

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

CARLA CRISTINA SILVA LIMA RODRIGUES

EXPANSÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM *SOFTWARE* PARA O
DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA: FLEXÃO

Jataí
2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho apresentado em evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome completo do autor: Carla Cristina Silva Lima Rodrigues

Matrícula: 20201020260342

Título do trabalho: EXPANSÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA: FLEXÃO

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

☐ O documento está sujeito a registro de patente.

☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.

☐ Outra justificativa: _____.

Declaração de distribuição não-exclusiva

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para

conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Jataí, 17/02/2025.

Local Data

(Assinado Eletronicamente)

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Documento assinado eletronicamente por:

- **Carla Cristina Silva Lima Rodrigues, 20201020260342 - Discente**, em 13/03/2025 16:39:46.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 614227

Código de Autenticação: 75b719bbf0



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek,, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

CARLA CRISTINA SILVA LIMA RODRIGUES

**EXPANSÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM *SOFTWARE* PARA O
DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA: FLEXÃO**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Eulher Chaves Carvalho.

Jataí
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Rodrigues, Carla Cristina Silva Lima.

Expansão da implementação de um software para o dimensionamento de peças estruturais de madeira: flexão [manuscrito] / Carla Cristina Silva Lima Rodrigues. - Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2025.

68 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Eulher Chaves Carvalho
Bibliografias.

1. Dimensionamento. 2. Estruturas de madeira. 3. Flexão. I. Carvalho, Eulher Chaves. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária – Rosy Cristina Oliveira Barbosa Sabino – CRB 1/2380 – Campus Jataí. Cód. F031/2025-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

CARLA CRISTINA LIMA RODRIGUES

EXPANSÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA: FLEXÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 15 de fevereiro de 2025, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eulher Chaves Carvalho
Presidente da banca / Orientador(a)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Profa. Dra. Mônica Maria Emerenciano Bueno
Membro Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Engenheira Civil Dairlla Lethicia Santos Oliveira
Membro Externo
Equatorial Energia Goiás

Documento assinado eletronicamente por:

- **Monica Maria Emerenciano Bueno, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 05/03/2025 14:33:18.
- **Dairlla Lethicia Santos Oliveira, Dairlla Lethicia Santos Oliveira - 214205 - Engenheiro civil - Equatorial Goiás (01543032000104)**, em 25/02/2025 18:57:50.
- **Eulher Chaves Carvalho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 25/02/2025 18:42:23.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 614225

Código de Autenticação: cb60257d37



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek,, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714

(64) 3514-9580 (ramal: 9580)

A Deus pelo dom da vida, pela graça e misericórdia concedidos a mim. Seus atributos são louváveis e sempre o renderei graças. A engenharia é a manifestação das habilidades concedidas por Deus aos homens.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas muitas bênçãos e oportunidades que me concedeu, sendo uma delas a oportunidade de cursar Engenharia Civil.

Aos meus pais, Edna e Milton, que me conceberam e me instruíram desde a mais tenra idade a viver de modo digno e honesto.

As minhas irmãs, Ana Paula, Ana Cláudia e Jaqueline, pelo companheirismo e cumplicidade em todos os momentos da vida.

Ao meu esposo, Leandro, pelo amor doado a mim, pelos conselhos e incentivos nos estudos e na vida profissional.

Aos meus senseis, Daryene e Dieter, por me ensinarem a trilhar o caminho suave.

A minha ex-coordenadora, Elizângela, por me incentivar a estudar para alcançar meus objetivos.

A pastora, Juliana, por profetizar que eu iria cursar Engenharia Civil e por se alegrar com as minhas conquistas.

A engenheira civil, Daniela, por ser referência na minha vida profissional e por todo o incentivo e apoio depositados em mim.

A todos os meus primos e amigos que me apoiaram e se alegraram comigo.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil, Aníbal, Naara, Carlos, Felipe, Luciana, Aladir, Vítor, Manoel, Dominike, Fábio, Kênia, Débora, Rafael, Ronan, Eulher, Fabrício, Mônica, Tallyta, Francielle, Patrícia, Marina, Jerônimo, Caroline, Wanderlúbio e Sandro, por transmitirem todo o conhecimento necessário referente a minha formação.

As minhas amigas da faculdade, Lara, Giovanna e Morgana, pelo companheirismo e pelas horas de estudos compartilhados.

E mais uma, vez, ao meu professor e orientador, Eulher Chaves Carvalho, pelo apoio e dedicação em me orientar e por disponibilizar de seu tempo para revisar este trabalho.

A arte de programar consiste em organizar e dominar a complexidade.

(Edsger W. Dijkstra)

RESUMO

A madeira é um material versátil de disponibilidade renovável na natureza, empregada na construção civil por séculos e é notável por possuir alta resistência, facilidade de manuseio e baixo consumo de energia em seu processamento. O setor de florestas plantadas no Brasil, cresce significativamente a cada ano, e a atividade que mais demanda do cultivo de árvores plantadas é a construção civil. A madeira como material estrutural possui qualidades compatíveis com o concreto e o aço e contribui com o meio ambiente, por ser sustentável e ter a possibilidade de fabricação pela renovação da matéria prima. Os projetos de estruturas de madeira devem seguir os preceitos normativos da ABNT NBR 7190:2022 como critério de verificação e dimensionamento. Dessarte, o presente trabalho objetiva expandir um *software* para dimensionar e verificar peças estruturais de madeira submetidas a esforços de flexão, com a finalidade de disponibilizá-lo a comunidade acadêmica e profissional da construção civil que deseja utilizar a madeira como elemento estrutural.

Palavras-chave: Dimensionamento. Estruturas de madeira. Flexão.

ABSTRACT

Wood is a versatile material that is available in renewable nature and has been used in construction for centuries and is notable for its high strength, ease of handling and low energy consumption in its processing. The planted forest sector in Brazil grows significantly every year, and the activity that most demands the cultivation of planted trees is civil construction. Wood as a structural material has qualities compatible with concrete and steel and contributes to the environment, as it is sustainable and has the possibility of manufacturing by renewing the raw material. Wood structure projects must follow the normative precepts of ABNT NBR 7190:2022 as a verification and design criterion. Thus, the present work aims to expand a software to design and verify structural pieces of wood subjected to bending stresses, in order to make it available to the academic and professional community of civil construction that wishes to use wood as a structural element.

Keywords: Design. Wooden structures. Inflection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - <i>Longhouse</i> neolítica	20
Figura 1.2 - Edifício <i>Ascent</i>	21
Figura 1.3 - Entrada de dados (resistência à compressão)	24
Figura 2.1 - Participação do valor adicionado da atividade de produção florestal na atividade econômica nacional: média dos últimos 10 anos (%)	28
Figura 2.2 - Florestas Plantadas	28
Figura 2.3 - Distribuição de área plantada de eucalipto em 2023 (%)	29
Figura 2.4 - Distribuição de área plantada de pinus em 2023 (%)	29
Figura 2.5 - Histórico de áreas plantadas no Brasil 2015-2023 (milhões de hectares)	30
Figura 2.6 – Carvalho (<i>Quercus Robur</i>)	31
Figura 2.7 - Pinheiro-do-Paraná (<i>Araucaria Angustifolia</i>)	31
Figura 2.8 - Madeira maciça	32
Figura 2.9 - Madeira roliça	33
Figura 2.10 - Madeira falquejada	33
Figura 2.11 - Madeira serrada	34
Figura 2.12 - Madeira compensada	35
Figura 2.13 - Madeira laminada e colada	36
Figura 2.14 - MDF (<i>Medium Density Fiberboard</i>)	36
Figura 2.15 - Flexão na madeira	37
Figura 2.16 - Momento fletor em torno de um dos eixos principais de inércia	38
Figura 2.17 - Momento fletor fora dos eixos principais de inércia	39
Figura 3.1 - Fluxograma de caracterização das propriedades de resistência e rigidez das madeiras	41
Figura 4.1 - Introdução de Informações (Flexão Simples Reta)	47
Figura 4.2 - Cálculo e Verificação feitos pelo SiOlRo WOOD	47
Figura 4.3 - Entrada de dados Flexão Simples Oblíqua	48
Figura 4.4 - Determinação do coeficiente de modificação.	49
Figura 4.5 - Cálculo e Verificação feitos pelo SiOlRo WOOD	49
Figura 4.6 - Fluxograma Código Flexão Simples pela ABNT NBR 7190:2022	50
Figura 4.7 - Entrada de dados Flexotração	51
Figura 4.8 - Cálculo e Verificação pelo <i>Software</i>	52
Figura 4.9 - Introdução de Informações Flexocompressão	52
Figura 4.10 - Cálculo e Verificação Flexocompressão	53
Figura 4.11 - Fluxograma Lógica de Programação Flexão Composta	54
Figura 5.1 - Relatório emitido pelo <i>software</i> para o ensaio de flexão simples reta	57
Figura 5.2 - Relatório do <i>software</i> para o ensaio de flexão simples oblíqua	60
Figura 5.3 – Página 1 do Relatório do <i>software</i> para o ensaio de flexotração	63
Figura 5.4 - Página 2 do Relatório do <i>software</i> para o ensaio de flexotração	64
Figura 5.5 - Relatório de cálculo do <i>software</i> para o ensaio de flexocompressão	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classes de umidade	40
Tabela 3.2 - Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpo de prova isentos de defeitos.....	41
Tabela 3.3 - Classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais.....	42
Tabela 3.4 - Definição de classes de carregamento e valores de k_{mod1}	43
Tabela 3.5 - Valores de k_{mod2}	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CLT	<i>Cross Laminated Timber</i>
CTBUH	<i>Council on Tall Buildings and Urban Habitat</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EN	Norma Européia
IBÁ	Indústria Brasileiro de Árvores
LVL	<i>Lamited Veneer Lumber</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MLC	Madeira Laminada Colada
MLCC	Madeira Laminada Colada Cruzada
NLT	<i>Nail-Laminated Timber</i>
OSL	<i>Oriented Strand Lumber</i>
VB	<i>Visual Basic</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

σ	Tensão normal
M_y	Momento fletor entorno do eixo y
I	Momento de inércia
M_z	Momento fletor entorno do eixo z
y	Coordenada do eixo y da peça com origem no centroide
z	Coordenada do eixo z da peça com origem no centroide
$f_{v0,k}$	Resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras
$E_{c0, m}$	Módulo de elasticidade a 0° médio
$f_{b,k}$	Resistência à flexão
$f_{t,0,k}$	Resistência à tração paralela às fibras
$f_{t,90,k}$	Resistência à tração perpendicular às fibras
$f_{c,0,k}$	Resistência à compressão paralela às fibras
$f_{c,90,k}$	Resistência à compressão perpendicular às fibras
$f_{v,k}$	Resistência característica ao cisalhamento
$E_{0,05}$	Módulo de elasticidade a 0° característico
$E_{90,m}$	Módulo de elasticidade a 90° médio
G_m	Módulo de elasticidade transversal médio
ρ_k	Densidade característica
ρ_m	Densidade média
$\sigma_{M,d}$	Tensão máxima de cálculo atuante de flexão

$f_{m,d}$	Resistência de cálculo à flexão
M_d	Momento fletor de cálculo
W	Módulo de resistência
$\sigma_{Mx,d}$	Tensão máxima de cálculo da componente x de flexão
$\sigma_{My,d}$	Tensão máxima de cálculo da componente y de flexão
k_M	Coefficiente de correção

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	20
1.1 ASPECTOS GERAIS.....	20
1.2 JUSTIFICATIVA	22
1.2.1 <i>Software</i>	22
1.2.1.1 <i>Software Visual Basic</i>	22
1.2.1.2 <i>Software</i> para Tração e Compressão	23
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 Objetivo Geral	25
1.3.2 Objetivos Específicos	25
1.4 ESCOPO	25
1.5 metodologia	26
CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA	27
2.1 MADEIRA	27
2.1.1 Madeira Plantada	28
2.1.2 Classificação das Madeiras.....	30
2.1.2.1 Madeiras Duras (dicotiledôneas, folhosas).....	30
2.1.2.2 Madeiras Macias (coníferas)	31
2.1.3 Tipos de Madeira	32
2.1.3.1 Madeiras Maciças	32
2.1.3.2 Madeiras Industrializadas	34
2.2 DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS FLETIDAS	37
2.2.1 Flexão Simples Reta (Pura)	38
2.2.2 Flexão Simples Oblíqua	38
CAPÍTULO 3 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A ABNT NBR 7190-1:2022	40
3.1 UMIDADE	40
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA	40
3.3 CLASSES DE RESISTÊNCIA	41
3.4 COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO.....	43
3.4.1 Coeficiente de Modificação k_{mod1}	43
3.4.2 Coeficiente de Modificação k_{mod2}	43
3.5 SOLICITAÇÕES.....	44
3.5.1 Flexão Simples Reta	44
3.5.2 Flexão Simples Oblíqua	45

3.5.3 Flexotração	45
3.5.4 Flexocompressão	45
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	46
4.1 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO DO <i>SiOlRo WOOD</i>	46
4.1.1 Flexão Simples	46
4.1.1.1 Reta.....	46
4.1.1.2 Obliqua	48
4.1.2 Flexão Composta	51
4.1.2.1 Flexotração	51
4.1.2.2 Flexocompressão	52
CAPÍTULO 5 ENSAIOS NUMÉRICOS	55
5.1 ENSAIO NUMÉRICO PARA FLEXÃO SIMPLES RETA.....	55
5.2 ENSAIO NUMÉRICO PARA FLEXÃO SIMPLES OBLÍQUA	58
5.3 ENSAIO NUMÉRICO PARA FLEXOTRAÇÃO	61
5.4 ENSAIO NUMÉRICO PARA FLEXOCOMPRESSÃO	65
CAPÍTULO 6 CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	68

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

A madeira é um material amplamente utilizado na construção civil contemporaneamente, mas vem sendo empregada pelo homem desde épocas pré-históricas. Ela é, certamente, o material mais antigo aplicado na construção tanto por sua disponibilidade como recurso renovável na natureza, quanto por sua versatilidade. Até o século XIX, as obras de engenharia mais importantes eram construídas com pedras ou madeiras ou a combinação desses dois materiais (PFEIL;PFEIL, 2003).

No continente europeu, o uso da madeira foi bastante difundido, devido a sua capacidade de conforto térmico, e se aprimorou com o desenvolvimento de ferramentas metálicas (EESC JR., 2022). A *Longhouse* neolítica (Figura 1.1) é um exemplo de construção residencial com a aplicação da madeira como material (EESC JR., 2022).

Figura 1.1 - *Longhouse* neolítica



Fonte: BUDAKALÁSZ (2018).

Em países do hemisfério norte, normalmente de clima frio, a madeira se sobressai como material construtivo e estrutural, de qualidades compatíveis com o concreto e alguns metais como o aço e o alumínio (OLIVEIRA; PEDRINI; PINTO, 2017).

O edifício em madeira mais alto, atualmente construído, é o *Ascent* (Figura 1.2), localizado nos Estados Unidos da América (EUA), na cidade de *Milwaukee*, com 86,6 metros de altura.

Certificado pelo *Council on Tall Buildings and Urban Habitat* (CTBUH), a torre nomeada como o edifício de madeira mais alto do mundo possui uma estrutura híbrida de concreto e madeira (BLOG CANAL DA ENGENHARIA, 2023).

Figura 1.2 - Edifício *Ascent*



Fonte: KORB.

No Brasil, a madeira é empregada na construção de residências, depósitos, igrejas, pontes, cimbramento, passarelas, construções rurais, linhas de transmissão de energia elétrica e edificações em ambientes altamente corrosivos. Ela está presente em, praticamente, todas as etapas da construção civil, tornando-se aplicável como formas, escoramentos, parte estrutural, acabamentos em pisos, forros e esquadrias, além de proporcionar beleza e sofisticação (FILHO *et al.*, 2018).

Atualmente, a madeira é um dos materiais mais sustentáveis utilizado na construção civil, apresentando uma significativa relação resistência/peso específico. A madeira tem um bom desempenho à flexão por consequência do bom comportamento aos esforços de tração e compressão (CORREIA, 2009).

A alta resistência, facilidade de manuseio e o baixo consumo de energia para o processamento da madeira, são propriedades que a tornam notável para fabricantes e trabalhadores finais. A possibilidade de produção da madeira através de florestas nativas e provenientes do reflorestamento, sustentam a fabricação da madeira pela renovação da matéria prima (ZENID, 2011).

1.2 JUSTIFICATIVA

As obras de construção civil necessitam seguir as especificações de seus respectivos projetos que, por sua vez, devem atender de forma adequada as indicações de normas específicas. Existem normas brasileiras que orientam os projetos de estruturas em madeira. Atualmente a norma que rege o dimensionamento de peças submetidas aos esforços de tração, compressão e flexão é a ABNT NBR 7190:2022.

Os engenheiros brasileiros possuem, de forma geral, dificuldades quanto a elaboração de projetos de estruturas em madeira, seja pela falta de capacitação ou pela dificuldade na compreensão da norma que rege o dimensionamento. Isso justifica o desenvolvimento deste trabalho, pois, quando projetada erroneamente, a estrutura será comprometida, podendo apresentar flechas demasiadas, instabilidades, empenamentos, dentre outros (FILHO *et al.*, 2018).

1.2.1 Software

Os avanços tecnológicos proporcionaram a criação de novos métodos de ensino-aprendizagem para auxiliar nas tarefas educacionais e profissionais, com o uso de ferramentas de programação. A programação é imprescindível em diversas atividades e setores, pois, por meio da lógica escrita de algoritmos e da utilização de linguagens de programação, é possível solucionar inúmeros desafios em diferentes áreas do conhecimento de maneira rápida e eficaz.

1.2.1.1 Software Visual Basic

Sousa (2023), desenvolveu um *software* de dimensionamento de peças estruturais de madeiras comprimidas, tracionadas e fletidas, conforme a ABNT NBR 7190-1/2022. A linguagem de programação *Visual Basic*[®] (VB) de baixa complexidade, desenvolvida pela Microsoft, foi implementada por ele no Microsoft *Excel*[®]. Além disso, o *Visual Basic*[®] foi utilizado para o desenvolvimento de algoritmos.

Vale ressaltar que foram utilizadas caixas de seleção, caixas de textos, botões de opção, barra de rolagem, botão de comando dentre outros, que foram atrelados ao banco de dados estabelecido no *Excel*[®], necessitando do pacote Office para desenvolver. Atualmente, existe a versão gratuita do pacote Office Microsoft 365 na web, porém, com recursos limitados.

1.2.1.2 *Software* para Tração e Compressão

Silva (2021) desenvolveu um *software* que dimensiona e verifica peças estruturais de madeira sob o esforço de tração de acordo com a ABNT NBR 7190/1997. A linguagem de programação utilizada no código foi a *Python*.

Em 2022, Oliveira desenvolveu a expansão do *software* de Silva (2021) para verificação e dimensionamento de peças estruturais em madeira submetidas aos esforços de tração e compressão em conformidade com a já descontinuada ABNT NBR 7190/1997 e ABNT NBR 7190/2022. O código foi escrito na linguagem de programação *Python*, com o intuito de fazer a verificação do tipo de madeira que o usuário utilizaria, referente aos esforços de tração e compressão paralela às fibras da madeira.

A princípio, o código questiona sobre qual normativa o usuário deseja verificar, se a NBR 7190/1997 ou a NBR 7190/2022. Escolhida a NBR de 2022, o código pergunta qual o tipo de ação exercida sobre a madeira, apresentando duas alternativas: esforço de tração ou compressão. Em ambas as opções, o código perguntará qual a origem da madeira, sendo as opções: floresta nativa ou floresta plantada. Escolhida uma das opções, o código segue indagando se o usuário conhece o valor da resistência característica paralela às fibras e o módulo de elasticidade a 0° característico (orientação paralela às fibras). Se o usuário conhecer, ele precisará informar esses valores, caso não conheça, é solicitada a espécie e a classe de resistência da madeira. A Figura 1.4 apresenta a interface inicial de funcionamento do *software*.

Figura 1.3 - Entrada de dados (resistência à compressão)

```

VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA

Qual normativa você pretende utilizar?
  (1) NBR 7190/1997      (2) NBR 7190/2022
2

Qual o tipo de ação exercida na madeira?
  (1) Tração            (2) Compressão
2
Você escolheu verificação à COMPRESSÃO!

Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o PONTO como separador decimal.

Qual o tipo de floresta que a peça veio?
  (1) Floresta nativa    (2) Floresta plantada
2
Você saberia informar o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras da madeira?
  (1) Sim                (2) Não
2
Então vamos escolher uma classe de resistência!

Você pretende trabalhar com CONÍFERA ou FOLHOSA?
  (1) Coníferas          (2) Folhosas
2
Dentre as opções abaixo, qual classe de resistência te atende?
  (1) D18  (2) D24  (3) D30  (4) D35  (5) D40  (6) D50  (7) D60  (8) D70
4

```

Fonte: Oliveira (2022).

Vários programadores ao redor do mundo utilizam a linguagem de programação *Python* para o desenvolvimento de *softwares* que atendam às suas necessidades. Isto se deve a forma intuitiva, simples e versátil de sua aplicação, proporcionando automação de processos e análises de dados.

Há ainda outros *softwares* de verificação e dimensionamento de peças estruturais de madeira, como o *RX-TIMBER*, que dimensiona vigas, pilares, pórticos, coberturas, dentre outros, porém, são dimensionamentos baseados em normas europeias (EN) e alemãs (DIN).

Levando em consideração a recente atualização da norma ABNT NBR 7190, que entrou em vigor no ano de 2022, alguns *softwares* gratuitos, como o Jwood, criado em 2014 estão disponibilizados baseados na antiga norma brasileira ABNT NBR 7190/1997.

Dessarte, o presente trabalho se torna pertinente a profissionais e acadêmicos, revelando-se como uma alternativa gratuita e atualizada para dimensionar peças estruturais em madeira submetidas a diferentes esforços e também verificar o dimensionamento manual.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Expandir o *software* de Oliveira (2022) para dimensionar peças em madeira submetidas ao esforço de flexão em anuência com a norma ABNT NBR 7190:2022.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar a linguagem de programação *Python*;
- Estudar o *software* e código desenvolvido por Oliveira (2022), o qual proporcionou a verificação de peças tracionadas e comprimidas conforme a ABNT NBR 7190:2022;
- Estudar a ABNT NBR 7190:2022 para o dimensionamento de peças estruturais de madeira com ênfase na flexão;
- Expandir o *software* dispondo da linguagem de programação *Python*, para o dimensionamento de peças fletidas, em conformidade com a ABNT NBR 7190:2022;
- Realizar ensaios numéricos;
- Apresentar comparações entre resultados por meio de verificações.

1.4 ESCOPO

Este trabalho trata da verificação e do dimensionamento de peças de madeiras fletidas, distribuídos em 06 (seis) capítulos, como especificado a seguir:

O CAPÍTULO 1 aborda a introdução ao assunto do trabalho, trazendo aspectos gerais relevantes, justificando a viabilidade e traçando objetivos à pesquisa.

O CAPÍTULO 2 apresenta o referencial teórico estudado sobre a madeira, bem como suas classificações, tipos e cenário atual em que está inserida na construção civil e nas florestas plantadas. Ainda, o capítulo discorre sobre o dimensionamento de peças submetidas a esforços de flexão.

O CAPÍTULO 3 explana sobre os critérios de dimensionamento de peças estruturais em madeira segundo a ABNT NBR 7190:2022, destacando-se a flexão.

No CAPÍTULO 4 é apresentada a metodologia utilizada para alcançar os objetivos do presente estudo.

O CAPÍTULO 5 apresenta os resultados alcançados para o desenvolvimento do *software*, com ensaios numéricos sistematizados no CAPÍTULO 6.

No CAPÍTULO 7 estão as conclusões.

1.5 METODOLOGIA

Para introduzir o presente estudo, consultou-se livros, artigos científicos e normas da ABNT, fazendo uso de internet e computador com o aplicativo Python instalado para implementar o *software* de dimensionamento de peças submetidas à flexão.

Inicialmente, foram estudados os critérios de dimensionamento de peças estruturais de madeira submetidas à flexão simples apresentados pela ABNT NBR 7190:2022. Em seguida a linguagem de programação Python foi explorada a fim de se obter conhecimento necessário para implementar o *software* de verificação e dimensionamento das peças de madeira sob a ação da flexão simples.

Na sequência, foi realizado o levantamento do referencial teórico relacionado ao tema do trabalho, a fim de proporcionar clareza e enriquecer o conhecimento sobre o assunto em questão. O código de programação da Oliveira (2022) foi analisado com o intuito de depreender a lógica utilizada na verificação e dimensionamento de peças tracionadas e comprimidas, e então, partir para a implementação do código de programação do presente trabalho.

Após os estudos preliminares, foi desenvolvido o código de programação para dimensionar e verificar peças de madeira submetidas à flexão simples reta e flexão simples oblíqua de acordo com a ABNT NBR 7190:2022. Ao concluir o *software* foram realizados testes através de ensaios numéricos para verificar a executabilidade, eficácia e exatidão de resultados obtidos pelo código.

Em seguida, a fim de tornar o *software* mais completo, o código foi complementado para executar o dimensionamento e verificação de peças submetidas à flexotração e flexocompressão. Ao fim da complementação, foram realizados ensaios numéricos para verificar a executabilidade, eficácia e exatidão de resultados obtidos pelo programa.

CAPÍTULO 2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MADEIRA

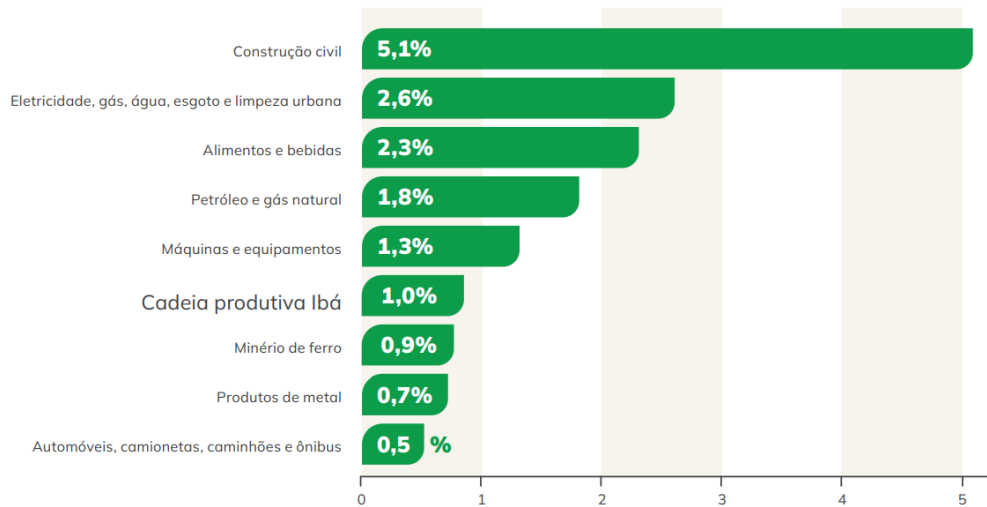
A madeira é um material orgânico, produzido por fontes renováveis em florestas naturais, ou artificiais decorrentes de reflorestamento, e possui uma infinidade de aplicações. Os elementos anatômicos estruturais da madeira são os responsáveis por suas elevadas propriedades mecânicas. A madeira é composta por fibras de celulose resistentes e flexíveis e por uma matriz de lignine que é responsável por dar rigidez e liga aos elementos estruturais. Com base na microestrutura da madeira, é possível utilizar diferentes espécies em diversas aplicações na construção civil (SANTOS, 2018).

Segundo Almeida *et al.* (2021), o concreto armado ainda é uma opção muito desejada por muitos países, considerando seus benefícios, porém, seu uso deixa a desejar em termos de sustentabilidade. Pesquisas apontam que o uso do concreto e do aço, em países desenvolvidos, é responsável pelo consumo de materiais naturais, em sua maioria, não renováveis, recursos energéticos e emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Em contrapartida, a madeira se sobressai como material de fonte inesgotável, por ser um recurso natural e ter a possibilidade de renovação, uma vez que a extração de tal material seja de forma legal.

O Brasil possui potencial para a exploração florestal, visto que detém uma grande área degradada para investir nesse setor. Mas ainda existe preconceito com o uso da madeira, considerando suas características de expansão em sua seção pelo contato com a umidade, e por estar sujeita a degradação biológica e ao fogo. Entretanto, a madeira pode ser tratada de forma adequada para conservar suas propriedades e tornar a sua estrutura durável (JUNIOR; SILVA; SOARES, 2017).

Segundo o relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) de 2023, referente aos dados obtidos no ano de 2022, o setor de árvores plantadas possuía uma área de 9,94 milhões de hectares, substituindo áreas degradadas e pastos de baixa produtividade por, principalmente, eucaliptos e pinus. O setor de árvores nativas abrangia uma área de 6,7 milhões de hectares. Dentre as atividades que demandam do cultivo de árvores para fins industriais, a construção civil está em primeiro lugar (Figura 2.1).

Figura 2.1 - Participação do valor adicionado da atividade de produção florestal na atividade econômica nacional: média dos últimos 10 anos (%)



Fonte: IBÁ (2023).

2.1.1 Madeira Plantada

A utilização da madeira para fins previstos antes mesmo de seu cultivo, contribui para diversos benefícios ambientais, levando a preservação da biodiversidade e evadindo a degradação ambiental. O setor de árvores cultivadas é um dos motores da economia no Brasil, gerando empregos, receitas, economia de baixo carbono e produto final para os consumidores, como: papéis, roupas de fibras da madeira, madeiras para a indústria da construção civil e energia limpa para fins industriais (IBÁ, 2024).

De acordo com o IBÁ (2024), em 2023, a área de árvores plantadas no Brasil ultrapassou, pela primeira vez, os 10 milhões de hectares, redundando em 3% de crescimento em relação ao ano de 2022. A Figura 2.2 apresenta a imagem de florestas plantadas fornecida pelo IBÁ.

Figura 2.2 - Florestas Plantadas

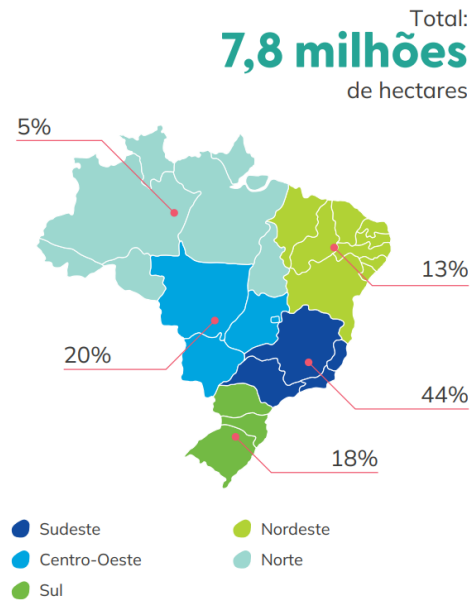


Fonte: IBÁ (2024).

A madeira de eucalipto, que é comumente utilizada na construção civil em vigas, pilares, coberturas e em acabamentos, abrange 76% da área plantada no Brasil, com participação

significativa da região sudeste do país, principalmente pelo Estado de Minas Gerais, conforme ilustrado na Figura 2.3.

Figura 2.3 - Distribuição de área plantada de eucalipto em 2023 (%)



Fonte: IBÁ (2024).

A área plantada de pinus abrangeu 19% da área total de florestas plantadas, com maior concentração de cultivo na região Sul do Brasil, como mostra a Figura 2.4.

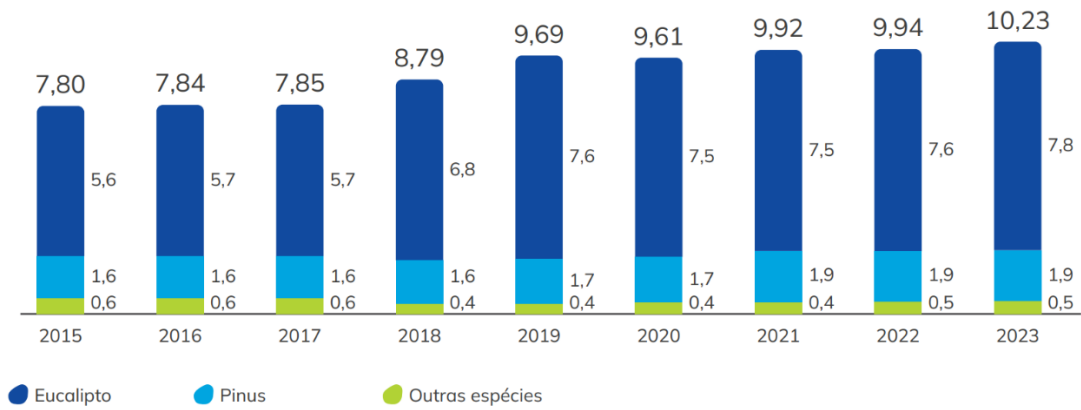
Figura 2.4 - Distribuição de área plantada de pinus em 2023 (%)



Fonte: IBÁ (2024).

Comparado ao ano de 2022 (Figura 2.5), o pinus se manteve constante em 2022. Outras espécies de árvores compõem 5% da área plantada.

Figura 2.5 - Histórico de áreas plantadas no Brasil 2015-2023 (milhões de hectares)



Fonte: IBÁ (2024).

2.1.2 Classificação das Madeiras

Pfeil e Pfeil (2003) afirma que as madeiras de uso na construção civil são fragmentadas em duas categorias: madeiras duras e madeiras macias. Essas são obtidas dos troncos de árvores.

A ABNT NBR 7190:2022 classifica as madeiras coníferas (moles) e folhosas (duras) de florestas plantadas por classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais, a partir da classificação visual e mecânica das peças e da mensuração da densidade da madeira.

2.1.2.1 Madeiras Duras (dicotiledôneas, folhosas)

Conforme Pfeil e Pfeil (2003), as madeiras duras são provenientes de árvores frondosas, com folhas largas e achatadas, da classe Angiosperma. As árvores folhosas apresentam um crescimento lento e troncos densos, como Peroba (*Aspidosperma Polyneouron*), Carvalho (*Quercus Robur*) (Figura 2.6), Ipê (*Handroanthus*) etc.

Figura 2.6 – Carvalho (*Quercus Robur*)



Fonte: CULTURAMIX (2018).

2.1.2.2 Madeiras Macias (coníferas)

As coníferas são de classe Gimnosperma, de crescimento rápido e possuem folhas com formato de escamas ou agulhas e em suas sementes há um aspecto de cones agrupados, como Pinheiros europeus (*Pinus Pinaster*), Pinheiro-bravo (*Pinus Pinaster*), Pinheiro-do-paraná (*Araucaria Angustifolia*) (Figura 2.7) etc.

Figura 2.7 - Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria Angustifolia*)



Fonte: PINHEIROPARANA (2012).

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), as dicotiledôneas perdem suas folhas no outono, enquanto as coníferas preservam suas folhas durante todo o ano. Elas se distinguem pela estrutura dos troncos e não pela resistência.

2.1.3 Tipos de Madeira

As madeiras de uso na construção civil são classificadas em dois tipos: madeiras maciças e madeiras industrializadas, conforme definido por Pfeil e Pfeil (2003) a seguir:

2.1.3.1 Madeiras Maciças

A madeira maciça (Figura 2.8) é isenta de processos que alteram suas propriedades naturais, sendo disponibilizada diretamente das árvores. Ela se subdivide em: madeira bruta ou roliça, madeira falquejada e madeira serrada.

Figura 2.8 - Madeira maciça



Fonte: Carpintaria Rezende (2022).

A madeira roliça (Figura 2.9) é utilizada em forma de tronco, tornando-se presente com mais frequência em obras provisórias, como por exemplo, em escoramentos. Além disso, as madeiras roliças podem ser utilizadas como postes, estacas, pilares etc. A fim de evitar rachaduras nas extremidades da madeira, por perda de umidade, as árvores são extraídas em períodos da seca, quando o teor de umidade no tronco é menor. Após o abatimento, é necessário retirar a casca para o tronco secar, até atingir o ponto de equilíbrio com a umidade atmosférica.

Figura 2.9 - Madeira roliça



Fonte: ECOTRAT (2018).

A madeira falquejada (Figura 2.10) possui faces laterais cortadas por machado, em formatos quadrado ou retangular, formando seções maciças. Geralmente, é utilizada em estacas, pontes e cortinas cravadas de contenção.

Figura 2.10 - Madeira falquejada



Fonte: MARCOS (2017).

A madeira serrada (Figura 2.11) possui dimensões padronizadas, sendo a mais comum na construção civil. Seu tronco é cortado em serrarias, por serras de fita contínua, o que garante as suas dimensões dentro dos padrões comerciais. O abatimento da árvore deve ser seguido do

desdobramento do tronco em peças o mais breve possível, de modo a evitar as imperfeições consequentes da secagem da madeira.

Figura 2.11 - Madeira serrada



Fonte: MARCOS (2017).

2.1.3.2 Madeiras Industrializadas

Os processos industriais melhoram as propriedades físico-mecânicas da madeira, atribuindo composições a partir de lamelas selecionadas de madeiras, como o eucalipto e pinus. As madeiras industrializadas são subdivididas em: madeira compensada, madeira laminada (ou microlaminada) e colada e madeira recomposta.

A madeira compensada (Figura 2.12) é formada pela colagem de três ou mais lâminas delgadas, de direções das fibras alternadamente ortogonais. A madeira compensada é o produto mais antigo. Os compensados são colados sempre em quantidades ímpares, e formam um material mais aproximadamente isotrópico em comparação as madeiras maciças. Os compensados apresentam vantagens sobre as madeiras maciças, como: a fabricação em folhas grandes, limitando os defeitos; redução de retração e expansão, devido à ortogonalidade de direção das fibras nas camadas adjacentes; mais resistente na direção normal às fibras; redução de trincas na cravação de pregos; e permite o emprego de madeira mais resistente nas partes externas e menos resistentes nas camadas internas. Porém, o custo da madeira compensada é mais elevado que o valor da madeira maciça.

Figura 2.12 - Madeira compensada



Fonte: MARCOS (2017).

A madeira laminada e colada (Figura 2.13) é o produto mais essencial nos países da Europa e América do Norte, sendo um material estrutural, composto por associação de lâminas de madeira selecionada, fixadas com adesivos e pressionadas. As lâminas possuem fibras paralelas, e geralmente têm espessura entre 1,5 cm e 3,0 cm, podendo chegar a 5 cm. Os produtos estruturais de madeira laminada e colada são formados com padrões rígidos de qualidade, garantindo a resistência e durabilidade e resulta em um material mais homogêneo. A madeira laminada colada se sobressai por possuir características mais vantajosas que as madeiras maciças, como: possibilidade de peças de grandes dimensões; permite um melhor controle de umidade das peças, diminuindo as imperfeições causadas pela secagem inadequada; possibilita escolher a qualidade das lâminas que se encontram nas posições que mais sofrem tensões; e permite a construção de peças curvas. A desvantagem mais relevante da madeira laminada é o seu preço elevado, em comparação a madeira serrada (PFEIL;PFEIL, 2003).

Figura 2.13 - Madeira laminada e colada



Fonte: CALIL (2017).

A madeira recomposta (Figura 2.14) é obtida em forma de placas, implementada a partir de resíduos de madeira serrada e compensada transformados em flocos, lamelas ou partículas e colados sob pressão. Estas placas prensadas não são, geralmente, consideradas materiais estruturais, pois possuem baixa resistência e durabilidade, sendo aplicadas normalmente na indústria de móveis.

Figura 2.14 - MDF (*Medium Density Fiberboard*)

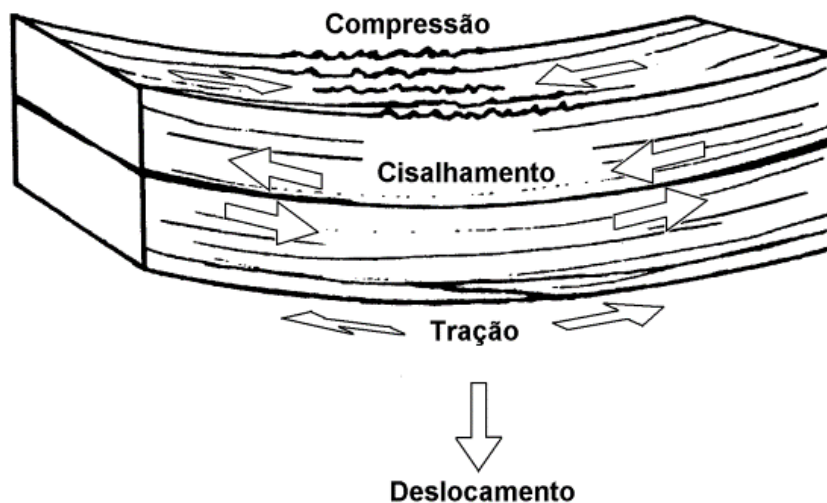
Fonte: Andrade (2018).

Atualmente, existem vários tipos de madeiras industrializadas, como: *Medium Density Fiberboard* (MDF), Madeira Lamelada Colada (MLC), Madeira Lamelada Colada Cruzada (MLCC) ou (CLT – *Cross Laminated Timber*), Madeira Microlaminada Colada (LVL – *Laminated Veneer Lumber*), *Nail-Laminated Timber* (NLT), *Parallel Strand Lumber* (PSL), *Oriented Strand Lumber* (OSL) etc. Essa quantidade demasiada de produtos de madeira industrializada demonstra a velocidade de desenvolvimento da tecnologia e o uso crescente de madeiras na construção civil, criando inúmeras possibilidades de arranjo estrutural (OLIVEIRA; OLIVEIRA; BRAZOLIN, 2023).

2.2 DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS FLETIDAS

Os esforços solicitantes de momento fletor, resultam em quatro tipos de esforços na peça: compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal e, nos apoios, compressão normal às fibras (Figura 2.15). A ruptura em peças fletidas ocorre com a formação de pequenas falhas de compressão seguidas do esmagamento na região comprimida da seção, gerando o aumento da área comprimida e a redução da área tracionada, sendo capaz de romper por tração, devido ao acréscimo de tensões nesta região (VALLE *et al.*, 2012).

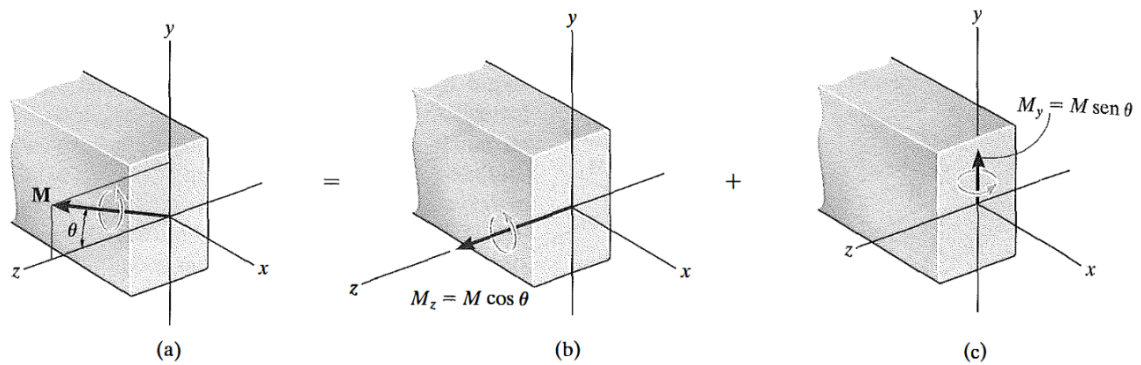
Figura 2.15 - Flexão na madeira



Fonte: RITTER (1990).

A ausência de força normal na seção transversal da peça é o que diferencia a flexão simples da flexão composta. Ainda essa, é subdividida em: flexão simples reta e flexão simples oblíqua (BASTOS, 2023).

Figura 2.17 - Momento fletor fora dos eixos principais de inércia



Fonte: HIBBELER (2010).

De acordo com Hibbeler (2010), deve-se decompor o momento em componentes dirigidas ao longo dos eixos principais, para ser usada a fórmula da flexão. Fazendo uso do princípio de superposição dos efeitos, a tensão normal resultante pode ser determinada pela Equação 2.2.

$$\sigma = -\frac{M_z \cdot y}{I_z} + \frac{M_y \cdot z}{I_y} \quad (2.2)$$

Onde, M_y é o momento fletor em torno do eixo y , z é a distância da linha neutra até a borda da peça e I_y é o momento de inércia em y .

CAPÍTULO 3 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A ABNT NBR 7190-1:2022

A ABNT NBR 7190-1:2022 estabelece os requisitos para elaboração de projeto e execução de estruturas de madeira, inclusive, estruturas formadas por tesouras planas com ligações pregadas, parafusadas ou feitas com chapas de dente estampado. A norma abrange os requisitos e princípios dos estados-limite, incluindo situações de incêndio e durabilidade, apresentando métodos de cálculo para dimensionar e verificar os elementos estruturais quanto a segurança estrutural. Ademais, as principais definições apresentadas pela ABNT NBR 7190-1/2022 são representadas a seguir, com destaque em peças fletidas.

3.1 UMIDADE

Para a elaboração de projetos estruturais de madeira, deve-se admitir uma das classes de umidade descritas na Tabela 3.1, a fim de ajustar as propriedades de resistência e rigidez da madeira, considerando as condições ambientais em que a estrutura se encontra.

Tabela 3.1 - Classes de umidade

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente (Uamb)	Umidade de equilíbrio máxima da madeira
1	$U_{amb} \leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: ADAPTADO DA ABNT NBR 7190-1 (2022).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

As propriedades de resistência e rigidez da madeira são imputadas, geralmente, a lotes homogêneos, ou seja, quando o coeficiente de variação da resistência à flexão das peças for inferior a 20%, de acordo com a ABNT NBR 7190-4:2022. Para avaliar a homogeneidade, pode-se agrupar após a separação de peças por defeitos, ou incidência de densidades, ou outras propriedades, melhorando a homogeneidade dentro de cada grupo.

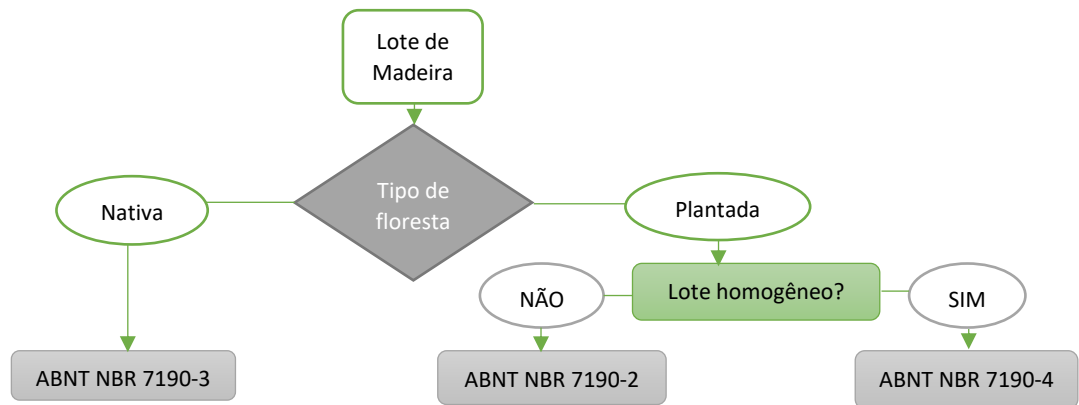
Para os lotes homogêneos de madeiras advindas de florestas plantadas, deve-se extrair amostras de peças estruturais que precisam ser ensaiadas de acordo com a ABNT NBR 7190-4:2022. A partir da resistência característica à flexão ($f_{m,k}$) da amostra, é atribuída a classe de resistência, sendo definidos os valores de resistência e rigidez da madeira.

Para lotes homogêneos de madeira de florestas nativas, os corpos de prova, que podem ser isentos de defeitos, devem ser ensaiados de acordo com a ABNT NBR 7190-3:2022. A classe

de resistência do lote é atribuída partindo da resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) da amostra.

Nos lotes de madeiras de florestas plantadas que não se pode garantir a homogeneidade, mas são conhecidos os efeitos de defeitos na resistência e rigidez, as propriedades são atribuídas a cada peça estrutural separadamente. Estas peças devem ser classificadas de forma visual e mecânica, conforme a ABNT NBR 7190-2:2022 (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Fluxograma de caracterização das propriedades de resistência e rigidez das madeiras



Fonte: ADAPTADO DA ABNT 7190-1 (2022).

3.3 CLASSES DE RESISTÊNCIA

As classes de resistência das madeiras objetivam a utilização de madeiras com propriedades padronizadas, orientando na escolha do material para elaboração de projetos estruturais. A Tabela 3.2 e a Tabela 3.3 apresentam os valores de resistência definidos em ensaios de acordo com a ABNT NBR 7190:2022.

Tabela 3.2 - Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpo de prova isentos de defeitos

Classes	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,med}$ (MPa)	Densidade a 12% (Kg/m ³)
D20	20	4	10 000	500
D30	30	5	12 000	625
D40	40	6	14 500	750
D50	50	7	16 500	850
D60	60	8	19 500	1 000

NOTA 1 Os valores desta Tabela foram obtidos de acordo com a ABNT NBR 7190-3
 NOTA 2 Valores referentes ao teor de umidade igual a 12%
 NOTA 3 Os valores das classes de resistência para espécies nativas estão disponíveis na ABNT NBR 7190-3:2022, Tabela A.1.

Fonte: ADAPTADO DA ABNT NBR 7190-1 (2022).

Tabela 3.3 - Classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais

		Coníferas												Folhosas							
	Símbolo	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propriedades de resistência (MPa)																					
Flexão	$f_{b,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tração paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tração perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compressão perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	11	13,5
Cisalhamento	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propriedades de rigidez (GPa)																					
Módulo de elasticidade a 0° médio	$E_{0,m}$	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidade a 0° característico	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10	11	8	8,5	9,2	10	11	12	14	16,8
Módulo de elasticidade a 90° médio	$E_{90,m}$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1	1,33
Módulo de elasticidade transversal médio	G_m	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,25
Densidade (Kg/m³)																					
Densidade característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	560	620	700	900
Densidade média	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080
NOTA 1 Valores obtidos conforme a ABNT NBR 7190-4																					
NOTA 2 Valores referentes ao teor de umidade igual a 12%																					

Fonte: ADAPTADO DA ABNT NBR 7190-1 (2022).

3.4 COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO

Os coeficientes de modificação (k_{mod}) servem para alterar os valores característicos das propriedades de resistência da madeira, levando em consideração a classe de carregamento da estrutura e a classe de umidade admitida. A equação que define o coeficiente de modificação é expressa a seguir:

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \quad (3.1)$$

Onde, K_{mod1} é o coeficiente parcial de modificação 1 e K_{mod2} é o coeficiente parcial de modificação 2.

3.4.1 Coeficiente de Modificação k_{mod1}

A classe de carregamento e o tipo de madeira utilizada, são representados pelo coeficiente parcial de modificação k_{mod1} , de acordo com a Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Definição de classes de carregamento e valores de k_{mod1}

Classe de Carregamento	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica	Madeira serrada Madeira Rolixa Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
Permanente	Permanente	Mais de dez anos	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Seis meses a dez anos	0,70	0,45
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses	0,80	0,65
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana	0,90	0,90
Instantânea	Instantânea	Muito curta	1,10	1,10

Fonte: ADAPTADO DA ABNT NBR 7190-1 (2022).

3.4.2 Coeficiente de Modificação k_{mod2}

A classe de umidade e o tipo de madeira utilizada são representados pelo coeficiente parcial de modificação k_{mod2} , conforme a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Valores de kmod2

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
(1)	1,00	1,00
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70 ^a	0,90

^a Não é permitido o uso do MLCC para classes de umidade (4)

Fonte: ADAPTADO DA ABNT NBR 7190-1 (2022).

3.5 SOLICITAÇÕES

3.5.1 Flexão Simples Reta

Para peças fletidas, se considera o vão teórico igual ao menor dos seguintes valores: distância entre os eixos dos apoios; e vão livre acrescido da altura da seção transversal da peça no meio do vão, sem considerar um acréscimo maior que 10 centímetros.

Em barras submetidas a momento fletor em torno de um eixo central de inércia da seção transversal resistente, a seguinte inequação (Equação 3.2) deve ser atendida:

$$\frac{\sigma_{M,d}}{f_{m,d}} = \frac{\frac{M_d}{W}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (3.2)$$

Onde, $\sigma_{M,d}$ é o valor da tensão máxima de cálculo atuante de flexão, calculado por M_d/W ; $f_{m,d}$ é o valor da resistência de cálculo à flexão, que pode ser considerado $f_{m,d} = f_{c0,d}$ quando utilizada a Tabela 3.2; M_d é o valor do momento fletor de cálculo; W é o módulo de resistência da seção transversal na direção paralela às fibras, em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao plano de ação do momento fletor, conforme Equação 3.3.

$$W = \frac{I}{c} \quad (3.3)$$

Onde, I é o momento de inércia e c é a distância da linha neutra até a borda da peça.

3.5.2 Flexão Simples Oblíqua

Nas seções cujo momento fletor não possui um plano de ação em nenhum dos eixos centrais de inércia, aplica-se a mais rigorosa condição de segurança entre as duas condições a seguir (Equação 3.4):

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad e \quad k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (3.4)$$

Onde, $\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ são as tensões máximas de cálculo correspondentes às componentes de flexão atuantes nas direções principais; k_M é o coeficiente de correção, que pode ser utilizado com os seguintes valores: 0,7 para seção retangular; 1,0 para outras seções transversais.

3.5.3 Flexotração

A condição de segurança para barras flexo-tracionadas é expressa pela mais rigorosa entre as duas inequações a seguir (Equação 3.5), aplicadas na borda mais tracionada no ponto mais solicitado, considerando uma função linear para a atuação de tensões ocasionadas pela força normal de tração:

$$\frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad e \quad \frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (3.5)$$

Onde, $\sigma_{Nt,d}$ é o valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante devido apenas a força normal de tração; $f_{t0,d}$ é a resistência de cálculo à tração paralela às fibras.

3.5.4 Flexocompressão

A condição de segurança referente à resistência de seções transversais flexo-comprimidas é expressa pela mais rigorosa dentre as duas inequações a seguir (Equação 3.6), aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais comprimida, considerando-se uma função quadrática para a atuação de tensões ocasionadas pela força normal de compressão:

$$\left(\frac{\sigma_{Nc0,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad e \quad \left(\frac{\sigma_{Nc0,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (3.6)$$

Onde, $\sigma_{Nc,d}$ é o valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante devido apenas a força normal de compressão; $f_{c0,d}$ é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

O presente trabalho expandiu o *software* da Oliveira (2022) para dimensionar e verificar peças de madeira submetidas à flexão. O *software* nomeado por *SiOlRo WOOD*, tem como premissa a ABNT NBR 7190:2022 e segue a lógica de programação explanada neste capítulo.

4.1 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO DO *SiOlRo WOOD*

A princípio, o código indaga ao usuário sobre qual norma se pretende verificar, fornecendo duas opções: NBR 7190:1997 ou NBR 7190:2022. A primeira opção fornece a verificação de peças comprimidas e tracionadas pela obsoleta NBR 7190:1997, seguindo a lógica de programação dos códigos desenvolvidos por Silva (2021) e Oliveira (2022). Optando pela segunda alternativa, o código indaga a respeito do tipo de ação exercido na madeira, apresentando seis alternativas: tração, compressão, flexão simples reta, flexão simples oblíqua, flexotração e flexocompressão. Selecionando-se qualquer uma das alternativas, o código pergunta se a madeira é advinda de floresta nativa ou floresta plantada. Vale ressaltar que ao selecionar tração e compressão, o programa segue com o código desenvolvido por Oliveira (2022).

4.1.1 Flexão Simples

4.1.1.1 Reta

Se a madeira é de floresta nativa, o código pede o valor da resistência característica à compressão paralela à fibras da madeira e o coeficiente de modificação. Seguindo a verificação de peças submetidas à flexão simples reta provenientes de floresta plantada, o usuário deve informar o valor da resistência de cálculo à flexão. A Figura 4.1 demonstra o desempenho inicial do *software*.

Figura 4.1 - Introdução de Informações (Flexão Simples Reta)

```

VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA

Qual normativa você pretende utilizar?
  (1) NBR 7190/1997      (2) NBR 7190/2022
2

Qual o tipo de ação exercida na madeira?
(1) Tração
(2) Compressão
(3) Flexão Simples Reta
(4) Flexão Simples Oblíqua
(5) Flexotração
(6) Flexocompressão
3
Você escolheu verificação à FLEXÃO SIMPLES RETA!

Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o PONTO como separador decimal.

Qual o tipo de floresta que a peça veio?
  (1) Floresta nativa    (2) Floresta plantada
2
Qual é o valor da resistência de cálculo à flexão (fmd em KPa)?

```

Fonte: O Autor.

Após inserir o valor da resistência de cálculo à flexão, o código pergunta qual o tipo de seção transversal da peça, sendo: circular, quadrada ou retangular. Se a peça for circular é preciso fornecer o diâmetro da peça, se a seção transversal for quadrada é necessário informar o valor da dimensão lateral da peça, mas se a peça for retangular, o código pede o valor da dimensão da base e da altura da seção transversal. Selecionando o tipo de seção retangular e informando os valores das dimensões, o programa pede para ser informado o valor do momento fletor na direção atuante, sendo que em uma das duas direções o valor será zero, por se tratar de ser flexão simples reta, onde o momento atua em apenas uma das direções. Em seguida, o código informa o valor da máxima tensão atuante na flexão resistida pela peça e verifica se a peça resiste ou não à magnitude do esforço, conforme ilustrado na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Cálculo e Verificação feitos pelo *SiOIRO WOOD*

```

Dentre as opções abaixo, qual é o tipo da seção transversal?
  (1) Circular  (2) Quadrada  (3) Retangular
3
Informe a medida da base da seção transversal da peça: (em metros)
0.10
Informe a medida da altura da seção transversal da peça: (em metros)
0.25
Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na direção x: (em KN.m)
10
Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na direção y: (em KN.m)
0
A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça é de 9600.0 kPa.
Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira RESISTE ao esforço solicitante!

```

Fonte: O Autor.

4.1.1.2 Oblíqua

Se o usuário opta por verificar uma peça de madeira originária de floresta nativa e submetida à flexão simples oblíqua, o programa pergunta se o usuário sabe informar o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras, isso porque, de acordo com a ABNT NBR 7190:2022, para florestas nativas a resistência à flexão característica é igual a resistência característica à compressão paralela às fibras. O código ainda indaga se o coeficiente de modificação é conhecido, pois o usuário deve informar. A Figura 4.3 representa essa execução.

Figura 4.3 - Entrada de dados Flexão Simples Oblíqua

VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA

Qual normativa você pretende utilizar?

(1) NBR 7190/1997 (2) NBR 7190/2022

2

Qual o tipo de ação exercida na madeira?

(1) Tração
(2) Compressão
(3) Flexão Simples Reta
(4) Flexão Simples Oblíqua
(5) Flexotração
(6) Flexocompressão

4

Você escolheu verificação à **FLEXÃO SIMPLES OBLÍQUA!**

Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o **PONTO** como separador decimal.

Qual o tipo de floresta que a peça veio?

(1) Floresta nativa (2) Floresta plantada

1

Você saberia informar o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras da madeira e o coeficiente de modificação?

(1) Sim (2) Não

2

Fonte: O Autor.

Nos casos em que não se conhece o valor da resistência, o usuário deve escolher uma classe de resistência que melhor lhe atenda. Em seguida, é necessário informar o valor do coeficiente de modificação ou determina-lo através do tipo de madeira, da classe de carregamento e da classe de umidade do ambiente, conforme a Figura 4.4.

Figura 4.4 - Determinação do coeficiente de modificação

```

Então, vamos escolher uma classe de resistência!

Dentre as opções abaixo, qual classe de resistência te atende?
(1) D20 (2) D30 (3) D40 (4) D50 (5) D60
2
Você saberia informar o valor do coeficiente de modificação?
(1) Sim (2) Não
2
Então vamos determinar o coeficiente de modificação!

Qual o tipo de madeira utilizada?
(1) Serrada, roliça, lamelada colada, lamelada colada cruzada ou laminada colada (2) Recompota
1
Dentre as opções abaixo, qual a classe de carregamento te atenderia?
(1) Permanente
(2) Longa duração
(3) Média duração
(4) Curta duração
(5) Instantânea
1
Dentre as opções abaixo, qual a classe de umidade do ambiente?
(1) Menor ou igual a 65%
(2) Entre 65,1% e 75%
(3) Entre 75,1% e 85%
(4) Maior que 85%
2

```

Fonte: O Autor.

Na sequência, o *software* pergunta qual o tipo de seção transversal da peça. Escolhendo-se uma seção quadrada, o código pede a medida do lado, logo após é solicitado o momento fletor de cálculo que a peça deve resistir na direção x e na direção y. O *software* encerra apresentando os valores de máxima tensão de cálculo que a peça deverá resistir nas duas direções e informa se a peça resiste a magnitude do esforço, como ilustrado na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Cálculo e Verificação feitos pelo *SiOIro WOOD*

```

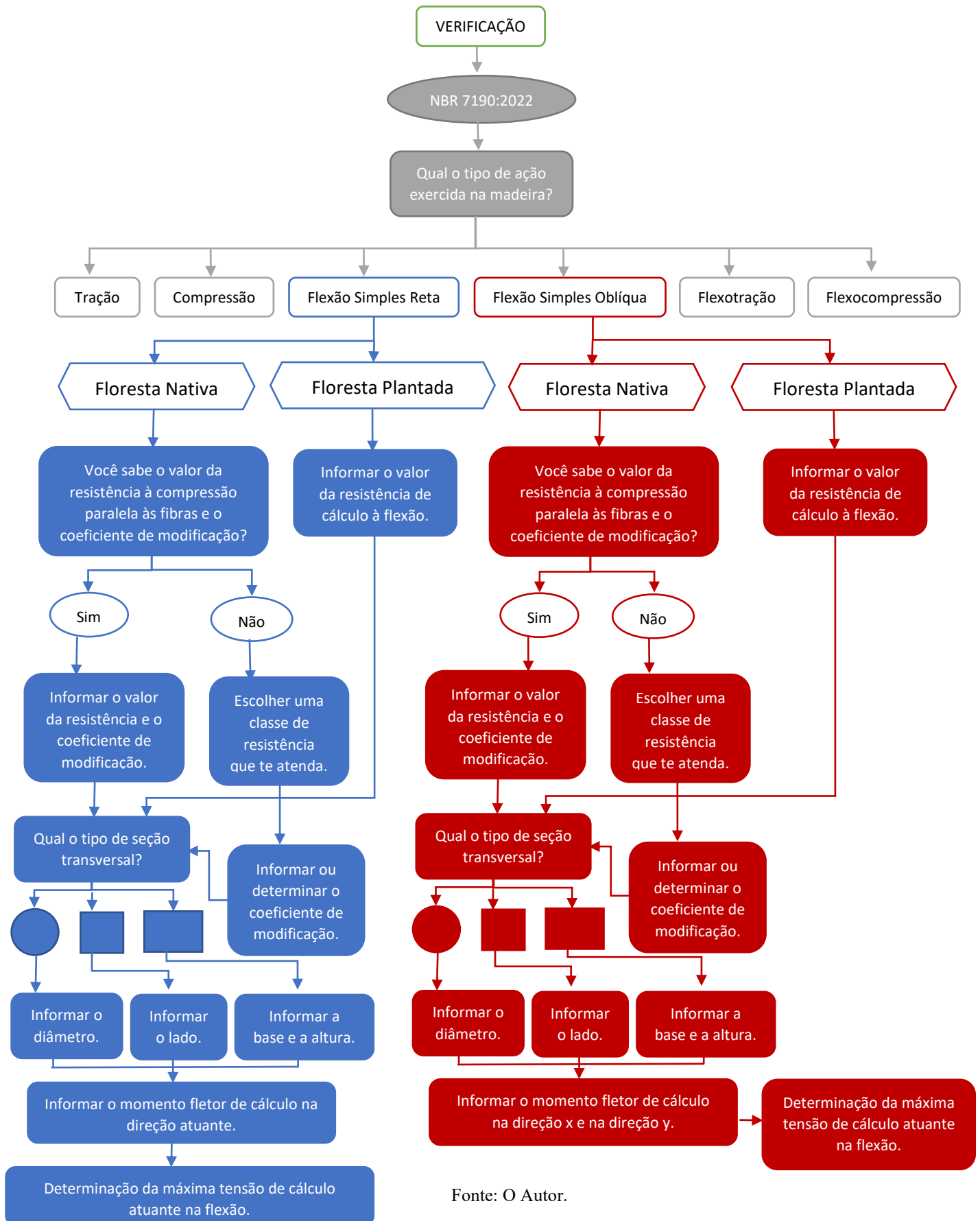
Dentre as opções abaixo, qual é o tipo da seção transversal?
(1) Circular (2) Quadrada (3) Retangular
2
Informe a medida do lado da seção transversal da peça: (em metros)
0.20
Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na direção x: (em KN.m)
10
Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na direção y: (em KN.m)
20
A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no eixo x é de 7499.99999999997 kPa.
Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira NÃO RESISTE ao esforço solicitante!
A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no eixo y é de 14999.99999999995 kPa.
Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira NÃO RESISTE ao esforço solicitante!

```

Fonte: O Autor.

A lógica de programação para flexão simples reta e oblíqua, para melhor entendimento, está organizada na Figura 4.6, através de um fluxograma. O fluxograma segue em azul para peças submetidas à flexão simples reta e em vermelho para peças submetidas à flexão simples oblíqua.

Figura 4.6 - Fluxograma Código Flexão Simples pela ABNT NBR 7190:2022



4.1.2 Flexão Composta

4.1.2.1 Flexotração

Ao selecionar uma peça proveniente de floresta plantada e submetida à flexotração, o usuário deve informar o valor da resistência de cálculo à flexão e o valor da resistência de cálculo à tração paralela às fibras. Em seguida, o código pergunta qual a seção transversal da peça, como representa a Figura 5.7.

Figura 4.7 - Entrada de dados Flexotração

VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA

Qual normativa você pretende utilizar?

(1) NBR 7190/1997 (2) NBR 7190/2022

2

Qual o tipo de ação exercida na madeira?

(1) Tração
(2) Compressão
(3) Flexão Simples Reta
(4) Flexão Simples Oblíqua
(5) Flexotração
(6) Flexocompressão

5

Você escolheu verificação à **FLEXOTRAÇÃO!**

Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o **PONTO** como separador decimal.

Qual o tipo de floresta que a peça veio?

(1) Floresta nativa (2) Floresta plantada

2

Qual é o valor da resistência de cálculo à flexão (fmd em KPa)?

35000

Qual é o valor da resistência de cálculo à tração paralela às fibras da madeira (ftod em KPa)?

35000

Dentre as opções abaixo, qual é o tipo da seção transversal?

(1) Circular (2) Quadrada (3) Retangular

3

Fonte: O Autor.

Escolhendo uma seção retangular, o programa solicita as medidas da base e da altura da seção transversal. Na sequência, o usuário deve informar os valores do momento fletor de cálculo atuante na direção x e na direção y e o valor do esforço de tração de cálculo que a peça deverá resistir. Por fim, o código calcula a máxima tensão de cálculo atuante na flexão no eixo x e y, e verifica se a peça resiste aos esforços solicitantes, conforme a Figura 5.8.

Figura 4.8 - Cálculo e Verificação pelo *Software*

```

Informe a medida da base da seção transversal da peça: (em metros)
0.12
Informe a medida da altura da seção transversal da peça: (em metros)
0.20
Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na direção x: (em KN.m)
30
Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na direção y: (em KN.m)
10
Informe o esforço de tração de cálculo que a peça deverá resistir: (em KN)
8
A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no eixo x é de 37499.99999999999 kPa.
A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no eixo y é de 20833.333333333336 kPa.
A máxima tensão de cálculo atuante na tração resistida pela peça é de 333.3333333333333 kPa.
Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira NÃO RESISTE ao esforço solicitante!

```

Fonte: O Autor.

4.1.2.2 Flexocompressão

Selecionando-se uma peça flexo-comprimida oriunda de floresta nativa, o programa indaga se o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras da madeira e o valor do coeficiente de modificação são conhecidos, congruente à Figura 5.9.

Figura 4.9 - Introdução de Informações Flexocompressão

VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA

```

Qual normativa você pretende utilizar?
  (1) NBR 7190/1997      (2) NBR 7190/2022
2
Qual o tipo de ação exercida na madeira?
(1) Tração
(2) Compressão
(3) Flexão Simples Reta
(4) Flexão Simples Oblíqua
(5) Flexotração
(6) Flexocompressão
6
Você escolheu verificação à FLEXOCOMPRESSÃO!

Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o PONTO como separador decimal.

Qual o tipo de floresta que a peça veio?
  (1) Floresta nativa      (2) Floresta plantada
1
Você saberia informar o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras
da madeira e o coeficiente de modificação?
  (1) Sim      (2) Não
1

```

Fonte: O Autor.

Selecionando a opção “Sim”, o usuário deve informar estes valores e em seguida escolher o tipo de seção transversal da peça. Sendo a seção circular, é necessário informar o diâmetro da peça. Por conseguinte, o código pede os valores do momento fletor de cálculo atuante no eixo x e no eixo y e o valor do esforço de compressão de cálculo que a peça deverá resistir. A Figura 5.10 apresenta o cálculo e a verificação feita pelo código.

Figura 4.10 - Cálculo e Verificação Flexocompressão

```

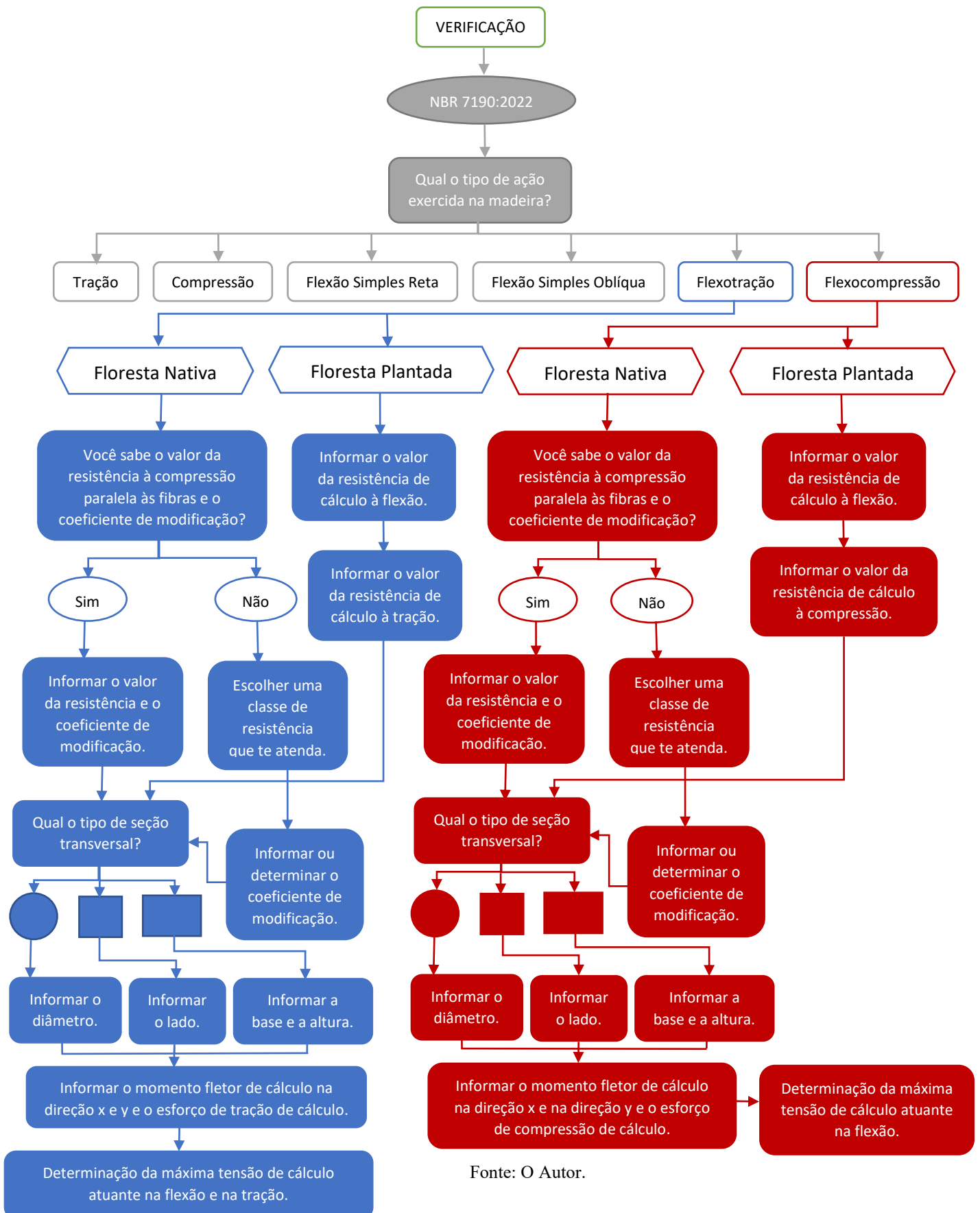
Qual seria o valor da resistência característica à compressão paralela (em kPa)?
Lembrando que o valor da resistência característica à compressão paralela às fibras para
florestas nativas é igual ao valor da resistência característica à flexão (fbk)
e ao valor da resistência característica à tração paralela às fibras da madeira (ftok).
45000
Qual seria o valor do coeficiente de modificação (kmod)?
1
Dentre as opções abaixo, qual é o tipo da seção transversal?
(1) Circular (2) Quadrada (3) Retangular
1
Qual o diâmetro da peça? (em metros)
0.30
Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na direção x: (em KN.m)
35
Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na direção y: (em KN.m)
20
Informe o esforço de compressão de cálculo que a peça deverá resistir: (em KN)
10
A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no eixo x é de 13203.976802027473 kPa.
A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no eixo y é de 7545.1296011585555 kPa.
A máxima tensão de cálculo atuante na compressão resistida pela peça é de 141.47118002172292 kPa.
Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira RESISTE ao esforço solicitante!

```

Fonte: O Autor.

Os códigos de programação para flexotração e flexocompressão seguem o mesmo raciocínio, divergindo apenas no esforço normal solicitante. A seguir, o fluxograma da Figura 5.11, exprime a lógica de programação da flexão composta, em azul para peças submetidas à flexotração e em vermelho para peças submetidas à flexocompressão.

Figura 4.11 - Fluxograma Lógica de Programação Flexão Composta



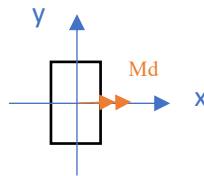
Fonte: O Autor.

CAPÍTULO 5 ENSAIOS NUMÉRICOS

Os ensaios numéricos apresentados neste capítulo têm como propósito avaliar a eficiência do código de programação pela análise e verificação dos valores numéricos fornecidos pelo *software* em conformidade com a ABNT NBR 7190:2022.

5.1 ENSAIO NUMÉRICO PARA FLEXÃO SIMPLES RETA

Pretende-se, em conformidade com a ABNT NBR7190:2022, verificar a segurança de uma viga de madeira com 2 metros de comprimento proveniente de floresta plantada, cuja seção transversal é retangular de 12 por 30 centímetros. Sabe-se que o momento fletor de cálculo é de 30 kN.m e que atua na direção x. Adota-se, $f_{md} = 60$ MPa.



Observando a Equação 3.2, percebe-se que o valor máximo de cálculo da tensão atuante na flexão ($\sigma_{M,d}$) é calculado por M_d/W e que o módulo de resistência (W) é calculado por I/y . Levando a resistência de cálculo à flexão ($f_{m,d}$) para o outro lado da inequação, pode-se reescrever a equação de forma a condicionar uma verificação de segurança, de modo a ser verdade somente se atender a esse requisito, conforme a Equação 5.1.

$$\sigma_{Mdx} = \frac{M_{dx}}{I_x} \cdot y \leq f_{md} \quad \rightarrow \quad \sigma_{Md} \leq 60MPa \quad (5.1)$$

A peça de seção 12 por 30 cm, possui momento de inércia (I) igual a 27000 cm^4 em torno de x e 4320 cm^4 em torno de y, conforme calculado na Equação 5.2 e na Equação 5.3.

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{12 \cdot 30^3}{12} = 27000 \text{ cm}^4 = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \quad (5.2)$$

$$I_y = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{30 \cdot 12^3}{12} = 4320 \text{ cm}^4 = 4,32 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad (5.3)$$

O valor de y é a distância da linha neutra até a borda tensionada da seção transversal devido à flexão. Por se tratar de uma peça retangular, a linha neutra coincide com o centro de gravidade, sendo y igual a 15 cm.

Com todos os dados conhecidos, é possível calcular o valor máximo de cálculo da tensão atuante na flexão.

$$\sigma_{Md} = \frac{M_{dx}}{I_x} \cdot y = \frac{30 \text{ kN.m}}{2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4} \cdot 0,15 \text{ m} = 16666,6667 \text{ kPa} = 16,6667 \text{ MPa} \quad (5.4)$$

Verificando-se a condição estabelecida pela ABNT NBR 7190:2022, pode-se concluir que a peça resiste ao esforço solicitante. A Figura 5.1 apresenta o relatório de cálculo desenvolvido pelo *software*.

Figura 5.1 - Relatório emitido pelo *software* para o ensaio de flexão simples reta

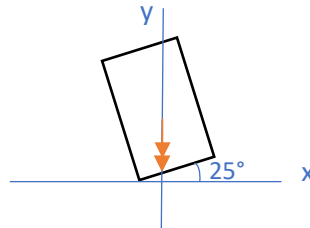
```

File - app
1 C:\Users\carla\AppData\Local\Programs\Python\Python312\python.exe C:\
  Users\carla\FlexaoSimplesEmMadeiraTCCI\pythonProject1\app.py
2 SiOLRo WOOD - 2025
3 PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NAS
4 PEÇAS DE MADEIRA, DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:2022
5 AUTORIA: CARLA CRISTINA SILVA LIMA RODRIGUES
6
7 VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA
8
9 Qual normativa você pretende utilizar?
10 (1) ABNT NBR 7190/1997 (2) ABNT NBR 7190/2022
11 2
12 Qual o tipo de ação exercida na madeira?
13 (1) Tração
14 (2) Compressão
15 (3) Flexão Simples Reta
16 (4) Flexão Simples Oblíqua
17 (5) Flexotração
18 (6) Flexocompressão
19 3
20 Você escolheu verificação à FLEXÃO SIMPLES RETA!
21
22 Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o PONTO
  como separador decimal.
23
24 Qual o tipo de floresta que a peça veio?
25 (1) Floresta nativa (2) Floresta plantada
26 2
27 Qual é o valor da resistência de cálculo à flexão (fmd em KPa)?
28 60000
29 Dentre as opções abaixo, qual é o tipo da seção transversal?
30 (1) Circular (2) Quadrada (3) Retangular
31 3
32 Informe a medida da base da seção transversal da peça: (em metros)
33 0.12
34 Informe a medida da altura da seção transversal da peça: (em metros)
35 0.30
36 Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na
  direção x: (em KN.m)
37 30
38 Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na
  direção y: (em KN.m)
39 0
40 A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça é de
  16666.666666666664 kPa.
41 Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira RESISTE ao esforço
  solicitante!
42

```

5.2 ENSAIO NUMÉRICO PARA FLEXÃO SIMPLES OBLÍQUA

Busca-se, de acordo com a ABNT NBR 7190:2022, verificar a segurança estrutural de uma terça de seção 8 por 12 cm e comprimento de 4 metros, que compõe um telhado em madeira de floresta plantada. O telhado possui inclinação de 25 graus com a horizontal, um momento máximo atuante de 33,6kN.cm atuando na vertical e $f_{md} = 0,24 \text{ kN/cm}^2$.



Decompondo-se o momento em componentes que estejam na direção x e y. O valor de M_{dx} é igual a 14,20kN.cm e o valor de M_{dy} é igual a 30,45 kN.cm, conforme explícito nas Equações 5.5 e 5.6

$$M_{dx} = M_d \cdot \sin(25^\circ) = 33,6 \cdot \sin(25^\circ) = 14,20 \text{ kN.cm} = 0,142 \text{ kN.m} \quad (5.5)$$

$$M_{dy} = M_d \cdot \cos(25^\circ) = 33,6 \cdot \cos(25^\circ) = 30,45 \text{ kN.cm} = 0,3045 \text{ kN.m} \quad (5.5)$$

O momento de inércia em torno de x (I_x) é igual a 1152 cm^4 e o momento de inércia em torno de y (I_y) é igual a 512 cm^4 , como representa a Equação 5.7 e a Equação 5.8.

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{8 \cdot 12^3}{12} = 1152 \text{ cm}^4 = 1.152 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad (5.7)$$

$$I_y = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{12 \cdot 8^3}{12} = 512 \text{ cm}^4 = 5,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad (5.8)$$

O valor da distância entre linha neutra e a borda da peça na direção x é igual a 4 cm e na direção y é igual a 6 cm. Calculando a tensão máxima atuante na flexão em x (Equação 5.9), obtém-se o valor de $0,07395 \text{ kN/cm}^2$ e calculando a tensão máxima atuante na flexão em y (Equação 5.10), obtém-se o valor de $0,238 \text{ kN/cm}^2$.

$$\sigma_{Mdx} = \frac{M_{dx}}{I_x} \cdot y = \frac{14,20 \text{ kN.cm}}{1152 \text{ cm}^4} \cdot 6 \text{ cm} = 0,073958 \text{ kN/cm}^2 = 739,58 \text{ kN/m}^2 \quad (5.9)$$

$$\sigma_{Mdy} = \frac{M_{dy}}{I_y} \cdot x = \frac{30,45 \text{ kN.cm}}{512 \text{ cm}^4} \cdot 4 \text{ cm} = 0,23789 \text{ kN/cm}^2 = 2378,9 \text{ kN/m}^2 \quad (5.10)$$

O coeficiente de correção (k_M) para seção retangular é igual a 0,7, de acordo com a ABNT NBR 7190:2022. A fim de obter os resultados com a mesma unidade de medida, o valor da resistência

de cálculo à flexão (f_{md}) dado pelo enunciado é de 2400 em kN/m² e o valor do momento fletor de cálculo é igual a 0,336kN.m.

Calculados todos os valores, aplica-se a Equação 3.4 de verificação, conforme a ABNT NBR 7190:2022.

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \rightarrow \frac{739,58kN/m^2}{2400kN/m^2} + 0,7 \cdot \frac{2378,9kN/m^2}{2400kN/m^2} \leq 1 \rightarrow 1,002 \leq 1 \quad (5.11)$$

$$k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \rightarrow 0,7 \cdot \frac{739,58kN/m^2}{2400kN/m^2} + \frac{2378,9kN/m^2}{2400kN/m^2} \leq 1 \rightarrow 1,2069 \leq 1 \quad (5.12)$$

A condição de segurança é expressa pela mais rigorosa entre as duas equações. Percebe-se que nas duas equações o valor calculado foi maior do que 1, o que significa que a peça não resiste a magnitude do esforço solicitante.

A seguir, a Figura 5.2 apresenta o relatório de cálculo do *software* para o ensaio de flexão simples oblíqua.

Figura 5.2 - Relatório do *software* para o ensaio de flexão simples oblíqua

File - app

```

1 C:\Users\carla\AppData\Local\Programs\Python\Python312\python.exe C:\
  Users\carla\FlexaoSimplesEmMadeiraTCCI\pythonProject1\app.py
2 SiOlRo WOOD - 2025
3 PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NAS
4 PEÇAS DE MADEIRA, DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:2022
5 AUTORIA: CARLA CRISTINA SILVA LIMA RODRIGUES
6
7 VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA
8
9 Qual normativa você pretende utilizar?
10 (1) ABNT NBR 7190/1997 (2) ABNT NBR 7190/2022
11 2
12 Qual o tipo de ação exercida na madeira?
13 (1) Tração
14 (2) Compressão
15 (3) Flexão Simples Reta
16 (4) Flexão Simples Oblíqua
17 (5) Flexotração
18 (6) Flexocompressão
19 4
20 Você escolheu verificação à FLEXÃO SIMPLES OBLÍQUA!
21
22 Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o PONTO
  como separador decimal.
23
24 Qual o tipo de floresta que a peça veio?
25 (1) Floresta nativa (2) Floresta plantada
26 2
27 Qual é o valor da resistência de cálculo à flexão (fmd em KPa)?
28 2400
29 Dentre as opções abaixo, qual é o tipo da seção transversal?
30 (1) Circular (2) Quadrada (3) Retangular
31 3
32 Informe a medida da base da seção transversal da peça: (em metros)
33 0.08
34 Informe a medida da altura da seção transversal da peça: (em metros)
35 0.12
36 Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na
  direção x: (em KN.m)
37 0.1420
38 Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na
  direção y: (em KN.m)
39 0.3045
40 A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no
  eixo x é de 739.5833333333334 kPa.
41 Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira NÃO RESISTE ao esforço
  solicitante!
42 A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no
  eixo y é de 2378.9062500000005 kPa.
43 Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira NÃO RESISTE ao esforço
  solicitante!
44

```

5.3 ENSAIO NUMÉRICO PARA FLEXOTRAÇÃO

Pretende-se verificar, conforme a ABNT NBR 7190:2022, a segurança da viga de um pergolado, com seção retangular de 10 por 15 cm, submetida a um momento fletor de cálculo de 32,5 kN.m em torno do eixo x e a um esforço de tração igual a 5,7 kN. A viga é de madeira, proveniente de floresta nativa, da classe D30 e possui coeficiente de modificação igual a 1,0.

Dessa forma, calcula-se todas as incógnitas da Equação 3.5 para realizar a verificação. Começando pela tensão de tração normal à seção transversal ($\sigma_{Nt0,d}$), a ABNT NBR 7190:2022 expressa que o seu valor pode ser calculado por N_{td}/A , tem-se então a Equação 5.13:

$$\sigma_{Nt0,d} = \frac{N_{td}}{A} = \frac{5,7kN}{0,10m \cdot 0,15m} = 380kN/m^2 \quad (5.13)$$

Para a tensão máxima de cálculo atuante na flexão (σ_{Md}), calculada por $(M_d/I) \cdot y$, o momento fletor de cálculo está atuando apenas na direção x, então calcula-se apenas o momento de inércia I_x , sendo igual a $2,8125 \cdot 10^{-5} m^4$ (Equação 5.14) e o valor de y igual a 7,5 cm.

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{10 \cdot 15^3}{12} = 2812,5 cm^4 = 2,8125 \cdot 10^{-5} m^4 \quad (5.14)$$

O momento fletor na direção y é igual a zero, o que resulta na tensão máxima de cálculo à flexão no eixo y igual a zero (Equação 5.15). O momento fletor em torno do eixo x, $M_{dx} = 32,5 kN.m$ dado pelo enunciado, resulta no valor de 86666,6667 kN/m² para a tensão máxima de cálculo à flexão no eixo x (Equação 5.16).

$$\sigma_{Mdy} = \frac{M_{dy}}{I_y} \cdot x = \frac{0}{I_y} \cdot 5cm = 0 \quad (5.15)$$

$$\sigma_{Mdx} = \frac{M_{dx}}{I_x} \cdot y = \frac{32,5kN \cdot m}{2,8125 \cdot 10^{-5} m^4} \cdot 0,075m = 86666,6667kN/m^2 \quad (5.16)$$

Para floresta nativa, a ABNT NBR 7190:2022 afirma que o valor da resistência característica à tração paralela às fibras (f_{t0d}) e o valor da resistência característica à flexão (f_{bk}), são iguais ao valor da resistência característica à compressão paralela às fibras (f_{c0k}). Dado que a classe de resistência da madeira é D30, o valor de f_{c0k} é igual a 30Mpa, conforme a Tabela 3.2. Para se obter os valores de cálculo, em estado limite último conforme a norma, é necessário considerar o coeficiente de minoração decorrente de tensões normais γ igual a 1,4 e aplicar a Equação 5.17.

$$f_{c0d} = \frac{f_{c0k}}{\gamma_c} \cdot k_{mod} = \frac{30 \cdot 10^3 kN/m^2}{1,4} \cdot 1 = 21428,5714kN/m^2 = f_{t0d} = f_{md} \quad (5.17)$$

Substituindo os valores calculados na Equação 3.4, tem-se a condição de segurança pela mais rigorosa das duas equações a seguir (Equação 5.18 e Equação 5.19):

$$\frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \rightarrow \frac{380}{21428,5714} + \frac{86666,6667}{21428,5714} + 0 \leq 1 \rightarrow 4,06 \leq 1 \quad (5.18)$$

$$\frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \rightarrow \frac{380}{21428,5714} + 0,7 \cdot \frac{86666,6667}{21428,5714} + 0 \leq 1 \rightarrow 2,85 \leq 1 \quad (5.19)$$

A peça não atende à condição imposta pela norma, logo a peça não resiste à magnitude do esforço solicitante. A Figura 5.3 e Figura 5.4, esboçam o relatório feito pelo *software* para o ensaio de flexotração.

Figura 5.3 – Página 1 do Relatório do *software* para o ensaio de flexotração

File - app

```

1 C:\Users\carla\AppData\Local\Programs\Python\Python312\python.exe C:\
  Users\carla\FlexaoSimplesEmMadeiraTCCI\pythonProject1\app.py
2 SiOLRo WOOD - 2025
3 PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NAS
4 PEÇAS DE MADEIRA, DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:2022
5 AUTORIA: CARLA CRISTINA SILVA LIMA RODRIGUES
6
7 VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA
8
9 Qual normativa você pretende utilizar?
10 (1) ABNT NBR 7190/1997 (2) ABNT NBR 7190/2022
11 2
12 Qual o tipo de ação exercida na madeira?
13 (1) Tração
14 (2) Compressão
15 (3) Flexão Simples Reta
16 (4) Flexão Simples Oblíqua
17 (5) Flexotração
18 (6) Flexocompressão
19 5
20 Você escolheu verificação à FLEXOTRAÇÃO!
21
22 Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o PONTO
  como separador decimal.
23
24 Qual o tipo de floresta que a peça veio?
25 (1) Floresta nativa (2) Floresta plantada
26 1
27 Você saberia informar o valor da resistência característica à
  compressão paralela às fibras
28 da madeira e o coeficiente de modificação?
29 (1) Sim (2) Não
30 2
31 Então, vamos escolher uma classe de resistência!
32
33 Dentre as opções abaixo, qual classe de resistência te atende?
34 (1) D20 (2) D30 (3) D40 (4) D50 (5) D60
35 2
36 Você saberia informar o valor do coeficiente de modificação?
37 (1) Sim (2) Não
38 1
39 Qual seria o valor?
40 1
41 Dentre as opções abaixo, qual é o tipo da seção transversal?
42 (1) Circular (2) Quadrada (3) Retangular
43 3
44 Informe a medida da base da seção transversal da peça: (em metros)
45 0.10
46 Informe a medida da altura da seção transversal da peça: (em metros)
47 0.15
48 Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na
  direção x: (em KN.m)
49 32.5

```

Figura 5.4 - Página 2 do Relatório do *software* para o ensaio de flexotração

File - app

```
50 Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na
    direção y: (em KN.m)
51 0
52 Informe o esforço de tração de cálculo que a peça deverá resistir: (
    em KN2)
53 5.7
54 A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no
    eixo x é de 86666.666666666667 kPa.
55 A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no
    eixo y é de 0.0 kPa.
56 A máxima tensão de cálculo atuante na tração resistida pela peça é de
    380.0 kPa.
57 Conforme a NBR 7190/2022, a peça de madeira NÃO RESISTE ao esforço
    solicitante!
58
```

5.4 ENSAIO NUMÉRICO PARA FLEXOCOMPRESSÃO

Por fim, busca-se verificar a segurança estrutural de uma viga de madeira proveniente de floresta plantada, com seção quadrada de 25 por 25 cm e com comprimento de 3 metros, submetida a um momento fletor de cálculo de 30kN.m atuante na direção x, bem como a um esforço de compressão de 24,2kN. Considera-se $f_{md} = f_{c0d} = 25\text{MPa}$.

Começando pelos esforços normais atuantes na viga, a tensão normal atuante em virtude do esforço normal de compressão ($\sigma_{Nc0,d}$), de acordo com a ABNT NBR 7190:2022, é determinada por N_{cd}/A . A Equação 5.20 expressa este cálculo.

$$\sigma_{Nc0,d} = \frac{N_{cd}}{A} = \frac{24,2kN}{0,25m \cdot 0,25m} = 387,20kN/m^2 \quad (5.20)$$

Por ser de seção quadrada, a peça possui momentos de inércia iguais nas duas direções, sendo $I_x = I_y = 3,2552 \cdot 10^{-4}m^4$ como mostra a Equação 5.21.

$$I_x = I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{25 \cdot 25^3}{12} = 32552,08cm^4 = 3,2552 \cdot 10^{-4}m^4 \quad (5.21)$$

Observando que não há atuação de momento fletor na direção y da peça, deduz-se que o valor máximo de cálculo atuante na flexão no eixo y é igual a zero. Para determinar o valor máximo de cálculo atuante na flexão no eixo x, sabendo que o momento de cálculo em x é igual 30 kN.m e que a distância da linha neutra até a borda da peça é igual a 12,5 cm, aplica-se a Equação 5.22.

$$\sigma_{Mdx} = \frac{M_{dx}}{I_x} \cdot y = \frac{30kN \cdot m}{3,2552 \cdot 10^{-4}m^4} \cdot 0,125m = 11520,0295kN/m^2 \quad (5.22)$$

Obtendo-se todos os valores para satisfazer a Equação 3.6, é possível verificar a segurança estrutural da viga, de acordo com a condição exigida pela a ABNT NBR 7190:2022. A condição de segurança é expressa pela mais rigorosa das duas equações a seguir (Equação 5.23 e Equação 5.24).

$$\left(\frac{\sigma_{Nc0,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \left(\frac{387,20}{25000} \right)^2 + \frac{11520,0295}{25000} + 0 \leq 1 \quad 0,46 \leq 1 \quad (5.23)$$

$$\left(\frac{\sigma_{Nc0,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \left(\frac{387,20}{25000} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{11520,0295}{25000} + 0 \leq 1 \quad 0,32 \leq 1 \quad (5.24)$$

De acordo com os cálculos de verificação, a condição imposta pela ABNT NBR 7190:2022 é satisfeita e a viga resiste ao esforço solicitante. A Figura 5.5 exprime os cálculos e a verificação realizados pelo *software* para este ensaio.

Figura 5.5 - Relatório de cálculo do *software* para o ensaio de flexocompressão

```
File - app
1 C:\Users\carla\AppData\Local\Programs\Python\Python312\python.exe C:\Users\carla\FlexaoSimplesEmMadeiraTCCI\pythonProject1\app.py
2 SiOLRo WOOD - 2025
3 PROGRAMA DE VERIFICAÇÃO DOS ESFORÇOS SOLICITANTES NAS
4 PEÇAS DE MADEIRA, DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:2022
5 AUTORIA: CARLA CRISTINA SILVA LIMA RODRIGUES
6
7 VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS NA MADEIRA
8
9 Qual normativa você pretende utilizar?
10 (1) ABNT NBR 7190/1997 (2) ABNT NBR 7190/2022
11 2
12 Qual o tipo de ação exercida na madeira?
13 (1) Tração
14 (2) Compressão
15 (3) Flexão Simples Reta
16 (4) Flexão Simples Oblíqua
17 (5) Flexotração
18 (6) Flexocompressão
19 6
20 Você escolheu verificação à FLEXOCOMPRESSÃO!
21
22 Por favor, todos os dados a serem informados devem possuir o PONTO
    como separador decimal.
23
24 Qual o tipo de floresta que a peça veio?
25 (1) Floresta nativa (2) Floresta plantada
26 2
27 Qual é o valor da resistência de cálculo à flexão (fmd em KPa)?
28 25000
29 Qual é o valor da resistência de cálculo à compressão paralela às
    fibras da madeira (fcod em KPa)?
30 25000
31 Dentre as opções abaixo, qual é o tipo da seção transversal?
32 (1) Circular (2) Quadrada (3) Retangular
33 2
34 Informe a medida do lado da seção transversal da peça: (em metros)
35 0.25
36 Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na
    direção x: (em KN.m)
37 30
38 Informe o momento fletor de cálculo que a peça deverá resistir na
    direção y: (em KN.m)
39 0
40 Informe o esforço de compressão de cálculo que a peça deverá resistir
    : (em KN)
41 24.2
42 A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no
    eixo x é de 11520.0 kPa.
43 A máxima tensão de cálculo atuante na flexão resistida pela peça no
    eixo y é de 0.0 kPa.
44 A máxima tensão de cálculo atuante na compressão resistida pela peça é
    de 387.2 kPa.
```

CAPÍTULO 6 CONCLUSÃO

O dimensionamento e verificação de segurança precedem o uso da madeira como elemento estrutural, pois garantem a qualidade e a integridade da estrutura. A madeira é um material de múltiplos benefícios sociais, por ser disponível na natureza como recurso renovável e por ser versátil. No Brasil, a maior parte de extração de madeira é destinada à indústria da construção civil, e quando aplicada às estruturas de edifícios, é essencial que os preceitos da ABNT NBR 7190:2022 sejam rigorosamente atendidos.

O desenvolvimento de um *software* que verifique e dimensione peças de madeira submetidas aos esforços de tensões em conformidade com a ABNT NBR 7190:2022, contribui para a agilidade no desenvolvimento de projetos estruturais e para a arguição de resultados obtidos manualmente. Com a recente atualização da norma brasileira para projetos de estruturas de madeira, os *softwares* antecedentes precisarão passar por atualizações, e atualmente não há programa livre e de código aberto, disponível e em uso que verifique a segurança de peças estruturais de madeira pela ABNT NBR 7190:2022.

A expansão do *software SiOlRo WOOD* incluiu esforços de flexão simples reta, flexão simples oblíqua, flexotração e flexocompressão, tornando-o mais completo. Os resultados obtidos nos ensaios numéricos demonstram a eficácia e exatidão de cálculos e verificações feitos pelo *software*, comparados com os cálculos realizados manualmente, tendo como premissa a ABNT NBR 7190:2022.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessário dominar a linguagem de programação Python, estudar a norma ABNT NBR 7190:2022 e complementar o *software* de Oliveira (2022) implementando a lógica de programação do código para trabalhar peças fletidas. Os ensaios numéricos compararam os cálculos obtidos manualmente e os cálculos obtidos pelo *software* e o resultado foi o mesmo para ambos. Portanto, todos os objetivos foram plenamente alcançados.

O programa ainda não possui uma interface gráfica. Considerando isso, a criação de uma interface gráfica proporciona uma apresentação clara, intuitiva e de fácil interação e se torna ensejo para a continuação da pesquisa, assim como a incorporação do dimensionamento ao esforço de cisalhamento.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. C. C.; MACEDO, L. C.; MELO, M. F. O.; WAGNER, V. S.; BRAATZ, L. B. M.; SILVA, W. Uso da Madeira como Material Construtivo. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, dez. 2021.
- ANDRADE, F. Saiba a diferença entre MDF, MDP e OSB. **Sala 7 Design**, jan. 2018. Disponível em: <https://sala7design.com.br/2018/01/08/saiba-a-diferenca-entre-mdfmdp-e-osb/>. Acesso em: 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7190/2022. NBR 7190 - Critérios de dimensionamento. **Rio de Janeiro**. 2022, p. 107.
- BASTOS, P. S. **Flexão Normal Simples – Vigas**. Universidade Estadual Paulista. Bauru/São Paulo, 2023.
- BLOG CANAL DA ENGENHARIA. Estruturas: **Os 5 edifícios de madeira mais altos do mundo**. 2023. Disponível em: <https://blogcanaldaengenharia.com.br/os-5-edificios-de-madeira-mais-altos-do-mundo/>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- BUDAKALÁSZ. Reconstrução de casa_neolítico. 2018. Disponível em: https://www.budakalasz.hu/budakalasz-ritka-regeszeti-kincsei/hazrekonstrukcio_neolitikum/. Acesso em: 04 set. 2024.
- CALIL MADEIRAS. **Estrutura com MLC**. Disponível em: <http://madeiralaminadacolada.com/>. Acesso em: 30 ago. 2024.
- CARPINTARIA REZENDE. Madeiras Maciças. 2022. Disponível em: <https://carpintariarezende.com.br/madeiras-macicas/>. Acesso em: 30 ago. 2024.
- CORREIA, E. A. S. **Análise e dimensionamento de estruturas de madeira**. 2009. Tese de mestrado integrado Engenharia Civil (Especialização em Estruturas) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.
- CULTURAMIX. **Plantação de Carvalho no Brasil**. 2018. Disponível em: <https://meioambiente.culturamix.com/ecologia/flora/plantacao-de-carvalho-no-brasil>. Acesso em: 20 ago. 2024.
- ECOTRAT. **As vantagens do eucalipto tratado**. 2018. Disponível em: [As vantagens do eucalipto tratado - Notícia | Ecotrat - Tratamento de Madeiras](#). Acesso em: 30 ago. 2024.
- EESC JR. **Uso da Madeira na Construção Civil no Mundo e no Brasil**. [2022]. Produção & Ambiental. Disponível em: <https://eescjr.com.br/blog/o-uso-da-madeira-na-construcao-civil-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-tema/>. Acesso em: 13 mai. 2024.
- FILHO, J. C. P.; ALMEIDA, L. A.; CASTRO, V. G.; DIODATO, M. A. Diagnóstico Do Uso Da Madeira Como Material de Construção No Município de Mossoró-RN/Brasil. **Matéria**, v. 23, n. 3, p. Matéria, 2018.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. São Paulo: Pearson, ed. 7, 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual IBÁ 2023**. São Paulo: IBÁ, 2023. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2024.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual IBÁ 2024**. São Paulo: IBÁ, 2023. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

JUNIOR, C. R. C.; SILVA, W. C. R.; SOARES, P. T. M. L. Uso da Madeira na Construção Civil. **Revista UNISUAM**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 4, p. 79-93, 2017.

KORB. **Ascent MKE em toda sua glória em Wisconsin, EUA**. Disponível em: [Ascent MKE em toda a sua glória em Wisconsin, EUA - Dřevostavitel.cz \(drevostavitel.cz\)](https://www.ascentmke.com/). Acesso em: 20 ago. 2024.

MARCOS, A. **Os seis tipos mais comuns de madeiras utilizadas nas construções**. 2017. O Pórtico. Disponível em: <https://o-portico.blogspot.com/2017/04/os-seis-tipos-mais-comuns-de-madeiras.html>. Acesso em: 30 ago. 2024.

OLIVEIRA, D. L. S. Estruturas de madeira: **Implementação de um Software para o Dimensionamento de Peças Tractionadas e Comprimidas**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Goiás/Campus Jataí, 2022.

OLIVEIRA, F. L.; OLIVEIRA, G. L.; BRAZOLIN, S. **A Madeira Industrializada na Arquitetura Contemporânea**. São Paulo, 2023.

OLIVEIRA, B. L. F.; PEDRINI, A.; PINTO, E. M. Análise Multicritério de Projetos em Madeira em Natal/RN. **Revista Projetar**, v. 2(3), p. 81-92, dez. 2017.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003.

PINHEIROPARANA. **Crendices Populares sobre o Pinheiro do Paraná**. 2012. Disponível em: [Projeto Pinheiro do Paraná | Você já plantou um Pinheiro hoje?! \(wordpress.com\)](https://www.projeto-pinheiro-do-parana.com.br/). Acesso em: 20 ago. 2024.

RITTER, M. A. **Timber bridges: Design, construction, inspection, and maintenance**. US United States Department of Agriculture, Forest Service, Engineering Staff: University Press of the Pacific, 1990.

SANTOS, L. M. A. **Madeiras**. 2023. Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, T. L. DA. **ESTRUTURAS DE MADEIRA: IMPLEMENTAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS TRACIONADAS**. TCC (Graduação)—Jataí - GO: Instituto Federal de Goiás - Campus Jataí, 2021.

SOUSA, P. H. P. **Desenvolvimento de Aplicativo de Dimensionamento de Estruturas de Madeira Segundo a Norma NBR 7190-1/2022**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2023.

VALLE, A., *et al.* **Estruturas de Madeira**. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico. Florianópolis, Santa Catarina, set. 2012.

ZENID, José Geraldo. Madeira na construção civil. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo**, 2011.