$
$$f_{vod} = 0.56 * 1.31 / 1.80$$
$$f_{vod} = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 18.00 \text{ cm}^3$$

$$C_{d1} = (3/2) * V_{d1} / A$$
$$C_{d1} = (3/2) * 1.40 / 144.00$$
$$C_{d1} = 0.01 \text{ kN / cm}^2$$

$$C_{d1} \leq f_{vod}$$
$$0.01 \leq 0.41$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

Portanto, após a realização do dimensionamento do banzo da fachada, resultou na escolha da seção mínima de 12x12 cm.

4. DIMENSIONAMENTO DOS BANZOS CENTRAIS

4.1. Calculo do esforço solitantes a compressão

Frame 828 – comprimento de $L = 458$ cm.

4.1.1. Seção transversal

$$A = 400.00 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 13333.33 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 13333.33 \text{ cm}^4$$

$$I_{min} = 13333.33 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 5.77 \text{ cm}$$

$$i_z = 5.77 \text{ cm}$$

$$i_{min} = 5.77 \text{ cm}$$

$$L = 458.00 \text{ cm}$$

4.1.2. Carregamentos

$$F1 \rightarrow -157.00 \text{ kN}$$

$$M1 \rightarrow 400.00 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$V1 \rightarrow 4.00 \text{ kN}$$

- Combinação das Ações Normais

$$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$$

$$Fd1 = 0.90 * -157.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Fd1 = 219.80 \text{ kN}$$

$$Mdy1 = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$$

$$Mdy1 = 1.40 * -712.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdy1 = 996.80 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$Mdz1 = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$$

$$Mdz1 = 1.40 * -1570.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdz1 = 2198.00 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$KM = 0.50$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$Md1 = 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3)$$

$$Md1 = 0.90 * 400.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Md1 = 360.00 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$Vd1 = 0.90 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$$

$$Vd1 = 0.90 * 2.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Vd1 = 1.80 \text{ kN}$$

4.1.3. Compressão paralelas as fibras

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Esbeltez} = L / R_{min}$$

$$\text{Esbeltez} = 458.00 / 5.77$$

$$\text{Esbeltez} = 105.77$$

80 < Esbeltez <= 140 - Peça Esbelta

- Tensões atuantes devida à força normal

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 219.80 / 400.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cod1} = 0.55$$

- Tensões atuantes devido ao Momento

$$E_{coef} = K_{mod} * E_{com}$$

$$E_{coef} = 0.56 * 1801.10$$

$$E_{coef} = 1008.62 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_e = (\pi^2 * E_{coef} * I_{min}) / L^2$$

$$F_e = (\pi^2 * 1008.62 * 13333.30) / 458.00^2$$

$$F_e = 632.75 \text{ kN}$$

$$e_a = L / 300$$

$$e_a = 458.00 / 300$$

$$e_a = 1.53 \text{ cm}$$

$$e_i = M_{d1} / F_{d1}$$

$$e_i = 360.00 / 219.80$$

$$e_i = 1.64 \text{ cm}$$

$$c = (\phi * (F_1 + ((w_1 + w_2) * F_3))) / (F_e - (F_1 + ((w_1 + w_2) * F_3)))$$

$$c = (0.80 * (-157.00 + ((0.50 + 0.30) * 0.00))) / (632.75 - (-157.00 * ((0.50 + 0.30) * 0.00)))$$

$$c = 0.26$$

$$e_{ig} = M_{d1} / F_1$$

$$e_{ig} = 360.00 / -157.00$$

$$e_{ig} = 2.29 \text{ cm}$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) * (\exp(c) - 1)$$

$$e_c = (2.29 + 1.53) * (\exp(0.26) - 1)$$

$$e_c = 1.15 \text{ cm}$$

$$e_{lef} = e_i + e_a + e_c$$

$$e_{lef} = 1.64 + 1.53 + 1.15$$

$$e_{lef} = 4.32 \text{ cm}$$

$$M_{ed1} = F_{d1} * e_{lef} * (F_e / (F_e - F_{d1}))$$

$$M_{ed1} = 219.80 * 4.32 * (632.75 / (632.75 - 0.00))$$

$$M_{ed1} = 1454.46 \text{ kN}\cdot\text{cm}$$

$$T_{Med1} = (M_{ed1} / I_{min}) \cdot y$$

$$T_{Med1} = (1454.46 / 13333.30) \cdot 10.00$$

$$T_{Med1} = 1.09 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$(T_{cod1}/f_{cod}) + (T_{Med1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$(0.55 / 3.04) + (1.09 / 3.04) \leq 1$$

$$0.54 \leq 1 \quad \text{Ok!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.1.4. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 219.80 / 400.00$$

$$T_{cod1} = 0.55 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y \cdot 10.00$$

$$T_{Myd1} = 996.80 / 13333.30 \cdot 10.00$$

$$T_{Myd1} = 0.75 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z \cdot 10.00$$

$$T_{Mzd1} = 2198.00 / 13333.30 \cdot 10.00$$

$$T_{Mzd1} = 1.65 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (T_{Myd1}/f_{cod}) + (K_M \cdot T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.55 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (K_M \cdot T_{Myd1}/f_{cod}) + (T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.70 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.1.5. Flexão simples – Tensão normal

$$W_c = I_y / z_1$$

$$W_c = 13333.30 / 10.00$$

$$W_c = 1333.33 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$

$$W_t = 1333.33 \text{ cm}^3$$

$$f_{cod} = K_{mod} \cdot (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 \cdot (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{tod} = K_{mod} \cdot f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 \cdot 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned}T_{cd1} &= M_{d1y} / W_c \\T_{cd1} &= 996.80 / 1333.33 \\T_{cd1} &= 0.75 \text{ kN} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{td1} &= M_{d1y} / W_t \\T_{td1} &= 996.80 / 1333.33 \\T_{td1} &= 0.75 \text{ kN} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

- Verificação

$$\begin{aligned}T_{cd1} &\leq f_{cod} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{tod} \\0.75 &\leq 3.04 \text{ e } 0.75 \leq 3.01 \\OK!\end{aligned}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.1.6. Cisalhamento

$$\begin{aligned}f_{vod} &= K_{mod} * f_{vok} / 1.8 \\f_{vod} &= 0.56 * 1.31 / 1.80 \\f_{vod} &= 0.41 \text{ kN} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

$$S = 50.00 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}C_{d1} &= (3/2) * V_{d1} / A \\C_{d1} &= (3/2) * 1.80 / 400.00 \\C_{d1} &= 0.01 \text{ kN} / \text{cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{d1} &\leq f_{vod} \\0.01 &\leq 0.41 \\OK!\end{aligned}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.2. Cálculo dos esforços a tração

Frame 304 – comprimento de L = 458 cm

4.2.1. CARREGAMENTOS

$$\begin{aligned}F_1 &\rightarrow 201.00 \text{ kN} \\M_1 &\rightarrow 200.00 \text{ kN} * \text{cm} \\V_1 &\rightarrow -1.00 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Combinação das Ações Normais

$$\begin{aligned}F_{d1} &= 0.90 * F_1 + 1.40 (F_2 + 0.60 * F_3) \\F_{d1} &= 0.90 * 201.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\F_{d1} &= 180.90 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{dy1} &= 1.40 * M_{F1y} + 1.40 (M_{F2y} + 0.60 * M_{F3y}) \\M_{dy1} &= 1.40 * 2095.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\M_{dy1} &= 1885.95 \text{ kN} * \text{cm}\end{aligned}$$

$$Mdz1 = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$$

$$Mdz1 = 1.40 * 2010.00 + 1.40 (0.00+ 0.60 * 0.00)$$

$$Mdz1 = 1809.00 \text{ kN} * \text{cm}$$

$$KM = 0.50$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$Md1 = 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3)$$

$$Md1 = 0.90 * 200.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Md1 = 180.00 \text{ kN} * \text{cm}$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$Vd1 = 1.40 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$$

$$Vd1 = 1.40 * -0.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Vd1 = 0.70 \text{ kN}$$

4.2.2. Tração paralelas as fibras

$$ftod = Kmod * ftok / 1.8$$

$$ftod = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$ftod = 30.12 \text{ kN/cm}^2$$

$$Ttod1 = Fd1 / A$$

$$Ttod1 = 180.90 / 400.00$$

$$Ttod1 = 0.45 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$ftod \geq Ttod1$$

$$30.12 \geq 0.45 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.2.3. Flexotração

$$Ttod1 = Fd1 / A$$

$$Ttod1 = 180.90 / 400.00$$

$$Ttod1 = 0.45 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$TMyd1 = Md1y / Iy * 10.00$$

$$TMyd1 = 1885.95 / 13333.30 * 10.00$$

$$TMyd1 = 1.41 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$TMzd1 = Md1z / Iz * 10.00$$

$$TMzd1 = 1809.00 / 13333.30 * 10.00$$

$$TMzd1 = 1.36 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$(Ttod1/ftod) + (TMyd1/ftod) + (KM * TMzd1/ftod) \leq 1$$

$$0.08 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{td1}/f_{td})+(K_M*T_{Myd1}/f_{td})+(T_{Mzd1}/f_{td})\leq 1$$

0.08 \leq 1 OK!

Ok!

Ok! Peça suporta carregamento!

4.2.4. Flexão simples – Tensão normal

$$W_c = I_y / z_1$$
$$W_c = 13333.30 / 10.00$$
$$W_c = 1333.33 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$
$$W_t = 1333.33 \text{ cm}^3$$

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$
$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$
$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{td} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$
$$f_{td} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$
$$f_{td} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cd1} = M_{d1y} / W_c$$
$$T_{cd1} = 1885.95 / 1333.33$$
$$T_{cd1} = 1.41 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{td1} = M_{d1y} / W_t$$
$$T_{td1} = 1885.95 / 1333.33$$
$$T_{td1} = 1.41 \text{ kN / cm}^2$$

- Verificação

$$T_{cd1} \leq f_{cod} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{td}$$
$$1.41 \leq 3.04 \text{ e } 1.41 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.2.5. Cisalhamento

$$f_{vod} = K_{mod} * f_{vok} / 1.8$$
$$f_{vod} = 0.56 * 1.31 / 1.80$$
$$f_{vod} = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 50.00 \text{ cm}^3$$

$$C_{d1} = (3/2) * V_{d1} / A$$
$$C_{d1} = (3/2) * 0.70 / 400.00$$
$$C_{d1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

Cd1 <= fvod
0.00 <= 0.41
OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.3. Calculo de esforço a momento fletor

Frame 830

4.3.1.Carregamentos

F1 -> -130.00 kN
M1 -> 1500.00 kN*cm
V1 -> 14.00 kN

- **Combinação das Ações Normais**

$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$
 $Fd1 = 0.90 * -130.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Fd1 = 182.00 \text{ kN}$

$Mdy1 = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$
 $Mdy1 = 1.40 * 655.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Mdy1 = 589.50 \text{ kN * cm}$

$Mdz1 = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$
 $Mdz1 = 1.40 * -1300.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Mdz1 = 1820.00 \text{ kN * cm}$

KM = 0.50

- **Combinação das Ações de Momentos**

$Md1 = 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3)$
 $Md1 = 0.90 * 1500.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Md1 = 1350.00 \text{ kN * cm}$

- **Combinação das Ações Cortantes**

$Vd1 = 0.90 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$
 $Vd1 = 0.90 * 7.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Vd1 = 6.30 \text{ kN}$

4.3.2.Compressão paralela as fibras

$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$
 $f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.4)$
 $f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$

Esbeltez = L / Rmin

$$\text{Esbeltez} = 130.00 / 5.77$$

$$\text{Esbeltez} = 22.53$$

Esbeltez \leq 40 - Peça Curta

- Tensão atuante

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 182.00 / 400.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cod1} = 0.45$$

- Verificação

$$T_{cod1} \leq f_{cod}$$

$$0.45 \leq 3.04 \text{ OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.3.3. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 182.00 / 400.00$$

$$T_{cod1} = 0.45 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 10.00$$

$$T_{Myd1} = 589.50 / 13333.30 * 10.00$$

$$T_{Myd1} = 0.44 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 10.00$$

$$T_{Mzd1} = 1820.00 / 13333.30 * 10.00$$

$$T_{Mzd1} = 1.36 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (T_{Myd1}/f_{cod}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.39 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (K_M * T_{Myd1}/f_{cod}) + (T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.54 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.3.4. Flexão simples – Tensão normal

$$W_c = I_y / z_1$$

$$W_c = 13333.30 / 10.00$$

$$W_c = 1333.33 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$

$$W_t = 1333.33 \text{ cm}^3$$

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned}f_{tod} &= K_{mod} * f_{tok} / 1.8 \\f_{tod} &= 0.56 * 9.68 / 1.80 \\f_{tod} &= 3.01 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{cd1} &= M_{d1y} / W_c \\T_{cd1} &= 589.50 / 1333.33 \\T_{cd1} &= 0.44 \text{ kN / cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{td1} &= M_{d1y} / W_t \\T_{td1} &= 589.50 / 1333.33 \\T_{td1} &= 0.44 \text{ kN / cm}^2\end{aligned}$$

- Verificação

$$\begin{aligned}T_{cd1} &\leq f_{cod} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{tod} \\0.44 &\leq 3.04 \text{ e } 0.44 \leq 3.01 \\OK!\end{aligned}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

4.3.5. Cisalhamento

$$\begin{aligned}f_{vod} &= K_{mod} * f_{vok} / 1.8 \\f_{vod} &= 0.56 * 1.31 / 1.80 \\f_{vod} &= 0.41 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

$$S = 50.00 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}C_{d1} &= (3/2) * V_{d1} / A \\C_{d1} &= (3/2) * 6.30 / 400.00 \\C_{d1} &= 0.02 \text{ kN / cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{d1} &\leq f_{vod} \\0.02 &\leq 0.41\end{aligned}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

Portanto, após a realização do dimensionamento do banzo centrais, resultou na escolha da seção mínima de 20x20 cm.

5. DIMENSIONAMENTO DAS DIAGONAIS DA FACHADA

5.1. Calculo do esforço solicitantes a compressão

Frame 828 – comprimento de L = 458 cm.

5.1.1. Seção transversal

$$\begin{aligned}A &= 98.00 \text{ cm}^2 \\I_y &= 400.17 \text{ cm}^4 \\I_z &= 9244.67 \text{ cm}^4 \\I_{min} &= 400.17 \text{ cm}^4 \\i_y &= 2.02 \text{ cm} \\i_z &= 9.71 \text{ cm}\end{aligned}$$

$i_{min} = 2.02 \text{ cm}$
 $L = 78.00 \text{ cm}$

5.1.2. Carregamentos

$F1 \rightarrow -26.00 \text{ kN}$
 $M1 \rightarrow 0.00 \text{ kN}\cdot\text{cm}$
 $V1 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$

- Combinação das Ações Normais

$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$
 $Fd1 = 0.90 * -26.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Fd1 = 36.40 \text{ kN}$

5.1.3. Compressão paralela as fibras

$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$
 $f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$
 $f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$

$Esbeltez = L / R_{min}$
 $Esbeltez = 78.00 / 2.02$
 $Esbeltez = 38.61$

$Esbeltez \leq 40$ - Peça Curta

- Tensão atuante

$T_{cod1} = Fd1 / A$
 $T_{cod1} = 36.40 / 98.00 \text{ kN/cm}^2$
 $T_{cod1} = 0.37$

- Verificação

$T_{cod1} \leq f_{cod}$
 $0.37 \leq 3.04 \text{ OK!}$

Ok! Peça suporta o carregamento!

5.1.4. Flexocompressão

$T_{cod1} = Fd1 / A$
 $T_{cod1} = 36.40 / 98.00$
 $T_{cod1} = 0.37 \text{ kN / cm}^2$

$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 3.50$
 $T_{Myd1} = 0.00 / 400.17 * 3.50$
 $T_{Myd1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$

$$\begin{aligned} TMzd1 &= Md1z / Iz * 13.00 \\ TMzd1 &= 0.00 / 9244.67 * 13.00 \\ TMzd1 &= 0.00 \text{ kN} / \text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Tcod1/fcod)^2 + (TMyd1/fcod) + (KM * TMzd1/fcod) &\leq 1 \\ 0.01 &\leq 1 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Tcod1/fcod)^2 + (KM * TMyd1/fcod) + (TMzd1/fcod) &\leq 1 \\ 0.01 &\leq 1 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

5.2. Cálculo do esforço solicitantes a tração

Frame 121 – 212 cm

5.2.1. Carregamentos

$$\begin{aligned} F1 &\rightarrow 19.00 \text{ kN} \\ M1 &\rightarrow 0.00 \text{ kN} * \text{cm} \\ V1 &\rightarrow 0.00 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Combinação das Ações Normais

$$\begin{aligned} Fd1 &= 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3) \\ Fd1 &= 0.90 * 19.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00) \\ Fd1 &= 17.10 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.2.2. Tração paralela as fibras

$$\begin{aligned} ftod &= Kmod * ftok / 1.8 \\ ftod &= 0.56 * 9.68 / 1.80 \\ ftod &= 30.12 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ttod1 &= Fd1 / A \\ Ttod1 &= 17.10 / 98.00 \\ Ttod1 &= 0.17 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

- Verificação

$$\begin{aligned} ftod &\geq Ttod1 \\ 30.12 &\geq 0.17 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

5.2.3. Flexotração

$$\begin{aligned} Ttod1 &= Fd1 / A \\ Ttod1 &= 17.10 / 98.00 \\ Ttod1 &= 0.17 \text{ kN} / \text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TMyd1 &= Md1y / Iy * 3.50 \\ TMyd1 &= 0.00 / 400.17 * 3.50 \end{aligned}$$

$$TMyd1 = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$TMzd1 = Md1z / Iz * 13.00$$

$$TMzd1 = 0.00 / 9244.67 * 13.00$$

$$TMzd1 = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$(Ttod1/ftod)+(TMyd1/ftod)+(KM*TMzd1/ftod)\leq 1$$
$$0.01 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(Ttod1/ftod)+(KM*TMyd1/ftod)+(TMzd1/ftod)\leq 1$$
$$0.01 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok!

Ok! Peça suporta carregamento!

5.3. Calculo a esforço a momento fletor

Frame 126 – comprimento L = 78 cm

5.3.1. Carregamentos

$$F1 \rightarrow -7.00 \text{ kN}$$

$$M1 \rightarrow 200.00 \text{ kN*cm}$$

$$V1 \rightarrow -4.00 \text{ kN}$$

- Combinação das Ações Normais

$$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$$

$$Fd1 = 0.90 * -7.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Fd1 = 9.80 \text{ kN}$$

$$Mdy1 = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$$

$$Mdy1 = 1.40 * 97.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdy1 = 87.75 \text{ kN * cm}$$

$$Mdz1 = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$$

$$Mdz1 = 1.40 * -91.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdz1 = 127.40 \text{ kN * cm}$$

$$KM = 1.00$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$Md1 = 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3)$$

$$Md1 = 0.90 * 200.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Md1 = 180.00 \text{ kN * cm}$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$Vd1 = 1.40 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$$

$$Vd1 = 1.40 * -2.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Vd1 = 2.80 \text{ kN}$$

5.3.2. Compressão paralela as fibras

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Esbeltez} = L / R_{min}$$

$$\text{Esbeltez} = 78.00 / 2.02$$

$$\text{Esbeltez} = 38.61$$

Esbeltez \leq 40 - Peça Curta

- Tensão atuante

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 9.80 / 98.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cod1} = 0.10$$

- Verificação

$$T_{cod1} \leq f_{cod}$$

$$0.10 \leq 3.04 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

5.3.3. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 9.80 / 98.00$$

$$T_{cod1} = 0.10 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 3.50$$

$$T_{Myd1} = 87.75 / 400.17 * 3.50$$

$$T_{Myd1} = 0.77 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 13.00$$

$$T_{Mzd1} = 127.40 / 9244.67 * 13.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.18 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (T_{Myd1}/f_{cod}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.31 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (K_M * T_{Myd1}/f_{cod}) + (T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.31 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

5.3.4. Flexão simples – Tensão normal

$$W_c = I_y / z_1$$

$$W_c = 400.17 / 3.50$$

$$W_c = 114.33 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$

$$W_t = 114.33 \text{ cm}^3$$

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cd1} = M_{d1y} / W_c$$

$$T_{cd1} = 87.75 / 114.33$$

$$T_{cd1} = 0.77 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{td1} = M_{d1y} / W_t$$

$$T_{td1} = 87.75 / 114.33$$

$$T_{td1} = 0.77 \text{ kN / cm}^2$$

- Verificação

$$T_{cd1} \leq f_{cod} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{tod}$$

$$0.77 \leq 3.04 \text{ e } 0.77 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

5.3.5. Cisalhamento

$$f_{vod} = K_{mod} * f_{vok} / 1.8$$

$$f_{vod} = 0.56 * 1.31 / 1.80$$

$$f_{vod} = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 12.25 \text{ cm}^3$$

$$C_{d1} = V_{d1} * S / b * I_y$$

$$C_{d1} = 2.80 * 12.25 / 14.00 * 400.17$$

$$C_{d1} = 0.01 \text{ kN / cm}^2$$

$$C_{d1} \leq f_{vod}$$

$$0.01 \leq 0.41$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

Portanto, resultou a escolha da seção de 7x7 cm para as diagonais da fachada.

6. DIMENSIONAMENTO DAS DIAGONAIS DOS BANZOS CENTRAIS

6.1. Calculo do esforço solicitante a compressão

Frame 86 – comprimento $L = 78$ cm.

6.1.1. Seção transversal

$A = 98.00 \text{ cm}^2$
 $I_y = 400.17 \text{ cm}^4$
 $I_z = 18260.67 \text{ cm}^4$
 $I_{min} = 400.17 \text{ cm}^4$
 $i_y = 2.02 \text{ cm}$
 $i_z = 13.65 \text{ cm}$
 $i_{min} = 2.02 \text{ cm}$
 $L = 78.00 \text{ cm}$

6.1.2. Carregamentos

$F1 \rightarrow -72.00 \text{ kN}$
 $M1 \rightarrow 0.00 \text{ kN}\cdot\text{cm}$
 $V1 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$

- Combinação das Ações Normais

$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$
 $Fd1 = 0.90 * -72.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Fd1 = 100.80 \text{ kN}$

6.1.3. Compressão paralela as fibras

$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$
 $f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$
 $f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$

$Esbeltez = L / R_{min}$
 $Esbeltez = 78.00 / 2.02$
 $Esbeltez = 38.61$

$Esbeltez \leq 40$ - Peça Curta

- Tensão atuante

$T_{cod1} = Fd1 / A$
 $T_{cod1} = 100.80 / 98.00 \text{ kN/cm}^2$
 $T_{cod1} = 1.03$

- Verificação

$T_{cod1} \leq f_{cod}$
 $1.03 \leq 3.04$ OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

6.1.4. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 100.80 / 98.00$$

$$T_{cod1} = 1.03 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 3.50$$

$$T_{Myd1} = 0.00 / 400.17 * 3.50$$

$$T_{Myd1} = 0.00 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 17.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.00 / 18260.70 * 17.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.00 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (T_{Myd1}/f_{cod}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.11 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (K_M * T_{Myd1}/f_{cod}) + (T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.11 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

6.2. Cálculo do esforço solicitante a tração

Frame 200 – comprimento L = 242 cm

6.2.1. Carregamentos

F1 -> 80.00 kN

M1 -> 0.00 kN*cm

V1 -> 0.00 kN

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F_1 + 1.40 (F_2 + 0.60 * F_3)$$

$$F_{d1} = 0.90 * 80.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$F_{d1} = 72.00 \text{ kN}$$

6.2.2. Tração paralela as fibras

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 30.12 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{tod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{tod1} = 72.00 / 98.00$$

$$T_{tod1} = 0.73 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$f_{tod} \geq T_{tod1}$$

$$30.12 \geq 0.73 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

6.2.3.Flexotração

$$T_{tod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{tod1} = 72.00 / 98.00$$

$$T_{tod1} = 0.73 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 3.50$$

$$T_{Myd1} = 0.00 / 400.17 * 3.50$$

$$T_{Myd1} = 0.00 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 17.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.00 / 18260.70 * 17.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.00 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$(T_{tod1}/f_{tod}) + (T_{Myd1}/f_{tod}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{tod}) \leq 1$$

$$0.02 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{tod1}/f_{tod}) + (K_M * T_{Myd1}/f_{tod}) + (T_{Mzd1}/f_{tod}) \leq 1$$

$$0.02 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok!

Ok! Peça suporta carregamento!

Portanto, assim como as diagonais da fachada possui uma seção de 7x7 cm.

7. DIMENSIONAMENTO DOS CONTRAVENTAMENTOS

7.1. Calculo do esforço solicitante a compressão

Frame 3817 – Comprimento L = 338 cm

7.1.1.Seção transversal

$$A = 100.00 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 833.33 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 833.33 \text{ cm}^4$$

$$I_{min} = 833.33 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 2.89 \text{ cm}$$

$$i_z = 2.89 \text{ cm}$$

$$i_{min} = 2.89 \text{ cm}$$

$$L = 338.00 \text{ cm}$$

7.1.2.Carregamentos

$$F1 \rightarrow -2.00 \text{ kN}$$

$$M1 \rightarrow 0.00 \text{ kN} * \text{cm}$$

$$V1 \rightarrow 0.00 \text{ Kn}$$

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F_1 + 1.40 (F_2 + 0.60 * F_3)$$

$$F_{d1} = 0.90 * -2.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$F_{d1} = 2.80 \text{ kN}$$

7.1.3. Compressão paralela as fibras

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{sbeltez} = L / R_{min}$$

$$E_{sbeltez} = 338.00 / 2.89$$

$$E_{sbeltez} = 116.96$$

80 < Esbeltez <= 140 - Peça Esbelta

- Tensões atuantes devida à força normal

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 2.80 / 100.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cod1} = 0.03$$

- Tensões atuantes devido ao Momento

$$E_{coef} = K_{mod} * E_{com}$$

$$E_{coef} = 0.56 * 1801.10$$

$$E_{coef} = 1008.62 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_e = (\pi^2 * E_{coef} * I_{min}) / L^2$$

$$F_e = (\pi^2 * 1008.62 * 833.33) / 338.00^2$$

$$F_e = 72.61 \text{ kN}$$

$$e_a = L / 300$$

$$e_a = 338.00 / 300$$

$$e_a = 1.13 \text{ cm}$$

$$e_i = M_{d1} / F_{d1}$$

$$e_i = 0.00 / 2.80$$

$$e_i = 0.00 \text{ cm}$$

$$c = (\phi * (F_1 + ((w_1 + w_2) * F_3))) / (F_e - (F_1 + ((w_1 + w_2) * F_3)))$$

$$c = (0.80 * (-2.00 + ((0.50 + 0.30) * 0.00))) / (72.61 - (-2.00 * ((0.50 + 0.30) * 0.00)))$$

$$c = 0.02$$

$$e_{ig} = M_{d1} / F_1$$

$$e_{ig} = 0.00 / -2.00$$

$$e_{ig} = 0.00 \text{ cm}$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) * (\exp(c) - 1)$$

$$e_c = (0.00 + 1.13) * (\exp(0.02) - 1)$$

$$e_c = 0.03 \text{ cm}$$

$$e_{1ef} = e_i + e_a + e_c$$

$$e_{1ef} = 0.00 + 1.13 + 0.03$$

$$e_{1ef} = 1.15 \text{ cm}$$

$$M_{ed1} = F_{d1} * e_{1ef} * (F_e / (F_e - F_{d1}))$$

$$M_{ed1} = 2.80 * 1.15 * (72.61 / (72.61 - 0.00))$$

$$M_{ed1} = 3.36 \text{ kN*cm}$$

$$T_{Med1} = (M_{ed1} / I_{min}) * y$$

$$T_{Med1} = (3.36 / 833.33) * 5.00$$

$$T_{Med1} = 0.02 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$(T_{cod1}/f_{cod}) + (T_{Med1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$(0.03 / 3.04) + (0.02 / 3.04) \leq 1$$

$$0.02 \leq 1 \quad \text{Ok!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

7.1.4. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 2.80 / 100.00$$

$$T_{cod1} = 0.03 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 5.00$$

$$T_{Myd1} = 0.00 / 833.33 * 5.00$$

$$T_{Myd1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 5.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.00 / 833.33 * 5.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (T_{Myd1}/f_{cod}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.00 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (K_M * T_{Myd1}/f_{cod}) + (T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$

$$0.00 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

7.2. Calculo dos esforços a tração

Frame 3810 – comprimento L = 375 cm

7.2.1. Carregamentos

$$F_1 \rightarrow 7.00 \text{ kN}$$

$$M_1 \rightarrow 0.00 \text{ kN*cm}$$

$$V_1 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$$

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F_1 + 1.40 (F_2 + 0.60 * F_3)$$

$$F_{d1} = 0.90 * 7.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$F_{d1} = 6.30 \text{ kN}$$

7.2.2. Tração paralela as fibras

$$f_{t0d} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{t0d} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{t0d} = 30.12 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{t0d1} = F_{d1} / A$$

$$T_{t0d1} = 6.30 / 100.00$$

$$T_{t0d1} = 0.06 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$f_{t0d} \geq T_{t0d1}$$

$$30.12 \geq 0.06 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

7.2.3. Flexotração

$$T_{t0d1} = F_{d1} / A$$

$$T_{t0d1} = 6.30 / 100.00$$

$$T_{t0d1} = 0.06 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 5.00$$

$$T_{Myd1} = 0.00 / 833.33 * 5.00$$

$$T_{Myd1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 5.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.00 / 833.33 * 5.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{t0d1}/f_{t0d}) + (T_{Myd1}/f_{t0d}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{t0d}) \leq 1$$

$$0.00 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{t0d1}/f_{t0d}) + (K_M * T_{Myd1}/f_{t0d}) + (T_{Mzd1}/f_{t0d}) \leq 1$$

$$0.00 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok!

Ok! Peça suporta carregamento!

Portanto, a seção determinada através do cálculo é de 10x10 cm, assim também o momento fletor possuía valor nulo.

8. DIMENSIONAMENTO DE TERÇAS

8.1. Calculo de esforços solicitantes a compressão

Frame 1801 – comprimento L = 589 cm

8.1.1. Seção transversal

A = 225.00 cm²
I_y = 4218.75 cm⁴
I_z = 4218.75 cm⁴
I_{min} = 4218.75 cm⁴
i_y = 4.33 cm
i_z = 4.33 cm
i_{min} = 4.33 cm
L = 589.00 cm

8.1.2. carregamentos

F1 -> -13.00 kN
M1 -> 100.00 kN*cm
V1 -> -1.00 kN
F2 -> 0.00 kN
M2 -> 0.00 kN*cm
V2 -> 0.00 kN
F3 -> 0.00 kN*cm
M3 -> 0.00 kN
V3 -> 0.00 kN

- Combinação das Ações Normais

$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$
 $Fd1 = 0.90 * -13.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Fd1 = 18.20 \text{ kN}$

$Mdy1 = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$
 $Mdy1 = 1.40 * -144.75 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Mdy1 = 202.65 \text{ kN} * \text{cm}$

$Mdz1 = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$
 $Mdz1 = 1.40 * -97.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Mdz1 = 136.50 \text{ kN} * \text{cm}$

KM = 0.50

- Combinação das Ações de Momentos

$Md1 = 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3)$
 $Md1 = 0.90 * 100.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Md1 = 90.00 \text{ kN} * \text{cm}$

- Combinação das Ações Cortantes

$$Vd1 = 1.40 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$$

$$Vd1 = 1.40 * -0.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Vd1 = 0.70 \text{ kN}$$

8.1.3.Compressão paralela as fibras

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Esbeltez} = L / R_{min}$$

$$\text{Esbeltez} = 589.00 / 4.33$$

$$\text{Esbeltez} = 136.03$$

80 < Esbeltez <= 140 - Peça Esbelta

- Tensões atuantes devida à força normal

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 18.20 / 225.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cod1} = 0.08$$

- Tensões atuantes devido ao Momento

$$E_{coef} = K_{mod} * E_{com}$$

$$E_{coef} = 0.56 * 1801.10$$

$$E_{coef} = 1008.62 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_e = (\pi^2 * E_{coef} * I_{min}) / L^2$$

$$F_e = (\pi^2 * 1008.62 * 4218.75) / 589.00^2$$

$$F_e = 121.05 \text{ kN}$$

$$e_a = L / 300$$

$$e_a = 589.00 / 300$$

$$e_a = 1.96 \text{ cm}$$

$$e_i = M_{d1} / F_{d1}$$

$$e_i = 90.00 / 18.20$$

$$e_i = 4.95 \text{ cm}$$

$$c = (\zeta * (F_1 + ((w_1 + w_2) * F_3))) / (F_e - (F_1 + ((w_1 + w_2) * F_3)))$$

$$c = (0.80 * (-13.00 + ((0.50 + 0.30) * 0.00))) / (121.05 - (-13.00 + ((0.50 + 0.30) * 0.00)))$$

$$c = 0.10$$

$$e_{ig} = M_{d1} / F_1$$

$$e_{ig} = 90.00 / -13.00$$

$$e_{ig} = 6.92 \text{ cm}$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) * (\exp(c) - 1)$$

$$e_c = (6.92 + 1.96) * (\exp(0.10) - 1)$$

$$e_c = 0.90 \text{ cm}$$

$$e_{lef} = e_i + e_a + e_c$$

$$e_{1ef} = 4.95 + 1.96 + 0.90$$
$$e_{1ef} = 7.81 \text{ cm}$$

$$M_{ed1} = F_{d1} * e_{1ef} * (F_e / (F_e - F_{d1}))$$
$$M_{ed1} = 18.20 * 7.81 * (121.05 / (121.05 - 0.00))$$
$$M_{ed1} = 167.21 \text{ kN*cm}$$

$$T_{Med1} = (M_{ed1} / I_{min}) * y$$
$$T_{Med1} = (167.21 / 4218.75) * 7.50$$
$$T_{Med1} = 0.30 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$(T_{cod1}/f_{cod}) + (T_{Med1}/f_{cod}) \leq 1$$
$$(0.08 / 3.04) + (0.30 / 3.04) \leq 1$$
$$0.12 \leq 1 \quad \text{Ok!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

8.1.4. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$
$$T_{cod1} = 18.20 / 225.00$$
$$T_{cod1} = 0.08 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 7.50$$
$$T_{Myd1} = 202.65 / 4218.75 * 7.50$$
$$T_{Myd1} = 0.36 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 7.50$$
$$T_{Mzd1} = 136.50 / 4218.75 * 7.50$$
$$T_{Mzd1} = 0.24 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (T_{Myd1}/f_{cod}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$
$$0.16 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{cod1}/f_{cod})^2 + (K_M * T_{Myd1}/f_{cod}) + (T_{Mzd1}/f_{cod}) \leq 1$$
$$0.14 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

8.1.5. Flexão simples – Tensão normal

$$W_c = I_y / z_1$$
$$W_c = 4218.75 / 7.50$$
$$W_c = 562.50 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$
$$W_t = 562.50 \text{ cm}^3$$

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$
$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cd1} = M_{d1y} / W_c$$

$$T_{cd1} = 202.65 / 562.50$$

$$T_{cd1} = 0.36 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{td1} = M_{d1y} / W_t$$

$$T_{td1} = 202.65 / 562.50$$

$$T_{td1} = 0.36 \text{ kN / cm}^2$$

- Verificação

$$T_{cd1} \leq f_{cod} \text{ e } T_{cd1} \leq f_{tod}$$

$$0.36 \leq 3.04 \text{ e } 0.36 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

8.1.6. Cisalhamento

$$f_{vod} = K_{mod} * f_{vok} / 1.8$$

$$f_{vod} = 0.56 * 1.31 / 1.80$$

$$f_{vod} = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 28.13 \text{ cm}^3$$

$$C_{d1} = (3/2) * V_{d1} / A$$

$$C_{d1} = (3/2) * 0.70 / 225.00$$

$$C_{d1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$C_{d1} \leq f_{vod}$$

$$0.00 \leq 0.41$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

8.2. Calculo dos esforços a tração

Frame 1436 – comprimento L = 585 cm

8.2.1. Carregamentos

$$F1 \rightarrow 8.00 \text{ kN}$$

$$M1 \rightarrow 100.00 \text{ kN*cm}$$

$$V1 \rightarrow -1.00 \text{ kN}$$

$$F2 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$$

$$M2 \rightarrow 0.00 \text{ kN*cm}$$

$$V2 \rightarrow 0.00 \text{ kN}$$

$$F3 \rightarrow 0.00 \text{ kN*cm}$$

M3 -> 0.00 kN

V3 -> 0.00 kN

- Combinação das Ações Normais

$$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$$

$$Fd1 = 0.90 * 8.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Fd1 = 7.20 \text{ kN}$$

$$Mdy1 = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$$

$$Mdy1 = 1.40 * 13.75 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdy1 = 12.38 \text{ kN} * \text{cm}$$

$$Mdz1 = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$$

$$Mdz1 = 1.40 * 60.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdz1 = 54.00 \text{ kN} * \text{cm}$$

$$KM = 0.50$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$Md1 = 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3)$$

$$Md1 = 0.90 * 100.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Md1 = 90.00 \text{ kN} * \text{cm}$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$Vd1 = 1.40 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$$

$$Vd1 = 1.40 * -0.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Vd1 = 0.70 \text{ kN}$$

8.2.2. Tração paralela as fibras

$$ftod = Kmod * ftok / 1.8$$

$$ftod = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$ftod = 30.12 \text{ kN/cm}^2$$

$$Ttod1 = Fd1 / A$$

$$Ttod1 = 7.20 / 225.00$$

$$Ttod1 = 0.03 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$ftod \geq Ttod1$$

$$30.12 \geq 0.03 \text{ OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

8.2.3. Flexotração

$$Ttod1 = Fd1 / A$$

$$Ttod1 = 7.20 / 225.00$$

$$Ttod1 = 0.03 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\begin{aligned} TMyd1 &= Md1y / Iy * 7.50 \\ TMyd1 &= 12.38 / 4218.75 * 7.50 \\ TMyd1 &= 0.02 \text{ kN / cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TMzd1 &= Md1z / Iz * 7.50 \\ TMzd1 &= 54.00 / 4218.75 * 7.50 \\ TMzd1 &= 0.10 \text{ kN / cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Ttod1/ftod)+(TMyd1/ftod)+(KM*TMzd1/ftod) &\leq 1 \\ 0.00 &\leq 1 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Ttod1/ftod)+(KM*TMyd1/ftod)+(TMzd1/ftod) &\leq 1 \\ 0.00 &\leq 1 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

Ok!

Ok! Peça suporta carregamento!

8.2.4. Flexão simples – Tensão normal

$$\begin{aligned} Wc &= Iy / z1 \\ Wc &= 4218.75 / 7.50 \\ Wc &= 562.50 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Wt &= Wc \\ Wt &= 562.50 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fcod &= Kmod * (Ecom / 1.4) \\ fcod &= 0.56 * (7.60 / 1.40) \\ fcod &= 3.04 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ftod &= Kmod * ftok / 1.8 \\ ftod &= 0.56 * 9.68 / 1.80 \\ ftod &= 3.01 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tcd1 &= Md1y / Wc \\ Tcd1 &= 12.38 / 562.50 \\ Tcd1 &= 0.02 \text{ kN / cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ttd1 &= Md1y / Wt \\ Ttd1 &= 12.38 / 562.50 \\ Ttd1 &= 0.02 \text{ kN / cm}^2 \end{aligned}$$

- Verificação

$$\begin{aligned} Tcd1 &\leq fcod \text{ e } Tcd1 \leq ftod \\ 0.02 &\leq 3.04 \text{ e } 0.02 \leq 3.01 \\ \text{OK!} \end{aligned}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

8.2.5. Cisalhamento

$$f_{v0d} = K_{mod} * f_{v0k} / 1.8$$

$$f_{v0d} = 0.56 * 1.31 / 1.80$$

$$f_{v0d} = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 28.13 \text{ cm}^3$$

$$C_{d1} = (3/2) * V_{d1} / A$$

$$C_{d1} = (3/2) * 0.70 / 225.00$$

$$C_{d1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$C_{d1} \leq f_{v0d}$$

$$0.00 \leq 0.41$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

Portanto a seção determinada é de 15x15 cm.

9. DIMENSIONAMENTO DE VIGAS

9.1. Cálculo de esforços solicitantes a tração

Frame 2236 – comprimento L = 39 cm

9.1.1. Seção transversal

$$A = 384.00 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 18432.00 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 8192.00 \text{ cm}^4$$

$$I_{min} = 8192.00 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 6.93 \text{ cm}$$

$$i_z = 4.62 \text{ cm}$$

$$i_{min} = 4.62 \text{ cm}$$

$$L = 39.00 \text{ cm}$$

9.1.2. Carregamentos

$$F1 \rightarrow -69.00 \text{ kN}$$

$$M1 \rightarrow 200.00 \text{ kN*cm}$$

$$V1 \rightarrow 16.00 \text{ kN}$$

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$$

$$F_{d1} = 0.90 * -69.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$F_{d1} = 96.60 \text{ kN}$$

$$M_{dy1} = 1.40 * MF1y + 1.40(MF2y + 0.60 * MF3y)$$

$$M_{dy1} = 1.40 * -472.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$M_{dy1} = 660.80 \text{ kN * cm}$$

$$M_{dz1} = 1.40 * MF1z + 1.40(MF2z + 0.60 * MF3z)$$

$$M_{dz1} = 1.40 * -552.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$Mdz1 = 772.80 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

$$KM = 0.50$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$Md1 = 0.90 \cdot M1 + 1.40 \cdot (M2 + 0.60 \cdot M3)$$

$$Md1 = 0.90 \cdot 200.00 + 1.40 \cdot (0.00 + 0.60 \cdot 0.00)$$

$$Md1 = 180.00 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$Vd1 = 0.90 \cdot V1Q + 1.40 \cdot (V2Q + 0.60 \cdot V3Q)$$

$$Vd1 = 0.90 \cdot 8.00 + 1.40 \cdot (0.00 + 0.60 \cdot 0.00)$$

$$Vd1 = 7.20 \text{ kN}$$

9.1.3. Compressão paralelas as fibras

$$f_{cod} = K_{mod} \cdot (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 \cdot (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Esbeltez} = L / R_{min}$$

$$\text{Esbeltez} = 39.00 / 4.62$$

$$\text{Esbeltez} = 8.44$$

Esbeltez \leq 40 - Peça Curta

- Tensão atuante

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 96.60 / 384.00 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cod1} = 0.25$$

- Verificação

$$T_{cod1} \leq f_{cod}$$

$$0.25 \leq 3.04 \text{ OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

9.1.4. Flexocompressão

$$T_{cod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{cod1} = 96.60 / 384.00$$

$$T_{cod1} = 0.25 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y \cdot 12.00$$

$$T_{Myd1} = 660.80 / 18432.00 \cdot 12.00$$

$$T_{Myd1} = 0.43 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z \cdot 8.00$$

$$TMzd1 = 772.80 / 8192.00 * 8.00$$
$$TMzd1 = 0.75 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$(Tcod1/fcod)^2 + (TMyd1/fcod) + (KM * TMzd1/fcod) \leq 1$$
$$0.27 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(Tcod1/fcod)^2 + (KM * TMyd1/fcod) + (TMzd1/fcod) \leq 1$$
$$0.33 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

9.1.5. Flexão simples – Tensão normal

$$Wc = Iy / z1$$
$$Wc = 18432.00 / 12.00$$
$$Wc = 1536.00 \text{ cm}^3$$

$$Wt = Wc$$
$$Wt = 1536.00 \text{ cm}^3$$

$$fcod = Kmod * (Ecom / 1.4)$$
$$fcod = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$
$$fcod = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$ftod = Kmod * ftok / 1.8$$
$$ftod = 0.56 * 9.68 / 1.80$$
$$ftod = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$Tcd1 = Md1y / Wc$$
$$Tcd1 = 660.80 / 1536.00$$
$$Tcd1 = 0.43 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$Ttd1 = Md1y / Wt$$
$$Ttd1 = 660.80 / 1536.00$$
$$Ttd1 = 0.43 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

- Verificação

$$Tcd1 \leq fcod \text{ e } Tcd1 \leq ftod$$
$$0.43 \leq 3.04 \text{ e } 0.43 \leq 3.01$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

9.1.6. Cisalhamento

$$fvod = Kmod * fvok / 1.8$$
$$fvod = 0.56 * 1.31 / 1.80$$
$$fvod = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 48.00 \text{ cm}^3$$

$$Cd1 = (3/2) * Vd1 / A$$
$$Cd1 = (3/2) * 7.20 / 384.00$$
$$Cd1 = 0.03 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$Cd1 \leq f_{vod}$
 $0.03 \leq 0.41$
OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

9.2. Calculo de esforços solicitantes a tração

Frame 2689 – comprimento $L = 28$ cm

9.2.1.Carregamentos

$F1 \rightarrow 12.00$ kN
 $M1 \rightarrow 0.00$ kN*cm
 $V1 \rightarrow 0.00$ kN

- Combinação das Ações Normais

$Fd1 = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$
 $Fd1 = 0.90 * 12.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$
 $Fd1 = 10.80$ kN

9.2.2.Tração paralelas as fibras

$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$
 $f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$
 $f_{tod} = 30.12$ kN/cm²

$T_{tod1} = Fd1 / A$
 $T_{tod1} = 10.80 / 384.00$
 $T_{tod1} = 0.03$ kN/cm²

- Verificação

$f_{tod} \geq T_{tod1}$
 $30.12 \geq 0.03$ OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

9.2.3.Flexotração

$T_{tod1} = Fd1 / A$
 $T_{tod1} = 10.80 / 384.00$
 $T_{tod1} = 0.03$ kN / cm²

$T_{Myd1} = Md1y / Iy * 12.00$
 $T_{Myd1} = 0.00 / 18432.00 * 12.00$
 $T_{Myd1} = 0.00$ kN / cm²

$T_{Mzd1} = Md1z / Iz * 8.00$
 $T_{Mzd1} = 0.00 / 8192.00 * 8.00$
 $T_{Mzd1} = 0.00$ kN / cm²

$$(T_{tod1}/f_{tod})+(T_{Myd1}/f_{tod})+(KM*T_{Mzd1}/f_{tod})\leq 1$$

0.00 <= 1 OK!

$$(T_{tod1}/f_{tod})+(KM*T_{Myd1}/f_{tod})+(T_{Mzd1}/f_{tod})\leq 1$$

0.00 <= 1 OK!

Ok!

Ok! Peça suporta carregamento!

9.3. Calculo esforços solicitantes a tração

Frame 3092 – comprimento L = 17 cm

9.3.1. Carregamentos

F1 -> 2.00 kN

M1 -> 1600.00 kN*cm

V1 -> 15.00 kN

- Combinação das Ações Normais

$$F_{d1} = 0.90 * F1 + 1.40 (F2 + 0.60 * F3)$$

$$F_{d1} = 0.90 * 2.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$F_{d1} = 1.80 \text{ kN}$$

$$M_{dy1} = 1.40 * M_{F1y} + 1.40 (M_{F2y} + 0.60 * M_{F3y})$$

$$M_{dy1} = 1.40 * 1687.75 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$M_{dy1} = 1518.97 \text{ kN * cm}$$

$$M_{dz1} = 1.40 * M_{F1z} + 1.40 (M_{F2z} + 0.60 * M_{F3z})$$

$$M_{dz1} = 1.40 * 16.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$M_{dz1} = 14.40 \text{ kN * cm}$$

$$KM = 0.50$$

- Combinação das Ações de Momentos

$$M_{d1} = 0.90 * M1 + 1.40 (M2 + 0.60 * M3)$$

$$M_{d1} = 0.90 * 1600.00 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$M_{d1} = 1440.00 \text{ kN * cm}$$

- Combinação das Ações Cortantes

$$V_{d1} = 0.90 * V1Q + 1.40 (V2Q + 0.60 * V3Q)$$

$$V_{d1} = 0.90 * 7.50 + 1.40 (0.00 + 0.60 * 0.00)$$

$$V_{d1} = 6.75 \text{ kN}$$

9.3.2. Tração paralela as fibras

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 30.12 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{tod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{tod1} = 1.80 / 384.00$$

$$T_{tod1} = 0.00 \text{ kN/cm}^2$$

- Verificação

$$f_{tod} \geq T_{tod1}$$

$$30.12 \geq 0.00 \quad \text{OK!}$$

Ok! Peça suporta o carregamento!

9.3.3.Flexotração

$$T_{tod1} = F_{d1} / A$$

$$T_{tod1} = 1.80 / 384.00$$

$$T_{tod1} = 0.00 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Myd1} = M_{d1y} / I_y * 12.00$$

$$T_{Myd1} = 1518.97 / 18432.00 * 12.00$$

$$T_{Myd1} = 0.99 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{Mzd1} = M_{d1z} / I_z * 8.00$$

$$T_{Mzd1} = 14.40 / 8192.00 * 8.00$$

$$T_{Mzd1} = 0.01 \text{ kN / cm}^2$$

$$(T_{tod1}/f_{tod}) + (T_{Myd1}/f_{tod}) + (K_M * T_{Mzd1}/f_{tod}) \leq 1$$

$$0.03 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

$$(T_{tod1}/f_{tod}) + (K_M * T_{Myd1}/f_{tod}) + (T_{Mzd1}/f_{tod}) \leq 1$$

$$0.02 \leq 1 \quad \text{OK!}$$

Ok!

Ok! Peça suporta carregamento!

9.3.4.Flexão simples – Tensão normal

$$W_c = I_y / z_1$$

$$W_c = 18432.00 / 12.00$$

$$W_c = 1536.00 \text{ cm}^3$$

$$W_t = W_c$$

$$W_t = 1536.00 \text{ cm}^3$$

$$f_{cod} = K_{mod} * (E_{com} / 1.4)$$

$$f_{cod} = 0.56 * (7.60 / 1.40)$$

$$f_{cod} = 3.04 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{tod} = K_{mod} * f_{tok} / 1.8$$

$$f_{tod} = 0.56 * 9.68 / 1.80$$

$$f_{tod} = 3.01 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_{cd1} = M_{d1y} / W_c$$

$$T_{cd1} = 1518.97 / 1536.00$$

$$T_{cd1} = 0.99 \text{ kN / cm}^2$$

$$T_{td1} = M_{d1y} / W_t$$

$$Ttd1 = 1518.97 / 1536.00$$

$$Ttd1 = 0.99 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

- Verificação

$$Tcd1 \leq fcod \text{ e } Tcd1 \leq ftod$$

$$0.99 \leq 3.04 \text{ e } 0.99 \leq 3.01$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

9.3.5. Cisalhamento

$$fvod = Kmod * fvok / 1.8$$

$$fvod = 0.56 * 1.31 / 1.80$$

$$fvod = 0.41 \text{ kN/cm}^2$$

$$S = 48.00 \text{ cm}^3$$

$$Cd1 = (3/2) * Vd1 / A$$

$$Cd1 = (3/2) * 6.75 / 384.00$$

$$Cd1 = 0.03 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$Cd1 \leq fvod$$

$$0.03 \leq 0.41$$

OK!

Ok! Peça suporta o carregamento!

Portanto a determinado as seções das vigas 16x24 cm.

| ELEMENTOS ESTRUTURAIS | SEÇÕES |
|-----------------------|----------|
| PILARES | 25x25 cm |
| BANZO DA FACHADA | 12x12 cm |
| BANZOS | 20x20 cm |
| DIAGONAIS DA FACHADA | 7x7 cm |
| DIAGONAIS | 7x7 cm |
| CONTRAVENTAMENTOS | 10x10 cm |
| TERÇAS | 15x15 cm |
| VIGAS | 16x24 cm |

Tabela 1. Seções dos elementos estruturais

Fonte: Elaborada pelo autor.

APÊNDICE “B”

APÊNDICE B. Memorial de cálculo para o dimensionamento dos carregamentos dos ventos, com auxílio do software Visual Ventos.

1 DIMENSIONAMENTOS DAS AÇÕES DO VENTO

Relatório

Observação: Os resultados aqui expostos devem ser avaliados por um profissional com experiência

VisualVentos <http://www.ertools.upf.br>

Este software está registrado no INPI No. 00062090

1.1 Dados Geométricos

$$b = 28,00 \text{ m}$$

$$a = 49,00 \text{ m}$$

$$b1 = 2 * h$$

$$b1 = 2 * 6,80$$

$$b1 = 13,60\text{m}$$

ou

$$b1 = b/2$$

$$b1 = 28,00/2$$

$$b1 = 14,00\text{m}$$

Adota-se o menor valor, portanto

$$b1 = 13,60 \text{ m}$$

$$a1 = b/3$$

$$a1 = 28,00/3$$

$$a1 = 9,33\text{m}$$

ou

$$a1 = a/4$$

$$a1 = 49,00/4$$

$$a1 = 12,25\text{m}$$

Adota-se o maior valor, porém $a1 \leq 2 * h$

$$2 * 6,80 = 13,60 \text{ m}$$

Portanto

$$a1 = 12,25 \text{ m}$$

$$a2 = (a/2) - a1$$

$$a2 = (49,00/2) - 12,25$$

$$a2 = 12,25 \text{ m}$$

$$h = 6,80 \text{ m}$$

$$h1 = 4,01 \text{ m}$$

$$\beta = 16,00^\circ$$

$$d = 5,80 \text{ m}$$

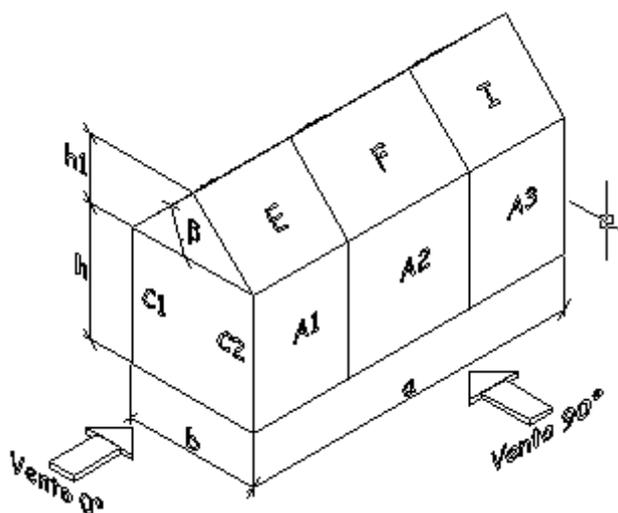


Figura 1. Área de abertura fixa e móveis.
Fonte: Visual Ventos.

1.2 Velocidade básica do vento

$V_0 = 33,00 \text{ m/s}$

1.3 Fator Topográfico (S1)

Terreno plano ou fracamente acidentado
 $S_1 = 1,00$

1.4 Fator de Rugosidade (S2)

Categoria III

Classe B

Parâmetros retirados da Tabela 2 da NBR6123/88 que relaciona Categoria e Classe

$b = 0,94$

$Fr = 0,98$

$p = 0,10$

$S_2 = b * Fr * (z/10)^{exp p}$

$S_2 = 0,94 * 0,98 * (10,81/10)^{exp 0,10}$

$S_2 = 0,93$

1.5 Fator Estático (S3)

Grupo 1

$S_3 = 1,00$

1.6 Coeficiente de pressão externa

1.6.1 Paredes

Vento 0°

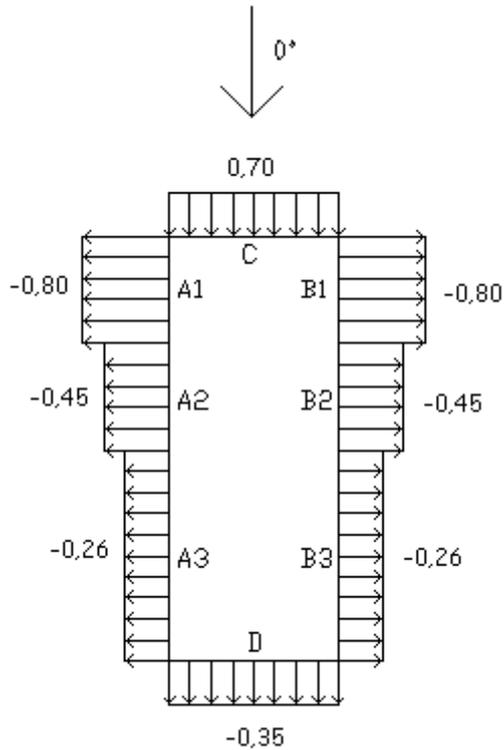


Figura 2. Coeficiente de pressão externa ao vento ao ângulo 0°.
Fonte: Visual Ventos.

Vento 90°

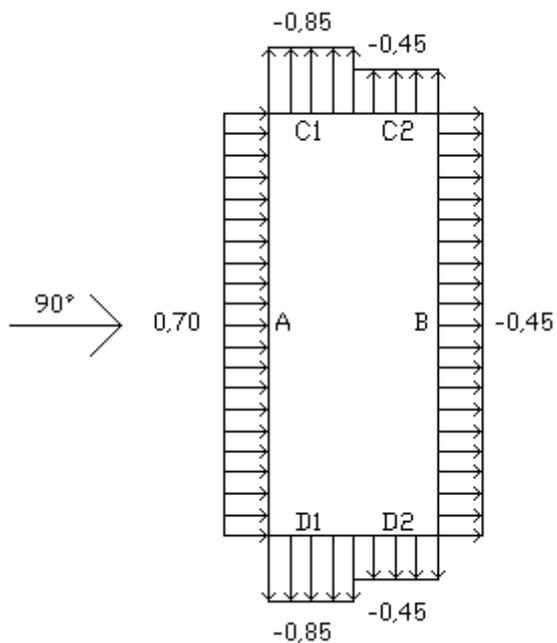


Figura 3. Coeficientes de pressão externa a ventos ao ângulo 90°.
Fonte: Visual Ventos

1.6.2 Telhado

Vento 0°

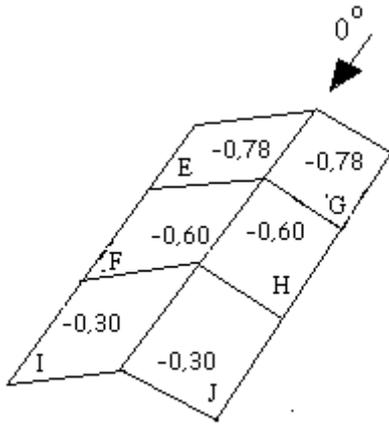


Figura 4. Coeficiente de pressão externa ao vento ao ângulo 0°.
Fonte: Visual Ventos.

Vento 90°

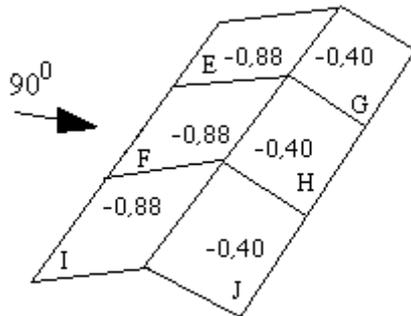


Figura 5. Coeficientes de pressão externa a ventos ao ângulo 90°.
Fonte: Visual Ventos

Cpe médio = -0,95

1.7 Coeficiente de pressão interno

Cpi 1 = -0,30

Cpi 2 = 0,00

1.8 Velocidade Característica de Vento

$$V_k = V_o * S1 * S2 * S3$$

$$V_k = 33,00 * 1,00 * 0,93 * 1,00$$

$$V_k = 30,65 \text{ m/s}$$

1.9 Pressão Dinâmica

$$q = 0,613 * V_k^2$$
$$q = 0,613 * 30,65^2$$
$$q = 0,58 \text{ kN/m}^2$$

1.10 Esforços Resultantes

Vento 0° - C_{pi} = -0,30

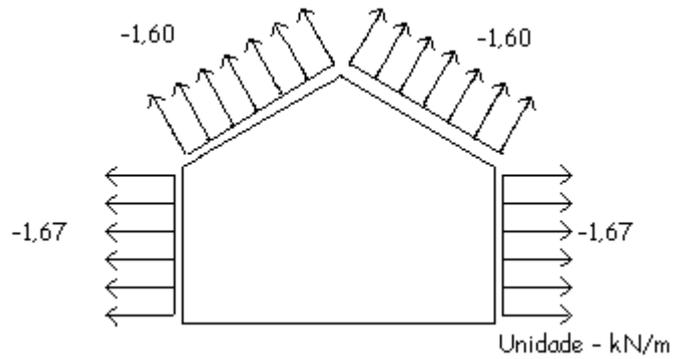


Figura 6. Esforços ao vento ao ângulo de 0°, com coeficiente de pressão interna igual a -0,30.
Fonte: Visual Ventos.

Vento 0° - C_{pi} = 0,00

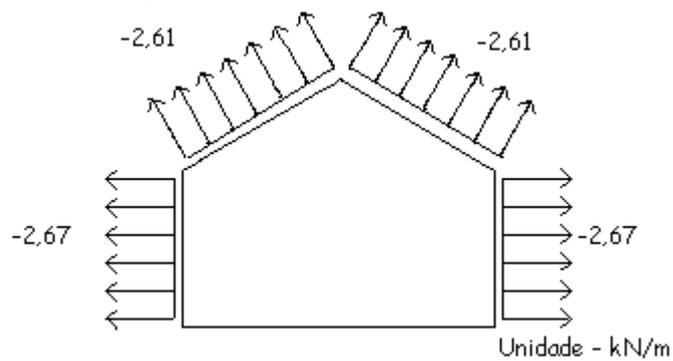


Figura 7. Esforços ao vento ao ângulo de 0°, com coeficiente de pressão interna igual a 0,00.
Fonte: Visual Ventos.

Vento 90° - Cpi = -0,30

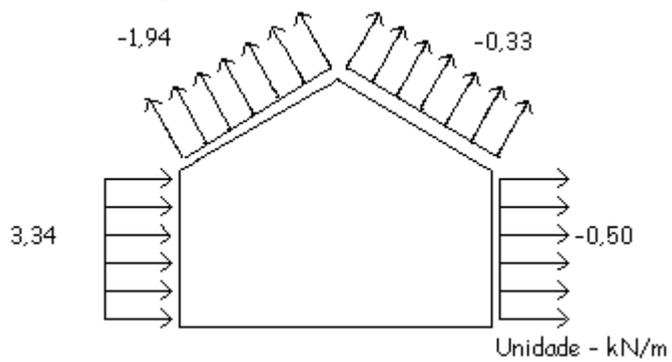


Figura 7. Esforços ao vento ao ângulo de 90°, com coeficiente de pressão interna igual a -0,30.
Fonte: Visual Ventos.

Vento 90° - Cpi = 0,00

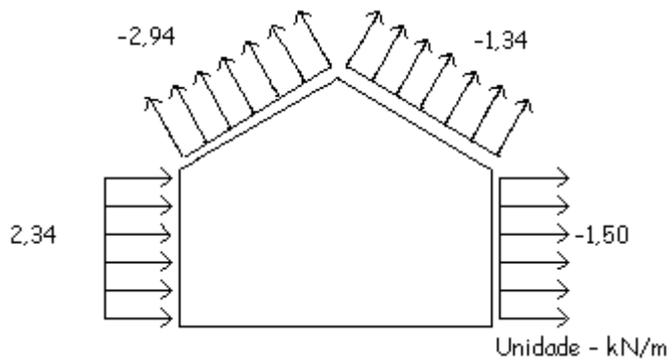


Figura 8. Esforços ao vento ao ângulo de 90°, com coeficiente de pressão interna igual a 0,00.
Fonte: Visual Ventos.

DIMENSIONAMENTO DE UM QUIOSQUE DE MADEIRA COM TELHA CERÂMICA

SANTOS, Bruno Leonardo Nazaro¹ e CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante²

¹Aluno do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA.

²Professor Orientador Me. do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA.

A madeira é uns dos materiais que mais foi empregado pelo homem desde os princípios da humanidade, sendo usado como artesanato, criação de ferramentas, utensílios, e na área de construção, como pontes, cabanas, barcos e entre outros. Mas, ao longo dos tempos, se tornou um material menos utilizado na composição de estruturas, sendo ultrapassada por materiais como a estruturas metálicas e de concreto armado. Este trabalho objetivou transformar uma cobertura em estrutura metálica para de madeira serrada, por meio de um estudo de caso composto a partir do projeto estrutural de quiosque comercial com cobertura em telha cerâmica concebido originalmente em metálica. Para fins de comparação, o quiosque será redimensionado com todos os elementos estruturais em madeira serrada tipo Ypê, e preservando as locações dos elementos, de acordo com o projeto original. As cargas e os demais elementos considerados no dimensionamento permaneceram os padrões e diretrizes exigida pelas normas vigentes. Também foram desenvolvidos recurso fundamentais a estabilidade da estrutura, atendendo as especificações do projeto arquitetônico. Os resultados todos dimensionamento do quiosque constatou que os elementos de madeira possuíam peças mais robusta em comparação ao de metálica, e o aumento nas peças estavam previstos, considerando o fato que madeira possui limitações em sua resistência mecânica, ao contrário de sua concorrente a metálica. Mas, em termos de estética a madeira possui parte arquitetônica diferenciada.

PALAVRAS-CHAVES: Estruturas de madeira, análise estrutural, adequação estrutural, estrutura metálica.