

Planilha eletrônica para o dimensionamento de coberturas de duas águas em estrutura de madeira

Electronic worksheet for designing gable roofs on wooden structures

Hoja de cálculo para dimensionamiento de coberturas a dos aguas en estructura de madera

Resumo

Muitos projetos de cobertura de edificações residenciais no Brasil utilizam a madeira como material estrutural. Assim, é importante a adoção de mecanismos para a concepção desse tipo de estrutura, de modo a respeitarem parâmetros técnicos. Dessa forma, elaborou-se uma planilha eletrônica para auxiliar na verificação e análise de coberturas em estrutura de madeira – composta por telhas cerâmicas e madeiramento em ripas, caibros, terças e treliças. Desenvolvido no *software* Microsoft Excel, a planilha realiza a verificação do dimensionamento conforme o que preconiza a NBR 7190 (ABNT, 1997) – Projetos de estruturas de madeira. A sua organização foi pensada de forma a facilitar o entendimento, por parte do usuário, sobre o passo a passo do processo de cálculo, permitindo o seu uso entre acadêmicos e profissionais da construção civil. Fez-se uso da ferramenta de *dashboard* para comunicar os resultados de maneira mais clara, objetiva e visual, permitindo o conhecimento amplo a respeito do dimensionamento verificado. A validação da planilha foi realizada comparando-se os resultados com a literatura especializada, obtendo-se diferenças inferiores a 1%. Ademais, a ferramenta encontra-se disponível gratuitamente para *download* em serviço de armazenamento em nuvem (Google Drive).

Palavras-chave: cobertura; estrutura de madeira; planilha eletrônica; *dashboard*.

Abstract

Many roofing projects for residential buildings in Brazil use wood as a structural material. Thus, it is relevant to adopt mechanisms for designing this type of structure to respect technical parameters. This way, an electronic spreadsheet was created to assist in the roofs' verification and analysis in a wooden structure composed of ceramic tiles and wood in slats, rafters, purlins, and trusses. Developed in Microsoft Excel software, the worksheet performs dimensioning verification as recommended by NBR 7190 (ABNT, 1997) – Projects of wooden structures. Its organization was designed to facilitate the understanding by the user of the step-by-step calculation process, allowing its use among academics and construction professionals. The dashboard tool was used to communicate the results in a clearer, visual, and more objective way, allowing broad knowledge about the verified sizing. The worksheet validation was carried by comparing the results with the specialized literature, obtaining differences of less than 1%. In addition, the tool is freely available for download in a cloud storage service (Google Drive).

Keywords: coverage; wood structure; electronic spreadsheet. *dashboard*

Resumen

Muchos proyectos de coberturas de edificaciones residenciales en Brasil utilizan la madera como material estructural. Así, es importante la adopción de mecanismos para la concepción de este tipo de estructura de manera que se respeten parámetros técnicos. De esta forma, fue elaborada una hoja de cálculo para auxiliar en la verificación y análisis de coberturas en estructura de madera – compuesta por tejas cerámicas y maderamiento en listones, cabrios, vigas y celosías. Desarrollado en el software Microsoft Excel, la

Ismar Costa Lima Júnior 
Universidade Federal do
Piauí (UFPI)
ismar.jr.s20@gmail.com

**Eduardo Martins Fontes do
Rêgo** 
Universidade Federal do
Piauí (UFPI)
e_eduardofontes@ufpi.edu.br

hoja de cálculo realiza la verificación del dimensionamiento según la NBR 7190 (ABNT, 1997) – Proyectos en estructura de madera. Su organización fue pensada de manera que facilite el entendimiento, de parte del usuario, sobre el paso a paso del proceso de cálculo, permitiendo el uso entre académicos y profesionales de la construcción civil. La herramienta de dashboard fue utilizada para comunicar los resultados de manera más clara, objetiva y visual, permitiendo el amplio conocimiento a respecto del dimensionamiento verificado. La validación de la hoja de cálculo fue realizada comparando los resultados con la literatura especializada, obteniéndose diferencias inferiores a 1%. Además, la herramienta se encuentra disponible gratuitamente para download en servicio de almacenaje en nube (Google Drive).

Palabras clave: cobertura; estructura de madera; hoja de cálculo; dashboard.

1 Introdução

De acordo com Guerra (2010), a madeira representa a opção mais empregada nos projetos de coberturas de edificações residenciais no país, principalmente pelo custo competitivo, disponibilidade de material e de mão de obra. Grande parte é consumida por construções de pequeno porte, ou seja, residências e pequenas edificações (LENTINI; VERÍSSIMO; SOBRAL, 2003). Infelizmente, muitos construtores projetam de acordo com o que acreditam, baseados apenas na experiência prática, negligenciando fundamentos técnicos (PARTEL, 2000).

Em relação aos trabalhos desenvolvidos nessa área, pode-se destacar o de Melo (2013), voltado à análise do pré-dimensionamento para três tipos de materiais, entre eles a madeira. Quanto aos processos envolvidos no dimensionamento de cobertura de duas águas, Guimarães e Vieira (2019) descreveram vários cálculos pertinentes ao dimensionamento, como o cálculo para obtenção do carregamento de vento, das verificações, das ligações, entre outros. Já Albuquerque (2006), com foco nas ligações entre os elementos de madeira, traz contribuições práticas e teóricas quanto ao correto detalhamento das ligações de treliças em estrutura de madeira do tipo Howe, para vãos de até 12 metros. Santos (2021) desenvolveu o aplicativo intitulado ProMadeira que consiste na verificação de estruturas de madeira para coberturas, sendo capaz de apresentar a seção mais econômica para a configuração inicial informada pelo usuário. É uma ferramenta prática e funcional que simula três casos: trama, treliças e cobertura completa (junção dos dois primeiros casos).

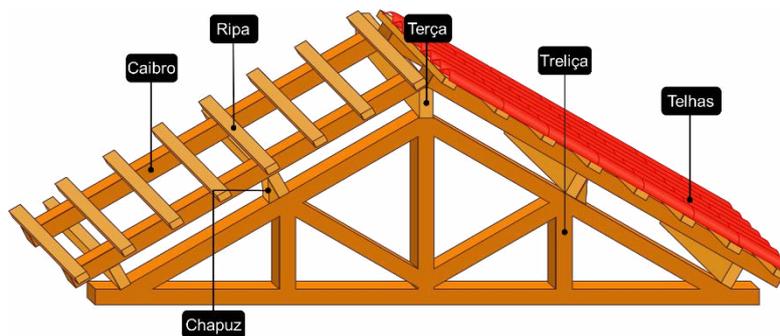
Similar aos trabalhos supracitados, neste artigo foi desenvolvida uma planilha eletrônica baseada na NBR 7190 (ABNT, 1997) com a finalidade de verificar dimensionamentos de coberturas de duas águas em estruturas de madeira, por meio do *software* editor de planilhas Microsoft Excel. Destaca-se que a norma vigente para o Projeto de Estruturas de Madeira é a NBR 7190 (ABNT, 2022), portanto este trabalho aplica-se à análise e verificação de projetos elaborados/executados com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Dentre os benefícios do presente trabalho destacam-se a exposição de indicadores sobre as verificações do processo de cálculo, as dimensões dos elementos e as informações sobre quantidades e custos, todos na forma de *dashboard*. Com isso, os dados de saída são visualizados em uma única página, sendo atualizados automaticamente a cada alteração nos dados de entrada. Essa reunião de diversas informações em tela única auxilia no processo de aperfeiçoamento do dimensionamento, uma vez que permite testar várias possibilidades e analisar o comportamento da estrutura à medida que os indicadores são atualizados em tempo real. Além disso, o processo de cálculo encontra-se acessível para conferência, o que traz maior transparência à ferramenta.

2 Cobertura de madeira em duas águas

2.1 Coberturas em madeira

Uma das configurações para coberturas mais utilizadas no país é o madeiramento (geralmente, composto por ripas, caibros, terças e treliças) acompanhado do uso de telhas cerâmicas, conforme a Figura 1. De acordo com Moliterno (2010), uma das principais vantagens do uso da tesoura do tipo Howe, Figura 1, nestes projetos reside no processo de execução das ligações, facilitado pelos tipos de esforços atuantes.

Figura 1 – Elementos de cobertura em estrutura de madeira com treliça tipo Howe

Fonte: Adaptado de Moliterno (2010).

Com relação às telhas, as do tipo cerâmicas são muito empregadas em residências, devido ao fato de serem facilmente encontradas, aliado à diversidade de opções disponíveis no mercado e ao conforto térmico superior às demais (LOGSDON, 2002). Diferente dos outros elementos da cobertura, as telhas cerâmicas não costumam ser fixadas, sendo assim, a resistência à ação de sucção do vento deve ser desconsiderada, visto que ela tende a causar o levantamento das telhas (PFEIL; PFEIL, 2003). Além disso, a escolha do tipo de telha irá limitar a faixa de inclinação possível da cobertura e o espaçamento (galga) entre as ripas.

No que tange ao processo de dimensionamento de estruturas de madeira, tem-se como base para este trabalho a NBR 7190 (ABNT, 1997). Essa norma descreve a obtenção dos valores de resistência, a forma como se deve combinar os carregamentos atuantes a fim de obter os valores de solicitações de projeto, bem como todas as verificações adequadas que devem ser consideradas. Destaca-se que a norma vigente para o Projeto de Estruturas de Madeira é a NBR 7190 (ABNT, 2022), portanto este trabalho aplica-se à análise e verificação de projetos elaborados/executados com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

2.2 Automatização do dimensionamento

As planilhas eletrônicas representam ferramentas úteis para diversas aplicações (ZAMBONI et al., 2011). O *software* potencializa o desempenho, a agilidade e a segurança nas tomadas de decisões. Produzido pela Microsoft, o Excel possui aplicações em uma infinidade de segmentos e para os mais diversos nichos profissionais. Com a construção civil não seria diferente, visto que a área exige a manipulação e o gerenciamento de grandes volumes de dados. Dessa forma, as planilhas eletrônicas desempenham papel crucial para o controle desses grandes fluxos. Assim, é compreensível que as planilhas acompanhem o profissional de engenharia desde o início até o fim dos mais variados tipos de obras, entre as de pequeno, médio ou grande porte.

Com relação ao uso da ferramenta no presente trabalho, desenvolveu-se uma planilha em Excel que permite ao usuário inserir dados do dimensionamento de coberturas de duas águas em estrutura de madeira para averiguação da sua conformidade ao estabelecido em norma. Nesse sentido, o arquivo no formato .xlsx informa se a configuração proposta pelo usuário atende às verificações ou não, além de permitir localizar mais facilmente a condição mais desfavorável no dimensionamento.

3 Materiais e métodos

A determinação dos limites e aplicabilidade da planilha expressa os casos para qual é indicada. Nesse sentido, contempla as situações de cobertura em estrutura de madeira de duas águas, o que permite também a análise para uma água apenas. De posse do modelo de telhado e elementos necessários, determinaram-se quais verificações são aplicadas a cada elemento componente da estrutura de madeira. Após essas considerações, listaram-se quais dados de entrada seriam solicitados ao usuário para realização dos cálculos e quais dados de saída seriam informados.

Definida a estrutura da planilha, expressou-se todo o processo de cálculo por meio do *software* Microsoft Excel. Além disso, anexos da norma e de outras fontes foram adicionados para utilização pelo usuário, como tipo de madeira, telha, forro entre outros.

A partir do funcionamento adequado da planilha foi inserido um exemplo adaptado da literatura para validação da ferramenta. Logo, quantificou-se a variação dos valores por meio da Eq. (1):

$$\text{Var (\%)} = [(R_p - R_e) / (R_e)] \times 100 \quad (1)$$

em que:

Var (%) – Variação percentual;

Re – Resultado de acordo com o exemplo;

Rp – Resultado de acordo com a planilha.

3.1 Etapas

3.1.1 Primeira etapa (dados de entrada)

Refere-se à inserção dos dados de entrada pelo usuário para a verificação. Devem-se informar os materiais utilizados (tipo de telha, madeira, forro), dimensões (seções dos elementos de madeira e espaçamentos), propriedades (porcentagem de absorção de água pelas telhas e de umidade de serviço da madeira), bem como cargas atuantes (vento e sobrecarga) e condições do ambiente em que a cobertura estará exposta (classe de umidade). Por fim, caso o usuário possua os valores de mercado dos materiais que selecionou, poderá inseri-los para obter uma estimativa do montante necessário para aquisição dos materiais.

3.1.2 Segunda etapa (realização dos cálculos)

Diz respeito aos cálculos que a planilha requer para análise do modelo proposto. Nesta fase ocorre a definição das resistências da madeira quanto à compressão, à tração, ao cisalhamento, ao módulo de elasticidade longitudinal entre outros. Para o cálculo dos carregamentos atuantes são consideradas as cargas permanentes e variáveis. Já as combinações de ações são baseadas nos Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviço (ELS) para obtenção dos carregamentos de projeto (majorados). Também há a determinação dos diagramas e esforços internos que solicitam a estrutura e, por fim, as verificações que aprovam ou reprovam o dimensionamento proposto.

3.1.2.1 Resistências da madeira

A determinação da resistência da madeira é condicionada a diversas variáveis, tais como classe de carregamento, tipo de madeira, umidade do ambiente, categoria e umidade da madeira. Além disso, para cada tipo de resistência (quanto à compressão, tração, cisalhamento, módulo de elasticidade longitudinal etc.) há coeficientes específicos.

3.1.2.2 Carregamentos

As ações atuantes na estrutura são classificadas em carregamentos permanentes e carregamentos variáveis. De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2004) – ações e segurança nas estruturas e procedimento – as ações permanentes são definidas como carregamentos que atuam durante maior parte da vida da estrutura com valores, relativamente, constantes ou de pequena variabilidade em relação à sua média. Para o presente estudo, o cálculo dos carregamentos permanentes é realizado para telhas, ripas, caibros, terças e treliças, considerando forro e painéis solares fotovoltaicos quando existirem.

No que tange aos carregamentos variáveis, a NBR 6120 (ABNT, 2019) indica que coberturas usuais – que não possuam tecidos, lonas, filmes sintéticos ou produtos similares – e que possuem inclinação superior a 3% devem ser projetadas para suportar uma carga variável uniformemente distribuída de 0,25 kN/m². Para a planilha desenvolvida, a carga variável decorrente do vento deve ser informada pelo usuário, visto que se trata de um cálculo extenso e que leva muitas variáveis em consideração.

A NBR 6120 (ABNT, 2019) ainda determina que todos os elementos isolados da cobertura, tais como ripas, caibros, terças e treliças, devem ser projetados para suportar, na posição mais desfavorável, uma carga concentrada de 1 kN, além do carregamento permanente. Essa carga concentrada deve ser considerada atuando isolada das demais forças variáveis.

3.1.2.3 Combinações de ações e diagramas de esforços

No que se refere às combinações, por razões de segurança, funcionalidade e estética, a NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece o cálculo por meio das combinações últimas (Estado Limite Último – ELU) e combinações de serviço (Estado Limite de Serviço – ELS).

Vale ressaltar que quanto à verificação da segurança em relação aos estados limites últimos, a NBR 7190 (ABNT, 1997) especifica que as solicitações nos elementos de madeira, devidas à ação do vento, podem ser multiplicadas por 0,75; isso apenas na combinação de ações de longa duração em que o vento representa a ação variável principal.

Para o presente trabalho utilizou-se para ELU combinações últimas normais e para ELS combinações de longa duração.

3.1.2.4 Verificações

Devido ao fato de os elementos da estrutura estarem dispostos espacialmente de maneiras distintas e estarem solicitados por esforços internos variados, é compreensível que cada um apresente um conjunto específico de verificações. Nesse sentido, é exibida na Figura 2 a relação das verificações de acordo com cada tipo de elemento.

Figura 2 – Verificações realizadas para cada elemento da cobertura

Ripas	Caibros	Terças	Treliças
▶ Flexão Oblíqua	▶ Flexocompressão	▶ Flexão Oblíqua	▶ Tensão de Tração
▶ Cisalhamento	▶ Cisalhamento	▶ Cisalhamento	▶ Esbeltez Dentro e Fora do Plano
▶ Deslocamento	▶ Deslocamento	▶ Deslocamento	▶ Compressão Simples
▶ Compressão Normal às Fibras			
	▶ Flambagem Lateral	▶ Flambagem Lateral	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

3.1.3 Terceira etapa (dados de saída)

A terceira fase trata sobre os dados de saída (resultados). Nesse caso, são expostos em forma de *dashboard*, o que possibilita visualizar vários parâmetros de forma mais simples e direta. Dessa maneira, são expressos os resultados de todas as verificações realizadas de forma resumida, bem como as principais dimensões do arranjo proposto, o quantitativo dos materiais utilizados e uma estimativa do custo para adquirir os materiais nas quantidades adequadas, tudo ao lado da região de dados de entrada. A Figura 3 apresenta a estrutura geral da planilha.

Figura 3 – Estruturação da planilha eletrônica



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

4 Resultados

Os detalhes da estrutura da planilha são apresentados para melhor compreensão do seu funcionamento. A primeira página do arquivo, descrita no item 4.1, engloba os dados de entrada e os de saída, na forma de *dashboard*. A segunda, apresentada no item 4.2, mostra os cálculos para obtenção das resistências da madeira. A terceira, item 4.3, trata sobre os carregamentos considerados. A quarta, item 4.4, expõe as combinações de carregamentos e diagramas dos esforços internos. Já a quinta, item 4.5, exibe todas as verificações realizadas para cada elemento. Os itens 4.6 e 4.7 exemplificam as aplicações da ferramenta. No final, item 4.8, aborda-se a etapa de validação da planilha e a magnitude das variações encontradas para os valores comparados.

A Figura 4 apresenta o *QR Code* e *link* para acesso à ferramenta. Recomenda-se que seja feito o *download* da planilha para melhor aproveitamento, já que visualizá-la pelas plataformas *web* limita a experiência de uso.

Figura 4 – QR Code e link para acesso às planilhas, dashboards e tabelas



https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1brVUf64G1JnExh05IkFf7CX50M_LNQT4

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

4.1 Dados de entrada e dashboard

Nesta aba o usuário é solicitado a preencher os campos em forma de células (unidades para armazenamento de informações, definidas pelo cruzamento de linhas e colunas). Na mesma página os resultados são apresentados

na forma de *dashboard*, como pode ser observado na Figura 5. Optou-se por mantê-los juntos (dados de entrada e *dashboard*) com o intuito de permitir a fácil visualização do comportamento dos resultados perante as modificações dos parâmetros de entrada. Portanto, o início e o fim do dimensionamento podem ser observados simultaneamente.

Conforme mostrado na Figura 5, os dados estão organizados em quatro grandes grupos (Região A, Região B, Região C e Região D):

a) Região A – Dados de entrada: reuniu-se em uma barra lateral à esquerda todos os dados solicitados ao usuário para que as verificações ocorram adequadamente. Ademais, os dados estão separados por categorias, a fim de facilitar o preenchimento das células;

b) Região B – Dimensões: são representadas as principais dimensões do projeto, principalmente as dos elementos da estrutura, sendo que a imagem ilustrada desconsidera a proporção real entre os elementos;

c) Região C – Quantitativo e valores: é apresentado o valor total estimado para aquisição de madeira e telha. Os valores de preço unitários, por padrão, estão zerados, pois cabe ao usuário, na barra lateral de dados de entrada, inseri-los. Neste grupo também é exibida a porcentagem de participação de cada elemento no custo total.

d) Região D – Resumo das verificações: os resultados de todas as verificações são apresentados de forma individual para cada elemento por meio do uso de gráficos. A porcentagem indica o quanto o elemento está sendo solicitado em relação a sua capacidade de resistência. Por exemplo, se a peça apresentar deslocamento de 1cm (solicitação) e o limite máximo é de 2 cm (resistência), será exibido o valor 50%. O gráfico tipo rosca apresenta a verificação mais crítica entre as exibidas nos gráficos de barra para cada elemento (ripa, caibro, terça e treliça). Isso é feito por meio da ordenação decrescente das porcentagens mencionadas, assim o maior valor será reexibido no gráfico tipo rosca e as demais são visualizadas em gráfico de barras abaixo, ajudando na identificação das verificações mais críticas do dimensionamento. Todos os elementos constituintes da estrutura passam por essa ordenação. Salienta-se que as modificações dos valores dos dados de entrada podem gerar alterações nos indicadores de verificações, atualizando automaticamente esses gráficos.

Figura 5 – Planilha desenvolvida (agrupamento de dados)



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

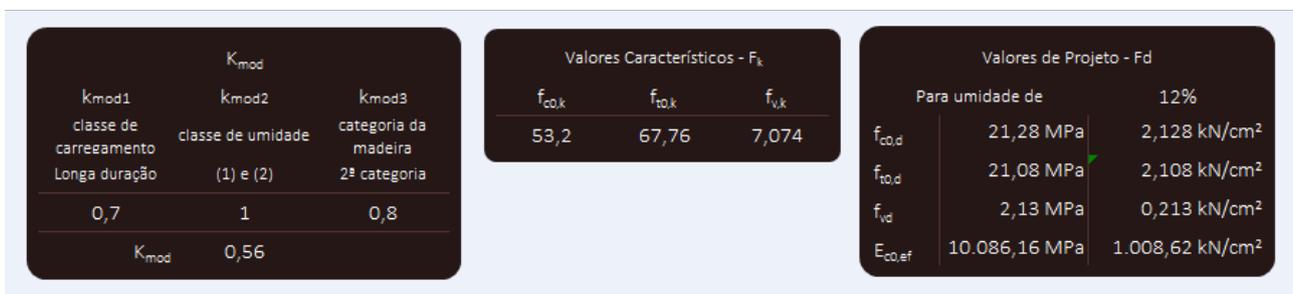
Conforme observado, é possível editar somente a região A e em campos específicos (células com texto sublinhado e em itálico). Isso ocorre em razão da necessidade de garantir a integridade das fórmulas que compõem a planilha. Além disso, foi implementada a proteção das células de cálculo, tal medida serve para orientar o usuário sobre quais células podem ser modificadas. Esse mecanismo de proteção é aplicado às demais abas da planilha, ou seja, não há possibilidade de editar as células, apenas ver o conteúdo dentro delas (fórmulas).

4.2 Resistência da madeira

A resistência da madeira está condicionada ao tipo, às propriedades que definem os coeficientes k_{mod} (classe de carregamento, de umidade e categoria de madeira) e à umidade da madeira em serviço. Dentre as informações citadas, o usuário deve, nos dados de entrada apresentados no item 4.1, preencher apenas a classe de umidade e a umidade da madeira. A Figura 6 apresenta a aba que contém tais cálculos.

O valor de umidade das peças de madeira em serviço foi limitado à faixa de números inteiros entre 10 e 20%, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Isso porque são valores passíveis de correção para o teor de umidade padrão de 12%.

Figura 6 – Etapa de cálculo da resistência na planilha



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

4.3 Carregamentos

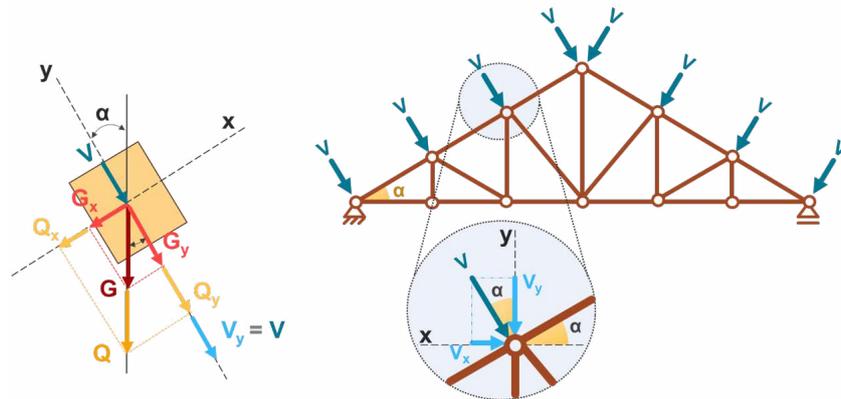
O cálculo dos carregamentos adotados, Figura 7, apresenta valores em kN/m². Como a cobertura é provida de inclinação, os carregamentos permanentes e de sobrecarga atuam na direção da gravidade e devem ser decompostos nos eixos ortogonais das seções x e y, compreendendo que o vento atua perpendicularmente ao plano da cobertura, eixo y, conforme a Figura 8.

Figura 7 – Etapa de determinação dos carregamentos



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Figura 8 – Decomposição dos carregamentos nos eixos



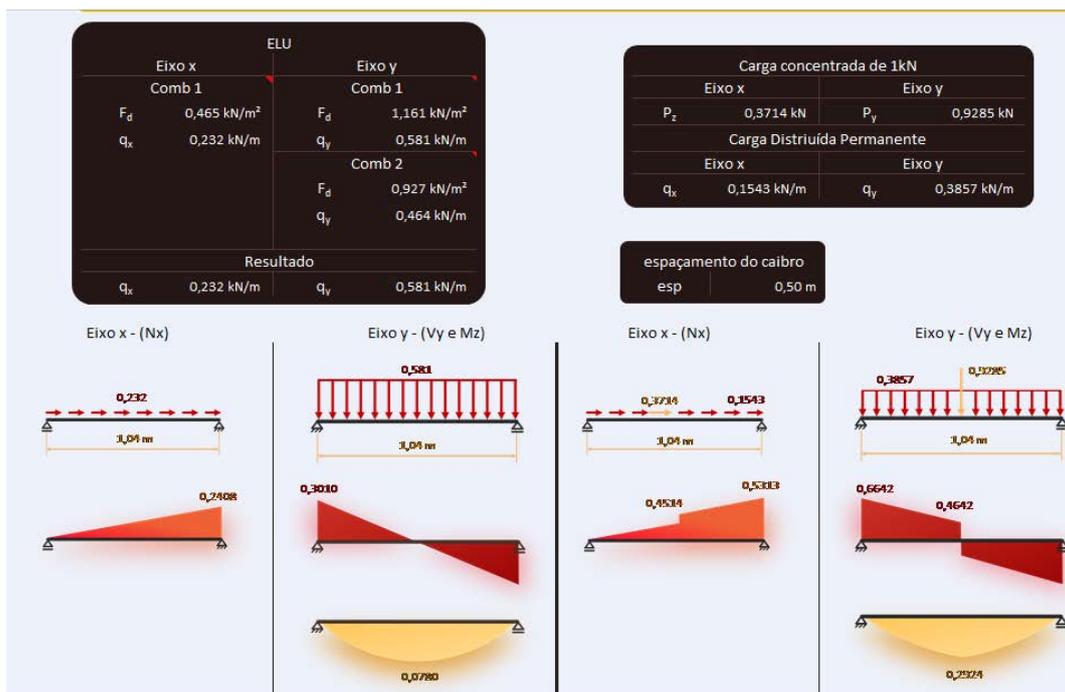
Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

4.4 Combinações de ações e diagramas

Pelo fato de as cargas estarem na forma de pressão (kN/m²), após combinadas, multiplicam-se esses valores pelos respectivos espaçamentos entre elementos (m), obtendo-se, assim, as cargas linearmente distribuídas (kN/m), Figura9. Conseqüentemente, por meio das cargas lineares, é possível determinar os diagramas de esforços internos. Aliás, a respeito dos diagramas, considerou-se que todos os elementos são barras biapoiadas. Trata-se de um julgamento conservador, mas que facilita muito o dimensionamento.

A NBR 6120 (ABNT, 2019) – cargas para o cálculo de estruturas de edificações – indica que se deve considerar uma carga concentrada de 1 kN na posição mais desfavorável para os elementos, além do carregamento permanente. Assim, devem-se comparar os diagramas da combinação tradicional com os provenientes da carga concentrada e carregamento permanente, o caso mais crítico segue para a etapa de verificação. Contudo, levando-se em conta a argumentação de Moliterno (2010), dispensou-se essa consideração para ripas e treliças, por se tratar de um valor extremamente irrealista e antieconômico. Portanto, a recomendação normativa foi aplicada somente para caibros e terças.

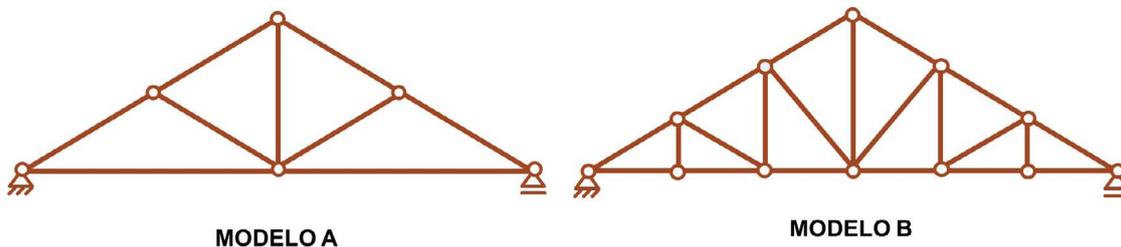
Figura 9 – Combinações e diagrama de esforços internos



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

No caso das treliças, foi utilizado o método dos nós para determinação dos esforços internos. Ademais, trabalhou-se com dois modelos de treliça, conforme ilustrado na Figura 10. O modelo A é indicado para treliças que precisam suportar vãos de até 6 metros, enquanto o modelo B atende à faixa de 6 a 10 metros (MOLITERNO, 2010).

Figura 10 – Modelos de treliça Howe calculadas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

É possível o usuário editar a quantidade de contenções ao longo do banzo inferior da treliça. Nesse sentido, pode-se adicionar apenas mais uma contenção para o modelo A e uma, duas ou cinco para o modelo B. Essas contenções permitem maior estabilidade à treliça, melhorando seu desempenho.

4.5 Verificações

A planilha de verificações contém todas as análises para o dimensionamento conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Salienta-se que, de acordo com a Figura 3, cada elemento possui determinados tipos de verificações, uma vez que cada um está sob ações distintas, o que interfere nos esforços internos apresentados. A cada verificação é destacado o termo “ATENDE” para a conformidade com os parâmetros normativos analisados. Caso contrário, as células em questão apresentam o termo “NÃO ATENDE” como indicativo da não conformidade com os limites estabelecidos. Para a verificação de flexão composta oblíqua adiciona-se o termo “≤1” quando atende e “≥1” quando não atende. Essas situações estão exemplificadas na Figura 11, retirada da planilha de verificações.

Figura 11 – Verificações realizadas na planilha

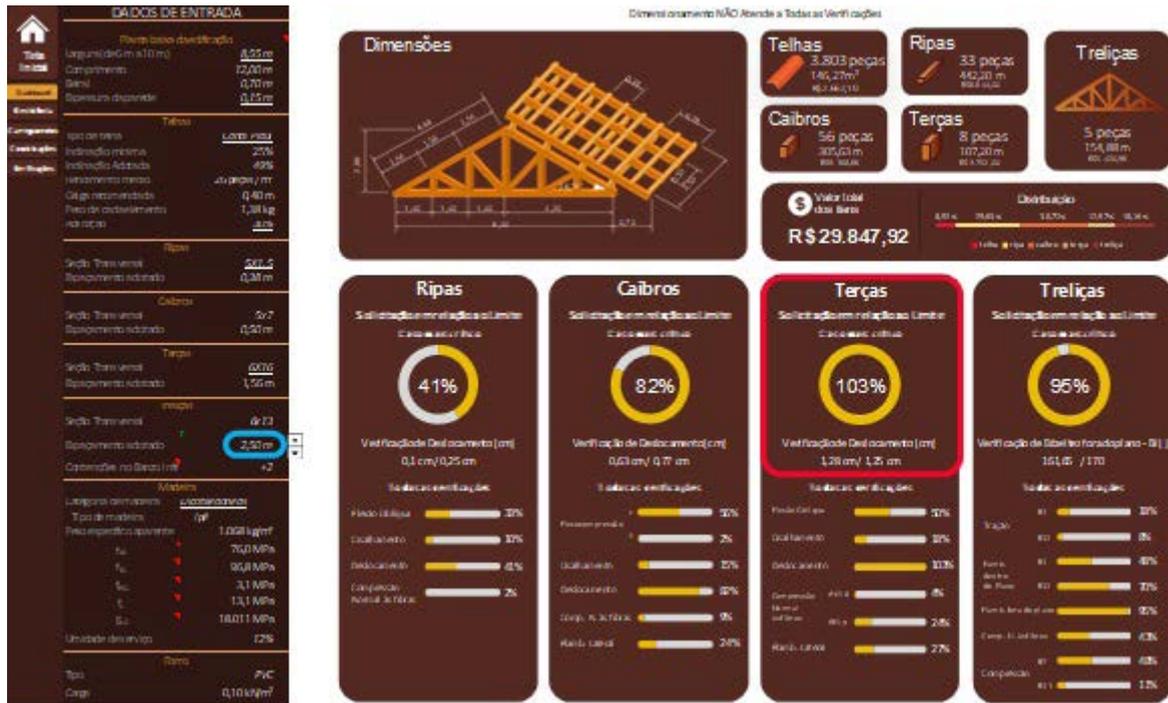


Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

4.6 Aplicação

A título de exemplificação, realizou-se o comparativo entre duas propostas de dimensionamento bastante similares, divergindo apenas no que diz respeito a um dado de entrada. Com isso, uma alternativa atendeu a todas as verificações, enquanto a outra não. Nomearam-se os casos de Dimensionamento 1 e Dimensionamento 2. O primeiro, apontado na Figura 12, é problemático quanto à verificação de deslocamento das terças. Um detalhe importante é sobre os avisos que a planilha pode dar. Quando uma das verificações não é satisfeita, o plano de fundo fica na cor branca sinalizando a inconsistência.

Figura 12 – Dimensionamento 1 – Uma verificação não atendida



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Ao buscar uma solução para a situação, entre os parâmetros que são passíveis de modificação nesse exemplo, é recomendado priorizar os dados que, visivelmente, interferem nas terças, o elemento com verificação não atendida. *A priori*, não é uma solução adequada alterar as seções das treliças, pois essa modificação só será sentida pela própria treliça, já que as cargas que recaem sobre as terças decorrem diretamente delas mesmas, dos caibros, das ripas e das telhas. Já o espaçamento entre treliças, que é o vão da terça, é uma variável que talvez faça todas as verificações serem atendidas.

Com essa orientação chega-se ao Dimensionamento 2 demonstrado na Figura 13, que difere do primeiro apenas no espaçamento entre treliças, neste caso com 2,45 m (redução de 5 cm). Como resultado, o novo dimensionamento é satisfatório e, conseqüentemente, a planilha não fica mais com o plano de fundo branco. Além dessa mudança visual, ocorre a redução da porcentagem nos indicadores da solicitação em relação aos limites, com exceção das ripas e caibros que neste caso não foram impactados pela redução do vão da terça.

Fez-se esse exemplo para mostrar como manipular os dados e simular situações, com o intuito de ter maior conhecimento a respeito do que compensa mais modificar, obtendo dimensionamentos com melhor aproveitamento dos materiais. Dessa maneira, a finalidade foi destacar o princípio das tabelas de dimensionamento, ao mesmo tempo em que evidencia a agilidade na testagem de possibilidades por meio da planilha eletrônica. Ademais, demonstra-se a dinâmica da planilha, em que cada dado de entrada alterado pode provocar mudanças perceptíveis nos dados de saída (gráficos e indicadores).

Figura 13 – Dimensionamento 2 – Todas as verificações atendidas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

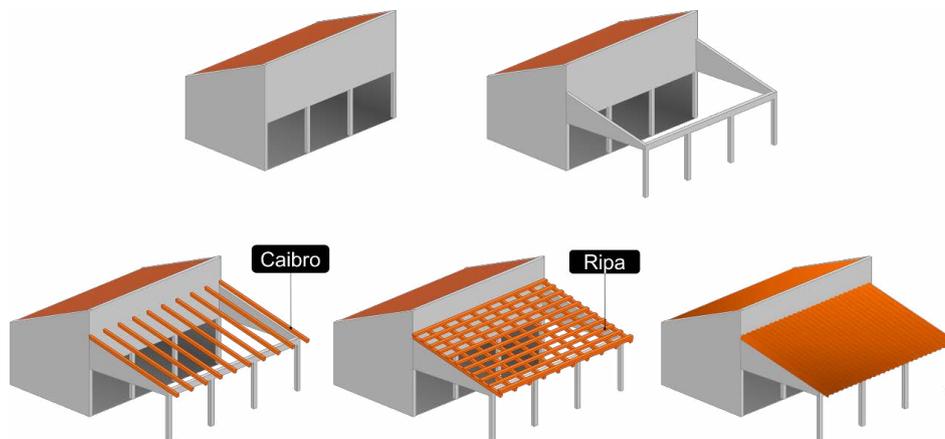
4.7 Aplicações adicionais

A ferramenta foi desenvolvida objetivando servir como verificador para dimensionamentos de coberturas em estruturas de madeira em duas águas. Contudo, a análise pode contemplar outros casos, como as situações abordadas nos itens 4.7.1 e 4.7.2.

4.7.1 Situação 01 – alpendre (uma água)

Na Situação 01, demonstrada na Figura 14, tem-se a construção de um alpendre. Nesse caso, utilizaram-se em madeira apenas as ripas e os caibros. A viga em concreto armado desempenha o papel da terça e os pilares assemelham-se às trelças. Apesar das diferenças, esse tipo de cobertura pode ser verificado pela planilha, analisando-se somente as ripas e caibros.

Figura 14 – Aplicação adicional – Situação 01

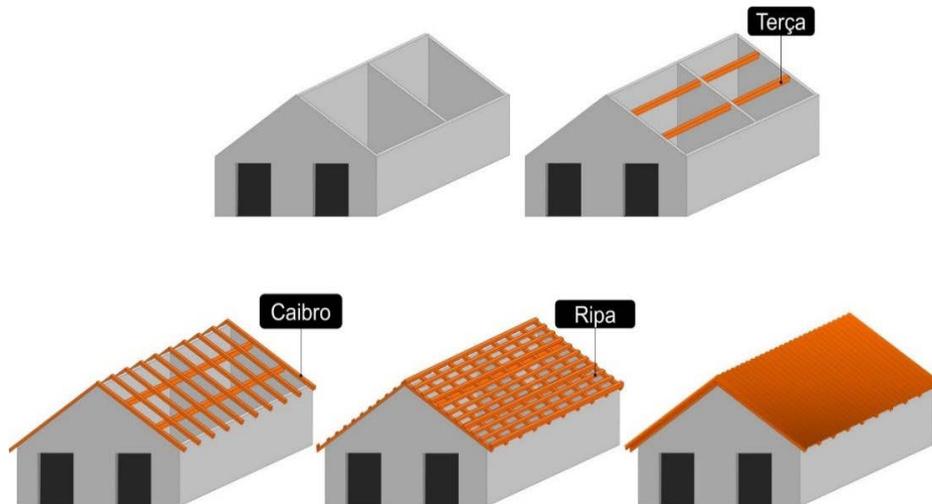


Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

4.7.2 Situação 02 – sem treliça (duas águas)

A Situação 02, demonstrada na Figura 15, trata-se de cobertura de duas águas em que a alvenaria desempenha o papel da treliça ao servir de apoio às terças. Nesse caso, utilizou-se madeira apenas para as ripas, caibros e terças. Assim, a análise pela planilha deve ocorrer apenas para esses três elementos da estrutura.

Figura 15 – Aplicação adicional – Situação 02

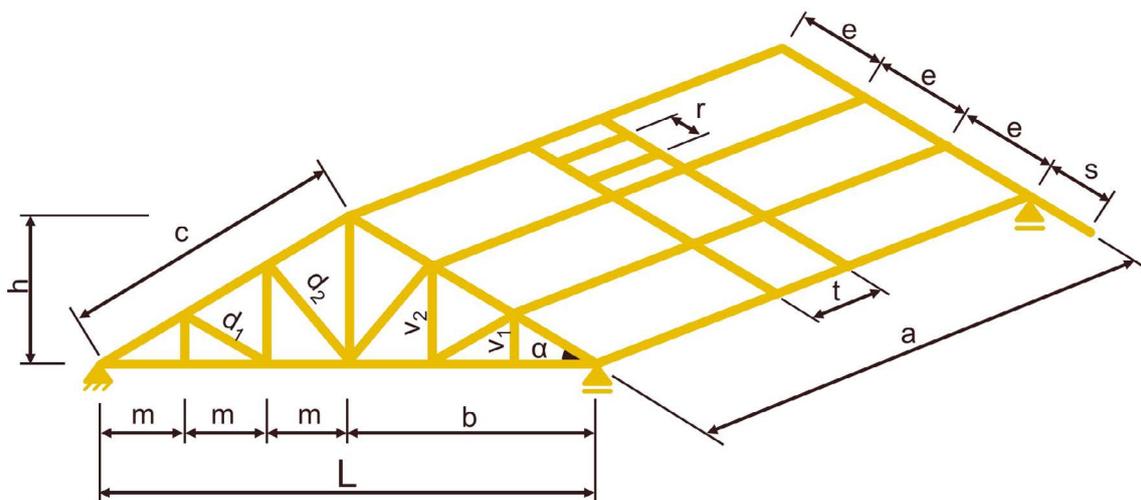


Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

4.8 Validação da Planilha

Na busca por validar a planilha, fez-se o comparativo com uma adaptação do projeto 6.1, presente no livro *Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira* de autoria do Moliterno (2010), destacando-se a diferença percentual entre os resultados do cálculo manual (considerando quatro casas decimais) com o da planilha eletrônica. Entre as adaptações, foram inseridas verificações que não constam no exemplo do livro, como compressão normal às fibras e flambagem lateral para alguns elementos, além de considerar todos os coeficientes para majoração das cargas atuantes em estruturas de madeira presentes na NBR 7190 (ABNT, 1997). A Figura 16 apresenta um esquema da estrutura estudada.

Figura 16 - Esquema da estrutura do projeto 6.1



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Após o dimensionamento, foi realizada a comparação entre os resultados do cálculo manual com os da planilha, baseados no roteiro do livro. Com isso, foi possível estimar entre as duas situações a variação (%),

calculada conforme a Equação (1). Organizaram-se todos os resultados na Tabela (1), que discretiza todas as diferenças de valores para as variáveis destacadas no cálculo.

Por meio da Tabela (1) pode-se concluir que, apesar das adaptações do exemplo, a planilha eletrônica possui pequena variação de resultados em comparação ao processo de cálculo demonstrado. Em todos os casos contrapostos a diferença é inferior a 1%. Portanto, os resultados reforçam sua confiabilidade.

Tabela 1 – Validação da planilha com utilização do projeto 6.1 – Moliterno (2010)

Dado		Moliterno (2010)	Planilha	Variação (%)
1 Resistência da madeira (em kN/cm²)				
f_{c0d}		0,9600	0,9600	0,00
f_{vd}		0,0960	0,0960	0,00
$E_{c,ef}$		649,6	649,6	0,00
2 Verificações para ripas, caibros e terças				
2.1 Flexão Oblíqua (sem unidade)				
Ripas	Verificação final (mais crítica)	0,7692	0,7672	-0,26
Terças	Verificação final	1,1549	1,1552	0,03
2.2 Deslocamento (em cm)				
Ripas	δ	0,1891	0,1892	0,05
	δ_{lim}	0,2500	0,2500	0,00
Caibros	δ	1,6169	1,6145	-0,15
	δ_{lim}	0,7800	0,7797	-0,04
Terças	δ	2,0762	2,0770	0,04
	δ_{lim}	1,2500	1,2500	0,00
2.3 Flexão Composta (sem unidade)				
Caibros	Verificação final	1,7692	1,7681	-0,06
2.4 Cisalhamento (em kN/cm²)				
Ripas	T_d	0,0228	0,0229	0,44
Caibros	T_d	0,0391	0,0390	-0,26
Terças	T_d	0,0395	0,0396	0,25
2.5 Flambagem lateral (em kN/cm²)				
Caibros	σ_{cd}	1,6000	1,5991	-0,06
	σ_{lim}	3,2871	3,2885	0,04
Terças	σ_{cd}	0,6134	0,6134	0,00
	σ_{lim}	1,4045	1,4045	0,00

Tabela 1 (Cont.) - Validação da planilha com utilização do projeto 6.1 – Moliterno (2010)

Dado		Moliterno (2010)	Planilha	Variação (%)
2.6 Compressão normal às fibras (em kN/cm²)				
Resit.	$F_{\text{cnd,y}}$	0,2400	0,2400	0,00
Ripas	$\sigma_{\text{cnd,y}}$	0,0082	0,0082	0,00
Caibros	$\sigma_{\text{cnd,y}}$	0,0521	0,0520	-0,19
Terças	$\sigma_{\text{cnd,x}}$	0,0232	0,0232	0,00
	$\sigma_{\text{cnd,y}}$	0,1264	0,1264	0,00
3 Verificações para treliça				
3.1 Peças Tracionadas				
3.1.1 Tensão de tração				
3.1.1.1 Banzo inferior – Barra 1 (em kN/cm²)				
	$\sigma_{\text{N,td}}$	0,3321	0,3321	0,00
3.1.1.2 Banzo inferior – Barra 12 (em kN/cm²)				
	$\sigma_{\text{N,td}}$	0,1380	0,1380	0,00
3.1.2 Esbeltez dentro do plano				
3.1.2.1 Banzo inferior – Barra 1 (sem unidade)				
	λ	80,8290	80,8290	0,00
3.1.2.2 Banzo inferior – Barra 12 (sem unidade)				
	λ	118,9342	118,9342	0,00
3.1.3 Esbeltez fora do plano				
3.1.3.1 Banzo inferior – Completo (sem unidade)				
	λ	161,6581	161,6581	0,00
3.2 Peças Comprimidas				
3.2.1 Banzo superior – Barra 7 (sem unidade)				
	Verificação final	1,6635	1,6616	-0,11
3.2.2 Banzo superior – Barra 11 (sem unidade)				
	Verificação final	0,2618	0,2619	0,04
3.3 Compressão normal às fibras (em kN/cm²)				
	$f_{\text{cnd,y}}$	0,2400	0,2400	0,00
	$\sigma_{\text{cnd,y}}$	0,2366	0,2366	0,00

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

5 Conclusão

A planilha eletrônica, desenvolvida mediante os preceitos da NBR 7190 (ABNT, 1997), se mostrou uma ferramenta confiável. Ao passar pela etapa de validação, apresentou variações inferiores a 1% entre os valores comparados. No que se refere às situações em que se procura ter maior controle das informações processadas, representa uma ótima opção ao apresentar várias informações importantes na tela inicial e possibilitar o acompanhamento de todo o processo de cálculo nas planilhas subsequentes. Também, o fato de alocar os resultados ao lado da aba para inserção dos dados de entrada permite identificar melhor a influência dos valores introduzidos nos dimensionamentos verificados.

Dentre os benefícios da ferramenta, há a reunião de várias informações relacionadas ao dimensionamento, como indicadores sobre as verificações do processo de cálculo, dados sobre quantidades, custos e dimensões dos elementos. Além disso, é possível aplicá-la tanto para análise de coberturas de duas águas, como também para de uma água, bem como em situações em que apenas parte dos elementos estudados compõe a estrutura, por exemplo, coberturas que só possuem em madeira as ripas e os caibros (com ausência de treliças e terças em madeira).

O produto desenvolvido está disponível para *download* no armazenamento em nuvem, de acordo com o *link* presente na Figura 4. Assim, quanto maior o número de usuários fazendo uso da planilha, maior será a possibilidade de identificar erros, uma vez que os usuários podem reportá-los através de e-mail, disponibilizado junto às ferramentas, para que sejam adotadas as devidas correções.

Referências

- ALBUQUERQUE, R. B. **Sambladuras em Tesouras de Madeira Tipo Howe**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- GUIMARÃES, L. C.; VIEIRA, P. H. M. **Dimensionamento Estrutural da Cobertura em Madeira de uma Edificação Rural**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2019.
- LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos Florestais da Amazônia 2003**. Belém: Instituto do Homem e do Meio Ambiente (Imazon), 2003.
- LOGSDON, N. B. **Estruturas de madeira para coberturas sob a ótica da NBR 7190/1997**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá -MT, 2002.
- MELO, P. R. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2013.
- MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4. ed. rev. São Paulo: Editora Blucher, 2010.
- PARTEL, H. **Sistema informatizado para projeto de estruturas industrializadas de madeira para telhados**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2000.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.
- SANTOS, L. M. S. **Desenvolvimento de aplicativo Android para verificação e dimensionamento de estruturas de madeira para coberturas**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2021.
- ZAMBONI, L. C. *et al.* Planilhas Excel e uso da linguagem VBA em aplicações para as engenharias. *In:*

CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 39., 2011, Blumenau. **Anais** [...]. Blumenau: ABENGE, 2011.

Sobre os autores

Ismar Costa Lima Júnior

Formado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (2022).

Eduardo Martins Fontes do Rêgo

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Piauí (2011), mestrado (2013) e doutorado (2017) em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília. É professor do magistério superior na Universidade Federal do Piauí.

Avaliado em: 12.12.2022

Aceito em: 08.08.2023