

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

GABRIEL HENRIQUE MORGAN

***SOFTWARE ONLINE* DE DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS EM MADEIRA:
ANÁLISE DE ESFORÇOS DE TRAÇÃO, COMPRESSÃO, FLEXÃO SIMPLES E
COMPOSTA, COM GERAÇÃO DE RELATÓRIOS EM PDF**

VOTUPORANGA

2018

GABRIEL HENRIQUE MORGAN

**SOFTWARE ONLINE DE DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS EM MADEIRA:
ANÁLISE DE ESFORÇOS DE TRAÇÃO, COMPRESSÃO, FLEXÃO SIMPLES E
COMPOSTA, COM GERAÇÃO DE RELATÓRIOS EM PDF**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Câmpus Votuporanga.

Professora Orientadora: Prof^ª Ma. Cristiane Prado Marin.

Votuporanga

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

M848s	<p>Morgan, Gabriel Henrique, 1995- Software online de dimensionamento de peças em madeira: análise de esforços de tração, compressão, flexão simples e composta, com geração de relatórios em PDF / Gabriel Henrique Morgan – Votuporanga, 2018. 123 p. : il. color.; 29,8 cm. Bibliografia: p. 120-121 Inclui Anexos</p> <p>Orientadora: Cristiane Prado Marin Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2018.</p> <p>1. Estruturas de madeira (Construção Civil). 2. Dimensionamento de estruturas – madeira. 3. Software – desenvolvimento. 4. Relatórios técnicos. I. Título.</p>
CDD – 624.1840285	

Gabriel Henrique Morgan

SOFTWARE ONLINE GRATUITO DE DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS EM MADEIRA: análise de esforços de tração, compressão, flexão simples e composta, com geração de relatórios em pdf

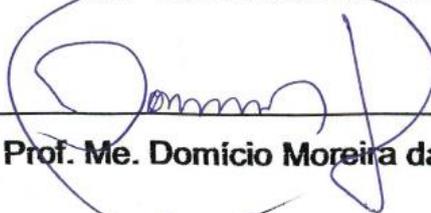
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Câmpus Votuporanga.

Aprovado pela banca examinadora em 27 de junho de 2018.

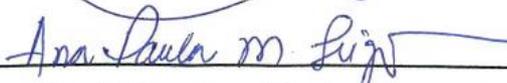
BANCA EXAMINADORA:



Prof^a Ma. Cristiane Prado Marin



Prof. Me. Domicio Moreira da Silva Júnior



Prof^a.Dra. Ana Paula Moreno Trigo

*Dedico esse trabalho a minha família
que sempre contribuiu para o meu
crescimento pessoal e acadêmico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço este trabalho a Deus, aos Orixás e a todos Guias Espirituais que me ajudaram a realizar esta conquista.

Agradeço também à minha família, que acreditou e me deu todo apoio necessário para meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Agradeço a minha orientadora que sempre esteve ao meu lado me auxiliando durante todo o desenvolvimento do projeto.

Agradeço especialmente aos discentes Alex Junio Fidelis Lopes, Luciano José dos Santos Júnior e Thales Lourenço Aleixo que disponibilizaram seu tempo a fim de me auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço especialmente aos docentes Domício Moreira da Silva Júnior e Gustavo Cabrelli Nirschl que disponibilizaram seu tempo a fim de me auxiliar e ensinar as linguagens de programação utilizadas no desenvolvimento do *software online*.

Agradeço a todos os amigos que conquistei durante o curso, pois ajudaram a tornar esta experiência acadêmica mais alegre.

Agradeço a todos os professores e servidores do IFSP Campus Votuporanga, pois de alguma forma me auxiliaram na minha formação acadêmica.

*"Os poderosos podem matar uma,
duas ou três rosas, mas jamais
conseguirão deter a primavera inteira"
(Ernesto Rafael Guevara de la Serna).*

RESUMO

O dimensionamento de uma estrutura envolve diversas rotinas de cálculos, muitas vezes extensas e complicadas. A informática surge, pois, como uma importante ferramenta para a produtividade, resumindo o dimensionamento à entrada de dados. O problema é que a maioria dos programas de computador voltados para a engenharia mostra os resultados, mas não exhibe todos os cálculos envolvidos, motivo pelo qual estudantes ou profissionais com pouca experiência acabam tendo dificuldades em validar as teorias desenvolvidas, já que ficam ocultas nas rotinas. Com o intuito de auxiliar, principalmente esse público, foi criado um grupo de pesquisa do IFSP - Câmpus Votuporanga, cujo objetivo principal é desenvolver programas de Engenharia Civil que não só fazem cálculos, mas que demonstram todo o procedimento realizado, em relatório pdf. O desenvolvimento dos aplicativos é realizado na linguagem *HTML/Javascript*, permitindo a disponibilização *on-line*. Neste trabalho, foi criado um programa para dimensionamento de peças de madeira solicitadas à tração, compressão, flexão simples e composta disponibilizando um arquivo pdf com os cálculos executados.

Palavras-chave: Dimensionamento. Madeira. Programa. *On-line*

ABSTRACT

A structure's sizing involves various calculation routines, in general, extensive and complicated. Computing, as an important tool for productivity, resumes sizing to data introducing. The problem is that most of the computers programs geared towards engineering present the results, but not the calculations involved, reason why students or professionals with little experience end up with difficulties on validating the developed theories, since they are unseen in the routines mentioned above. In order to assist, mainly this public, a IFSP – Votuporanga Campus's research group was created, which the main goal is to develop civil engineering softwares that not only calculate, but also demonstrate the performed procedure, in a pdf report. The programs's development is presented in HTML/Javascript language and it is available on-line. A program was created in the following work, wich sizes timber parts requested by tension, compression, simple and composite bending, and also provides a pdf file with the calculations made.

Keywords: Sizing. Timber. Software. On-line.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Seção transversal de um Tronco	27
Figura 2 – Gráfico Resistência da Madeira x Teor de Umidade	30
Figura 3 – Madeira Roliça para escoramento	33
Figura 4 – Madeira Roliça para estacas	34
Figura 5 – Madeira Serrada	34
Figura 6 – Madeira Compensada	35
Figura 7 – Madeira Laminada e Colada	36
Figura 8 – Menu principal	41
Figura 9 – Página Home	42
Figura 10 – Dados de Entrada Página Geometria da Peça	44
Figura 11 – Resultado da Página Geometria da Peça	47
Figura 12 – Informações Iniciais Resistência de Cálculo	48
Figura 13 – Seção de Cálculo do K_{mod1}	48
Figura 14 – Seção de Cálculo do K_{mod2}	49
Figura 15 – Seção de Cálculo do K_{mod3}	49
Figura 16 – Seção Coeficiente α_n	50
Figura 17 – Seção diâmetro do pino nominal	51
Figura 18 – Resultados do cálculo das resistências	54
Figura 19 – Página dimensionamento à Tração	55
Figura 20 – Dados de Entrada da página de dimensionamento à tração	57
Figura 21 – Verificação Estado Limite Último e de Serviço na Tração	59
Figura 22 – Página de Dimensionamento à Compressão	60
Figura 23 – Dados de Entrada do Dimensionamento à Compressão	61
Figura 24 – Resultados de Dimensionamento à Compressão	69
Figura 25 – Dados de Entrada da Página de Flexão Simples	71
Figura 26 – Dados de Saída da Página de Flexão Simples	81
Figura 27 – Página inicial de Flexo-tração	82
Figura 28 – Página Dados de Entrada da Flexo-tração	83
Figura 29 – Página de Resultados da Flexo-tração	85
Figura 30 – Página inicial da Flexo-compressão	86
Figura 31 – Página Dados de Entrada da Flexo-compressão	87
Figura 32 – Página de Resultados da Flexo-compressão	90
Quadro 1 – Cálculo do K_{mod1}	52
Quadro 2 – Cálculo do K_{mod2}	52

Quadro 3 – Cálculo do K_{mod3}	52
Quadro 4 – Relação diâmetro nominal do pino e coeficiente do α_e	54
Quadro 5 – Coeficiente de Fluência	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CERN	Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear
HTML	Linguagem de Marcação de Hipertexto
HTTP	Protocolo de Transferência de Hipertexto
IFSP	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
NEVE	Núcleo de Engenharia Virtual e Experimental
PSF	Ponto de Saturação das Fibras

LISTA DE SÍMBOLOS

h	altura
A	área bruta
A_{wn}	área líquida
A_f	área do furo
b	base
N_e	carga crítica de Euler
cm	centímetros
cm^2	centímetros quadrados
φ	coeficiente de fluência
K_{mod}	coeficiente de modificação da madeira
L_{fl}	comprimento de flambagem
\emptyset	diâmetro
λ	esbeltez
e_a	excentricidade acidental
e_i	excentricidade inicial
e_c	excentricidade suplementar
f_d	flecha atuante
f_{lim}	flecha limite
M_k	momento característico
M_d	momento de cálculo
N_k	força característica
N_{sd}	força de cálculo
n_1	número de furos na seção crítica
n_2	número de furos à uma distância menor que 4 vezes o diâmetro
n_{ef}	número de furos efetivos
kN	kilo newton

kN.cm	kilo newton vezes centímetros
$E_{co,ef}$	módulo de elasticidade longitudinal
$E_{co,m}$	módulo de elasticidade longitudinal Médio
I	momento de inércia
Ψ	fator de combinação e utilização
r	raio de giração
$f_{c0,d}$	resistência de cálculo da madeira à compressão
$f_{t0,d}$	resistência de cálculo da madeira à tração
$f_{v0,d}$	resistência de cálculo da madeira ao cisalhamento
τ	tensão de cisalhamento
$\sigma_{N,d}$	tensão devido à força normal
$\sigma_{M,d}$	tensão devido ao momento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVOS	24
1.1.1	Objetivo Geral	24
1.1.2	Objetivos Específicos	24
1.2	JUSTIFICATIVA	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	CONSTITUIÇÃO DA MADEIRA	27
2.2	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA	29
2.3	DETERIORAÇÃO DA MADEIRA	31
2.4	EMPREGO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	32
2.5	DIMENSIONAMENTO GERAL DE PEÇAS EM MADEIRA	36
2.6	LINGUAGEM DE MODELAÇÃO HTML	37
2.7	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JAVASCRIPT	38
3	METODOLOGIA	41
3.1	PÁGINA HOME	42
3.2	PÁGINA GEOMETRIA DA PEÇA	43
3.2.1	Dados de Entrada do Sistema	43
3.2.2	Rotina de Cálculo	34
3.2.2.1	Seção Retangular	34
3.2.2.2	Seção Circular	46
3.2.3	Resultados	46
3.3	PÁGINA RESISTÊNCIA DE CÁLCULO	47
3.3.1	Dados de Entrada do Sistema	47
3.3.2	Rotina de Cálculo	51
3.3.2.1	Cálculo do Kmod	51
3.3.2.2	Cálculo das Resistências de Cálculo	53
3.3.3	Resultados	54

3.4	PÁGINA DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO	55
5.4.1	Dados de Entrada do Sistema	56
3.4.2	Rotina de Cálculo para Limite Último	57
3.4.3	Rotina de Cálculo para Estado Limite de Serviço	58
3.4.4	Resultados	58
3.5	PÁGINA DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO	59
3.5.1	Dados de Entrada do Sistema	60
3.5.2	Rotina de Cálculo para Limite Último	61
3.5.2.1	Peças curtas ($\lambda \leq 40$)	61
3.5.2.1.1	<i>Cálculos para o Eixo – X e para o Eixo -Y</i>	62
3.5.2.2	Peças Semi-Esbelta ($40 < \lambda \leq 80$)	62
3.5.2.2.1	Cálculos para o Eixo – X	62
3.5.2.2.2	Cálculos para o Eixo – Y	63
3.5.2.3	Peças Esbeltas ($\lambda > 80$)	64
3.5.2.3.1	<i>Cálculos para o Eixo – X</i>	64
3.5.2.3.2	<i>Cálculos para o Eixo – Y</i>	66
3.5.3	Resultados	68
3.6	PÁGINA DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES	69
3.6.1	Dados de Entrada do Sistema	70
3.6.2	Rotinas de Cálculo	72
3.6.2.1	Flexão Simples Reta em X	72
3.6.2.2	Flexão Simples Reta em Y	74
3.6.2.3	Flexão Simples Obliqua em (X ,Y)	76
3.6.3	Resultados	80
3.7	PÁGINA DE DIMENSIONAMENTO A FLEXO-TRAÇÃO	82
3.7.1	Dados de Entrada do Sistema	82
3.7.2	Rotina de Cálculo	84
3.7.3	Resultados	84
3.8	PÁGINA DE DIMENSIONAMENTO À FLEXO-COMPRESSÃO	86

3.8.1	Dados de Entrada do Sistema	86
3.8.2	Rotina de Cálculo	87
3.8.3	Resultados	89
4	EXEMPLOS DOS RELATÓRIOS EM PDF	91
5	CONCLUSÕES	119
	REFERÊNCIAS	120
	ANEXO A	122
	ANEXO B	122
	ANEXO C	123

1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de peças estruturais em madeira envolve uma rotina de cálculo por vezes complexa, sobretudo por depender de uma série de fatores. A determinação das resistências de cálculo atuantes, por exemplo, dependem de fatores específicos do material madeira, entre eles a classe de umidade, classe de carregamento e o tipo de vegetal ao qual foi extraída a madeira.

Além disso, a verificação quanto aos estados limites últimos e de serviço pode se tornar extensa dependendo do dimensionamento analisado, dificultando o cálculo manual.

Com o intuito de facilitar as verificações em peças de madeira, segundo a norma NBR 7190/1997, foi desenvolvido um *software online* para dimensionamento, otimizando os cálculos para alunos ou profissionais da área de estruturas de madeiras.

O *software* foi desenvolvido para internet, o qual foi hospedado na página do grupo de pesquisa NEVE (Núcleo de Engenharia Virtual e Experimental), do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus Votuporanga, possibilitando a utilização por qualquer pessoa.

As linguagens de programação utilizadas foram o *HTML*, cuja função é a montagem do layout das páginas e, para a resolução dos cálculos, foi usado o *Javascript*.

Além dos cálculos, o programa possibilita a impressão, em PDF, de relatórios que explicitam ao usuário toda a rotina de cálculo adotada para o dimensionamento solicitado.

O programa possui uma interface gráfica intuitiva, facilitando a utilização dos usuários e apresenta explicações sobre como são processados os cálculos internamente e imagens que ajudam na interpretação da inserção dos dados de entrada.

Inicialmente, o usuário deve fornecer os dados geométricos da peça e o seu comprimento entre travamentos, na aba denominada "Geometria da Peça". Nessa página, são calculados o momento de inércia, o raio de giração e o índice de esbeltez, que serão salvos internamente e apresentados na tela ao usuário.

Na sequência, o usuário deve, na aba "Resistências de Cálculo", fornecer a resistência característica paralela à compressão ($f_{c0,k}$), módulo de elasticidade médio ($E_{c0,m}$), classe de umidade, classe de carregamento tipo de vegetal ao qual foi extraída a madeira e o diâmetro do pino utilizado. Depois de fornecidos esses dados, o programa realizará o cálculo de todas as resistências de cálculos necessárias para os dimensionamentos. Os dados são apresentados na própria página de "Resistências de Cálculo" e também em cada página de dimensionamento conforme sua necessidade.

Por fim, o usuário deve selecionar o tipo de dimensionamento desejado, podendo escolher tração, compressão, flexão simples, flexo-tração e flexo-compressão.

Além das verificações de estado limite último, cada tipo de dimensionamento é acompanhado do respectivo estado limite de serviço e de vibração, quando necessário por norma.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho de pesquisa possui os seguintes objetivos:

1.1.1 Objetivo Geral

Criação de um *software on-line* para verificação da seção transversal de peça de madeira submetida a esforços de tração, compressão, flexão simples e composta, fornecendo um relatório em pdf com todos os cálculos detalhados.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) fornecer os cálculos de dimensionamento de peças de madeira submetidas a esforços de tração, compressão, flexão simples e composta;
- b) apresentar o *software* como ferramenta auxiliar no aprendizado do dimensionamento em estruturas de madeira;
- c) emitir relatórios em formato pdf detalhando todas as rotinas de cálculo utilizadas para os dimensionamentos citados.

1.2 JUSTIFICATIVA

O projeto justifica-se mediante a duas dificuldades encontradas durante o curso de graduação, sendo elas: o elevado custo de aquisição de *softwares* de dimensionamento e a dificuldade de interpretação dos resultados fornecidos por eles, pois a maioria não detalha as rotinas de cálculo utilizadas, apenas lançam os valores e suas respectivas verificações.

Dessa forma, o desenvolvimento do *software online* de dimensionamento de peças em madeira apresenta-se como alternativa a essas questões, pois, sendo gratuito e disponibilizado *on-line* na própria página do Instituto Federal, permite o acesso a qualquer usuário disposto a utilizá-lo.

Além disso, o *software online* fornece relatórios detalhados de dimensionamento de cálculos, facilitando a interpretação de usuários que estão iniciando sua vida acadêmica na área de estrutura de madeiras, e também podendo auxiliar professores, servindo de ferramenta complementar para as aulas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será exposta uma revisão bibliográfica fundamentando e servindo de suporte para o conteúdo utilizado na elaboração do *software online* de dimensionamento de peças em madeira.

2.1 CONSTITUIÇÃO DA MADEIRA

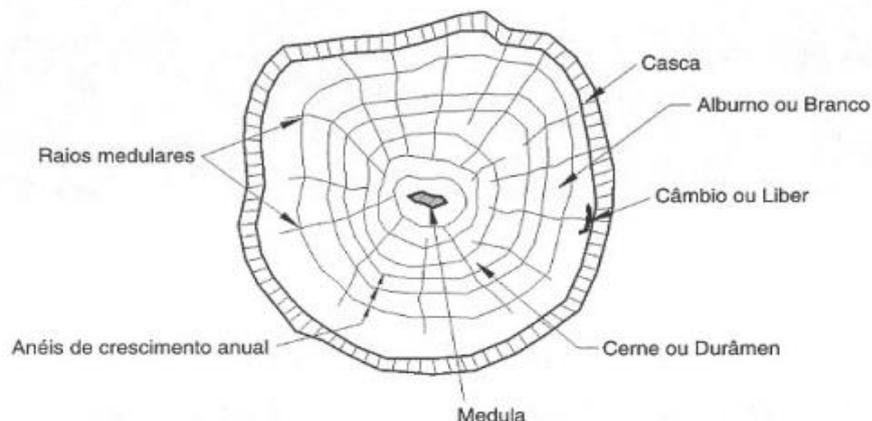
A madeira natural é um material obtido diretamente do lenho dos vegetais superiores, sendo eles: árvores e arbustos lenhosos (BAUER, 2011).

As paredes das células lenhosas da madeira são materiais formados principalmente pelos seguintes elementos: Carbono (50%), Oxigênio (44%) e Hidrogênio (6%) (PFEIL, 2003).

Além dos elementos constituintes, a madeira possui outros compostos orgânicos que influenciam nas suas características físico-químicas, sendo a celulose (cerca de 50%) um componente que desenvolve os filamentos e que fortalece as paredes das fibras longitudinais. A lignina (cerca de 25%) é outro composto importante, pois realiza as ligações entre as macromoléculas, resultando no aumento da rigidez e a resistência à compressão nas fibras que envolvem as paredes celulares (PFEIL, 2003).

A estrutura fisiológica da madeira está detalhada abaixo (Figura 1):

Figura 1 – Seção transversal de um Tronco



Fonte: (PFEIL, 2003)

Casca: é a camada mais externa do vegetal, composta externamente por células mortas e internamente por um tecido vivo e úmido (SZÜCS, 2015).

Alburno ou Branco: é a parte da madeira formada por células vivas e jovens, sendo mais permeável e menos densa. Logo é uma área de extremo risco de ataques de agentes biológicos (SZÜCS, 2015).

Cerne ou Durâmen: as células vivas do alburno se envelhecem e tornam-se inativas, tornando mais denso e resistente que o alburno, logo sendo menos atacada por agentes biológicos (PFEIL, 2003).

Medula: é a parte central da madeira, possuindo baixa resistência, sendo dela que resulta o desenvolvimento da madeira. As madeiras possuem um crescimento exógeno, ou seja, se desenvolvem para as camadas mais externas, crescendo como anéis ao redor da medula (PFEIL, 2003).

Cambio ou Líber: é a parte responsável pela sobreposição de novas camadas do vegetal, conseqüentemente o seu crescimento (SZÜCS, 2015).

A classificação dos vegetais fanerógamos é dada mediante a sua germinação e crescimento, sendo: (BAUER, 2011).

Endógenas: possui germinação interna, sendo que o crescimento transversal do caule ocorre de dentro para fora, compreendendo as árvores tropicais ocas, palmeiras e bambus. É pouco utilizada na indústria da construção civil. (BAUER, 2011).

Exógenas: de germinação externa, sendo que o crescimento transversal do caule ocorre de fora para dentro, formando anéis de crescimento. É muito utilizada na indústria da construção civil. As árvores exógenas podem ser classificadas morfológica e anatomicamente em dois grupos: (BAUER, 2011).

Gimnospermas: São árvores que não produzem frutos, possuem suas sementes descobertas, folhas perenes no formato de agulhas aciculares e lenho de madeira branca. Dentro das gimnospermas destacam-se as coníferas que compreendem 35% das espécies catalogadas, totalizando 400 espécies industriais (BAUER, 2011).

Angiospermas: Diferentemente das gimnospermas, as angiospermas são árvores as quais produzem frutos, podendo ser monocotiledônea ou dicotiledônea (sendo a mais utilizada). As angiospermas dicotiledôneas possuem folhas múltiplas

e nervuradas, raízes profundas e caule lenhoso. Compreendem 65% das espécies catalogadas (BAUER, 2011).

2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA

A madeira possui diversas propriedades físicas e mecânicas que podem influenciar diretamente nos cálculos de dimensionamento das peças e conseqüentemente devem ser estudadas e analisadas.

A seguir serão listadas algumas das características que possuem maior relevância ao estudo de dimensionamento de peças em madeira.

Anisotropia: A madeira é um material que possui suas fibras posicionadas em três direções principais, sendo elas: longitudinal, radial e tangencial. Com isto, resulta na expansão e retração diferenciada em cada direção e, conseqüentemente, valores de resistências diferentes para o mesmo esforço aplicado em cada direção (PFEIL, 2003).

Umidade: A madeira é um material higroscópico, ou seja, absorve água com facilidade, logo seu grau de umidade pode variar constantemente, mediante a estação do ano que se encontra (PFEIL, 2003).

O armazenamento de água na madeira pode ocorrer de duas formas, sendo elas: no interior das células ocas (lúmens) ou absorvida nas paredes das fibras (PFEIL, 2003).

O ponto de saturação das fibras (PSF) (cerca de 20% a 30%) é quando a água que esta nas células ocas (lúmens) foi evaporada, mas ainda possui parte contida nas paredes das fibras (PFEIL, 2003).

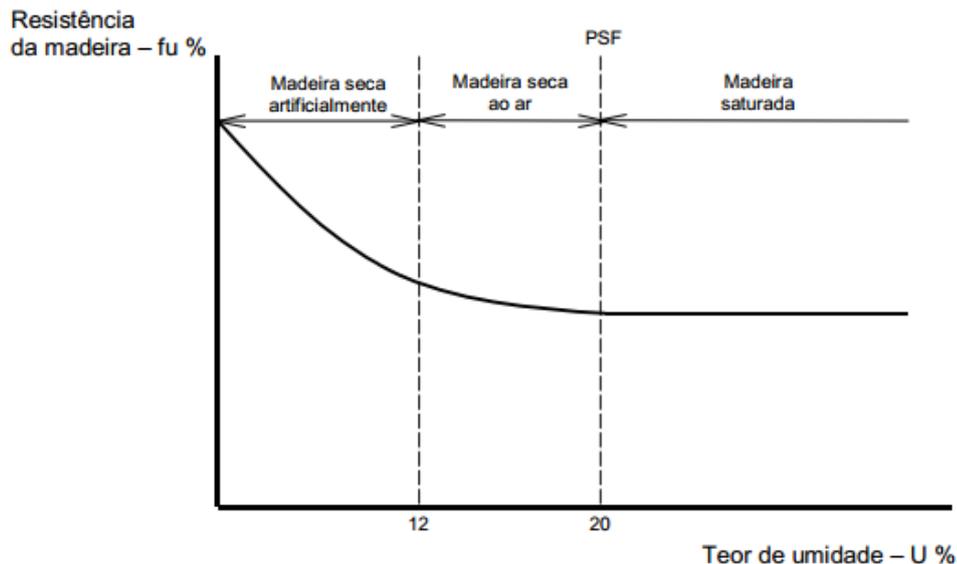
Ao manter a secagem, quando se ultrapassa o PSF, a madeira começa a sofrer com a retração das fibras, e por ser um material anisotrópico podem ocorrer defeitos na estrutura se a secagem não for realizada com cuidado, levando ao empenamento da mesma (SZÜCS, 2015).

A diminuição da umidade resulta no aumento considerável das suas resistências (SZÜCS, 2015).

O gráfico da Figura 2 exemplifica o ganho de resistência da madeira, mediante a diminuição do grau de umidade. Tanto no Brasil como nos Estados

Unidos, adota-se como unidade padrão de referência de umidade o teor de 12% (PFEIL, 2003).

Figura 2 – Gráfico Resistência da Madeira x Teor de Umidade



Fonte: (ALMEIDA, 1998 apud SZÜCS, 2015).

Retração: A contração da madeira inicia-se na faixa de umidade de 0 a 30%, ou seja, abaixo do ponto de saturação das fibras. A retração na direção tangencial varia de 5 a 10% da dimensão verde (ou seja, logo após o corte), na direção radial cerca de 2,5 a 5% e na direção longitudinal cerca de 0,1 a 0,3%, sendo esta a que menos sofre com a redução das dimensões da madeira (PFEIL, 2003).

Dilatação Linear: O coeficiente de dilatação da madeira na direção longitudinal é cerca de $0,3 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ a $0,45 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Já nas direções radiais e tangenciais é cerca de $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para madeiras duras e $8,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para madeiras moles (PFEIL, 2003).

Resistência ao Fogo: Ao contrário do que a maioria das pessoas acreditam, a madeira, quando projetada e dimensionada corretamente, apresenta ótima resistência ao fogo. Quando a madeira é sujeita ao fogo, parte se carbonizará (taxa de carbonização 0,7mm/min), fazendo com que ela se torne um isolante térmico, que ajudará na contenção do incêndio, evitando que a peça seja interinamente destruída rapidamente, assim como ocorre nas estruturas de aço (SZÜCS, 2015).

2.3 DETERIORAÇÃO DA MADEIRA

Por ser um material orgânico, a madeira pode sofrer com a degradação biológica devido a ataques de fungos, insetos, bactérias e crustáceos marinhos que se alimentam dos seus materiais constituintes (PFEIL, 2003).

As deteriorações da madeira devido a ataques biológicos dependem não só da espécie, mas também da camada a qual foi afetada, pois os agentes preferem o albúrnio por ser mais higroscópico ao cerne, facilitando suas ações. (PFEIL, 2003).

Os insetos que atacam as madeiras podem ser divididos em dois grupos: coleópteros e isópteros (BERTOLINI, 2010).

Os insetos coleópteros colocam seus ovos em fissuras na superfície da madeira. Com o tempo as larvas crescem escavando a superfície até o momento que se tornam adultas e abandonam a madeira por meio de um furo de saída, resultando na ruptura de fibras e, conseqüentemente, na sua perda de resistência (BERTOLINI, 2010).

Os isópteros são os insetos conhecidos como térmitas ou cupins, vivem em colônias e não gostam da presença de luz, escavando a madeira internamente, deixando a superfície intacta. Além disso, estes insetos cavam a madeira a fim de obterem nutrientes, pois se alimentam da celulose (BERTOLINI, 2010).

Os fungos atacam a madeira com a finalidade de se obter alimento, levando-a a decomposição. Iniciam o ataque depositando ovos e formando filamentos de células tubulares. Estas células penetram na madeira decompondo e transformando a celulose em hemicelulose e a lignina em açúcares e compostos aromáticos, sendo estes, nutrientes para os fungos (BERTOLINI, 2010).

Para ocorrer o ataque de fungos é necessário que a umidade presente na madeira seja superior a 20% e, caso isto ocorra, o próprio fungo pode manter a madeira úmida, a fim de continuar a obtenção de nutrientes (BERTOLINI, 2010).

As deteriorações da madeira ocasionada por meio de bactérias não possuem grandes influências, pois seus efeitos ocorrem de forma lenta, podendo ser observados por séculos em artefatos arqueológicos. Contudo, o seu principal efeito é o aumento da permeabilidade da madeira, ocasionado pelo ataque à membrana das células (BERTOLINI, 2010).

Os crustáceos do gênero limnoria são os organismos aquáticos que mais acarretam danos à madeira, pois da mesma forma que os insetos coleópteros, abrem fissuras na madeira, permitindo o aumento de umidade e conseqüentemente a perda de resistência (BAUER, 2011).

Além dos agentes biológicos, os agentes atmosféricos, como radiações solares e chuva, podem resultar na degradação da madeira. No entanto, os ataques limitam-se a camada superficial, geralmente ocasionando mudança de cor da madeira (BERTOLINI, 2010).

O maior problema para agentes atmosféricos está relacionado com a variação de umidade, produzindo variações nas dimensões da peça, levando a fissurações, que por sua vez servem de abrigos para fungos e insetos (BERTOLINI, 2010).

A madeira possui alta durabilidade e resistência, porém quando se trata de agentes biológicos, sua durabilidade natural pode ser reduzida. Mas isto pode ser contornado com tratamentos, evitando os ataques destes organismos (SZÜCS, 2015).

Segundo Bertolini (2010), os tratamentos podem ser classificados:

Método estrutural: envolve escolher a madeira mais adequada para o local da obra e prever em projeto detalhes construtivos, a fim de proteger as peças da umidade.

Método químico: utiliza-se de substâncias químicas que impedem o desenvolvimento de fungos e insetos no material.

Método físico: este método cria, por meio de ondas eletromagnéticas, um ambiente inóspito para o crescimento de agentes biológicos.

Método biológico: é possível utilizar-se de microrganismos que se alimentam de fungos e insetos, porém não causam danos a madeira.

2.4 EMPREGO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A madeira é um material que pode ser empregado em várias áreas da construção civil, desde a fase preliminar como escoras e formas para concretagem, passando pela fase estrutural como fundações, vigas e pilares e chegando a fins arquitetônicos como vedações, forros e revestimentos (BAUER, 2011).

As madeiras mais utilizadas na construção civil são divididas em duas categorias, sendo elas: madeiras maciças (roliça, serrada) e madeira industrializada (compensada, laminada e colada) (PFEIL, 2003).

A seguir será apresentado o emprego mais comum de cada tipo de madeira dentro da construção civil.

Madeira Roliça: é muito utilizada para construções provisórias como escoramento (Figura 3) de formas para concreto (PFEIL, 2003), mas também pode ser utilizada como estaca para fundações (Figura 4), desde que possua diâmetros maiores que 15 cm e 25 cm na ponta e no topo, respectivamente; além de sua ponta e topo serem revestidos por ponteira de aço. E em locais com níveis de água deve ser protegida contra ataques de microrganismos (YAZIGI, 2013).

Figura 3 – Madeira Roliça para escoramento



Fonte: (Madeira Tratada, 1994).

Figura 4 – Madeira Roliça para estacas



Fonte: (Eucatratius, 2014).

Madeira serrada: esta madeira é a mais utilizada em peças estruturais na construção civil, quando atingem sua maturidade as árvores são cortadas por serras especiais em seções quadráticas, retangular ou cônica dentro de serrarias (Figura 5). Este processo gera uma qualidade melhor na madeira a ser empregada em peças estruturais (PFEIL, 2003).

Figura 5 – Madeira Serrada



Fonte: (Eucatratius, 2014).

Madeira Compensada: é a madeira que sofre um processo de colagem de, no mínimo, três lâminas de madeira (deve ser sempre um número ímpar de lâminas), variando as direções ortogonalmente (PFEIL, 2003), equilibrando e restringindo as variações dimensionais da retração da madeira (Figura 6). As peças de três folhas são utilizadas em processos não estruturais tais como marcenaria e revestimento. Já as de cinco folhas ou mais podem ser utilizados como peças estruturais quando analisadas suas particularidades (BAUER, 2011).

Figura 6 – Madeira Compensada



Fonte: (Terminologias Arquitetônicas, 2009).

Madeira Laminada e Colada: são tábuas (geralmente de espessuras de 25 mm) colocadas uma em cima da outra e coladas, podendo gerar peças retas ou curvas (Figura 7). A técnica de estruturas de madeira laminada foi desenvolvida na Alemanha, em 1905, pelo engenheiro Otto Hetzer. As estruturas concebidas podem ser: vigas, pilares e pórticos. No Brasil, o pinho-do-paraná, devido suas características físicas, é a madeira que melhor responde a esta técnica construtiva (BAUER, 2011).

Figura 7 – Madeira Laminada e Colada



Fonte: (Madeira Estrutural, 2011).

Madeira Recompоста: é obtida da colagem sob pressão da serragem de madeira. Este tipo de madeira não é muito utilizada como peça estrutural devido à sua baixa resistência e durabilidade, sendo mais comum na fabricação de móveis em geral (PFEIL, 2003).

2.5 DIMENSIONAMENTO GERAL DE PEÇAS EM MADEIRA

Neste item serão discutidos, de forma simplificada, os diversos tipos de dimensionamento de estruturas em madeira, sendo as rotinas de cálculo detalhadas no capítulo 3.

As estruturas de madeira são dimensionadas de acordo com a NBR 7190/1997, sendo que o modelo utilizado para verificação da segurança estrutural é o Método dos Estados Limites, no qual se utiliza de procedimentos probabilísticos para obter as tensões atuantes. Os estados limites podem ser classificados em duas formas: estados limites últimos e estados limites de serviço (SZÜCS, 2015).

Os estados limites últimos apresentam as verificações correspondentes à máxima capacidade estrutural da peça, sendo que a resistência de cálculo deve ser superior à solicitação de cálculo, resultante das combinações. Quanto aos estados limites de serviço, o não atendimento aos limites especificados em norma (flecha e

vibração) pode causar desconforto e insegurança aos usuários, mas não levar ao colapso da obra (SZÜCS, 2015).

A madeira pode ser solicitada à tração, compressão, flexão e cisalhamento sendo que os valores de resistência variam com a direção da solicitação em relação às fibras e também do tipo de solicitação (SZÜCS, 2015).

Para peças tracionadas o dimensionamento é simples e a segurança será atendida quando a resistência de cálculo à tração for igual ou superior a tensão solicitante de tração (GESUALDO, 2003).

As peças comprimidas possuem uma verificação extra, que corresponde à estabilidade. Assim, as peças podem ser classificadas conforme seus índices de esbeltez ¹ (curtas, semi-esbeltas ou esbeltas), seguindo uma rotina de cálculo específica para cada classificação. A NBR 7190/1997 não permite dimensionar com índice de esbeltez superior a 140 em peças comprimidas (SZÜCS, 2015).

A flexão ocorre quando as peças são solicitadas por momento fletor. Como exemplos podem ser citadas as terças, ripas e caibros de telhados, tabuleiros de pontes, etc. (GESUALDO, 2003).

Pode acontecer numa mesma seção transversal efeitos de flexão em duas direções perpendiculares, resultando em uma flexão oblíqua. Outra situação considerável é a ocorrência de flexão combinada com solicitações axiais de compressão ou tração, resultando nos casos de flexo-compressão ou flexo-tração (GESUALDO, 2003).

2.6 LINGUAGEM DE MODELAÇÃO HTML

A linguagem HTML (Hyper Text Markup Language) foi desenvolvida por Tim Berners-Lee quando trabalhava em seu núcleo de pesquisa (CERN - European Council for Nuclear Research) em Genebra, na Suíça (SILVA, 2008).

Tim Berners-Lee iniciou suas pesquisas tendo como objetivo principal criar um método que possibilitasse às pessoas compartilhar seus textos e pesquisas, interligando seus documentos de forma simples e fácil (SILVA, 2008).

¹ Índices de esbeltez: relação entre o comprimento de flambagem da peça e o raio de giração

Ele acreditava que seria possível interligar hipertextos em computadores diferentes por meio de *links* globais. Para isto, criou um *software* para recuperar os hipertextos denominado HTTP e o formato de texto utilizado foi chamado de HTML, tomando como referência a SGML (diretriz global para criação de linguagens de marcação) (SILVA, 2008).

O HTML é uma linguagem de marcação de hipertextos, ou seja, descreve apenas a aparência geral do documento, não havendo a possibilidade de realizar cálculos (SILVA, 2008).

Os códigos do HTML são denominados *Tags*, os quais servem para indicar a função de cada elemento. Os navegadores identificam esses códigos e apresentam a página conforme configurada internamente (SILVA, 2008).

A vantagem do desenvolvimento de um sistema por meio da linguagem HTML é a não necessidade de instalação de um programa na máquina, pois os próprios navegadores da *web* conseguem realizar este trabalho de interpretação de dados (SILVA, 2008).

O HTML permite que qualquer equipamento, independente da resolução e largura de frequência possa alcançar as informações na internet (SORGETZ, 20??).

2.7 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JAVASCRIPT

O Javascript foi desenvolvido pela empresa *Netscape* em conjunto com a *Sun Microsystems*, sendo sua primeira versão denominada *Javascript 1.0*, lançada em 1995 e implantada em 1996 no navegador *Netscape Navigator 2.0* (SILVA, 2010).

Por meio do HTML não é possível processar, enviar e manipular dados, havendo a necessidade do auxílio de outra linguagem para executar tais tarefas (SILVA, 2010).

A linguagem *Javascript* possui a finalidade de oferecer interatividade a uma página na internet, pois a linguagem HTML limita-se ao desenvolvimento do *layout*, criando campos de entradas, rótulos, botões, entre outros (SILVA, 2010).

O *Javascript* é uma linguagem desenvolvida para ser executada com o usuário, sendo sua interpretação e funcionalidade dependentes dos arquivos hospedados no navegador que já possui, internamente, um intérprete do *Javascript*.

Essa facilidade não é encontrada em outras linguagens, como *PHP*, *ASP*, *Java*, *Ruby*, *Phyton* e *ColdFusion*, pois são desenvolvidas para serem executadas por meio de um servidor; logo, dependem de uma máquina externa para hospedar seus dados (SILVA, 2010).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será abordada de forma pontual cada página do *software online*, explicando todos os procedimentos de inserção de dados, rotinas de cálculos e obtenção dos resultados.

Todas as equações foram obtidas por meio da NBR 7190/1997, com auxílio das notas de aula do professor Carlos Alberto Szücs.

Para o melhor desempenho do *software* é indicado a sua execução no navegador *Google Chrome*.

O programa desenvolvido neste trabalho determina que o usuário entre com os dados nas unidades pré-fixadas, sendo elas: (cm) para comprimento, (cm²) para área, (kN) para forças, (kN.cm) para momentos fletores.

O *software online* funciona por meio de abas em um *menu* principal, localizado na parte superior (Figura 8), que possui como opções: “Home”, “Geometria da Peça”, “Resistências de Cálculo”, “Dimensionamento à Tração”, “Dimensionamento à Compressão”, “Dimensionamento à Flexão Simples”, “Dimensionamento a Flexo-tração” e “Dimensionamento a Flexo-compressão” .

Figura 8 – Menu principal



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Independente do tipo de dimensionamento pretendido, o usuário deve, obrigatoriamente, iniciar nas abas “Geometria da Peça” e “Resistências de Cálculo”.

Realizada a inserção inicial de dados, o usuário tem liberdade de optar pelo dimensionamento desejado, sendo estes calculados independentemente entre si e podendo ter mais de uma escolha.

3.1 PÁGINA HOME

A página *Home* (Figura 9) tem como função primordial explicar resumidamente ao usuário a origem do desenvolvimento do programa e apresentar as possibilidades de cálculo que o *software online* pode oferecer de acordo com a norma NBR 7190/1997. Além disso, o usuário pode fazer o *download*, no *link* "Manual de Instrução" (Figura 9), de uma versão em pdf deste trabalho, servindo de orientação no manuseio do software.

Figura 9 – Página Home

The screenshot shows the home page of a website. At the top, there is a header with a logo consisting of a red circle and several green squares. The text in the header reads: "INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA SÃO PAULO - CAMPUS VOTUPORANGA" and "DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS EM MADEIRA". Below the header is a navigation menu with the following items: Home, Geometria da Peça, Resistências de Cálculo, Dim. Tração, Dim. Compressão, Dim. Flexão Simples, Dim. Flexo-tração, and Dim. Flexo-compressão. The main content area is titled "ESTRUTURAS DE MADEIRA" and contains a welcome message: "Bem Vindo! Este programa possibilita o dimensionamento de peças em madeira de acordo com NBR-7190/1997." Below this is a section titled "Descrição do Site" which provides a detailed description of the software's purpose and features. At the bottom, there is a section for "Download do Trabalho de Conclusão de Curso" with a link to "Manual de Instrução". Finally, there is a "REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS" section listing two references: "ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-7190:1997, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Projeto de Estruturas de Madeira. NBR- 7190:1997. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p" and "SZÜCS, Carlos Alberto, et. al. Estruturas de madeira. Notas de aula. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil. 2015. 219p".

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.2 PÁGINA GEOMETRIA DA PEÇA

Essa página tem por finalidade calcular as propriedades geométricas de peças em madeira de seção retangular e circular.

3.2.1 Dados de Entrada do Sistema

Inicialmente é solicitado ao usuário que selecione o formato da seção desejada, sendo ela: retangular ou circular.

Caso a seção escolhida seja de formato retangular é necessário que o usuário informe a base e a altura da seção transversal da peça utilizada.

Se a seção escolhida for a de formato circular é solicitado ao usuário, de acordo com a NBR 7190/1997, que informe o diâmetro da seção transversal a um terço da seção mais delgada da peça.

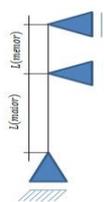
Em seguida é necessário selecionar a opção dos apoios de extremidade, sendo: engaste-livre ou demais casos. Esta escolha influenciará no cálculo do comprimento de flambagem, como será visto a seguir.

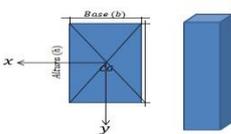
Por fim, o sistema solicita que o usuário informe o maior comprimento entre travamentos na peça nas direções X e Y (sendo que os eixos são definidos pelo sistema). A indicação dos dados de entrada pode ser visualizada por meio Figura 10.

Figura 10 – Dados de Entrada Página Geometria da Peça

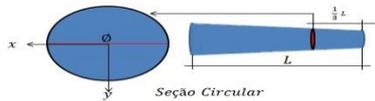
Geometria da Peça

Formato da Seção





Seção Retangular



Seção Circular

Obs.: Para peças de seção circular variável, pode-se calcular como de seção uniforme desde que adote como diâmetro efetivo o da seção localizada a 1/3 da extremidade mais delgada da peça, não considerando diâmetros inferiores a 1,5 vezes o da menor extremidade.

<p>Base (cm)</p> <input style="width: 90%;" type="text" value="10"/>	<p>Altura (cm)</p> <input style="width: 90%;" type="text" value="12"/>	<p>Diâmetro Efetivo da Seção Circular (cm)</p> <input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>
<p>Tipo Apoios</p> <p> <input type="radio"/> Engaste - Livre <input checked="" type="radio"/> Demais Casos </p>		

Comprimento Destravado

<p>Maior comprimento destravado na direção X L (cm)</p> <input style="width: 90%;" type="text" value="300"/>	<p>Maior comprimento destravado direção Y L (cm)</p> <input style="width: 90%;" type="text" value="200"/>
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.2.2 Rotina de Cálculo

A seguir será apresentada a rotina de cálculo por meio das equações utilizadas no processamento de dados.

3.2.2.1 Seção Retangular

- a) Cálculo da Área Total

$$A = b \cdot h \quad (1)$$

- b) Cálculo do Comprimento de Flambagem

• Para peças em balanço (engaste-livre), tem-se: $L_{fl} = 2L$ (Comprimento Destravado) ;

- Para todos os demais casos, tem-se: $L_{fl} = L$ (Comprimento Destravado);

c) Cálculo do Momento de Inércia no eixo X

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2)$$

d) Cálculo do Momento de Inércia no eixo Y

$$I_y = \frac{b^3 \cdot h}{12} \quad (3)$$

e) Cálculo do Raio de Giração no eixo X

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (4)$$

f) Cálculo do Raio de Giração no eixo Y

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (5)$$

g) Cálculo do Índice de Esbeltez no eixo X

$$\lambda_x = \frac{L_{fl}}{r_x} \quad (6)$$

h) Cálculo do Índice de Esbeltez no eixo Y

$$\lambda_y = \frac{L_{fl}}{r_y} \quad (7)$$

3.2.2.2 Seção Circular

De acordo com a NBR7190/1997, as seções circulares podem ser consideradas no formato retangular ou quadrático de área equivalente à seção circular. No caso de peças cuja seção circular seja variável (peças em formato cônico) a área considerada deve estar a um terço da seção mais delgada da peça, não considerando diâmetros inferiores a 1,5 vezes o da menor extremidade.

- a) Cálculo da determinação do lado do quadrado de área equivalente a seção circular

$$b = h = \sqrt{\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}} \quad (8)$$

Determinado o valor dos lados do quadrado, o roteiro de cálculo se mantém igual ao de seção retangular como visto anteriormente no item 3.2.2.1.

3.2.3 Resultados

É necessário que o usuário clique no botão “Calcular Geometria” (Figura 11), para que o sistema efetue a rotina explicitada anteriormente.

É apresentado o valor da área bruta seguido dos demais cálculos (momento de inércia, raio de giração, índice de esbeltez e verificação da esbeltez para compressão) conforme a sua direção (X e Y).

Para gerar o relatório em pdf, basta clicar no botão “Gerar Relatório” (Figura 11).

Figura 11 – Resultado da Página Geometria da Peça

The screenshot shows a web-based calculation tool. At the top, there are two buttons: 'Calcular Geometria' and 'Gerar Relatório'. Below them, the results are organized into three main sections:

- Resultados:** A single input field labeled 'Área Bruta (cm²)' containing the value '120,00'.
- Cálculo Eixo-X:** This section contains four input fields:
 - 'Momento de Inercia (I_x) (cm⁴)' with value '1440,00'
 - 'Índice de Esbeltez (λ_x)' with value '86,60'
 - 'Raio de Giração (cm)' with value '3,46'
 - 'Verificação da Esbeltez para Compressão' with result 'Peça Esbelta'
- Cálculo Eixo-Y:** This section also contains four input fields:
 - 'Momento de Inercia (I_y) (cm⁴)' with value '1000,00'
 - 'Índice de Esbeltez (λ_y)' with value '69,28'
 - 'Raio de Giração (cm)' with value '2,89'
 - 'Verificação da Esbeltez para Compressão' with result 'Peça Semi - Esbelta'

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.3 PÁGINA RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO

Essa página tem por finalidade determinar o módulo de elasticidade longitudinal e as resistências de cálculo necessárias aos dimensionamentos ofertados.

3.3.1 Dados de Entrada do Sistema

Os dados de Entrada do sistema foram divididos em seções, sendo elas: Informações Iniciais, Cálculo do K_{mod1} , Cálculo do K_{mod2} , Cálculo do K_{mod3} , Coeficiente α_n^2 , e Diâmetro nominal do pino. Segue a explicação sobre cada uma.

Na seção Informações Iniciais (Figura 12), são solicitados ao usuário a resistência característica à compressão paralela e o módulo de elasticidade médio longitudinal da madeira, conforme valores tabelados mediante a classe da madeira (ver Anexo A e B).

² Coeficiente α_n : é um coeficiente tabelado relacionado à extensão da carga normal as fibras

Figura 12 – Informações Iniciais Resistência de Cálculo

RESISTÊNCIAS DE CÁLCULO	
Informações Iniciais [NOTA 1]	
Resistência Característica à Compressão 0° ($f_{c0,k}$) (kN/cm ²)	Módulo de Elasticidade Longitudinal Médio ($E_{c0,m}$) (kN/cm ²)
<input style="width: 90%;" type="text" value="2"/>	<input style="width: 90%;" type="text" value="950"/>

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Na seção cálculo do K_{mod1} (Figura 13), é necessário que o usuário selecione a classe de carregamento, sendo esta: Permanente, Longa Duração, Média Duração, Curta Duração, Instantânea. Além disso, é preciso informar também o tipo de madeira que está sendo utilizada, podendo ser: Madeira Serrada\Laminada-Colada\Compensada ou Madeira Recompоста.

Figura 13 – Seção de Cálculo do K_{mod1}

Cálculo do K_{MOD1}	
<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p style="margin: 0;">Classe do Carregamento</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Permanente <input checked="" type="radio"/> Longa Duração <input type="radio"/> Média Duração <input type="radio"/> Curta Duração <input type="radio"/> Instantânea </div>	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p style="margin: 0;">Tipo de Madeira</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> Madeiras Serradas\Laminadas Coladas\Compensadas <input type="radio"/> Madeira Recompоста </div> <div style="margin-top: 10px;"> <input style="width: 100%;" type="text" value="0,7"/> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <input type="button" value="✓Calcular <math>K_{MOD1}</math>"/> </div>

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Na seção cálculo do K_{mod2} (Figura 14), é necessário que o usuário selecione a classe de umidade que a madeira se encontra. Na página é apresentada uma tabela que estabelece limites de umidade para cada classe, facilitando o fornecimento de dados.

Figura 14 – Seção de Cálculo do K_{mod2}

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
1	" 65%	12%
2	65% < U_{amb} " 75%	15%
3	75% < U_{amb} " 85%	18%
4	U_{amb} > 85% durante longos períodos	≥ 25%

FONTE: NBR 7190/1997

Classe de Umidade

Classe 1 ou 2

Classe 3 ou 4

1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Na seção cálculo do K_{mod3} (Figura 15), é necessário que o usuário selecione a classificação da madeira, sendo ela: Conífera ou Folhosa. Além disso, é necessário também, a informação da categoria na qual essa madeira se encontra, podendo ser de 1ª ou 2ª categoria. De acordo com a norma NBR 7190/1997, a condição de madeira de primeira categoria só poderá ser admitida se todas as peças estruturais forem classificadas como isentas de defeito, por método visual (normatizado) ou mecânico, que garanta a homogeneidade da rigidez da peça que compõem o lote utilizado; informação esta contida no *software*.

Figura 15 – Seção de Cálculo do K_{mod3}

Cálculo do K_{MOD3}

Obs: A condição de madeira de primeira categoria só poderá ser admitida se todas as peças estruturais forem classificadas como isentas de defeito, por método visual (normatizado) ou mecânico que garanta a homogeneidade da rigidez da peça que compõem o lote utilizado

Classificação da Madeira

Conífera

Folhosa

Tipo de Madeira

1ª Categoria

2ª Categoria

0,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Na seção Coeficiente α_n (Figura 16), é apresentada uma tabela que relaciona a extensão da carga normal às fibras, medida paralelamente em (cm), com o coeficiente α_n . Por meio desta, o usuário deve informar o valor do coeficiente na caixa de entrada. Caso o valor desejado não tenha diretamente nesta tabela é necessário que sejam interpolados os dados antes de ser informado ao sistema.

Figura 16 – Seção Coeficiente α_n

Coeficiente α_n	
Extensão da carga normal às fibras, medida paralelamente a estas cm	α_n
1	2,00
2	1,70
3	1,55
4	1,40
5	1,30
7,5	1,15
10	1,10
15	1,00

FONTE: NBR 7190/1997

Informe o Coeficiente α_n [NOTA 2]

1,55

Fonte: adaptado NBR 7190/1997.

Na seção diâmetro do pino nominal (Figura 17), o usuário deve selecionar o diâmetro utilizado na ligação da peça. O sistema oferece as seguintes opções: menor ou igual a 0,62 cm; 0,95 cm; 1,60 cm; 1,90 cm; 2,20 cm; 2,50 cm; 3,10 cm; 3,80 cm; 4,40 cm; 5,00 cm; maior ou igual a 7,50 cm. Cada diâmetro nominal está relacionado a um coeficiente aplicado no cálculo da resistência ao embutimento perpendicular às fibras.

Figura 17 – Seção diâmetro do pino nominal

Selecione o Diâmetro do Pino (cm)

- Menor ou igual a 0,62 cm
- 0,95 cm
- 1,25 cm
- 1,60 cm
- 1,90 cm
- 2,20 cm
- 2,50 cm
- 3,10 cm
- 3,80 cm
- 4,40 cm
- 5,00 cm
- Maior ou igual a 7,50 cm

FONTE: NBR 7190/1997

Fonte: adaptado NBR 7190/1997

3.3.2 Rotina de Cálculo

A seguir serão apresentadas as rotinas de cálculo para o coeficiente K_{mod} e, posteriormente, as resistências de cálculo da madeira.

3.3.2.1 Cálculo do K_{mod}

O cálculo do coeficiente de modificação da madeira (K_{mod}) é necessário pois, a peça de madeira pode estar submetida a diversos fatores, já mencionados, que reduzem a sua resistência de cálculo.

Os K_{mod1} , K_{mod2} , K_{mod3} são calculados diretamente nas suas respectivas seções de obtenção de dados, para que posteriormente obtenha-se o K_{mod} final.

O cálculo do K_{mod} é dado pela expressão abaixo:

$$K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3} \quad (9)$$

Sendo K_{mod1} adotado internamente pelo sistema conforme Quadro 1:

Quadro 1 – Cálculo do K_{mod1}

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Fonte: NBR 7190/1997

Sendo K_{mod2} adotado internamente pelo sistema conforme Quadro 2:

Quadro 2 – Cálculo do K_{mod2}

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Fonte: NBR 7190/1997

Sendo K_{mod3} adotado internamente pelo sistema conforme Quadro 3:

Quadro 3 – Cálculo do K_{mod3}

Classes	1ª Categoria	2ª Categoria
Coníferas	0,8	0,8
Folhosas	1,0	0,8

Fonte: SZÜCS (2015)

3.3.2.2 Cálculo das Resistências de Cálculo

a) Módulo de Elasticidade Longitudinal $E_{c0,ef}$

$$E_{c0,ef} = E_{c0,m} \cdot K_{mod} \quad (10)$$

b) Resistência de Cálculo à Compressão paralela $f_{c0,d}$

$$f_{c0,d} = \frac{f_{c0,k} \cdot K_{mod}}{1,4} \quad (11)$$

c) Resistência de Cálculo à Tração paralela $f_{t0,d}$

$$f_{t0,d} = f_{c0,d} \quad (12)$$

d) Resistência de Cálculo ao Cisalhamento paralelo $f_{v0,d}$

d.1) Para Coníferas:

$$f_{v0,d} = 0,12 \cdot f_{c0,d} \quad (13)$$

d.2) Para Folhosas:

$$f_{v0,d} = 0,10 \cdot f_{c0,d} \quad (14)$$

e) Resistência de Cálculo ao Embutimento paralela $f_{e0,d}$

$$f_{e0,d} = f_{c0,d} \quad (15)$$

f) Resistência de Cálculo à Compressão perpendicular $f_{c90,d}$

$$f_{c90,d} = 0,25 \cdot \alpha_n \cdot f_{c0,d} \quad (16)$$

g) Resistência de Cálculo ao Embutimento perpendicular $f_{e90,d}$

$$f_{e90,d} = 0,25 \cdot \alpha_e \cdot f_{c0,d} \quad (17)$$

Sendo o coeficiente α_e^3 adotado internamente pelo sistema conforme Quadro 4:

³ Coeficiente α_e : coeficiente tabelado relacionado ao diâmetro nominal do pino

Quadro 4 – Relação diâmetro nominal do pino e coeficiente do α_e

Diâmetro do pino cm	" 0,62	0,95	1,25	1,6	1,9	2,2
Coeficiente α_e	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33
Diâmetro do pino cm	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	$\geq 7,5$
Coeficiente α_e	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1,0

Fonte: NBR 7190/1997

3.3.3 Resultados

Para que o programa realize a rotina demonstrada anteriormente, é necessário clicar no botão "Calcular as Resistências", (Figura 18), que se localiza abaixo dos dados de Entrada do sistema.

Para gerar o relatório em pdf, basta clicar no botão "Gerar Relatório", (Figura 18).

Figura 18 – Resultados do cálculo das resistências

NOTAS
 1- A Resistência Característica à Compressão Paralela e também o Módulo de Elasticidade Logitudinal Médio, são valores tabelados por norma, conforme a classe de madeira utilizada.
 2- O coeficiente (α_m) está relacionado à extensão da carga normal as fibras. Logo, deve ser analisado mediante a tabela disponibilizada e informado com valor interpolado, caso necessário.

Resistências de Cálculo Paralela (0°) às Fibras	Resistências de Cálculo Perpendicular (90°) às Fibras
Módulo de Elasticidade Longitudinal ($E_{0,ef}$) (kN/cm ²)	Compressão ($f_{c90,d}$) (kN/cm ²)
532,00	0,31
Compressão ($f_{c0,d}$) (kN/cm ²)	Embutimento ($f_{e90,d}$) (kN/cm ²)
0,80	0,34
Tração ($f_{t0,d}$) (kN/cm ²)	
0,80	
Embutimento ($f_{e0,d}$) (kN/cm ²)	
0,80	
Cisalhamento ($f_{v0,d}$) (kN/cm ²)	
0,08	

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Os dados são divididos em duas colunas sendo: Resistências de Cálculo Paralela às fibras (0°) e Resistências de Cálculo Perpendicular às fibras (90°).

Na coluna Resistências de Cálculo Paralelas (0°) às fibras são apresentados ao usuário os seguintes resultados:

- Módulo de Elasticidade Longitudinal $E_{c0,ef}$
- Resistência de Cálculo à Compressão paralela $f_{c0,d}$

- Resistência de Cálculo à Tração paralela $f_{t0,d}$
- Resistência de Cálculo ao Embutimento paralela $f_{e0,d}$
- Resistência de Cálculo ao Cisalhamento paralelo $f_{v0,d}$

Na coluna Resistências de Cálculo Perpendicular às fibras são apresentados ao usuário os seguintes resultados:

- Resistência de Cálculo à Compressão perpendicular $f_{c90,d}$
- Resistência de Cálculo ao Embutimento perpendicular $f_{e90,d}$

3.4 PÁGINA DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO

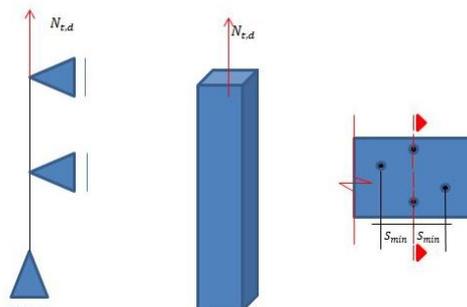
A página dimensionamento à Tração, (Figura 19), possui a finalidade de verificar a peça quanto ao seu Estado Limite Último e de Serviço, mediante a um esforço axial de tração.

No início da página contém uma ilustração para facilitar ao usuário a interpretação dos dados de entrada e saída.

Figura 19 – Página dimensionamento à Tração



Dimensionamento à Tração



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

5.4.1 Dados de Entrada do Sistema

O sistema de Entrada de dados, (Figura 20), inicia-se com o espaço para inserir o valor da força solicitante de cálculo de tração já devidamente combinada, sendo que, esta deverá ser obtida por cálculos manuais ou por outro programa disponível no mercado.

O campo Resistência de Cálculo à Tração Paralela será preenchido automaticamente, buscando o valor já calculado na página “Resistência de Cálculo”.

Em seguida, é necessário indicar para o programa o tipo de perfuração, sendo ela parafusada ou pregada, utilizada na ligação da peça, pois a escolha impactará no cálculo da área líquida.

O próximo campo que deverá ser preenchido será o número de furos na seção crítica indicado na Figura 19. O usuário deve escolher a seção com o maior número de furos e por consequência com menor área líquida.

O usuário deve indicar se a peça possui furos com distância horizontal (S_{min}) menor que quatro vezes o diâmetro nominal da seção crítica; caso isto ocorra deve ser fornecido ao sistema a quantidade de furos.

O campo diâmetro nominal do prego/parafuso, buscará automaticamente o valor selecionado na opção diâmetro do pino na aba “Resistência de Cálculo”. No entanto, se o pino possuir um diâmetro inferior a 0,62 cm e superior a 7,50 cm o valor deverá ser fornecido pelo usuário.

O último campo de entrada será o do menor espaçamento entre os furos na seção crítica, como indicado na Figura 19.

Figura 20 – Dados de Entrada da página de dimensionamento à tração

Informações Iniciais			
Esforço Normal Solicitante de Cálculo à Tração ($N_{t,d}$) (kN) [NOTA 1]	Resistência de Cálculo da Madeira à Tração ($f_{t0,d}$) (kN/cm ²)	Tipo de Pino	
<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="0,80"/>	<input type="radio"/> Pregos <input checked="" type="radio"/> Parafusos	
Diâmetro nominal do Pregos/Parafuso (cm)	Número de furos na seção crítica (n_1) [NOTA 2]	A peça possui furos com distância horizontal (S_{min}) menor que 4 vezes o diâmetro nominal da seção crítica? [NOTA 3]	Número de furos com distância horizontal menor que 4 vezes o diâmetro nominal em relação a seção crítica (n_2) [NOTA 3]
<input type="text" value="1,25"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não	<input type="text" value="0"/>
NOTAS 1- A força solicitante de cálculo à tração, deve ser inserida com as devidas combinações normativas. 2- A seção crítica é aquela que possui o maior número de furos alinhados, sendo esta, determinada pelo usuário. 3- Deve ser analisado pelo usuário, se existem furos com distâncias horizontais menores que 4 vezes o diâmetro nominal do furo (à direita ou à esquerda), da seção adotada como crítica. Caso isto ocorra, deve-se fornecer a quantidade de furos, pois serão somados na seção crítica.			

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.4.2 Rotina de Cálculo para Limite Último

a) Cálculo da Área Líquida (A_{wn})

$$A_{wn} = A - n_{ef} \cdot A_f \quad (18)$$

b) Cálculo do número de Furos Efetivos (n_{ef})

$$n_{ef} = \begin{cases} n_1 ; se S_{min} \geq 4d \\ n_1 + n_2 ; se S_{min} < 4d \end{cases} \quad (19)$$

Sendo:

n_{ef} número de furos efetivos ; n_1 número de furos na seção crítica; n_2 número de furos com distância menor que 4 vezes o diâmetro nominal do parafuso.

c) Cálculo do Diâmetro Efetivo do Furo (d_f)

$$d_f = \begin{cases} d ; para pregos \\ d + 0,05 \text{ cm} ; para parafusos \end{cases} \quad (20)$$

d) Cálculo da Área de Furo

$$A_f = b \cdot d_f \quad (21)$$

e) Cálculo da Tensão Normal de Cálculo

$$\sigma_{t0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{wn}} \leq f_{t0,d} \quad (22)$$

3.4.3 Rotina de Cálculo para Estado Limite de Serviço

Esta verificação é necessária para evitar o aparecimento de vibrações excessivas na barra.

Para verificação do estado limite de serviço o programa buscará automaticamente o maior índice de esbeltez (entre os eixos X e Y) da página “Geometria da Peça”.

Se o maior índice for menor ou igual ao valor limite de 173 estabelecido por norma, a seção transversal estará aprovada, quanto a essa verificação, caso contrário será reprovada.

3.4.4 Resultados

Para que o programa realize a rotina demonstrada nos itens (3.4.2 e 3.4.3), é necessário clicar no botão “Dimensionar” (Figura 21), que se localiza abaixo dos dados de entrada do sistema.

A apresentação dos resultados é dividida entre os Estados Limites Últimos e de Serviço.

No Estado Limite Último, (Figura 21), serão apresentados o valor do diâmetro efetivo (cm), o número de furos efetivos, a Área Bruta (cm²), a Área Líquida (cm²) e a Tensão Solicitante de Cálculo devido à ação do esforço normal solicitante (KN/cm²). Se a verificação da equação (22) for verdadeira, aparecerá à mensagem “Seção Aprovada (OK)”, caso contrário será apresentada a mensagem “Seção Reprovada (Nok)!”.

No Estado Limite de Serviço, (Figura 21), será apresentado o valor da esbeltez máxima e caso o valor for menor ou igual a 173 aparecerá à mensagem “Seção Aprovada (OK)”, caso contrário será apresentada a mensagem “Seção Reprovada (Nok!)”.

Para gerar o relatório em pdf, basta clicar no botão “Gerar Relatório”, (Figura 21).

Figura 21 – Verificação Estado Limite Último e de Serviço na Tração

Dimensionar Gerar Relatório

$$\sigma_{s.d.t} = \frac{N_{t,d}}{A_{wn}} \leq f_{t0,d}$$

Verificação do Estado Limite Último

Diâmetro Efetivo (cm)	Área Bruta (cm ²)	Tensão Solicitante de Cálculo ($\sigma_{t0,d}$) (kN/cm ²)
1,30	120,00	0,19
Número de Furos Efetivos	Área Líquida (cm ²)	Verificação
1	107,00	Seção Aprovado (OK)

$$\lambda_{max} \leq 173$$

Verificação do Estado Limite de Serviço

Esbeltez Máxima	Verificação
86,60	Seção Aprovado (OK)

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.5 PÁGINA DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO

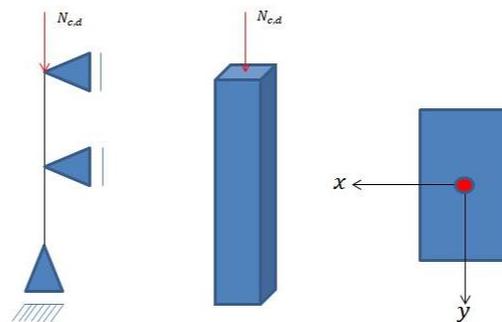
A página dimensionamento à Compressão, (Figura 22), possui a finalidade de verificar a peça quanto ao seu Estado Limite Último, mediante a um esforço axial de compressão.

No início da página, (Figura 22), contem uma ilustração para facilitar ao usuário a interpretação dos dados de entrada e saída.

Figura 22 – Página de Dimensionamento à Compressão



Dimensionamento à Compressão



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.5.1 Dados de Entrada do Sistema

Os dados de entrada (Figura 23) da página iniciam-se com o usuário informando a força solicitante de cálculo para compressão ($N_{c,d}$), sendo esta a sollicitação mais crítica das combinações.

O sistema necessita que o usuário informe, além da força de cálculo para a compressão, o somatório das forças solicitantes características permanentes (N_{gk}), somatório das forças solicitantes de cálculo permanentes ($N_{g,d}$), somatório das forças solicitantes características variáveis (N_{qk}) e o momento de cálculo devido a ações permanentes ($M_{1g,d}$), sendo este utilizado apenas no cálculo para peças esbeltas ($\lambda > 80$).

A ocorrência de momentos de primeira ordem (em x ou y) concomitante ao esforço normal de compressão, já configuram uma situação de flexocompressão e as verificações devem ser feitas na aba com esse nome.

Por fim, é necessário que o usuário informe os fatores de combinações (ψ_1 e ψ_2) referentes à variável principal da combinação mais crítica (ver Anexo C).

Figura 23 – Dados de Entrada do Dimensionamento à Compressão

Força Solicitante de Cálculo para Compressão ($N_{c,d}$) (kN) [NOTA 1]	Somatório de Forças Solicitantes Características Permanentes (N_{gk}) (kN)	Somatório de Forças Solicitantes de Cálculo Permanentes (N_{gd}) (kN) [NOTA 2]	Somatório de Forças Solicitantes Características Variáveis (N_{qk}) (kN)
39,52	24	33,6	5,64
Momento em torno do eixo - x ($M_{1d,x}$) (kN.cm) [NOTA 3]	Momento em torno do eixo - y ($M_{1d,y}$) (kN.cm) [NOTA 3]	Momento de Cálculo devido a Ações Permanentes ($M_{1g,d}$) (kN.cm) [NOTA 3]	Força resistente de compressão paralela ($f_{c0,d}$) (kN/cm ²)
0	0	0	0,80
Informe os Fatores ψ_1 e ψ_2 referentes à variável principal da combinação mais crítica [NOTA 4]			
Informe ψ_1		Informe ψ_2	
0,2		0	
NOTAS			
1- A força solicitante de cálculo à compressão, deve ser inserida com as devidas combinações normativas.			
2- O somatório de forças solicitantes de cálculo permanente, é igual a somatória de forças solicitantes características permanentes multiplicado por 1,4.			
3- Os campos de inserção de momentos fletores, estão bloqueados a fim de evitar que o dimensionamento englobe as verificações de flexocompressão, sendo esta, dimensionada na sua própria página.			
4- Os valores dos fatores ψ_1 e ψ_2 referentes a variável da combinação mais crítica, podem ser obtidos no Anexo C do relatório deste software.			

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.5.2 Rotina de Cálculo para Limite Último

A rotina de cálculo deve ser efetuada para os dois eixos (x e y) de acordo com a classificação da esbeltez de cada eixo (peça curta ($\lambda \leq 40$), semi-esbelta ($40 < \lambda \leq 80$) ou esbelta ($\lambda > 80$)).

3.5.2.1 Peças curtas ($\lambda \leq 40$)

Para peças curtas, a ruptura será caracterizada unicamente pelo esmagamento das fibras da madeira, devido a força solicitante de cálculo exceder o limite de resistência à compressão. Como a peça é curta, a flambagem não será o fator preponderante no dimensionamento (SZÜCS, 2015).

3.5.2.1.1 Cálculos para o Eixo X e para o Eixo Y

- a) Cálculo da tensão normal devido a força solicitante de compressão

$$\sigma_{c0,d} = \frac{N_{c,d}}{Area_{bruta}} \quad (23)$$

- b) Verificação do Estado Limite Último

$$\sigma_{c0,d} \leq f_{c0,d} \quad (24)$$

3.5.2.2 Peças Semi-Esbelta ($40 < \lambda \leq 80$)

Para peças semi-esbeltas, a ruptura pode estar associada tanto à ruptura das fibras da madeira ou por flexão decorrente da perda de instabilidade (Flambagem) (SZÜCS, 2015).

3.5.2.2.1 Cálculos para o Eixo X

- a) Cálculo da tensão normal devido a força solicitante de compressão

$$\sigma_{c0,d} = \frac{N_{c,d}}{Area_{bruta}} \quad (25)$$

- b) Cálculo da Excentricidade Inicial

$$ei_x = \frac{M_{1d,x}}{N_{c,d}} \geq \frac{h(cm)}{30} \quad (26)$$

- c) Cálculo da Excentricidade Acidental

$$ea_x = \frac{L_{flx}}{300} \geq \frac{h(cm)}{30} \quad (27)$$

d) Cálculo da Carga Crítica de Euler

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_x}{L_{flx}^2} \quad (28)$$

e) Excentricidade de Cálculo

$$e_{d,x} = (e_{i,x} + e_{a,x}) \cdot \left(\frac{N_{ex}}{N_{ex} - N_{c,d}} \right) \quad (29)$$

f) Cálculo do Momento Fletor devido à Excentricidade de Cálculo

$$M_{d,x} = N_{c,d} \cdot e_{d,x} \quad (30)$$

g) Cálculo da Tensão Momento Fletor

$$\sigma_{Mdx} = \frac{M_{d,x}}{I_x} \cdot (h/2) \quad (31)$$

h) Verificação do Estado Limite Último

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (32)$$

3.5.2.2.2 Cálculos para o Eixo Y

a) Cálculo da tensão normal devido a força solicitante de compressão

$$\sigma_{c0,d} = \frac{N_{c,d}}{Area_{bruta}} \quad (33)$$

b) Cálculo da Excentricidade Inicial

$$e_{i,y} = \frac{M_{1d,y}}{N_{c,d}} \geq \frac{b(cm)}{30} \quad (34)$$

c) Cálculo da Excentricidade Acidental

$$e_{a,y} = \frac{L_{fly}}{300} \geq \frac{b(cm)}{30} \quad (35)$$

d) Cálculo da Carga Crítica de Euler

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_y}{L_{fl}^2} \quad (36)$$

e) Excentricidade de Cálculo

$$e_{d,y} = (e_{i,y} + e_{a,y}) \cdot \left(\frac{N_{ey}}{N_{ey} - N_{c,d}} \right) \quad (37)$$

f) Cálculo do Momento Fletor devido à Excentricidade de Cálculo

$$M_{d,y} = N_{c,d} \cdot e_{d,y} \quad (38)$$

g) Cálculo da Tensão Momento Fletor

$$\sigma_{Mdy} = \frac{M_{d,y}}{I_y} \cdot (b/2) \quad (39)$$

h) Verificação do Estado Limite Último

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (40)$$

3.5.2.3 Peças Esbeltas ($\lambda > 80$)

Para peças esbeltas, lembrando que a norma limita o índice de esbeltez no valor máximo de 140, a ruptura está associada somente à flexão decorrente da perda de instabilidade (Flambagem) (SZÜCS, 2015).

3.5.2.3.1 Cálculos para o Eixo X

a) Cálculo da tensão normal devido a força solicitante de compressão

$$\sigma_{c0,d} = \frac{N_{c,d}}{Area_{bruta}} \quad (41)$$

b) Cálculo da Excentricidade Inicial

$$e_{i,x} = \frac{M_{1d,x}}{N_{c,d}} \geq \frac{h(cm)}{30} \quad (42)$$

c) Cálculo da Excentricidade devido às ações permanentes

$$e_{ig,x} = \frac{M_{1g,d}}{N_{g,d}} \quad (43)$$

d) Cálculo da Excentricidade Acidental

$$e_{a,x} = \frac{L_{flx}}{300} \geq \frac{h(cm)}{30} \quad (44)$$

e) Determinação do Coeficiente de Fluência (ϕ)

O coeficiente é dado mediante a classe de umidade e carregamento que a peça se encontra. O Quadro 5 relaciona esses valores.

Quadro 5 – Coeficiente de Fluência

Classes de carregamento	Classes de umidade	
	(1) e (2)	(3) e (4)
Permanente ou de longa duração	0,8	2,0
Média duração	0,3	1,0
Curta duração	0,1	0,5

Fonte: NBR 7190/1997

f) Cálculo da Carga Crítica de Euler

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_x}{L_{flx}^2} \quad (45)$$

g) Cálculo da Excentricidade Suplementar de 1ª Ordem

$$ec_x = (e_{ig,x} + ea_x) \cdot \left\{ e^{\left[\frac{\phi \cdot (N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \cdot N_{qk})}{N_e - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \cdot N_{qk}]} \right]} - 1 \right\} \quad (46)$$

h) Excentricidade de Cálculo

$$e_{dx} = (ei_x + ea_x + ec_x) \cdot \left(\frac{N_{ex}}{N_{ex} - N_{c,d}} \right) \quad (47)$$

i) Cálculo do Momento Fletor devido à Excentricidade de Cálculo

$$M_{d,x} = N_{c,d} \cdot e_{d,x} \quad (48)$$

j) Cálculo da Tensão Momento Fletor

$$\sigma_{Mdx} = \frac{M_{d,x}}{I_x} \cdot (h/2) \quad (49)$$

k) Verificação do Estado Limite Último

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (50)$$

3.5.2.3.2 Cálculos para o Eixo Y

a) Cálculo da tensão normal devido a força solicitante de compressão

$$\sigma_{c0,d} = \frac{N_{c,d}}{Area_{bruta}} \quad (51)$$

b) Cálculo da Excentricidade Inicial

$$ei_y = \frac{M_{1d,y}}{N_{c,d}} \geq \frac{b(cm)}{30} \quad (52)$$

c) Cálculo da Excentricidade devido às ações permanentes

$$e_{ig,y} = \frac{M_{1g,d}}{N_{g,d}} \quad (53)$$

d) Cálculo da Excentricidade Acidental

$$ea_y = \frac{L_{fly}}{300} \geq \frac{b(cm)}{30} \quad (54)$$

e) Cálculo do Coeficiente de Fluência (ϕ)

O coeficiente é dado mediante a classe de umidade e carregamento que a peça se encontra, conforme Quadro 5 anteriormente apresentado.

f) Cálculo da Carga Crítica de Euler

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E_{C0,ef} \cdot I_y}{L_{fl}^2} \quad (55)$$

g) Cálculo da Excentricidade Suplementar de 1ª Ordem

$$e_{c,y} = (e_{ig,y} + ea_y) \cdot \left\{ e^{\left[\frac{\phi \cdot (N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \cdot N_{qk})}{N_e - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \cdot N_{qk}]} \right]} - 1 \right\} \quad (56)$$

h) Excentricidade de Cálculo

$$e_{d,y} = (e_{i,y} + ea_y + e_{c,y}) \cdot \left(\frac{N_{ey}}{N_{ey} - N_{c,d}} \right) \quad (57)$$

i) Cálculo do Momento Fletor devido à Excentricidade de Cálculo

$$M_{d,y} = N_{c,d} \cdot e_{d,y} \quad (58)$$

j) Cálculo da Tensão Momento Fletor

$$\sigma_{Mdy} = \frac{M_{d,y}}{I_y} \cdot (b/2) \quad (59)$$

k) Verificação do Estado Limite Último

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (60)$$

3.5.3 Resultados

Para efetuar as rotinas de cálculo é necessário clicar no botão dimensionar, (Figura 24).

O sistema mostrará todos os valores de cada etapa do dimensionamento em forma de tabela na própria página.

Como o dimensionamento à compressão em madeira requer diferentes rotinas de cálculo conforme o índice de esbeltez da peça, na apresentação dos resultados será fornecido ao usuário todas as variáveis de cálculo do caso mais crítico, ou seja, peça esbelta, sendo que o sistema atribuirá o valor nulo as variáveis que não fazem parte das demais rotinas (peças curtas e semi-esbelta). No entanto, na geração do arquivo em PDF serão expostas apenas as variáveis decorrentes de cada caso específico conforme apresentado na seção de rotinas de cálculo.

Por fim, como visto anteriormente, cada situação possui sua verificação quanto ao Estado Limite Último, no qual sendo elas atendidas o sistema fornecerá uma mensagem “Seção Aprovada (OK)”, caso contrário será apresentada a mensagem “Seção Reprovada (Nok!)”.

Para gerar o relatório em pdf, basta clicar no botão “Gerar Relatório”, (Figura 24).

Figura 24 – Resultados de Dimensionamento à Compressão

Verificação da Compressão

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Cálculo Eixo-X

Tipo de Esbeltez

Peça Esbelta

$\sigma_{c0,d}$ (kN/cm ²)	e_{ig} (cm)	e_d (cm)	$\sigma_{M0,d}$ (kN/cm ²)
0,33	0,00	3,41	0,56
e_1 (cm)	Coefficiente Φ	Carga Crítica de Euler (Ne) (kN)	Somatória da Verificação
0,40	0,80	84,01	1,11
e_s (cm)	e_c (cm)	M_d (kN/cm ²)	Verificação
1,00	0,41	134,84	Seção Reprovada NoK!

Cálculo Eixo -Y

Tipo de Esbeltez

Peça Semi - Esbelta

$\sigma_{c0,d}$ (kN/cm ²)	e_{ig} (cm)	e_d (cm)	$\sigma_{M0,d}$ (kN/cm ²)
0,33	0,00	1,43	0,28
e_1 (cm)	Coefficiente Φ	Carga Crítica de Euler (Ne) (kN)	Somatória da Verificação
0,33	0,00	131,27	0,77
e_s (cm)	e_c (cm)	M_d (kN/cm ²)	Verificação
0,67	0,00	56,54	Seção Aprovada OK!

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.6 PÁGINA DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

Nesta página serão dimensionadas as peças submetidas a esforços de flexão simples, ou seja, as peças que não possuem cargas axiais (compressão ou tração), apenas cargas perpendiculares ao eixo longitudinal das barras.

O sistema permite a análise individual dos casos de flexão simples reta na direção X, flexão simples reta na direção Y e flexão simples oblíqua (em ambas as direções).

As verificações realizadas pelo sistema consistem em: ruptura e esmagamento das fibras, instabilidade lateral da peça, tensões cisalhantes, flecha e vibrações.

3.6.1 Dados de Entrada do Sistema

Primeiramente é necessário que o usuário selecione na caixa de entrada, (Figura 25), o tipo de flexão simples ao qual deseja trabalhar, sendo estas: flexão simples reta em X, flexão simples reta em Y e flexão simples oblíqua (X,Y). Caso a opção de flexão for reta, ou seja, apenas em uma direção, devem-se fornecer apenas os dados da direção escolhida, podendo deixar em branco os campos da outra direção.

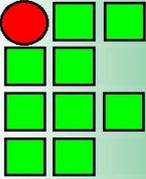
Depois de selecionado o caso desejado é necessário informar o esforço de cálculo de momento fletor e cortante em cada eixo.

O sistema solicita ao usuário informar se a peça em questão possui alguma redução brusca devido à ligação por entalhe, porque influenciará no cálculo do cisalhamento. Caso haja esta redução deve-se selecionar a opção (“sim”) e fornecer o valor da redução em centímetros.

Para o cálculo do Estado Limite de Serviço, é necessário informar ao sistema o valor da flecha de cálculo em ambas as direções. Além de selecionar o tipo de estado limite de deformação que esta peça irá sofrer durante o tempo, sendo estas: Construções Correntes, Materiais Frágeis de Combinação Média ou Curta, Materiais Frágeis de Combinação somente Ações Variáveis. Com isto, o sistema calculará a flecha limite. Esses limites estão detalhados na rotina de cálculo seguinte.

Por fim, é verificado o estado limite de vibrações que, de acordo com a norma NBR7190/1997, para construções correntes, o limite de frequência vibracional é de 8Hz, sendo atendido quando a flecha calculada pela combinação de curta duração for inferior a 1,5 cm.

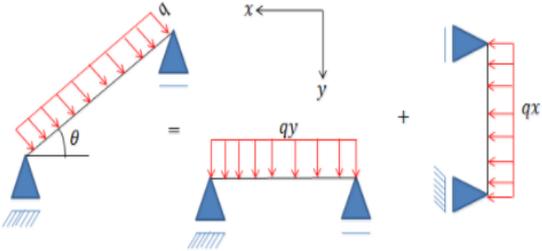
Figura 25 – Dados de Entrada da Página de Flexão Simples



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
SÃO PAULO - CAMPUS VOTUPORANGA

DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS EM MADEIRA

Home
Geometria da Peça
Resistências de Cálculo
Dim. Tração
Dim. Compressão
Dim. Flexão Simples
Dim. Flexo-tração
Dim. Flexo-compressão



Qual Tipo de Flexão Simples

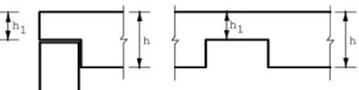
Flexão Simples Reta em X
 Flexão Simples Reta em Y
 Flexão Simples Obliqua (X,Y)

Momento de Cálculo em torno de X (kN.cm)
[NOTA 1]

Cortante de Cálculo X (kN) [NOTA 1]

Momento de Cálculo em torno de Y (kN.cm)
[NOTA 1]

Cortante de Cálculo Y (kN) [NOTA 1]



FONTE: SZÚCS (2015)

Existe redução brusca na seção devido a Entalhe?

Sim
 Não

Valor da redução (h_1) (cm)

Tipos de Deformações

Construções Correntes
 Materiais Frágeis Combinação Média ou Curta
 Materiais Frágeis Combinação somente Ações Variáveis

Estado Limite de Serviço [NOTA2]

Flecha Combinada em X(cm)

Flecha Combinada em Y(cm)

Estado Limite de Vibração [NOTA3]

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em X(cm)

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em Y(cm)

NOTAS

1- Os momentos fletores e as cortantes de cálculo nos dois eixos, devem ser inseridas com as devidas combinações normativas.

2- Devem ser fornecidos os valores de flechas nos eixos, devidamente combinados.

3- Devem ser fornecidos os valores de flechas nos eixos, devidamente combinados para curta duração, pois serão utilizados na verificação quanto à vibração.

4- A parcela do (Km) só entrará quando a flexão for oblíqua, caso contrário será atribuído valor nulo, significando a sua ausência nos cálculos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.6.2 Rotinas de Cálculo

As rotinas de cálculo serão efetuadas conforme as particularidades de cada caso de flexão simples.

3.6.2.1 Flexão Simples Reta em X

a) Verificação da Ruptura e Esmagamento das Fibras

$$\sigma_{Mdx} = \frac{Mdx}{I_x} \cdot (h/2) \leq f_{c0,d} \quad (61)$$

Caso a verificação for atendida a peça estará aprovada para verificação da Ruptura e Esmagamento das Fibras.

b) Cálculo do Coeficiente de Correção

$$\beta_{mx} = 3.498 \cdot \frac{(h/b)^{1,5}}{\sqrt{(h/b) - 0,63}} \quad (62)$$

c) Cálculo do Coeficiente $\lambda_{b,x}$

$$\lambda_{b,x} = \frac{L_x}{b} \quad (63)$$

d) Cálculo do Coeficiente $\lambda_{0,x}$

$$\lambda_{0x} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{mx} \cdot f_{c0,d}} \quad (64)$$

e) 1ª Verificação da Instabilidade Lateral

$$\lambda_{b,x} \leq \lambda_{0,x} \quad (65)$$

Se a condição for atendida, a peça estará aprovada para verificação de instabilidade lateral. Caso contrário, deve-se realizar 2ª verificação.

f) 2ª Verificação da Instabilidade Lateral

$$\sigma_{Mdx} \leq \frac{E_{co,ef}}{\beta_m \cdot \lambda_{b,x}} \quad (66)$$

Caso a verificação for atendida, a peça estará aprovada para verificação da instabilidade lateral.

g) Verificação da Tensão de Cisalhamento

- Para Seções sem redução brusca devido ao entalhe

$$\tau_x = 1,5 \cdot \frac{V_{d,x}}{Area} \quad (67)$$

- Para Seções com redução brusca devido ao entalhe

$$\tau_x = 1,5 \cdot \frac{V_{d,x}}{Area} \cdot \left(\frac{h}{h_1}\right) \quad (68)$$

Por fim realiza-se a verificação:

$$\tau_x \leq f_{v,0d} \quad (69)$$

h) Cálculo da Flecha Limite

- Para Construções Correntes

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_x}{100} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_x}{200} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \end{cases} \quad (70)$$

- Para Materiais Frágeis de Combinação Curta ou Média

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_x}{175} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_x}{350} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \end{cases} \quad (71)$$

- Para Materiais Frágeis de Combinação somente de Ações Variáveis

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_x}{150} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_x}{300} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \\ 1,5 \text{ cm} \end{cases} \quad (72)$$

i) Verificação do Estado Limite de Vibrações

Lembrando que a flecha analisada é devido à combinação de curta duração.

$$f_{d,x} \leq 1,5 \text{ cm} \quad (73)$$

3.6.2.2 Flexão Simples Reta em Y

a) Verificação da Ruptura e Esmagamento das Fibras

$$\sigma_{Mdy} = \frac{Mdy}{I_y} \cdot (b/2) \leq f_{c0,d} \quad (74)$$

Caso a verificação for atendida, a peça estará aprovada para verificação da Ruptura e Esmagamento das Fibras.

b) Cálculo do Coeficiente de Correção

$$\beta_{my} = 3.498 \cdot \frac{(b/h)^{1,5}}{\sqrt{(b/h) - 0,63}} \quad (75)$$

c) Cálculo do Coeficiente $\lambda_{b,x}$

$$\lambda_{b,y} = \frac{L_y}{h} \quad (76)$$

d) Cálculo do Coeficiente $\lambda_{0,x}$

$$\lambda_{0y} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{my} \cdot f_{c0,d}} \quad (77)$$

e) 1ª Verificação da Instabilidade Lateral

$$\lambda_{b,y} \leq \lambda_{0,y} \quad (78)$$

Se a condição for atendida, a peça estará aprovada para verificação de instabilidade lateral. Caso contrário, deve-se realizar 2ª verificação.

f) 2ª Verificação da Instabilidade Lateral

$$\sigma_{Mdy} \leq \frac{E_{co,ef}}{\beta_m \cdot \lambda_{b,y}} \quad (79)$$

Caso a verificação seja atendida, a peça estará aprovada para verificação da instabilidade lateral.

g) Verificação da Tensão de Cisalhamento

- Para Seções sem redução brusca devido ao entalhe

$$\tau_y = 1,5 \cdot \frac{V_{d,y}}{Area} \quad (80)$$

- Para Seções com redução brusca devido ao entalhe

$$\tau_y = 1,5 \cdot \frac{V_{d,y}}{Area} \cdot \left(\frac{b}{h_1}\right) \quad (81)$$

Por fim realiza-se a verificação:

$$\tau_y \leq f_{v,0d} \quad (82)$$

h) Cálculo da Flecha Limite

- Para Construções Correntes

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_y}{100} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_y}{200} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \end{cases} \quad (83)$$

- Para Materiais Frágeis de Combinação Curta ou Média

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_y}{175} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_y}{350} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \end{cases} \quad (84)$$

- Para Materiais Frágeis de Combinação somente de Ações Variáveis

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_y}{150} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_y}{300} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \\ 1,5 \text{ cm} \end{cases} \quad (85)$$

i) Verificação do Estado Limite de Vibrações

Lembrando que a flecha analisada é devido à combinação de curta duração.

$$f_{d,y} \leq 1,5 \text{ cm} \quad (86)$$

3.6.2.3 Flexão Simples Obliqua em (X ,Y)

a) Verificação da Ruptura e Esmagamento das Fibras

Inicialmente calculam-se as tensões devido ao momento solicitante na direção X e Y por meio das fórmulas, abaixo:

$$\sigma_{Mdx} = \frac{Mdx}{I_x} \cdot (h/2) \quad (87)$$

$$\sigma_{Mdy} = \frac{Mdy}{I_y} \cdot (b/2) \quad (88)$$

Posteriormente realiza-se a verificação:

$$\frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \cdot Km + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (89)$$

$$\frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \cdot Km \leq 1 \quad (90)$$

O valor de (K_M) dependerá do tipo de seção escolhida, sendo igual a 0,5 para retangular e 1 para circular.

Caso as verificações sejam atendidas, a peça estará aprovada para verificação da Ruptura e Esmagamento das Fibras.

b) Cálculo do Coeficiente de Correção

- Para direção X

$$\beta_{mx} = 3.498 \cdot \frac{(h/b)^{1,5}}{\sqrt{(h/b) - 0,63}} \quad (91)$$

- Para direção Y

$$\beta_{my} = 3.498 \cdot \frac{(b/h)^{1,5}}{\sqrt{(b/h) - 0,63}} \quad (92)$$

c) Cálculo do Coeficiente λ_b

- Para direção X

$$\lambda_{b,x} = \frac{L_x}{b} \quad (93)$$

- Para direção Y

$$\lambda_{b,y} = \frac{L_y}{h} \quad (94)$$

d) Cálculo do Coeficiente λ_0

- Para direção X

$$\lambda_{0x} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{mx} \cdot f_{c0,d}} \quad (95)$$

- Para direção Y

$$\lambda_{0y} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{my} \cdot f_{c0,d}} \quad (96)$$

e) 1ª Verificação da Instabilidade Lateral

$$\lambda_{b,x} \leq \lambda_{0,x} \quad (97)$$

Se a condição for atendida, a peça estará aprovada para verificação de instabilidade lateral. Caso contrário, deve-se realizar 2ª verificação para direção X.

$$\lambda_{b,y} \leq \lambda_{0,y} \quad (98)$$

Se a condição for atendida, a peça estará aprovada para verificação de instabilidade lateral. Caso contrário, deve-se realizar 2ª verificação para direção Y.

f) 2ª Verificação da Instabilidade Lateral

$$\sigma_{Mdx} \leq \frac{E_{co,ef}}{\beta_m \cdot \lambda_{b,x}} \quad (99)$$

Caso a verificação seja atendida a peça estará aprovada para verificação da instabilidade lateral na direção X.

$$\sigma_{Mdy} \leq \frac{E_{co,ef}}{\beta_m \cdot \lambda_{b,y}} \quad (100)$$

Caso a verificação seja atendida a peça estará aprovada para verificação da instabilidade lateral na direção Y.

g) Verificação da Tensão de Cisalhamento

- Para Seções sem redução brusca devido ao entalhe

$$\tau_x = 1,5 \cdot \frac{V_{d,x}}{Area} \quad \text{para direção X} \quad (101)$$

$$\tau_y = 1,5 \cdot \frac{V_{d,y}}{Area} \quad \text{para direção Y} \quad (102)$$

- Para Seções com redução brusca devido ao entalhe

$$\tau_x = 1,5 \cdot \frac{V_{d,x}}{Area} \cdot \left(\frac{h}{h_1}\right) \quad \text{para direção X} \quad (103)$$

$$\tau_y = 1,5 \cdot \frac{V_{d,y}}{Area} \cdot \left(\frac{b}{h_1}\right) \quad \text{para direção Y} \quad (104)$$

Determinado os valores das tensões cisalhantes em X e Y deve-se realizar a verificação

$$\tau_{x,y} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \leq f_{v,0d} \quad (105)$$

h) Cálculo da Flecha Limite

Para direção X

- Para Construções Correntes

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_x}{100} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_x}{200} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \end{cases} \quad (106)$$

- Para Materiais Frágeis de Combinação Curta ou Média

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_x}{175} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_x}{350} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \end{cases} \quad (107)$$

- Para Materiais Frágeis de Combinação somente de Ações Variáveis

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_x}{150} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_x}{300} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \\ 1,5 \text{ cm} \end{cases} \quad (108)$$

Para direção Y

- Para construções Recorrentes

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_y}{100} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_y}{200} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \end{cases} \quad (109)$$

- Para Materiais Frágeis de Combinação Curta ou Média

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_y}{175} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_y}{350} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \end{cases} \quad (110)$$

- Para Materiais Frágeis de Combinação somente de Ações Variáveis

$$f_d \leq \begin{cases} \frac{L_y}{150} \rightarrow \text{Para Engaste Livre} \\ \frac{L_y}{300} \rightarrow \text{Para Demais Casos} \\ 1,5 \text{ cm} \end{cases} \quad (111)$$

i) Verificação do Estado Limite de Vibrações

Lembrando que a flecha analisada é devido à combinação de curta duração.

$$f_{d,x} \leq 1,5 \text{ cm} \quad (112)$$

$$f_{d,y} \leq 1,5 \text{ cm} \quad (113)$$

3.6.3 Resultados

Para efetuar as rotinas de cálculo é necessário clicar no botão dimensionar, (Figura 26).

O sistema mostrará todos os valores de cada etapa do dimensionamento em forma de tabela na própria página. Cada situação possui sua verificação quanto ao Estado Limite Último e de Serviço, no qual, sendo elas atendidas, o sistema fornecerá uma mensagem “Seção Aprovada (OK)”, caso contrário será apresentada a mensagem “Seção Reprovada (Nok!)”.

Para gerar o relatório em PDF é necessário clicar no botão gerar relatório, (Figura 26).

Figura 26 – Dados de Saída da Página de Flexão Simples

Verificação da Ruptura/Esmagamento [NOTA 4]

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{cd}} \cdot Km + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{cd}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{cd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{cd}} \cdot Km \leq 1$$

$\sigma_{Mx,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{My,d}$ (kN/cm ²)	K _m	Verificação 1	Verificação
<input type="text" value="0,13"/>	<input type="text" value="0,20"/>	<input type="text" value="0,50"/>	<input type="text" value="0,33"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Aprovada OK!"/>
$\sigma_{Mx,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{My,d}$ (kN/cm ²)	K _m	Verificação 2	Verificação
<input type="text" value="0,13"/>	<input type="text" value="0,20"/>	<input type="text" value="0,50"/>	<input type="text" value="0,28"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Aprovada OK!"/>

Verificação da Instabilidade Lateral

$\beta_{m,x}$	$\lambda_{0,x}$	$\lambda_{b,x}$	Verificação Complementar	Verificação	$\lambda_b \leq \lambda_0$
<input type="text" value="6,09"/>	<input type="text" value="109,19"/>	<input type="text" value="30,00"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Aprovada OK!"/>	$\sigma_{M,d} \leq \frac{E_{co,df}}{\beta_m \cdot \lambda_b}$
$\beta_{m,y}$	$\lambda_{0,y}$	$\lambda_{b,y}$	Verificação Complementar	Verificação	
<input type="text" value="5,90"/>	<input type="text" value="112,69"/>	<input type="text" value="16,67"/>	<input type="text" value="0,00"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Aprovada OK!"/>	

Verificação do Cisalhamento

τ_x (kN/cm ²)	τ_y (kN/cm ²)	$\tau_{x,y}$ (kN/cm ²)	$f_{v,0d}$ (kN/cm ²)	Verificação	$\tau_{x,y} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \leq f_{v,0d}$
<input type="text" value="0,13"/>	<input type="text" value="0,25"/>	<input type="text" value="0,28"/>	<input type="text" value="0,08"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Reprovada NoK!"/>	

Verificação do Estado Limite de Serviço

Flecha Limite em X (cm)	Verificação
<input type="text" value="1,50"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Reprovada NoK!"/>
Flecha Limite em Y (cm)	Verificação
<input type="text" value="1,00"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Reprovada NoK!"/>

Verificação do Estado Limite de Vibrações

Obs.: No caso de pisos em situação corrente, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm. (NBR 7190/1997)

Flecha Limite em X (cm)	Verificação
<input type="text" value="1,5"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Aprovada OK!"/>
Flecha Limite em Y (cm)	Verificação
<input type="text" value="1,5"/>	<input checked="" type="button" value="Seção Reprovada NoK!"/>

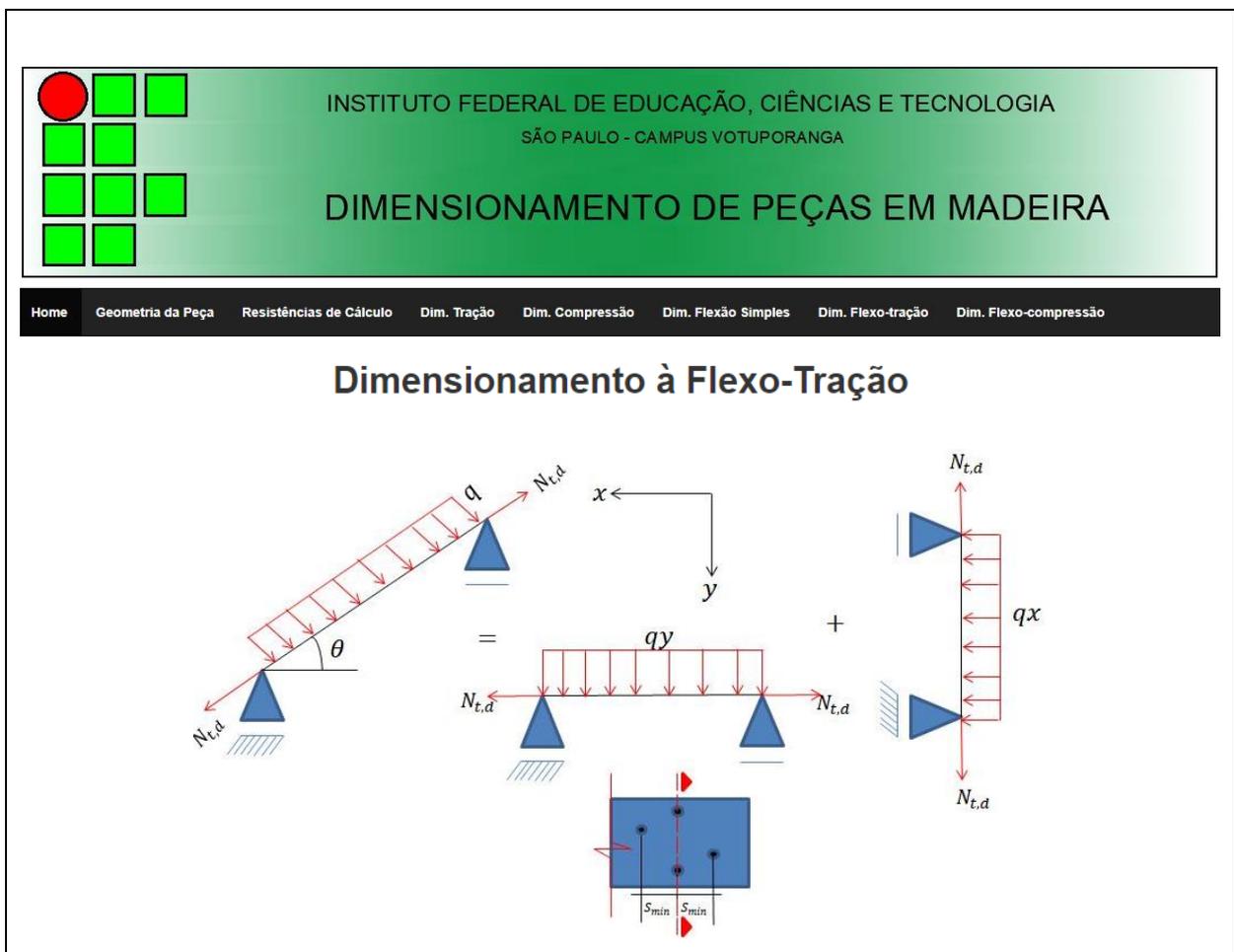
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.7 PÁGINA DE DIMENSIONAMENTO A FLEXO-TRAÇÃO

A página dimensionamento à flexo-tração possui a finalidade de verificar a peça quanto ao seu Estado Limite Último e de Serviço, mediante a um esforço axial de tração concomitante ao momento fletor e cisalhamento.

No início da página contém uma ilustração para facilitar ao usuário a interpretação dos dados de entrada e saída, (Figura 27).

Figura 27 – Página inicial de Flexo-tração



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.7.1 Dados de Entrada do Sistema

A inserção de dados nesta página (Figura 28) será dividida em duas etapas, sendo a primeira inseridos os dados relativos ao esforço axial de tração (como já

descrito no item 3.4.1) e a segunda etapa inseridos os dados relativos ao esforço de flexão, seguindo a rotina já descrita no item 3.6.1 .

Figura 28 – Página Dados de Entrada da Flexo-tração

Informações Iniciais referente ao esforço axial de Tração

Esforço Solicitante de Cálculo à Tração ($N_{t,d}$) (kN) [NOTA 1] Resistência de Cálculo da Madeira à Tração ($f_{t,0,d}$) (kN/cm²)

Tipo de Perfuração
 Pregos
 Parafusos

Número de furos na seção crítica (n1) [NOTA 2] Diâmetro Nominal do Pregos/Parafusos (cm)

A peça possui furos com distância horizontal (S_{min}) menor que 4 vezes o diâmetro nominal da seção crítica? [NOTA 3]
 Sim
 Não

Número de furos com distância horizontal menor que 4 vezes o diâmetro nominal em relação a seção crítica (n2) [NOTA 3]

Qual Tipo de Flexão Composta
 Flexão Composta Reta em X
 Flexão Composta Reta em Y
 Flexão Composta Obliqua (X,Y)

Momento de Cálculo em torno de X (kN.cm) [NOTA 4] Cortante de Cálculo em X (kN) [NOTA 4] Momento de Cálculo em torno de Y (kN.cm) [NOTA 4] Cortante de Cálculo em Y (kN) [NOTA 4]

Existe redução brusca na seção devido a Entalhe?
 Sim
 Não

Valor da redução (h1) (cm)

Tipos de Deformações
 Construções Correntes
 Materiais Frágeis Combinação Média ou Curta
 Materiais Frágeis Combinação somente Ações Variáveis

Estado Limite de Serviço [NOTA 5]
 Flecha Combinada em X(cm)
 Flecha Combinada em Y(cm)

Estado Limite de Vibração [NOTA 6]
 Flecha correspondente à combinação de Curta duração em X(cm)
 Flecha correspondente à combinação de Curta duração em Y(cm)

NOTAS
 1- A força solicitante de cálculo à tração, deve ser inserida com as devidas combinações normativas.
 2- A seção crítica é aquela que possui o maior número de furos alinhados, sendo esta, determinada pelo usuário.
 3- Deve ser analisado pelo usuário, se existem furos com distâncias horizontais menores que 4 vezes o diâmetro nominal do furo (à direita ou à esquerda), da seção adotada como crítica. Caso isto ocorra, deve-se fornecer a quantidade de furos, pois serão somados na seção crítica.
 4- Os momentos fletores e as cortantes de cálculo nos dois eixos, devem ser inseridas com as devidas combinações normativas.
 5- Devem ser fornecidos os valores de flechas nos eixos, devidamente combinados.
 6- Devem ser fornecidos os valores de flechas nos eixos, devidamente combinados para curta duração, pois serão utilizados na verificação quanto à vibração.
 7-A parcela do (kN) só entrará quando a flexão for obliqua, caso contrário será atribuído valor nulo, significando a sua ausência nos cálculos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.7.2 Rotina de Cálculo

Assim como os dados de entrada do sistema, as rotinas de cálculo serão efetuadas da mesma maneira, realizando primeiramente toda rotina de cálculo relativo ao esforço axial de tração, descrito no item 3.4.2, a fim de se obter a tensão normal de tração. Posteriormente será realizada toda a rotina de cálculo relativo à flexão simples, descrito no item 3.6.2 determinando os valores das tensões gerados pelos momentos atuantes em cada direção.

No entanto, apenas a verificação do critério de resistência (ruptura e esmagamento das fibras) será alterada, pois terá influência da tensão normal de tração ao qual modificará as suas formulações, sendo necessário atendê-las para a aprovação, conforme descrito nas equações (114 e 115).

$$\frac{\sigma_{t0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \cdot Km + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (114)$$

$$\frac{\sigma_{t0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \cdot Km \leq 1 \quad (115)$$

3.7.3 Resultados

Para efetuar as rotinas de cálculo é necessário clicar no botão dimensionar, (Figura 29).

O sistema mostrará todos os valores de cada etapa do dimensionamento utilizados nas verificações de flexo-tração. Cada situação possui sua verificação quanto ao Estado Limite Último e de Serviço, no qual, sendo elas atendidas, o sistema fornecerá uma mensagem “Seção Aprovada (OK)”, caso contrário será apresentada a mensagem “Seção Reprovada (Nok!)”.

Para gerar o relatório em PDF é necessário clicar no botão gerar relatório, (Figura 29).

Figura 29 – Página de Resultados da Flexo-tração

✓Dimensionar ✓Gerar Relatório

Valores Referentes ao Esforço e Tração

Diâmetro Efetivo (cm)	Área Bruta (cm ²)	Número de Furos Efetivos	Área Líquida (cm ²)
1,30	120,00	2	94,00

Verificação da Ruptura/Esmagamento [NOTA 7]

$$\frac{\sigma_{td,d}}{f_{cd,d}} + \frac{\sigma_{Md,x}}{f_{cd,d}} \cdot Km + \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{cd,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{td,d}}{f_{cd,d}} + \frac{\sigma_{Md,x}}{f_{cd,d}} + \frac{\sigma_{Md,y}}{f_{cd,d}} \cdot Km \leq 1$$

σ _{td,d} (kN/cm ²)	σ _{Md,x} (kN/cm ²)	σ _{Md,y} (kN/cm ²)	K _m	Verificação 1	Verificação
0,21	0,13	0,20	0,50	0,59	Seção Aprovada OK!
σ _{td,d} (kN/cm ²)	σ _{Md,x} (kN/cm ²)	σ _{Md,y} (kN/cm ²)	K _m	Verificação 2	Verificação
0,21	0,13	0,20	0,50	0,55	Seção Aprovada OK!

Verificação da Instabilidade Lateral

B _{m,x}	λ _{0,x}	λ _{b,x}	Verificação Complementar	Verificação	$\lambda_b \leq \lambda_0$
6,09	109,19	30,00	0,00	Seção Aprovada OK!	$\sigma_{Md} \leq \frac{E_{co,ef}}{\beta_m \cdot \lambda_b}$
B _{m,y}	λ _{0,y}	λ _{b,y}	Verificação Complementar	Verificação	
5,90	112,69	16,67	0,00	Seção Aprovada OK!	

Verificação do Cisalhamento

τ _x (kN/cm ²)	τ _y (kN/cm ²)	τ _{x,y} (kN/cm ²)	f _{v,0d} (kN/cm ²)	Verificação	$\tau_{x,y} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \leq f_{v,0d}$
0,13	0,25	0,28	0,08	Seção Reprovada NoK!	

Verificação do Estado Limite de Serviço

Flecha Limite em X (cm)	Verificação
1,50	Seção Reprovada NoK!
Flecha Limite em Y (cm)	Verificação
1,00	Seção Reprovada NoK!

Verificação do Estado Limite de Vibrações

Obs.: No caso de pisos em situação corrente, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm. (NBR 7190/1997)

Flecha Limite em X (cm)	Verificação
1,5	Seção Aprovada OK!
Flecha Limite em Y (cm)	Verificação
1,5	Seção Reprovada NoK!

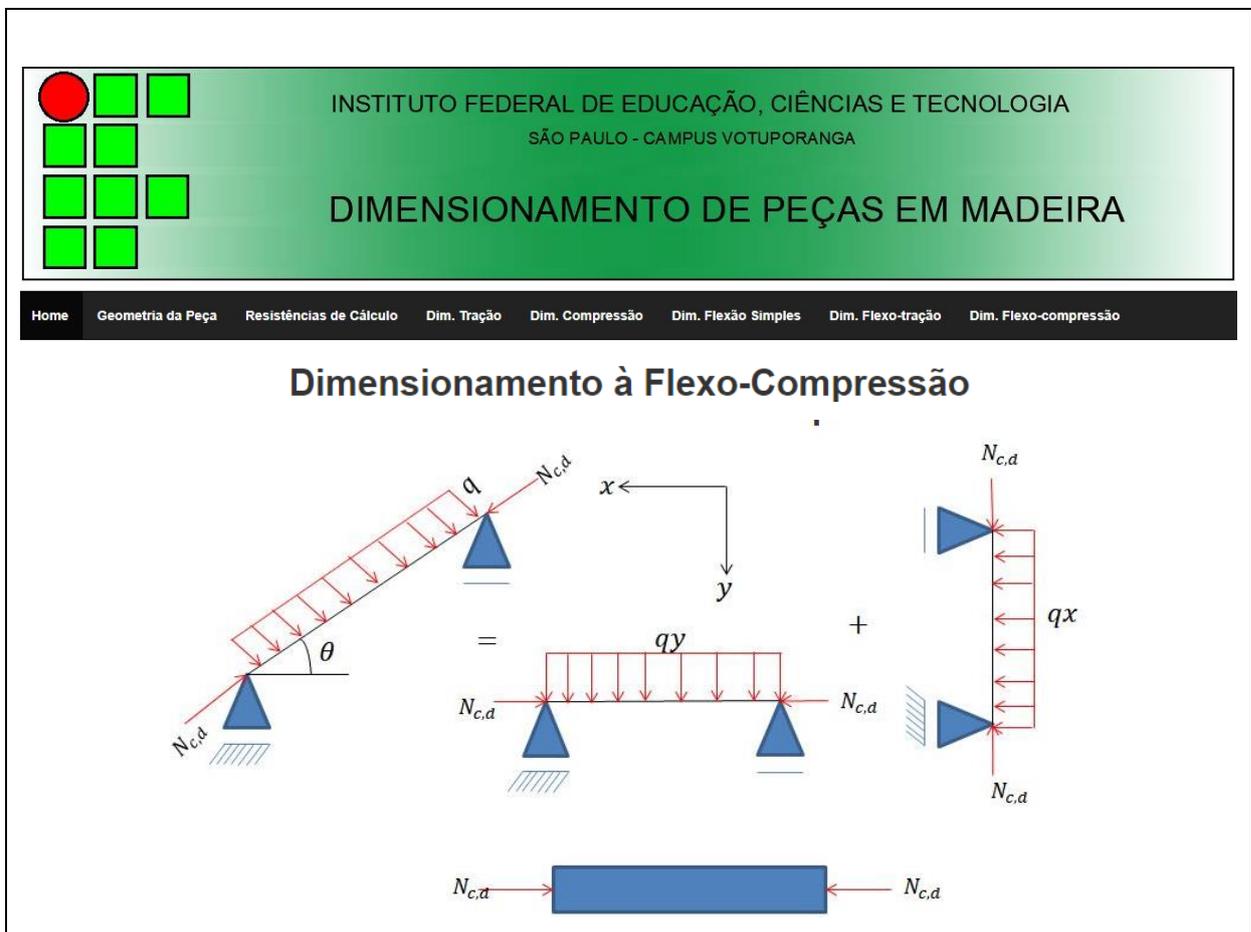
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.8 PÁGINA DE DIMENSIONAMENTO A FLEXO-COMPRESSÃO

A página dimensionamento à flexo-compressão possui a finalidade de verificar a peça quanto ao seu Estado Limite Último e de Serviço, mediante a um esforço axial de compressão concomitante ao momento fletor e cisalhamento.

No início da página contém uma ilustração para facilitar ao usuário a interpretação dos dados de entrada e saída (Figura 30).

Figura 30 – Página inicial da Flexo-compressão



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.8.1 Dados de Entrada do Sistema

As inserções de dados nesta página (Figura 31) serão divididas em duas etapas, sendo na primeira inseridos os dados relativos ao esforço axial de

compressão como igualmente descrito no item 3.5.1, e na segunda etapa serão os dados relativos à flexão, seguindo da mesma forma descrita no item 3.6.1.

Figura 31 – Página Dados de Entrada da Flexo-compressão

Informações Relativas a Força de Compressão

Força Solicitante de Cálculo para Compressão ($N_{c,d}$) (kN) [NOTA 1] <input style="width: 90%;" type="text" value="39,52"/>	Somatório de Forças Solicitantes Características Permanentes (N_{gk}) (kN) <input style="width: 90%;" type="text" value="24"/>	Somatório de Forças Solicitantes de Cálculo Permanentes (N_{gd}) (kN) [NOTA 2] <input style="width: 90%;" type="text" value="33,6"/>	Somatório de Forças Solicitantes Características Variáveis (N_{qk}) (kN) <input style="width: 90%;" type="text" value="5,64"/>
Momento em torno do eixo - x ($M_{1d,x}$) (kN.cm) <input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	Momento em torno do eixo - y ($M_{1d,y}$) (kN.cm) <input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	Momento de Cálculo devido a Ações Permanentes ($M_{1g,d}$) (kN.cm) <input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	Força resistente de compressão paralela ($f_{c0,d}$) (kN/cm²) <input style="width: 90%;" type="text" value="0,80"/>

Informe os Fatores ψ_1 e ψ_2 referentes à variável principal da combinação mais crítica [NOTA 3]

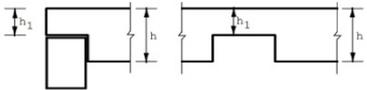
Informe ψ_1	Informe ψ_2
<input style="width: 80%;" type="text" value="0,2"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="0"/>

Informações Relativa a Flexão

Qual Tipo de Flexão Composta

Flexão Composta Reta em X
 Flexão Composta Reta em Y
 Flexão Composta Oblíqua (X,Y)

Momento de Cálculo em torno de X (kN.cm) [NOTA 4] <input style="width: 90%;" type="text" value="30"/>	Cortante de Cálculo em X (kN) [NOTA 4] <input style="width: 90%;" type="text" value="10"/>	Momento de Cálculo em torno de Y (kN.cm) [NOTA 4] <input style="width: 90%;" type="text" value="40"/>	Cortante de Cálculo em Y (kN) [NOTA 4] <input style="width: 90%;" type="text" value="20"/>
---	--	---	--



FONTE: SZÜCS (2015)

Existe redução brusca na seção devido a Entalhe?

Sim
 Não

Valor da redução (h_1) (cm)

Tipos de Deformações

Construções Correntes
 Materiais Frágeis Combinação Média ou Curta
 Materiais Frágeis Combinação somente Ações Variáveis

Estado Limite de Serviço [NOTA 5]

Flecha Combinada em X(cm)

Flecha Combinada em Y(cm)

Estado Limite de Vibração [NOTA 6]

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em X(cm)

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em Y(cm)

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3.8.2 Rotina de Cálculo

Assim como os dados de entrada do sistema, as rotinas de cálculos serão efetuadas da mesma maneira, realizando primeiramente toda rotina de cálculo relativo ao esforço axial de compressão descrito no item 3.5.2 a fim de se obter a tensão normal de compressão conforme a sua esbeltez. Posteriormente será realizada toda a rotina de cálculo relativo à flexão simples, descrito no item 3.6.2, determinando os valores das tensões gerados pelos momentos atuantes em cada direção.

No entanto, a verificação do critério de resistência (ruptura e esmagamento das fibras) será alterada, pois terá influência da tensão advinda do esforço normal de compressão ao qual modificará as suas formulações, sendo necessário atendê-las para a aprovação, conforme descrito nas equações (116 e 117).

$$\left(\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \cdot Km + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (116)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \cdot Km \leq 1 \quad (117)$$

Além da modificação na condição de resistência será acrescentada a verificação de estabilidade conforme descrita pelas equações nas equações (118 e 119).

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \cdot Km + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (118)$$

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \cdot Km \leq 1 \quad (119)$$

Para peças semi-esbeltas e esbeltas os valores correspondentes às tensões de momentos que não são multiplicadas pelo coeficiente de correção relacionado à forma geométrica da seção (K_m) devem ser amplificadas pelos valores de momentos obtidos na compressão. Ou seja, a tensão que não for multiplicada por k_m deve levar em consideração todas as excentricidades detalhadas no dimensionamento à

compressão. Já a parcela multiplicada pelo k_m é calculada apenas para o momento de primeira ordem atuante.

3.8.3 Resultados

Para efetuar as rotinas de cálculo é necessário clicar no botão dimensionar, (Figura 32).

O sistema mostrará todos os valores de cada etapa do dimensionamento, dividindo por valores referentes à compressão e as verificações de flexão em forma de tabela na própria página. Cada situação possui sua verificação quanto ao Estado Limite Último e de Serviço, no qual sendo elas atendidas o sistema fornecerá uma mensagem “Seção Aprovada (OK)”, caso contrário será apresentada a mensagem “Seção Reprovada (Nok!)”.

Para gerar o relatório em PDF é necessário clicar no botão gerar relatório, (Figura 32).

Figura 32 – Página de Resultados da Flexo-compressão

Dimensionar Gerar Relatório

Valores Referentes ao Cálculo da Compressão no Eixo-X

Tipo de Esbelteiz Peça Esbelta	e _{ig} (cm) 0,00	e _d (cm) 4,09
e ₁ (cm) 0,76	Coefficiente Φ 0,80	Carga Crítica de Euler (N _e) (kN) 84,01
e _a (cm) 1,00	e _c (cm) 0,41	M _d (kN/cm ²) 161,64

Valores Referentes ao Cálculo da Compressão no Eixo - Y

Tipo de Esbelteiz Peça Semi - Esbelta	e _{ig} (cm) 0,00	e _d (cm) 2,40
e ₁ (cm) 1,01	Coefficiente Φ 0,00	Carga Crítica de Euler (N _e) (kN) 131,27
e _a (cm) 0,67	e _c (cm) 0,00	M _d (kN/cm ²) 94,93

Estabilidade [NOTA 7 e 8]

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} \cdot K_m + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} \cdot K_m + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

σ _{c0,d} (kN/cm ²) 0,33	σ _{Mx,d} (kN/cm ²) 0,13	σ _{My,d} (kN/cm ²) 0,47	K _m 0,50	Verificação 1 1,08	Verificação Seção Reprovada NoK!
σ _{c0,d} (kN/cm ²) 0,33	σ _{Mx,d} (kN/cm ²) 0,67	σ _{My,d} (kN/cm ²) 0,20	K _m 0,50	Verificação 2 1,38	Verificação Seção Reprovada NoK!

Condições de Resistências [NOTA 8]

$$\left(\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} \cdot K_m + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} \cdot K_m + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

σ _{c0,d} ² (kN/cm ²) 0,169	σ _{Mx,d} (kN/cm ²) 0,13	σ _{My,d} (kN/cm ²) 0,20	K _m 0,50	Verificação 1 0,498	Verificação Seção Aprovada OK!
σ _{c0,d} ² (kN/cm ²) 0,169	σ _{Mx,d} (kN/cm ²) 0,13	σ _{My,d} (kN/cm ²) 0,20	K _m 0,50	Verificação 2 0,451	Verificação Seção Aprovada OK!

Verificação da Instabilidade Lateral

β _{m,x} 6,09	λ _{0,x} 109,19	λ _{b,x} 30,00	Verificação Complementar 0,00	Verificação Seção Aprovada OK!	$\lambda_b \leq \lambda_0$ $\sigma_{M,d} \leq \frac{f_{c0,d} f}{\beta_m \lambda_b}$
β _{m,y} 5,90	λ _{0,y} 112,69	λ _{b,y} 16,67	Verificação Complementar 0,00	Verificação Seção Aprovada OK!	

Verificação do Cisalhamento

τ _x (kN/cm ²) 0,13	τ _y (kN/cm ²) 0,25	τ _{x,y} (kN/cm ²) 0,28	τ _{0,d} (kN/cm ²) 0,08	Verificação Seção Reprovada NoK!	τ _{x,y} = √(τ _x ² + τ _y ²) ≤ f _{v,0,d}
--	--	--	--	--	---

Verificação do Estado Limite de Serviço

Flecha Limite em X (cm) 1,50	Verificação Seção Reprovada NoK!
Flecha Limite em Y (cm) 1,00	Verificação Seção Reprovada NoK!

Verificação do Estado Limite de Vibrações

Obs.: No caso de pisos em situação corrente, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm. (NBR 7190/1997)

Flecha Limite em X (cm) 1,5	Verificação Seção Aprovada OK!
Flecha Limite em Y (cm) 1,5	Verificação Seção Reprovada NoK!

4 EXEMPOS DOS RELATÓRIOS EM PDF

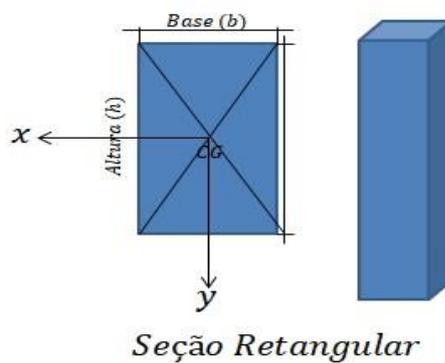
Cada página de dimensionamento possui um botão para geração do relatório em PDF, conforme desejado pelo usuário.

Os relatórios possuem toda a sequência de cálculo apresentada nas rotinas de cálculo, facilitando o entendimento do processamento dos dados pelo sistema.

Estes relatórios podem ser baixados, salvos e conseqüentemente impressos, por qualquer dispositivo eletrônico que possua a capacidade de abrir arquivos na extensão (.pdf).

Serão apresentados a seguir exemplos dos relatórios de todas as páginas do *software*.

Relatório das Propriedades Geométricas



Informações de Entrada

Base : 10 cm

Altura : 12 cm

Tipo de Apoio: Qualquer apoio que não seja Engastado - Livre

Maior comprimento destravado na direção X : 300 cm

Maior comprimento destravado na direção Y : 200 cm

Rotinas de Cálculo e Resultados

Cálculo da Área Bruta

$$A = b \cdot h$$

$$A = 10.00 \cdot 12.00 = 120.00 \text{ cm}^2$$

Cálculo na direção X

Cálculo do Momento de Inércia em X

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_x = (10.00 \cdot 12.00^3)/12 = 1440.00 \text{ cm}^4$$

Cálculo do Raio de Giração em X

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_x = \sqrt{(1440.00/120.00)} = 3.46 \text{ cm}$$

Cálculo do Comprimento de Flambagem em X

$$L_{fl,x} = k \cdot L_x$$

Devido ao Tipo de Apoio, temos: $k = 1 \rightarrow L_{fl,x} = 1 \cdot 300 = 300.00 \text{ cm}$

Cálculo do Índice de Esbeltez em X

$$\lambda_x = \frac{L_{fl}}{r_x}$$

$$\lambda_x = 300.00/3.46 = 86.60$$

Cálculo na direção Y

Cálculo do Momento de Inércia em Y

$$I_y = \frac{b^3 \cdot h}{12}$$

$$I_y = (12.00 \cdot 10.00^3)/12 = 1000.00 \text{ cm}^4$$

Cálculo do Raio de Giração em Y

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{(1000.00/120.00)} = 2.89 \text{ cm}$$

Cálculo do Comprimento de Flambagem em Y

$$L_{fl,y} = k \cdot L_y$$

Devido ao Tipo de Apoio, temos: $k = 1 \rightarrow L_{fl,y} = 1 \cdot 200 = 200.00 \text{ cm}$

Cálculo do Índice de Esbeltez em Y

$$\lambda_y = \frac{L_{fl}}{r_y}$$

$$\lambda_y = 200.00/2.89 = 69.28$$



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO - IFSP - CAMPUS
VOTUPORANGA

Programa de Dimensionamento de Peças em Madeira
Autor: Gabriel Henrique Morgan
Orientadora: M.a. Cristiane Prado Marin
Curso: Engenharia Civil

Relatório das Resistências de Cálculo

Informações de Entrada

Resistência Característica à Compressão 0° ($f_{c0,k}$): 2 kN/cm²

Módulo de Elasticidade Longitudinal Médio ($E_{c0,m}$): 950 kN/cm²

Classe de Carregamento: Longa Duração

Tipo da Madeira: Madeiras Serradas/Laminadas Coladas/Compensadas

Classe de Umidade: 1 ou 2

Classificação da Madeira: Folhosa

Categoria: 2ª Categoria

Coefficiente α (n) : 1.55

Diâmetro do pino adotado: 1.25

Rotinas de Cálculo e Resultados

Conforme a Classe de Carregamento e o Tipo da Madeira temos o valor tabelado de K_{mod1} : 0.7

Conforme o Tipo da Madeira e a Classe de Umidade temos o valor tabelado de K_{mod2} : 1

Conforme a Classificação da Madeira e sua Categoria temos o valor tabelado de K_{mod3} : 0.8

Cálculo do K_{mod} Total

$$K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3}$$

$$K_{mod} = 0.7 \times 1 \times 0.8 = 0.56$$

Resistências de Cálculo Paralela (0°) às Fibras

Módulo de Elasticidade Longitudinal ($E_{c0,ef}$)

$$E_{c0,ef} = E_{c0,m} \cdot K_{mod}$$

$$E_{c0,ef} = 0.56 \times 950 = 532.00 \text{ kN/cm}^2$$

Resistência à Compressão Paralela ($f_{c0,d}$)

$$f_{c0,d} = \frac{f_{c0,k} \cdot K_{mod}}{1.4}$$

$$f_{c0,d} = (2 \times 0.56) / 1.4 = 0.80 \text{ kN/cm}^2$$

Resistência à Tração Paralela ($f_{t0,d}$)

$$f_{t0,d} = f_{c0,d}$$

$$f_{t0,d} = 0.80 \text{ kN/cm}^2$$

Resistência ao Embutimento Paralelo ($f_{e0,d}$)

$$f_{e0,d} = f_{c0,d}$$

$$f_{e0,d} = 0.80 \text{ kN/cm}^2$$

Resistência ao Cisalhamento Paralelo ($f_{v0,d}$)

$$f_{v0,d} = 0.10 \cdot f_{c0,d}$$

$$f_{v0,d} = 0.10 \times 0.80 = 0.08 \text{ kN/cm}^2$$

Resistências de Cálculo Perpendicular (90°) às Fibras

Coeficiente (α_e) cujo valor tabelado conforme o diâmetro do pino adotado : 1.68Resistência à Compressão Perpendicular ($f_{c90,d}$)

$$f_{c90,d} = 0.25 \cdot \alpha_n \cdot f_{c0,d}$$

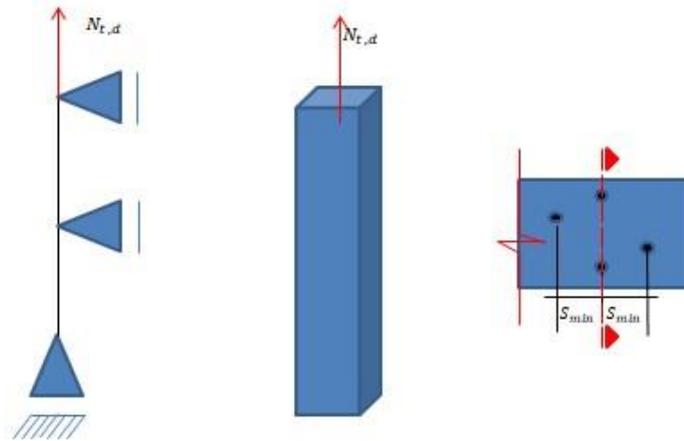
$$f_{c90,d} = 0.25 \times 1.55 \times 0.80 = 0.31 \text{ kN/cm}^2$$

Resistência ao Embutimento Perpendicular ($f_{e90,d}$)

$$f_{e90,d} = 0.25 \cdot \alpha_e \cdot f_{c0,d}$$

$$f_{e90,d} = 0.25 \times 1.68 \times 0.80 = 0.34 \text{ kN/cm}^2$$

Relatório do Dimensionamento à Tração



Informações de Entrada

Esforço Solicitante de Tração : 20 kN/cm²

Resistência de Cálculo da Madeira à Tração : 0.80 kN/cm²

Tipo de Pino: Parafusos

Número de furos na seção crítica (n1): 1

Diâmetro Nominal do Prego/Parafuso : 1.25 cm

A peça possui furos com distância horizontal (Smin) menor que 4 vezes o diâmetro nominal da seção crítica?.. Não

Rotinas de Cálculo e Resultados

Diâmetro Efetivo do Furo (df)

$$d_f = \begin{cases} d; & \text{para pregos} \\ d + 0,05 \text{ cm}; & \text{para parafusos} \end{cases}$$

$$d_f = 1.25 + 0.05 = 1.3 \text{ cm}$$

Cálculo da Área Bruta

$$A = b \cdot h$$

$$A = 10.00 \times 12.00 = 120.00 \text{ cm}^2$$

Número de Furos Efetivos

$$n_{ef} = \begin{cases} n_1 ; se S_{min} \geq 4d \\ n_1 + n_2 ; se S_{min} < 4d \end{cases}$$

$$n_{ef} = 1$$

Cálculo da Área Líquida

$$A_{wn} = A_w - n_{ef} \cdot A_f$$

$$A_{wn} = 120.00 - (1 \times 10.00 \times 1.3) = 107.00 \text{ cm}^2$$

Cálculo da Tensão Solicitante

$$\sigma_{t0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{wn}}$$

$$\sigma_{t0,d} = 20 / 107.00 = 0.19 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{t0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{wn}} \leq f_{t0,d}$$

Verificação ao Estado Limite Último

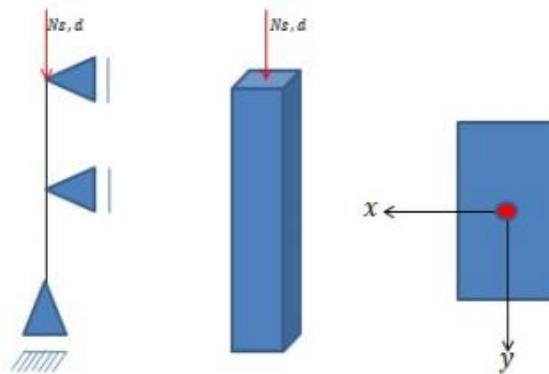
∴ Como a Resistente de Cálculo à Tração (0.80 kN/cm²) é MAIOR OU IGUAL que a Tensão Solicitante de Cálculo à Tração (0.19 kN/cm²), a seção esta APROVADA para a verificação do Estado Limite Último

Verificação Estado Limite de Serviço

$$\lambda_{max} \leq 173$$

∴ Como o índice de Esbeltez máximo (86.60) é MENOR ou IGUAL que 173, a seção esta APROVADA para a verificação do Estado Limite de Serviço

Relatório do Dimensionamento à Compressão



Informações de Entrada

Esforço Solicitante de Cálculo para Compressão ($N_{c,d}$) : 39.52 kN

Somatório de Forças Solicitantes Características Permanentes (N_{gk}) : 24 kN

Somatório de Forças Solicitantes de Cálculo Permanentes (N_{gd}) : 33.6 kN

Somatório de Forças Solicitantes Características Variáveis (N_{qk}) : 5.64 kN

Momento em torno do eixo x (M_{1dx}): 0 kN.cm

Momento em torno do eixo y (M_{1dy}): 0 kN.cm

Momento de Cálculo devido a Ações Permanentes : 0 kN.cm

Força resistente de compressão paralela (f_{c0d}) : 0.80 kN/cm²

Valor do Fator ψ_1 : 0.2

Valor do Fator ψ_2 : 0

OBS.: De acordo com a NBR7190:1997, caso ($\psi_1 + \psi_2$) for maior ou igual a 1, nos cálculo será adotado o valor máximo de 1

Rotinas de Cálculo e Resultados

Tensão Normal Solicitante $\sigma_{c0,d}$

$$\sigma_{c0,d} = \frac{N_{c,d}}{Area_{bruta}} \quad \sigma_{c0,d} = 39.52/120.00 = 0.33 \text{ kN/cm}^2$$

Cálculos para o Eixo X

Esbeltez da Peça : 86.60 ∴ Portanto a peça é classificada quanto a sua Esbeltez no Eixo-X como: Peça Esbelta

Cálculo da Excentricidade Inicial (ei)

$$e_{i,x} = \frac{M_{1dx}}{N_{c,d}} \geq \frac{h(cm)}{30} \quad M_{1dx}/N_{c,d} = 0.00/39.52 = 0 \text{ cm} \quad h/30 = 12.00/30 = 0.40 \text{ cm} \quad \therefore \text{Adotando o Maior Valor para } e_i, \text{ temos: } = 0.40 \text{ cm}$$

Cálculo da Excentricidade Acidental (ea)

$$e_{a,x} = \frac{L_{flx}}{300} \geq \frac{h(cm)}{30} \quad L_{flx}/300 = 300/300 = 1.00 \text{ cm} \quad h/30 = 12.00/30 = 0.40 \text{ cm} \quad \therefore \text{Adotando o Maior Valor para } e_a, \text{ temos: } = 1.00 \text{ cm}$$

Cálculo da Excentricidade Inicial devido as ações Permanentes (eig)

$$e_{ig,x} = \frac{M_{g,k}}{N_{g,d}} \quad e_{ig,x} = 0/33.6 = 0.00 \text{ cm}$$

Cálculo do Coeficiente de Fluência Φ

Devido a Classe de Carregamento e a Classe de Umidade adotada o Coeficiente de Fluência Φ possui o valor tabelado de: 0.8

Cálculo da Carga Crítica de Euler

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_x}{L_{flx}^2} \quad N_{ex} = (\pi^2 \times 532.00 \times 1440.00) / 300^2 = 84.01 \text{ kN}$$

Cálculo da Excentricidade Suplementar de 1ª Ordem

$$e_{c,x} = (e_{ig,x} + e_{a,x}) \cdot \left\{ e^{\left[\frac{\phi \cdot (N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \cdot N_{qk})}{N_e - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \cdot N_{qk}]} \right]} - 1 \right\} \quad e_c = (0.00 + 1.00) \times \{ \exp[0.8 \times (24 + (0.2) \times 5.64) / (84.01 - (24 + (0.2 + 0) \times 5.64))] - 1 \} = 0.41 \text{ cm}$$

Cálculo da Excentricidade de Cálculo

$$e_{dx} = (e_{i,x} + e_{a,x} + e_{c,x}) \cdot \left(\frac{N_{ex}}{N_{ex} - N_{c,d}} \right) \quad e_{d,x} = [(0.40 + 1.00 + 0.41) \times (84.01)] / (84.01) - (39.52) = 3.41 \text{ cm}$$

Cálculo do Momento Fletor defivo à Excentricidade de Cálculo

$$M_{d,x} = N_{c,d} \cdot e_{d,x}$$

$$M_{d,x} = 39.52 \times 3.41 = 134.84 \text{ kN.cm}$$

Cálculo da Tensão Momento Fletor

$$\sigma_{M_{d,x}} = \frac{M_{d,x}}{I_x} \cdot (h/2)$$

$$\sigma_{M_{d,x}} = (134.84 \times 12.00/2)/1440.00 = 0.56 \text{ kN/cm}^2$$

Verificação so Estado Limite Último

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{M_{d,x}}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Como a Somatória ($\sigma_{c0,d}/f_{c0,d} + \sigma_{M_{d,x}}/f_{c0,d} = 1.11$) é MAIOR à 1, a seção está REPROVADA para a verificação do Estado Limite Último

Cálculos para o Eixo Y

Esbeltez da Peça : 69.28 ∴ Portanto a peça é classificada quanto a sua Esbeltez no Eixo-X como: Peça Semi - Esbelta

Cálculo da Excentricidade Inicial (ei)

$$e_{i,y} = \frac{M_{1d,y}}{N_{c,d}} \geq \frac{b(\text{cm})}{30} \quad M_{1d,y}/N_{c,d} = 0.00/39.52 = 0 \quad b/30 = 10.00/30 = 0.33 \text{ cm} \quad \therefore \text{Adotando o Maior Valor para } e_i, \text{ temos: } = 0.33 \text{ cm}$$

Cálculo da Excentricidade Acidental (ea)

$$e_{a,y} = \frac{L_{f1,y}}{300} \geq \frac{b(\text{cm})}{30} \quad L_{f1,y}/300 = 200/300 = 0.67 \quad b/30 = 10.00/30 = 0.33 \text{ cm} \quad \therefore \text{Adotando o Maior Valor para } e_a, \text{ temos: } = 0.67 \text{ cm}$$

Cálculo da Carga Crítica de Euler

$$N_{e,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_y}{L_{f1}^2}$$

$$N_{e,y} = (\pi^2 \times 532.00 \times 1000.00) / 200.00^2 = 131.27 \text{ kN}$$

Cálculo da Excentricidade de Cálculo

$$e_{d,y} = (e_{i,y} + e_{a,y}) \cdot \left(\frac{N_{e,y}}{N_{e,y} - N_{c,d}} \right)$$

$$e_{d,y} = [(0.33 + 0.67) \times (131.27)] / (131.27) - (39.52) = 1.43 \text{ cm}$$

Cálculo do Momento Fletor defivo à Excentricidade de Cálculo

$$M_{d,y} = N_{c,d} \cdot e_{d,y}$$

$$M_{d,y} = 39.52 \times 1.43 = 56.54 \text{ kN.cm}$$

Cálculo da Tensão Momento Fletor

$$\sigma_{Mdy} = \frac{M_{d,y}}{I_y} \cdot (b/2)$$

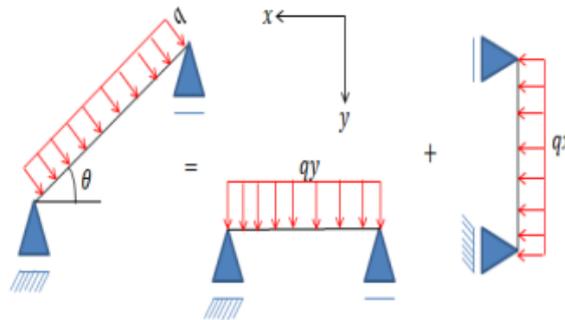
$$\sigma_{Mdy} = (56.54 \times 10.00/2)/1000.00 = 0.28 \text{ kN/cm}^2$$

Verificação so Estado Limite Último

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Como a Somatória ($\sigma_{c0,d}/f_{c0,d} + \sigma_{Mdy}/f_{c0,d} = 0.77$) é MENOR OU IGUAL à 1, a seção está APROVADA para a verificação do Estado Limite Último

Relatório de Dimensionamento à Flexão Simples



Informações de Entrada

Tipo de Flexão: Flexão Simples Oblíqua

Momento de Cálculo em torno de X: 30 kN.cm

Cortante de Cálculo em X: 10 kN

Flecha Combinada em X: 2 cm

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em X: 1 cm

Momento de Cálculo em torno de Y: 40 kN.cm

Cortante de Cálculo em Y: 20 kN

Flecha Combinada em Y: 3 cm

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em Y: 2 cm

Não existe redução brusca na seção devido a Entalhe

Tipos de Deformações: Construções Recorrentes

Resistência de Cálculo à Compressão Paralela: 0.80 kN/cm²

Resistência de Cálculo ao Cisalhamento Paralelo: 0.08 kN/cm²

Rotinas de Cálculo e Resultados

Verificação do Estado Limite Último

Verificação da Ruptura/Esmagamento

$$\sigma_{Mdx} = \frac{Mdx}{I_x} \cdot (h/2) \quad \sigma_{M,dx} = (30 \times (12.00/2))/1440.00 = 0.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mdy} = \frac{Mdy}{I_y} \cdot (b/2) \quad \sigma_{M,dy} = (40 \times (10.00/2))/1000.00 = 0.20 \text{ kN/cm}^2$$

Conforme a seção escolhida da peça, temos como valor de Coeficiente $K_m = 0.50$

$$\frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \cdot K_m + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad \text{Somatória 1} = ((0.13/0.80) \times 0.5) + (0.20/0.80) = 0.33 \quad \text{Somatória 2} = (0.13/0.80) + ((0.20/0.80) \times 0.5) = 0.28 \quad \text{Adotando a o maior valor de Somatória, temos: 0.33}$$

$$\frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \cdot K_m \leq 1$$

Como o valor da maior Somatória (0.33) é MENOR ou IGUAL que 1, conclui-se que a seção está APROVADA para o critério de Ruptura/Esmagamento

Verificação da Instabilidade Lateral em X

Cálculo do Coeficiente β_m

$$\beta_{mx} = 3.498 \cdot \frac{(h/b)^{1.5}}{\sqrt{(h/b) - 0.63}} \quad \beta_m = 3.498 \times ((12.00/10.00)^{1.5}) / \sqrt{((12.00/10.00) - 0.63)} = 6.09$$

Cálculo do Esbeltez $\lambda_{b,x}$

$$\lambda_{b,x} = \frac{L_x}{b} \quad \lambda_{b,x} = 300/10 = 30.00$$

Cálculo do Esbeltez λ_{0x}

$$\lambda_{0x} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{mx} \cdot f_{c0,d}} \quad \lambda_{0x} = (532.00 / (6.09 \times 0.80)) = 109.19$$

Verificação Final

$$\lambda_x \leq \lambda_{0x} \quad \text{Como a Esbeltez } \lambda_{0x} \text{ (109.19) é maior que a Esbeltez da peça } \lambda_{b,x} \text{ (30.00), conclui-se que a seção está APROVADA para o critério de Instabilidade Lateral}$$

Verificação da Instabilidade Lateral em Y

Cálculo do Coeficiente β_m

$$\beta_{my} = 3.498 \cdot \frac{(b/h)^{1.5}}{\sqrt{(b/h) - 0.63}} \quad \beta_m = 3.498 \times ((10.00/12.00)^{1.5}) / \sqrt{((10.00/12.00) - 0.63)} = 5.90$$

Cálculo do Esbeltez $\lambda_{b,y}$

$$\lambda_{b,y} = \frac{L_y}{h} \quad \lambda_{b,y} = 200/12 = 16.67$$

Cálculo do Esbeltez λ_{0y}

$$\lambda_{0x} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{my} \cdot f_{c0,d}} \quad \lambda_{0y} = (532.00 / (5.90 \times 0.80)) = 112.69$$

Verificação Final

$$\lambda_y \leq \lambda_{0y} \quad \text{Como a Esbeltez } \lambda_{0y} \text{ (112.69) é maior que a Esbeltez da peça } \lambda_{b,y} \text{ (16.67), conclui-se que a seção está APROVADA para o critério de Instabilidade Lateral}$$

Cálculo do Cisalhamento em X

$$\tau_x = 1.5 \cdot \frac{\check{V}_{d,x}}{Area} \quad \tau_x = 1.5 \times 10/120.00 = 0.13 \text{ kN/cm}^2$$

Cálculo do Cisalhamento em Y

$$\tau_y = 1.5 \cdot \frac{\check{V}_{d,y}}{Area} \quad \tau_y = 1.5 \times 20/120.00 = 0.25 \text{ kN/cm}^2$$

Cálculo do Cisalhamento em X e Y

$$\tau_{x,y} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \quad \tau_{xy} = \sqrt{(0.13^2 + 0.25^2)} = 0.28 \text{ kN/cm}^2$$

Como a Resistência de Cálculo ao Cisalhamento (0.08 kN/cm²) é MENOR que a Tensão Solicitante X e Y ao Cisalhamento (0.28 kN/cm²), conclui-se que a seção está REPROVADA para o critério de Cisalhamento

Verificação do Estado Limite de Serviço em X

$$f_d \leq f_{lim} \quad \text{Conforme o Tipo de Apoio e o Tipo de Deformações escolhido, temos como flecha Limite: 1.50 cm}$$

Como a Flecha Limite calculada 1.50 cm é MENOR que Flecha Combinada 2.00 cm, conclui-se que a seção está REPROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Serviço

Verificação do Estado de Serviço em Y

$$f_d \leq f_{lim} \quad \text{Conforme o Tipo de Apoio e o Tipo de Deformações escolhido, temos como flecha Limite: 1.00 cm}$$

Como a Flecha Limite calculada 1.00 cm é MENOR que Flecha Combinada 3.00 cm, conclui-se que a seção está REPROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Serviço

Verificação do Estado Limite de Vibrações em X

$$f_a \leq f_{lim}$$

Para estruturas Correntes, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm

Como a Flecha Limite 1,5 cm é MAIOR OU IGUAL à Flecha Combinada 1 cm, conclui-se que a seção está APROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Vibrações

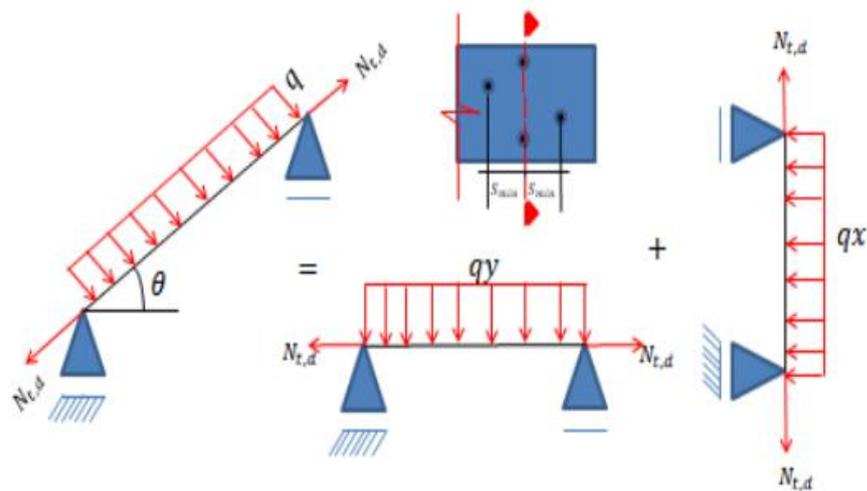
Verificação do Estado Limite de Vibrações em Y

$$f_a \leq f_{lim}$$

Para estruturas Correntes, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm

Como a Flecha Limite 1,5 cm é MENOR que Flecha Combinada 2 cm, conclui-se que a seção está REPROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Vibrações

Relatório do Dimensionamento à Flexo-Tração



Informações de Entrada

Esforço Solicitante de Tração : 20 kN/cm²

Resistência de Cálculo da Madeira à Tração : 0.80 kN/cm²

Tipo de Pino: Parafusos

Número de furos na seção crítica (n1): 2

Diâmetro Nominal do Prego/Parafuso : 1.25 cm

A peça possui furos com distância horizontal (S_{min}) menor que 4 vezes o diâmetro nominal da seção crítica?:.
Não

Tipo de Flexão: Flexão Composta Obliqua

Momento de Cálculo em torno de X: 30 kN.cm

Cortante de Cálculo em X: 10 kN

Flecha Combinada em X: 2 cm

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em X: 1 cm

Momento de Cálculo em torno de Y: 40 kN.cm

Cortante de Cálculo em Y: 20 kN

Flecha Combinada em Y: 3 cm

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em Y: 2 cm

Não existe redução brusca na seção devido a Entalhe

Tipos de Deformações: Construções Correntes

Resistência de Cálculo à Compressão Paralela: 0.80 kN/cm²

Resistência de Cálculo ao Cisalhamento Paralelo: 0.08 kN/cm²

Rotinas de Cálculo e Resultados

Diâmetro Efetivo do Furo (df)

$$d_f = \begin{cases} d; \text{para pregos} \\ d + 0,05 \text{ cm}; \text{para parafusos} \end{cases} \quad df = 1.25 + 0.05 = 1.3 \text{ cm}$$

Cálculo da Área Bruta

$$A = b \cdot h \quad A = 10.00 \times 12.00 = 120.00 \text{ cm}^2$$

Número de Furos Efetivos

$$n_{ef} = \begin{cases} n_1; \text{se } S_{min} \geq 4d \\ n_1 + n_2; \text{se } S_{min} < 4d \end{cases} \quad nef = 2$$

Cálculo da Área Líquida

$$A_{wn} = A_w - n_{ef} \cdot A_f$$

$$A_{wn} = 120.00 - (2 \times 10.00 \times 1.3) = 94.00 \text{ cm}^2$$

Cálculo da Tensão Solicitante

$$\sigma_{t0,d} = \frac{N_{t,d}}{A_{wn}}$$

$$\sigma_{t0,d} = 20 / 94.00 = 0.21 \text{ kN/cm}^2$$

Verificação do Estado Limite Último

Verificação da Ruptura/Esmagamento

$$\sigma_{Mdx} = \frac{Mdx}{I_x} \cdot (h/2)$$

$$\sigma_{Mdx} = (30 \times (12.00/2)) / 1440.00 = 0.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mdy} = \frac{Mdy}{I_y} \cdot (b/2)$$

$$\sigma_{Mdy} = (40 \times (10.00/2)) / 1000.00 = 0.20 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{n,sd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \cdot K_m + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad \text{Somatória 1} = (0.21/0.80) + \text{Somatória 2} = (0.21/0.80) + \text{Adotando a o maior valor de}$$

$$\quad \quad \quad ((0.13/0.80) \times 0.5) + \quad \quad \quad ((0.13/0.80) + ((0.20/0.80) \times 0.5) \quad \text{Somatória, temos: 0.59}$$

$$\quad \quad \quad (0.20/0.80) = 0.59 \quad \quad \quad 0.5) = 0.55$$

$$\frac{\sigma_{n,sd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \cdot K_m \leq 1$$

Como a maior Somatória é (0.59) é MENOR ou IGUAL que 1, conclui-se que a seção está APROVADA para o critério de Ruptura/Esmagamento

Verificação da Instabilidade Lateral em X

Cálculo do Coeficiente β_m

$$\beta_{mx} = 3.498 \cdot \frac{(h/b)^{1.5}}{\sqrt{(h/b) - 0.63}}$$

$$\beta_m = 3.498 \times ((12.00/10.00)^{1.5}) / \sqrt{((12.00/10.00) - 0.63)} = 6.09$$

Cálculo do Esbeltez $\lambda_{b,x}$

$$\lambda_{b,x} = \frac{L_x}{b}$$

$$\lambda_{b,x} = 300/10 = 30.00$$

Cálculo do Esbeltez λ_{0x}

$$\lambda_{0x} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{mx} \cdot f_{c0,d}}$$

$$\lambda_{0x} = (532.00 / (6.09 \times 0.80)) = 109.19$$

Verificação Final

$\lambda_x \leq \lambda_{0x}$ Como a Esbeltez λ_{0x} (109.19) é maior que $\lambda_{b,x}$ (30.00), conclui-se que a seção está APROVADA para o critério de Instabilidade Lateral

Verificação da Instabilidade Lateral em Y

Cálculo do Coeficiente β_m

$$\beta_{m,y} = 3.498 \cdot \frac{(b/h)^{1.5}}{\sqrt{(b/h) - 0.63}} \quad \beta_m = 3.498 \times ((10.00/12.00)^{1.5}) / \sqrt{((10.00/12.00) - 0.63)} = 5.90$$

Cálculo do Esbeltez $\lambda_{b,y}$

$$\lambda_{b,x} = \frac{L_x}{b} \quad \lambda_{b,y} = 200/12 = 16.67$$

Cálculo do Esbeltez λ_{0y}

$$\lambda_{0x} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{m,x} \cdot f_{c0,d}} \quad \lambda_{0y} = (532.00 / (5.90 \times 0.80)) = 112.69$$

Verificação Final

$\lambda_x \leq \lambda_{0x}$ Como a Esbeltez λ_{0y} (112.69) é maior que $\lambda_{b,y}$ (16.67), conclui-se que a seção está APROVADA para o critério de Instabilidade Lateral

Cálculo do Cisalhamento em X

$$\tau_x = 1.5 \cdot \frac{V_{d,x}}{Area} \quad \tau_x = 1.5 \times 10/120.00 = 0.13 \text{ kN/cm}^2$$

Cálculo do Cisalhamento em Y

$$\tau_y = 1.5 \cdot \frac{V_{d,y}}{Area} \quad \tau_y = 1.5 \times 20/120.00 = 0.25 \text{ kN/cm}^2$$

Cálculo do Cisalhamento em X e Y

$$\tau_{x,y} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \quad \tau_{xy} = \sqrt{(0.13^2 + 0.25^2)} = 0.28 \text{ kN/cm}^2$$

Como a Resistência de Cálculo ao Cisalhamento (0.08 kN/cm²) é MENOR que a Tensão Solicitante X e Y ao Cisalhamento (0.28 kN/cm²), conclui-se que a seção está REPROVADA para o critério de Cisalhamento

Verificação do Estado Limite de Serviço em X

$f_d \leq f_{lim}$ Conforme o Tipo de Apoio e o Tipo de Deformações escolhido, temos como flecha Limite: 1.50 cm

Como a Flecha Limite calculada 1.00 cm é MENOR que Flecha Combinada 3.00 cm, conclui-se que a seção está REPROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Serviço

Verificação do Estado Limite de Vibrações em X

$f_a \leq f_{lim}$ Para estruturas Correntes, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm

Como a Flecha Limite calculada 1.50 cm é MENOR que Flecha Combinada 2.00 cm, conclui-se que a seção está REPROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Serviço

Verificação do Estado Limite de Serviço em Y

$f_a \leq f_{lim}$ Conforme o Tipo de Apoio e o Tipo de Deformações escolhido, temos como flecha Limite: 1.00 cm

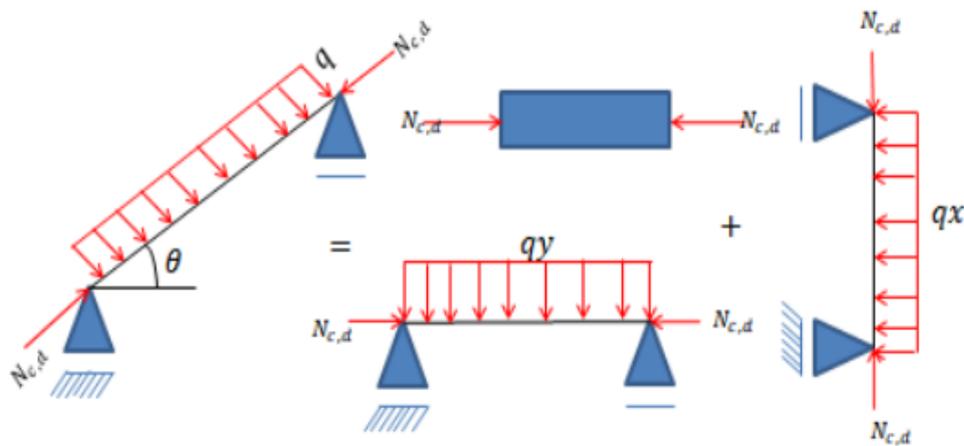
Como a Flecha Limite 1,5 cm é MAIOR OU IGUAL à Flecha Combinada 1 cm, conclui-se que a seção está APROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Vibrações

Verificação do Estado Limite de Vibrações em Y

$f_a \leq f_{lim}$ Para estruturas Correntes, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm

Como a Flecha Limite 1,5 cm é MENOR que Flecha Combinada 2 cm, conclui-se que a seção está REPROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Vibrações

Relatório do Dimensionamento à Flexo-Compressão



Informações de Entrada

Esforço Solicitante de Cálculo para Compressão ($N_{c,d}$) : 39.52 kN

Somatório de Forças Solicitantes Características Permanentes (N_{gk}) : 24 kN

Somatório de Forças Solicitantes de Cálculo Permanentes (N_{gd}) : 33.6 kN

Somatório de Forças Solicitantes Características Variáveis (N_{qk}) : 5.64 kN

Momento em torno do eixo -x (M_{1dx}) : 0 kN.cm

Momento em torno do eixo -y (M_{1dy}) : 0 kN.cm

Momento de Cálculo devido a Ações Permanentes : 0 kN.cm

Força resistente de compressão paralela (f_{c0d}) : 0.80 kN/cm²

Valor do Fator ψ_1 : 0.2

Valor do Fator ψ_2 : 0

OBS.: De acordo com a NBR7190:1997, caso $(\psi_1 + \psi_2)$ for maior ou igual a 1, nos cálculo será adotado o valor máximo de 1

Tipo de Flexão: Flexão Composta Obliqua

Momento de Cálculo em torno de X: 30 kN.cm

Cortante de Cálculo em X: 10 kN

Flecha Combinada em X: 2 cm

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em X: 1 cm

Momento de Cálculo em torno de Y: 40 kN.cm

Cortante de Cálculo em Y: 20 kN

Flecha Combinada em Y: 3 cm

Flecha correspondente à combinação de Curta duração em Y: 2 cm

Rotinas de Cálculo

Tensão Normal Solicitante $\sigma_{c0,d}$

$$\sigma_{c0,d} = \frac{N_{c,d}}{Area_{bruta}}$$

$$\sigma_{c0,d} = 39.52/120.00 = 0.33 \text{ kN/cm}^2$$

Cálculos Relativo à Compressão para o Eixo X

Esbeltez da Peça : 86.60 ∴ Portanto a peça é classificada quanto a sua Esbeltez no Eixo-X como: Peça Esbelta

Cálculo da Excentricidade Inicial (e_i)

$$e_{i,x} = \frac{M_{1d,x}}{N_{c,d}} \geq \frac{h(cm)}{30}$$

$$\frac{(M_{1d,x} + M_x)/N_{c,d}}{(0.00+30)/39.52} = 0.76 \text{ cm}$$

$$h/30 = 12.00/30 = 0.40 \text{ cm} \quad \therefore \text{Adotando o Maior Valor para } e_i, \text{ temos: } = 0.76 \text{ cm}$$

Cálculo da Excentricidade Acidental (ea)

$$ea_x = \frac{L_{flx}}{300} \geq \frac{h(cm)}{30} \quad L_{flx}/300 = 300/300 = 1.00 \quad h/30 = 12.00/30 = 0.40 \text{ cm} \quad \therefore \text{Adotando o Maior Valor para ea, temos: } = 1.00 \text{ cm}$$

Cálculo da Excentricidade Inicial devido as ações Permanentes (eig)

$$e_{ig,x} = \frac{M_{g,k}}{N_{g,d}} \quad e_{ig} = 0/33.6 = 0.00 \text{ cm}$$

Cálculo do Coeficiente de Fluência Φ

Devido a Classe de Carregamento e a Classe de Umidade adotada o Coeficiente de Fluência Φ possui o valor tabelado de: 0.8

Cálculo da Carga Crítica de Euler

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E_{CO,ef} \cdot I_x}{L_{flx}^2} \quad N_{ex} = (\pi^2 \times 532.00 \times 1440.00) / 300^2 = 84.01 \text{ kN}$$

Cálculo da Excentricidade Suplementar de 1ª Ordem

$$ec_x = (e_{ig,x} + ea_x) \cdot \left\{ e^{\left[\frac{\phi \cdot (N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \cdot N_{qk})}{N_{ex} - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) \cdot N_{qk}]} \right]} - 1 \right\} \quad ec = (0.00 + 1.00) \times \{ \exp\{[0.8 \times (24 + (0.2) \times 5.64)] / (84.01 - [24 + (0.2 + 0) \times 5.64])\} - 1 \} = 0.41 \text{ cm}$$

Cálculo da Excentricidade de Cálculo

$$e_{dx} = (e_{ix} + ea_x + ec_x) \cdot \left(\frac{N_{ex}}{N_{ex} - N_{c,d}} \right) \quad e_{d,x} = [(0.76 + 1.00 + 0.41) \times (84.01)] / (84.01) - (39.52) = 4.09 \text{ cm}$$

Cálculo do Momento Fletor devido à Excentricidade de Cálculo

$$M_{d,x} = N_{c,d} \cdot e_{d,x} \quad M_{d,x} = 39.52 \times 4.09 = 161.64 \text{ kN.cm}$$

Cálculos Relativo à Compressão para o Eixo - Y

Esbeltez da Peça : 69.28 \therefore Portanto a peça é classificada quanto a sua Esbeltez no Eixo-Y como: Peça Semi - Esbelta

Cálculo da Excentricidade Inicial (ei)

$$e_{i,y} = \frac{M_{1d,y}}{N_{c,d}} \geq \frac{b(\text{cm})}{30} \quad (M_{1d,y} + M_y)/N_{c,d} = b/30 = 10.00/30 = 0.33 \text{ cm} \quad \therefore \text{Adotando o Maior Valor para } e_i, \text{ temos: } = 1.01 \text{ cm}$$

$$(0.00+40)/39.52 = 1.01 \text{ cm}$$

Cálculo da Excentricidade Acidental (ea)

$$e_{a,y} = \frac{L_{f1,y}}{300} \geq \frac{b(\text{cm})}{30} \quad L_{f1,y}/300 = 200/300 = 0.67 \text{ cm} \quad b/30 = 10.00/30 = 0.33 \text{ cm} \quad \therefore \text{Adotando o Maior Valor para } e_a, \text{ temos: } = 0.67 \text{ cm}$$

Cálculo da Carga Crítica de Euler

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_y}{L_{f1}^2} \quad N_{ey} = (\pi^2 \times 532.00 \times 1000.00) / 200.00^2 = 131.27 \text{ kN}$$

Cálculo da Excentricidade de Cálculo

$$e_{d,y} = (e_{i,y} + e_{a,y}) \cdot \left(\frac{N_{ey}}{N_{ey} - N_{c,d}} \right) \quad e_{d,y} = [(1.01 + 0.67) \times (131.27)] / (131.27) - (39.52) = 2.40 \text{ cm}$$

Cálculo do Momento Fletor devido à Excentricidade de Cálculo

$$M_{d,y} = 39.52 \times 2.40 = 94.93 \text{ kN.cm}$$

$$M_{d,y} = N_{c,d} \cdot e_{d,y}$$

Verificação da Condição de Estabilidade

OBS.: Na verificação de Estabilidade a tensão do momento que não vem multiplicada pelo (Km) tem origem do momento fletor gerado no cálculo de compressão em peças Semi-Esbeltas e Esbeltas

1ª Verificação

$$\sigma_{Mdx} = \frac{M_{dx}}{I_x} \cdot (h/2) \quad \sigma_{Mdx} = (30 \times (12.00/2)) / 1440.00 = 0.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mdy} = \frac{M_{dy}}{I_y} \cdot (b/2) \quad \sigma_{Mdy} = (94.93 \times (10.00/2)) / 1000.00 = 0.47 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \cdot Km + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad \text{Somatória 1} = 0.33/0.80 + (0.13/0.80) \cdot (0.5) + 0.47/0.80 = 1.08$$

Como a Somatória 1 é (1.08) é MAIOR que 1, conclui-se que a seção está REPROVADA para o critério de Estabilidade

2ª Verificação

$$\sigma_{Mdx} = \frac{M_{dx}}{I_x} \cdot (h/2) \quad \sigma_{Mdx} = (161.64 \times (12.00/2)) / 1440.00 = 0.67 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mdy} = \frac{M_{dy}}{I_y} \cdot (b/2) \quad \sigma_{Mdy} = (40.00 \times (10.00/2)) / 1000.00 = 0.20 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c0,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \cdot Km \leq 1 \quad \text{Somatória 2} = 0.33/0.80 + 0.67/0.80 + (0.20/0.80) \cdot (0.5) = 1.38$$

Como a Somatória 2 é (1.38) é MAIOR que 1, conclui-se que a seção está REPROVADA para o critério de Estabilidade

Verificação da Condição de Resistência

$$\sigma_{Mdx} = \frac{Mdx}{I_x} \cdot (h/2) \quad \sigma_{Mdx} = (30 \times (12.00/2))/1440.00 = 0.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mdy} = \frac{Mdy}{I_y} \cdot (b/2) \quad \sigma_{Mdy} = (40.00 \times (10.00/2))/1000.00 = 0.20 \text{ kN/cm}^2$$

$$\left(\frac{\sigma_{nc0d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} \cdot Km + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad \text{Somatória 1} = (0.33/0.80)^2 + \text{Somatória 2} = (0.33/0.80)^2 + \text{Adotando a o maior valor de}$$

$$\left(\frac{\sigma_{nc0d}}{f_{c0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mdx}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mdy}}{f_{c0,d}} \cdot Km \leq 1 \quad ((0.13/0.80) \times 0.5) + (0.13/0.80) + ((0.20/0.80) \times 0.5) = 0.50$$

$$(0.20/0.80) = 0.50 \quad 0.5) = 0.45$$

Como a maior Somatória é (0.50) é MENOR ou IGUAL que 1, conclui-se que a seção está APROVADA para o critério de Resistência

Verificação da Instabilidade Lateral em X

Cálculo do Coeficiente β_m

$$\beta_{mx} = 3.498 \cdot \frac{(h/b)^{1.5}}{\sqrt{(h/b) - 0.63}} \quad \beta_m = 3.498 \times ((12.00/10.00)^{1.5}) / \sqrt{((12.00/10.00) - 0.63)} = 6.09$$

Cálculo do Esbeltez $\lambda_{b,x}$

$$\lambda_{b,x} = \frac{L_x}{b} \quad \lambda_{b,x} = 300/10 = 30.00$$

Cálculo do Esbeltez λ_{0x}

$$\lambda_{0x} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{mx} \cdot f_{c0,d}} \quad \lambda_{0x} = (532.00 / (6.09 \times 0.80)) = 109.19$$

Verificação Final

$$\lambda_x \leq \lambda_{0x} \quad \text{Como a Esbeltez } \lambda_{0x} (109.19) \text{ é maior que a Esbeltez da peça } \lambda_{b,x}(30.00), \text{ conclui-se que a}$$

seção está APROVADA para o critério de Instabilidade Lateral

Verificação da Instabilidade Lateral em Y

Cálculo do Coeficiente β_m

$$\beta_{my} = 3.498 \cdot \frac{(b/h)^{1.5}}{\sqrt{(b/h) - 0.63}} \quad \beta_m = 3.498 \times ((10.00/12.00)^{1.5}) / \sqrt{((10.00/12.00) - 0.63)} = 5.90$$

Cálculo do Esbeltez $\lambda_{b,y}$

$$\lambda_{b,y} = \frac{L_y}{h}$$

$$\lambda_{b,y} = 200/12 = 16.67$$

Cálculo do Esbeltez λ_{0y}

$$\lambda_{0y} = \frac{E_{co,ef}}{\beta_{m,y} \cdot f_{c0,d}}$$

$$\lambda_{0y} = (532.00 / (5.90 \times 0.80)) = 112.69$$

Verificação Final

$$\lambda_y \leq \lambda_{0y}$$

Como a Esbeltez λ_{0y} (112.69) é maior que a Esbeltez da peça $\lambda_{b,y}$ (16.67), conclui-se que a seção está APROVADA para o critério de Instabilidade Lateral

Verificação do Cisalhamento em X

$$\tau_x = 1,5 \cdot \frac{V_{d,x}}{Area}$$

$$\tau = 1.5 \times 10 / 120.00 = 0.13 \text{ kN/cm}^2$$

Verificação do Cisalhamento em Y

$$\tau_y = 1,5 \cdot \frac{V_{d,y}}{Area}$$

$$\tau = 1.5 \times 20 / 120.00 = 0.25 \text{ kN/cm}^2$$

Cálculo do Cisalhamento em X e Y

$$\tau_{x,y} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$$

$$\tau_{x,y} = \sqrt{(0.13^2 + 0.25^2)} = 0.28 \text{ kN/cm}^2$$

Como a Resistência de Cálculo ao Cisalhamento (0.08 kN/cm²) é MENOR que a Tensão Solicitante X e Y ao Cisalhamento (0.28 kN/cm²), conclui-se que a seção está REPROVADA para o critério de Cisalhamento

Verificação do Estado Limite de Serviço em X

$$f_a \leq f_{lim}$$

Conforme o Tipo de Apoio e o Tipo de Deformações escolhido, temos como flecha Limite: 1.50 cm

Como a Flecha Limite calculada 1.50 cm é MENOR que Flecha Combinada 2.00 cm, conclui-se que a seção está REPROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Serviço

Verificação do Estado Limite de Serviço em Y

$$f_a \leq f_{lim}$$

Conforme o Tipo de Apoio e o Tipo de Deformações escolhido, temos como flecha Limite: 1.00 cm

Verificação do Estado Limite de Vibrações em X

$$f_a \leq f_{lim}$$

Para estruturas Correntes, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm

Como a Flecha Limite 1,5 cm é MAIOR OU IGUAL à Flecha Combinada 1 cm, conclui-se que a seção está APROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Vibrações

Verificação do Estado Limite de Vibrações em Y

$$f_a \leq f_{lim}$$

Para estruturas Correntes, o limite de frequência natural de vibrações é igual à 8Hz, sendo tal condição satisfeita, se a aplicação do carregamento devido à combinação de curta duração resultar uma flecha imediata que não ultrapasse 1,5cm

Como a Flecha Limite 1,5 cm é MENOR que Flecha Combinada 2 cm, conclui-se que a seção está REPROVADA quanto a verificação do Estado Limite de Vibrações

5 CONCLUSÕES

Este trabalho de conclusão de curso apresenta um roteiro detalhado sobre o *software online* de cálculo de estruturas em madeira, explicando tanto o modo de utilização do programa quanto toda sua rotina de cálculo de acordo com a NBR-7190/1997.

Como observado, o dimensionamento de uma peça em madeira pode se tornar extenso e complexo, conforme a solicitação atuante. Logo, o desenvolvimento de programas que otimizem e aumentem a precisão dos cálculos se tornam indispensável para a área da engenharia civil.

O uso do *software* no dimensionamento de peças em madeiras pode fornecer ao usuário economia no seu projeto, isto pois, é possível variar as seções utilizadas e também a classe de resistência da madeira até obter a melhor peça para situação em que se encontra, sem prejudicar a segurança, e com rapidez nos cálculos.

Ressaltando, também, que os programas são apenas ferramentas para o dimensionamento e que o usuário deve possuir conhecimento técnico tanto para alimentá-lo corretamente quanto para analisar os resultados com a finalidade de evitar erros em seu projeto.

Como sugestão de aprimoramento do trabalho, podem ser adicionadas uma página para combinações, interagindo com as demais, e uma página para dimensionamento das ligações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7190/1997**. projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção 2**: novos materiais para construção civil. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de Construção**: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

EUCATRATUS: eucalipto tratado. < <http://eucatratus.com.br/madeirarolica>> Acesso em: 24 fevereiro 2018

EUCATRATUS: eucalipto tratado. < <http://eucatratus.com.br/madeiraserrada>> Acesso em: 24 fevereiro 2018

GESUALDO, Francisco A. Romero. **Estruturas de madeira**: notas de aula. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Civil, 2003.

MADEIRA Estrutural: estruturas de madeira. < <https://madeiraestrutural.wordpress.com/2009/06/15/madeira-lamelada-colada/>> Acesso em: 24 fevereiro 2018

MADEIRAS Tratada: produtos de qualidade e respeito ao meio ambiente. <<http://www.madeiratratada.com/br/madeira-tratada/varas-de-eucalipto/>> Acesso em: 28 fevereiro 2018

PFEIL,M; PFEIL,W. **Estruturas de Madeira**: dimensionamento segundo a norma brasileira nbr7190/97 e critérios das normas norte-americanas nds e europeia eurocod. Rio de Janeiro, 2003.

SILVA, Mauricio Samy. **Criando software onlines com HTML**: *software onlines* de alta qualidade com html e css. São Paulo: Novatec, 2008.

SILVA, Mauricio Samy. **Javascript - Guia do Programador**: guia completo das funcionalidades da linguagem javascript. São Paulo: Novatec, 2010.

SORGETZ, Leandro ; PRETTO, Roberto. HTML. Taquara - RS: Faculdades de Informática de Taquara – Curso de Sistemas de Informação Fundação Educacional Encosta Inferior do Nordeste, 20??

SZÜCS, Carlos Alberto, et. al. **Estruturas de madeira**: notas de aula. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil, 2015.

TERMINOLOGIA Arquitetônicas: professor
pinhal.<<http://www.colegiodearquitetos.com.br/dicionario/2009/02/o-que-e-compensado/>>
Acesso em: 24 fevereiro 2018

VOTU NEWS, Jornal Eletrônico.< <http://www.votunews.com.br/wp-content/uploads/2015/05/84.jpg> > Acesso em: 12 junho 2017

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**. São Paulo: Pini: Sinduscon, 2013.

ANEXO A – Classe de resistência das coníferas

Coníferas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	1) $\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600

Fonte: NBR 7190/1997

ANEXO B – Classe de resistência das dicotiledôneas

Dicotiledôneas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	1) $\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000

Fonte: NBR 7190/1997

ANEXO C – Fatores de combinação e utilização

Ações em estruturas correntes	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	ψ_0	ψ_1	ψ_2
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2 ¹⁾
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 ¹⁾
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 ¹⁾
¹⁾ Admite-se $\psi_2 = 0$ quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico.			

Fonte: NBR 7190/1997