

FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE COBERTURA EM MADEIRA.

João Pedro Silva Soares (bolsista PIBIC/UFPI); joapedrosilva_soares@outlook.com
Prof. Dr. Eduardo Martins Fontes do Rêgo (Orientador, Departamento de Estruturas – CT/UFPI); e_eduardofontes@ufpi.edu.br

Introdução

As estruturas de madeira são empregadas na construção civil desde a antiguidade, principalmente devido à sua disponibilidade na natureza e à sua capacidade de isolamento térmico (PFEIL, 2003). Essas estruturas também possuem tipos de conexões fáceis de serem executadas e a capacidade de serem ampliadas de acordo com futura necessidade.

Na atualidade, a madeira como material estrutural é utilizada principalmente em coberturas de determinadas estruturas, cujo dimensionamento é facilitado pela utilização de programas computacionais (*software*) de cálculo estrutural.

Visando otimizar o cálculo de estruturas de cobertura em madeira, este trabalho se propõe a desenvolver um *software* em C# apto a dimensionar a capacidade da estrutura de cobertura de resistir aos esforços solicitantes. Tal dimensionamento é embasado nas considerações e orientações presentes na norma específica.

Metodologia

Modelo de cobertura a ser dimensionada

As coberturas executadas em madeira são principalmente compostas por ripas, caibros, terças e a treliça. Todos esses elementos possuem seções padronizadas disponíveis no mercado cabendo ao dimensionamento estabelecer qual seção é capaz de atender as solicitações às quais a estrutura está submetida. Na figura abaixo temos um modelo do tipo de cobertura dimensionada pela ferramenta desenvolvida por esta pesquisa:

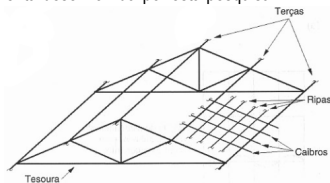


Figura 1: Modelo do tipo de cobertura a ser dimensionada.
Fonte: Pfeil, 2003.

Método de cálculo

O dimensionamento proposto pela NBR 7190/97: Projeto de estruturas de madeira é o método dos Estados Limites, no qual o valor solicitante tem que ser menor que o valor resistente, ambos ajustados por coeficientes de ponderação. Os valores das cargas solicitantes são combinados, sendo usado no dimensionamento o valor da situação mais desfavorável à segurança da estrutura.

A resistência da peça de madeira, conforme a NBR 7190 (1997) é:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (1)$$

A equação (1) corresponde à determinação da resistência aos diversos esforços que um elemento pode estar sujeito, necessitando aplicar os coeficientes e conversões correspondentes à resistência a cada tipo de esforço. Para a verificação da capacidade de resistência do elemento às tensões axiais, de acordo com Pfeil (2003) tem-se:

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A} \leq f_d \quad (2)$$

As solicitações podem ser determinadas nas mesmas unidades do valor da capacidade de resistência, tornando imediata a análise segurança fornecida pelo elemento dimensionado. Nos casos de solicitação à compressão além da verificação da tensão é avaliado também o critério de esbeltez, já que quando não satisfeito reduz a capacidade resistente do elemento.

A condição de flexão da seção é verificada com a equação (3) (PFEIL, 2003):

$$\sigma_d = \frac{M_d}{I} \leq f_d \quad (3)$$

Em casos com mais de uma direção de flexão o valor solicitante para cada direção é feito de forma separada, situação comum nas terças de cobertura. De forma semelhante pode ser analisado a resistência do elemento aos esforços tangenciais a partir da fórmula (4) de Pfeil (2003):

$$\tau_d = \frac{V_d S}{I b} \leq f_{vd} \quad (4)$$

Igualmente ao cálculo da flexão, o cisalhamento deve ser analisado de forma distinta para cada direção se as forças atuantes estiverem em mais de um plano. O valor da solicitação tangencial e à flexão, são variáveis ao longo da seção geométrica, assim para o dimensionamento do elemento é adotado o valor obtido no ponto com o efeito mais adverso.

Análise de elementos solicitados em múltiplas direções

Como mencionado na seção anterior, para os elementos de madeira solicitados em mais de uma direção, os esforços aos quais estão submetidos são obtidos separadamente e observando os valores dos parâmetros em cada sentido.

As solicitações tem seus valores geralmente decompostos nas direções principais do elemento, identificados pelas letras x e y, visando facilitar a obtenção dos dados necessários que serão inseridos nas equações. Dessa forma, os efeitos causados pelas solicitações são combinados e então é verificado o cumprimento do requisito de resistência estabelecido na NBR 7190/97.

Para a flexão, a combinação dos esforços é feita a partir das equações (5) e (6), presentes na NBR 7190/97, e ambas devem satisfazer a condição imposta:

$$\frac{\sigma_{xd}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{yd}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (5)$$

$$k_M \frac{\sigma_{xd}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{yd}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (6)$$

Em seções retangulares o fator k_M das expressões (5) e (6) resulta em combinações de esforços menor que a soma integral dos valores determinados para cada direção. Tal condições não é assegurada para as outras geometrias de seções.

A associação dos esforços tangenciais é realizada conforme equação (7):

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{xd}^2 + \tau_{yd}^2} \leq f_{vd} \quad (7)$$

Dessa forma, as tensões obtidas para cada direção são combinadas vetorialmente para em seguida ser comparadas com a resistência ao cisalhamento que o elemento possui (PFEIL, 2003).

Desenvolvimento do software

A linguagem de programação escolhida, C# (C sharp), foi lançada no ano 2000, como parte da plataforma .NET e criada pela Microsoft, assim como o Visual Studio que é o ambiente escolhido para o desenvolvimento da ferramenta (HEILSBERG, 2011).

A construção desta ferramenta envolve o aprendizado de programação em C#, a revisão da literatura sobre o tema e a programação dos comandos internos e da interface a qual o usuário terá acesso. Essas etapas estão distribuídas em um período de 1 ano.

Resultados e discussão

Para a validação dos resultados obtidos nesta pesquisa, a ferramenta desenvolvida solucionou o exemplo 6.11.8 de Pfeil (2003), que verifica a resistência de uma terça a determinadas solicitações. Na figura seguinte está a interface do *software* após a resolução do problema proposto:

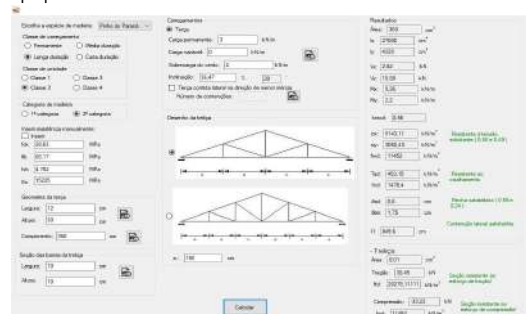


Figura 2: Execução do software desenvolvido para a resolução do problema proposto.
Fonte: Autoria própria (2019).

O exemplo se restringe ao dimensionamento da seção da terça, no entanto a ferramenta desenvolvida calcula também as barras de uma treliça, de acordo com o tipo escolhido pelo usuário. Os resultados presentes em Pfeil (2003) e os obtidos com o *software* são comparados na tabela a seguir, incluindo o erro, determinado como a diferença relativa entre os valores obtidos:

Tabela 1: Comparação dos resultados para validação da ferramenta desenvolvida

Tensões	Resultado Pfeil (kN/cm ²)	Resultado software (kN/cm ²)	Erro
σ_{xd}	0,51	0,5143	0,84%
σ_{yd}	0,31	0,3060	1,29%
f_{wd}	1,14	1,1452	0,45%
τ_d	0,045	0,0453	0,67%
f_{vd}	0,148	0,1478	0,13%

Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados apresentados pela ferramenta computacional se mostraram bastante válidos, uma vez que os valores das tensões comparadas mostraram certa proximidade, ratificada pelo erro pequeno gerado na comparação dos resultados.

Conclusão

A solução do dimensionamento obtida atestam a eficácia do *software* desenvolvido em dimensionar estruturas de cobertura em madeira, a partir das orientações presentes na NBR 7190/97 e na literatura relacionada ao tema. Dessa forma, é possível otimizar o cálculo desse tipo de estrutura com uso do recurso elaborado por esta pesquisa.

Agradecimento

Esta pesquisa faz parte do PIBIC/UFPI: edital 2018/2019. Agradeço à UFPI pelo apoio, principalmente o seu corpo docente, e ao CNPq pelo fomento à pesquisa científica brasileira.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190** – Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
HEILSBERG, Anders; TORGENSEN, Mads; WILTMUTH, Scott; GOLDE, Peter. **The C# programming language**. Addison-Wesley Editora. 4ª ed. 2011.
PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de madeira**. LTC Editora, 6ª edição. Rio de Janeiro, 2003.