



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo

Felipe Silva Pontes

**Comparação da Norma ABNT-NBR 7190(1997) e sua
proposta de revisão**

Campinas
2019



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Felipe Silva Pontes

Comparação da Norma ABNT-NBR 7190(1997) e sua proposta de revisão

Trabalho Final de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do
título de **Bacharel em Engenharia Civil** à
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura
e Urbanismo da Universidade Estadual de
Campinas.

Orientador: Prof Dr. Nilson Tadeu Mascia

Campinas

2019



Comparação da Norma ABNT-NBR 7190(1997) e sua proposta de revisão

Felipe Silva Pontes

BANCA EXAMINADORA

.....
Orientador Prof. Dr Nilson Tadeu Mascia

.....
Colaborador: Bruno Fazendeiro Donadon

.....
Colaborador: Rodrigo da Silva Manera

.....
Suplente: Heitor de Freitas Araujo

Aprovado em: _____



DEDICATÓRIA

À minha mãe Rita, pai Francisco e irmã Verônica pelo amor e suporte ao longo da minha vida.



AGRADECIMENTOS

Agradeço à UNICAMP pela estrutura, à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo pelo ensino e ao Professor Doutor Nilson Tadeu Mascia pela orientação.

Agradeço aos colegas do Departamento de Estruturas da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP: Bruno Fazendeiro Donadon e Ramon Vilela pelo apoio.

Agradeço aos meus amigos Bruno Ambrogini, Caio Carra, Caio Zuniga, Cássio Alves, Emanuel Savioli, Gabriel Carneiro e Matheus Germano pela amizade ao longo dos anos.



“Science is more than a body of knowledge. It is a way of thinking; a way of skeptically interrogating the universe with a fine understanding of human fallibility.”

(Carl Sagan)



RESUMO

A primeira versão da ABNT NBR 7190 foi publicada em 1987 sob o título “Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira” e veio em substituição à NB 11/51. Em seguida, a versão de 1987 foi atualizada, e então a ABNT NBR 7190(1997) - Projeto de Estruturas de Madeira entrou em vigor a partir de 29/09/1997. Atualmente, a versão da norma publicada em 1997 está passando por revisão, afim de ser readequada às novas tecnologias, procedimentos e exigências na Engenharia Civil. Este Trabalho de Finalização de Curso (TFC) objetiva avaliar as diferenças entre a ABNT NBR 7190(1997) - Projeto de Estruturas de Madeira e seu Projeto de Revisão publicado no âmbito da ABNT. As mudanças também serão alvo de estudo, de forma que sejam verificadas suas motivações e bases teóricas. As mudanças observadas variam em grau de importância, das mais triviais, como mudanças de nomenclatura, às mais fundamentais, como mudanças no cálculo de estabilidade de estruturas e cálculo de conexões. São apontadas todas as mudanças detectadas entre a versão da norma de 97 e as alterações presentes no projeto de revisão com aprofundamento na classificação das madeiras nacionais para uso estrutural, métodos de identificação de defeitos em peças e sugestões de profissionais para o aprimoramento e difusão do uso da madeira como elemento estrutural na Engenharia Civil.

Palavras-chave: Estruturas de Madeira, Norma Brasileira NBR 7190, Revisão Normativa.



ABSTRACT

The first version of the Brazilian Code ABNT 7190 was published in 1987 under the title “Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira” (“Calculation and Execution of Timber Structures”) and came as a replacement for NB 11/51. Afterwards, the 1987 version was updated, and then *ABNT NBR 7190(1997) - Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira* came into force in 09/29/97. Currently, the 1997 version of the Technical Standard is under revision and analysis in order to keep the code up to date with the new technologies, procedures and requirements of Civil Engineering. The goal of this Undergraduate Thesis is to evaluate the differences between ABNT NBR 7190(1997) - Projeto de Estruturas de Madeira and its Revision Project. The alterations will also be object of study, so that their motivations and theoretical basis can be verified. The observed updates vary in relevance degree, from the most trivial, such as changes in naming and nomenclature, to the most fundamental, such as changes in structural stability calculations and structural connections calculations. All the detected changes between the 1997 code and the Revision Project were pointed, with a more in-depth analysis of the grading criteria of Brazilian timber used for structural purposes, wood defect identification methods and professionals’ suggestions for improving and spreading the use of timber as a structural element in Civil Engineering.

Keywords: Timber Structure, Brazilian Code NBR 7190, Code Revision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Parágrafo não incluso na nova versão (fonte: ABNT NBR 7190(1997))	7
Figura 2 - Faixa do teor de umidade para ensaios de caracterização de 10% a 25% (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))	8
Figura 3 - Faixa do teor de umidade para ensaios de caracterização de 10% a 20% (fonte: ABNT NBR 7190(1997)).....	8
Figura 4 – Equações de correção para a resistência e rigidez no Projeto de Revisão (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))	9
Figura 5 - Equações de correção para a resistência e rigidez na versão de 1997 da Norma (fonte: ABNT NBR 7190(1997)).....	9
Figura 6 - Clases de umidade (fonte: ABNT NBR 7190)	10
Figura 7 - Relação entre a Resistência à compressão e o Teor de umidade para Abeto, Pinus, Faia e Bétula (Fonte: KOLLMANN apud KOLLMANN & COTÉ (1984))	11
Figura 8 - Comportamento da Tensão Última e Tensão no Limite de Proporcionalidade de acordo com o Teor de umidade da peça de madeira (fonte: BODIG, J.; JAYNE, B. A. (1992))	12
Figura 9 - Comportamento do Módulo de elasticidade transversal do Carvalho Vermelho Americano de acordo com o Teor de umidade (Fonte: MATEJAK & STARECKA apud BODIG & JAYNE (1992))	13
Figura 10 - Comportamento da Resistência e/ou rigidez de acordo com o Teor de Umidade (fonte: PORTEOUS, J. et KERMANI, A. (2013)).....	14
Figura 11 - Classes de resistência de folhosas, de acordo com o Projeto de Revisão (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))	15
Figura 12 - Classes de resistência de Coníferas e Folhosas, de acordo com o Projeto de Revisão (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013)).....	15
Figura 13 - Classes de resistência de coníferas e dicotiledôneas segundo a Norma de 1997 (fonte: ABNT NBR 7190(1997)).....	16
Figura 14 - Nós (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1).....	17
Figura 15 - Inclinação das fibras (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)	18
Figura 16 - (a) Racha não-passante (b) Racha passante (c) Fissura não-passante (d) Fissura passante (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)	18

Figura 17 - Encurvamento (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1).....	19
Figura 18 - Arqueamento (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1).....	19
Figura 19 - Torcimento (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)	20
Figura 20 - Encanoamento (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1).....	20
Figura 21 - Esmoadado (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1).....	21
Figura 22 - Requisitos para as classificações visual e mecânica e propriedades das classes de resistência (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)	23
Figura 23 - Requisitos para as classificações visual e mecânica e propriedades das classes de resistência (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)	24
Figura 24 - Valores de k_{mod1} (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))	24
Figura 25 - Valores de k_{mod} (fonte: ABNT NBR 7190(1997)).....	25
Figura 26 - Valores de k_{mod2} (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))	25
Figura 27 - Valores de k_{mod2} (fonte: ABNT NBR 7190(1997)).....	26
Figura 28 - Estimativa de rigidez de acordo com o Projeto de Revisão (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013)).....	27
Figura 29 - Estimativa de Rigidez de acordo com a Norma de 1997 (fonte: ABNT NBR 7190(1997)).....	27
Figura 30 - Carregamentos na estrutura (fonte: VILELA, R, 2019)	30
Figura 31 - Figura 34 - Carregamentos na estrutura (fonte: PONTES, R, 2019).....	36
Figura 32 - Espaçamentos dos pinos (fonte: NBR 7190(1997)).....	38
Figura 33 - Modos de falha (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013)).....	41
Figura 34 - Referência para a definição das dimensões dos pinos e cavilhas na versão de 1997 da Norma. (fonte: ABNT NBR 7190(1997))	44
Figura 35 - Novo parágrafo no Projeto de Revisão, indicando os casos nos quais as seções e diâmetros podem ser diferentes dos mínimos estipulados (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013)).....	44
Figura 36 - Parágrafos removidos da versão de 1997 da Norma (fonte: ABNT NBR 7190(1997)).....	45
Figura 37 - Parágrafos removidos do Projeto de Revisão (fonte: ABNT NBR 7190(1997)).....	46
Figura 38 - Casos de Incêndio Noticiados de 2012 a 2018 (não há dados para 2016) (fonte: ISB - Instituto Sprinkler Brasil. ISB Estatísticas. Disponível em:	



< https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/ >. Acesso em: 13, set. de 2019.)	48
Figura 39- Distribuição das categorias de local para ocorrências de incêndio noticiadas em 2018 (fonte: ISB - Instituto Sprinkler Brasil. ISB Estatísticas. Disponível em: < https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/ >. Acesso em: 13, set. de 2019.)	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
3 METODOLOGIA.....	4
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	5
4.1 ALTERAÇÕES PROPOSTAS.....	5
5 CONCLUSÕES	49
5.1 ESCOPO	49
5.2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS	49
5.3 GENERALIDADES	50
5.4 PROPRIEDADES DAS MADEIRAS.....	50
5.5 VERIFICAÇÃO - ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS	51
5.6 VERIFICAÇÃO - ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO	52
5.7 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS	52
5.8 ESTRUTURAS DE MADEIRA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	52
5.9 DESAFIOS PARA O USO DA MADEIRA NO BRASIL	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

Conforme as técnicas construtivas são desenvolvidas e consolidadas na Engenharia Civil, é natural que alguns procedimentos e técnicas sejam normatizados, a fim de garantir a segurança, a previsibilidade e a uniformidade das estruturas projetadas e construídas.

A primeira versão da ABNT NBR 7190 foi publicada em 1987 sob o título “Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira” e veio em substituição à NB 11/51. Em seguida, a versão de 1987 foi atualizada, e então a ABNT NBR 7190(1997) - Projeto de Estruturas de Madeira entrou em vigor a partir de 29/09/1997. Atualmente, a versão da norma publicada em 1997 passa por revisão.

O Trabalho de Finalização de Curso (TFC) tem como objetivo avaliar as diferenças entre a ABNT NBR 7190(1997) - Projeto de Estruturas de Madeira e seu Projeto de Revisão.

A identificação destas mudanças permitirá futuras alterações didáticas em cursos técnicos, de bacharelado, mestrado, doutorado, etc. que contemplem o estudo de estruturas de madeira à luz da nova versão da ABNT NBR 7190. Além disso, a análise das mudanças nos permite compreender quais fatores levam à alteração de normas antigas e como podemos nos aproximar de normas cada vez mais completas, que unam a simplicidade, segurança, precisão e previsibilidade de estruturas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A identificação das modificações na norma possibilitará alterações didáticas em cursos que contemplem o estudo de estruturas de madeira à luz da nova versão da ABNT NBR 7190. Além disso, a análise das mudanças nos permite compreender quais fatores levam à alteração de normas técnicas e como podemos nos aproximar de normas cada vez mais completas, que unam a simplicidade, segurança, precisão e previsibilidade de estruturas.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo analisar as mudanças propostas à ABNT NBR 7190(1997) - Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira. A análise das mudanças será feita em três passos: identificação, motivação e sugestão de mudanças. A identificação terá como objetivo a detecção e comparação das mudanças impostas, a motivação terá como objetivo a análise da origem e motivação que resultaram nas mudanças impostas, por fim, a sugestão de mudanças terá como objetivo identificar eventuais falhas e pontos de melhoria na nova versão da Norma.

1.2.1 Objetivo Geral:

Analisar as mudanças propostas no Projeto de Revisão de 2013 da ABNT NBR 7190 e propor melhorias pontuais.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Identificar as mudanças propostas no Projeto de Revisão;
- Identificar a origem e o embasamento técnico das mudanças propostas no Projeto de Revisão;
- Identificar pontos de melhoria no Projeto de Revisão;
- Identificar as perspectivas do mercado e da academia sobre o Projeto de Revisão e o cenário Brasileiro do uso da madeira na Construção Civil;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Ao longo de toda a implementação da versão de 1997 da ABNT NBR 7190, alguns pontos foram alvo de crítica por parte da comunidade acadêmica. De acordo com Miotto:

“Observa-se que o novo modelo de cálculo estabelecido pela norma tem sido alvo de críticas, principalmente quanto ao fato de a consideração das excentricidades e fluência, de forma diferenciada para cada faixa de esbeltez, decretar a ocorrência de degraus no diagrama representativo da resistência de cálculo em função da esbeltez da peça. Outro aspecto salientado é a complexidade da equação proposta para a consideração da fluência no dimensionamento dessas barras.” (MIOTTO, 2006, p.54)

Ao ser proposto, o Projeto de Revisão da ABNT 7190(1997) passou a sofrer análises sobre as alterações propostas, com destaque para os novos métodos de classificação das peças de madeira e da verificação de ligações e de estabilidade no Estado Limites de Último de estruturas de madeira. Sobre o dimensionamento de peças flexocomprimidas com relação à estabilidade, Sato (2018) afirma que: *“o método proposto pelo Projeto de Revisão da NBR 7190 tornou-se mais simples e os valores da força normal obtidos pelos seus critérios são mais conservadores quando comparado com o Eurocode 5.”*¹.

Com base nestes estudos, serão detectadas demais alterações apresentadas pelo Projeto de Revisão, além da análise mais aprofundada das mudanças mais significativas e profundas.

¹ SATO, Julie Naomi. Estabilidade em Peças de Madeira: comparação de critérios normativos. Dissertação (Bacharelado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2018.

3 METODOLOGIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso emprega metodologia descritiva e de natureza qualitativa, de acordo com GERHARDT (2009)².

Serão realizadas comparações diretas entre dois documentos, são eles:

1: ABNT NBR 7190(1997) - Projeto de estruturas de madeira

2: ABNT/CB-02 2º PN Rrevisão ABNT NBR 7190 Setembro:2013

Além da comparação direta entre as modificações propostas no Projeto de Revisão, serão verificados os embasamentos teóricos para tais modificações, de forma que seja possível detectar eventuais pontos de melhoria da Norma. Posteriormente, serão propostas alterações que resultem no aprimoramento e difusão do uso da madeira como elemento estrutural na Engenharia Civil.

² Métodos de pesquisa / [organizado por] Tatiana Engel Gerhardt e Denise Tolfo Silveira ; coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009 Pg 31

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ALTERAÇÕES PROPOSTAS

A seguir serão apresentadas algumas das principais alterações propostas à ABNT NBR 7190 no Projeto de Revisão, com destaque para os novos métodos de caracterização das propriedades das peças de madeira e dimensionamento no Estado Limite Último. Tais modificações serão expostas de acordo com seus respectivos itens e na ordem em que aparecem no Projeto de Revisão. Alterações mais relevantes serão analisadas de forma mais aprofundada.

4.1.1 ESCOPO (Item 1, originalmente: 1 Objetivo)

O item passa a informar que a norma “atende aos princípios e requisitos do método dos estados limites incluindo a durabilidade e situação de incêndio”. Ao longo desta nova versão da NBR 7190, assim como indica o item “Escopo”, é possível observar que é dada uma atenção muito maior ao desempenho de estruturas de madeira em situação de incêndio, o que não ocorria com a versão de 1997 da Norma.

4.1.2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS (Item 2, originalmente: 2 Referências normativas)

Passam a ser citadas novas Normas Técnicas como referência, dentre elas:

ABNT NBR 15575-1, Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais

ABNT NBR 15575-2, Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais

ABNT NBR 15575-5, Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas

ABNT NBR 15696, Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos

ABNT NBR 16143, Preservação de madeiras - Sistema de categorias de uso

ABNT NBR ISO 1096, Madeira compensada – Classificação

ABNT NBR ISO 1098, Compensado laminado para uso geral – Requisitos gerais Esta norma foi cancelada

ABNT NBR ISO 1954, Madeira compensada - Tolerâncias dimensionais ABNT NBR ISO 2074, Madeira compensada - Vocabulário

ABNT NBR ISO 2426-1, Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 1 – Geral

ABNT NBR ISO 2426-2, Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 2 – Folhosas

ABNT NBR ISO 2426-3, Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 3 – Coníferas

ABNT NBR ISO 12466-1, Madeira Compensada - Qualidade de Colagem – Parte 1 - Métodos de Ensaios

ABNT NBR ISO 12466-2, Madeira Compensada - Qualidade de Colagem – Parte 2 - Requisitos

Nota-se que no projeto de revisão é citada a *ABNT NBR ISO 1098, Compensado laminado para uso geral – Requisitos gerais*, que foi cancelada devido ao cancelamento de sua equivalente na ISO.³

4.1.3 GENERALIDADES (Item 3, Originalmente: 3 Generalidades)

Diversas notações são omitidas como A_w , e A_{wc} , no entanto, os itens 3.5.4 (Índices gerais), 3.5.5 (Índices formados por abreviações) e 3.5.6 (Índices especiais) ainda estão presentes. Curiosamente, embora algumas notações compostas, como A_w , tenham sido eliminadas, outras ainda permanecem, como G_w . Caso o usuário precise consultar alguma notação, terá que analisar separadamente as letras (itens 3.5.1 a 3.5.3) e os índices (3.5.4 a 3.5.6)

O item “3.3 *Desenhos*” deixa de citar especificamente a norma ABNT NBR 10067 - *Princípios gerais de representação em desenho técnico* e o anexo A, passando a referenciar apenas as “*normas de desenho vigentes da ABNT*”⁴. A remoção destas referências torna o item menos objetivo e simples.

O item “Simplificação” foi eliminado da nova versão. De acordo com a versão de 1997, “*quando não houver motivo para dúvidas, os símbolos devem ser empregados com o menor número possível de índices*”. Possivelmente, o objetivo desta eliminação é impedir interpretações subjetivas que abram margem para dúvida.

³ www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=1247 (acesso em 19/11/2019)

⁴ 2º PN Revisão ABNT NBR 7190:2013 pg.5

Por um lado, é importante evitar ao máximo notações que gerem dúvidas ou múltiplas interpretações, especialmente ao lidar com pessoas que não tenham muita familiaridade com a Norma. Por outro, o uso estrito de notações completas pode se mostrar incômodo e desnecessário para quem tem maior familiaridade com os termos da Norma, poluindo equações, diagramas e desenhos técnicos.

3.5.7 Simplificação

Quando não houver motivo para dúvidas, os símbolos devem ser empregados com o menor número possível de índices.

Assim, o índice w para madeira, freqüentemente pode ser eliminado.

Figura 1 - Parágrafo não incluso na nova versão (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

É mais provável portanto que, tal como indica a versão de 1997 da norma, o uso de notações redundantes caia em desuso naturalmente.

4.1.4 PROPRIEDADES DAS MADEIRAS (Item 4, Originalmente: 6 Propriedades das Madeiras)

4.1.4.1 Generalidades

Enquanto a norma de 97 indica que “*A caracterização mecânica das madeiras para projeto de estruturas deve seguir os métodos de ensaio especificados no anexo B*”, o projeto de revisão não mais indica que seja consultado o anexo B (Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas), mas sim “norma específica”, sem especificar a norma que deve ser consultada.

As referências às normas para os métodos de ensaio de caracterização mecânica são essenciais para simplificar o processo de consulta à norma.

4.1.4.2 Resistência

É removido o seguinte parágrafo: “*Os efeitos da duração do carregamento e da umidade do meio ambiente são considerados por meio dos coeficientes de*

modificação k_{mod} adiante especificados⁵. Possivelmente por se tratar de um parágrafo redundante.

4.1.4.3 Condição-padrão de referência

Originalmente é orientado que os ensaios de resistência e de rigidez de um lote de madeiras seja feito com madeiras com teor de umidade entre 10% e 20%, posteriormente, este intervalo foi atualizado para 10% a 25%. Permanece a orientação de corrigir os valores dos ensaios para a umidade padrão de 12%.

São removidos os seguintes parágrafos: *“Admitindo-se que a resistência e a rigidez da madeira sofram apenas pequenas variações para umidades acima de 20%⁶”* e *“Admite-se como desprezível a influência da temperatura na faixa usual de utilização de 10 °C a 60 °C⁷”*.

4.2.1 Condição-padrão de referência

Os valores especificados nesta Norma para as propriedades de resistência e de rigidez da madeira são os correspondentes à classe 1 de umidade, que se constitui a condição-padrão de referência, definida pelo teor de umidade de equilíbrio da madeira de 12 %.

Na caracterização usual das propriedades de resistência e de rigidez de um dado lote de material, os resultados de ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira, contidos no intervalo entre 10% e 25%, devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade padrão de 12%, classe 1, de acordo com as expressões seguintes.

Figura 2 - Faixa do teor de umidade para ensaios de caracterização de 10% a 25% (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

6.2.1 Condição-padrão de referência

Os valores especificados nesta Norma para as propriedades de resistência e de rigidez da madeira são os correspondentes à classe 1 de umidade, que se constitui na condição-padrão de referência, definida pelo teor de umidade de equilíbrio da madeira de 12%.

Na caracterização usual das propriedades de resistência e de rigidez de um dado lote de material, os resultados de ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira, contidos no intervalo entre 10% e 20%, devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade padrão de 12%, classe 1.

Figura 3 - Faixa do teor de umidade para ensaios de caracterização de 10% a 20% (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

⁵ ABNT NBR 7190(1997), pg.14

⁶ Ibid. pg.14

⁷ Ibid. pg.14

As equações de correção para a resistência e rigidez, no entanto, se mantêm as mesmas, a despeito da ampliação do intervalo do teor de umidade, são elas:

A resistência deve ser corrigida pela expressão:

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(U-12)}{100} \right]$$

e a rigidez por:

$$E_{12} = E_U \left[1 + \frac{2(U-12)}{100} \right]$$

Figura 4 – Equações de correção para a resistência e rigidez no Projeto de Revisão (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

A resistência deve ser corrigida pela expressão

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$$

e a rigidez por

$$E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right]$$

Figura 5 - Equações de correção para a resistência e rigidez na versão de 1997 da Norma (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

Muitas propriedades mecânicas da madeira são alteradas de acordo com seu grau de umidade, como a densidade, resistência à tração, resistência à compressão, resistência à flexão e o módulo de elasticidade. É essencial, portanto, entender como ocorrem estas alterações, além de quantificá-las.

A versão de 1982 da Norma de Madeiras, NBR 7190(1982) empregava o método determinístico das tensões admissíveis e considerava para efeitos de cálculo e dimensionamento a saturação das fibras de madeira, situação que na maioria dos casos não corresponde à realidade do uso das estruturas de madeira.

Já a NBR 7190(1997) passou a empregar o método probabilístico, determinando uma condição-padrão de referência para a determinação do desempenho mecânico de diferentes espécies de madeira, ou de diferentes amostras dentro de um mesmo lote de uma mesma espécie.

A condição-padrão definida na Norma é aquela cujas propriedades mecânicas correspondem à Classe de Umidade 1, na qual a umidade relativa do ambiente (U_{amb}) produz uma umidade de equilíbrio da madeira (U_{eq}) de 12%

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
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	$\geq 25 \%$

Figura 6 - Clases de umidade (fonte: ABNT NBR 7190)

A flexibilização do intervalo limite da faixa de umidade de 10% a 20% para 10% a 25% na execução de ensaios de resistência e caracterização do módulo de elasticidade permite uma maior facilidade na execução de ensaios de caracterização de resistência e rigidez, permitindo que sejam realizados ensaios em maiores intervalos de umidade. Esta mudança parte do pressuposto que a resistência e rigidez se mantêm linearmente proporcionais à umidade no intervalo de 10% a 25% de umidade, de acordo com as relações:

$$f_{12} = f_U \left[1 + \frac{3(U-12)}{100} \right]$$

f_{12} – Resistência da peça na umidade referência de 12%

f_U – Resistência da peça na umidade de ensaio U

$$E_{12} = E_U \left[1 + \frac{2(U-12)}{100} \right]$$

E_{12} – Rigidez da peça na umidade referência de 12%

E_U – Rigidez da peça na umidade de ensaio U

Segundo Kollmann⁸, a relação da resistência à compressão de acordo com o aumento do teor da umidade pode ser aproximada de uma linha reta para o intervalo de umidade entre 8% e 18% para as peças de Abeto, Pinus, Faia e Bétula

O mesmo não pode ser observado, no entanto, para o intervalo de 10% a 25%, no qual as diferenças entre os valores observados e os valores aproximados por uma linha reta são muito maiores, indicando que o intervalo ideal para a correção das propriedades mecânicas não passe de 20%.

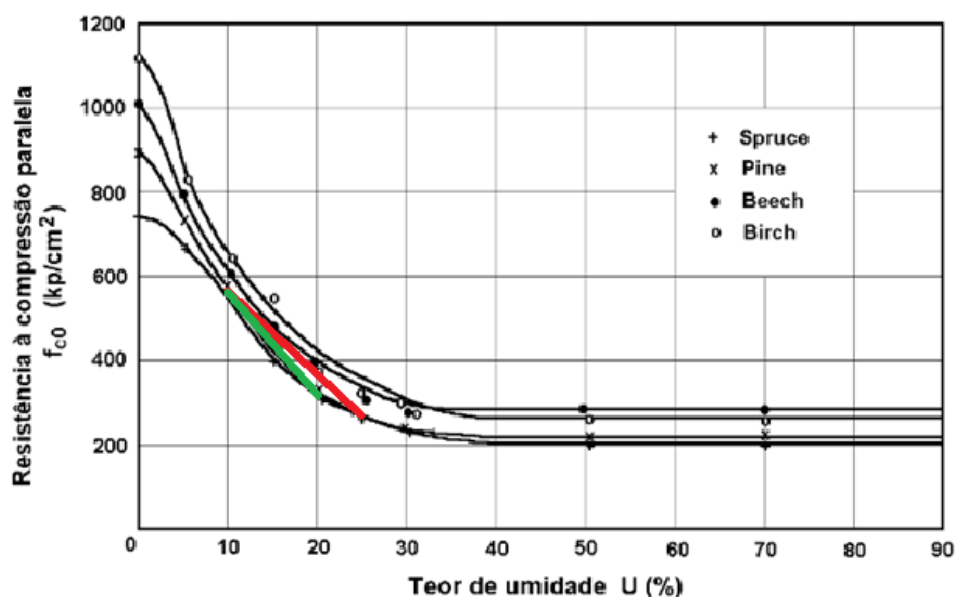


Figura 7 - Relação entre a Resistência à compressão e o Teor de umidade para Abeto, Pinus, Faia e Bétula (Fonte: KOLLMANN apud KOLLMANN & COTÉ (1984))

De forma semelhante à descrita por Kollmann, Bodig⁹ & Jayne propuseram as seguintes relações entre Tensão e Umidade:

⁸ KOLLMANN, F. (1951). Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Vol. I, 2.ed. Berlin - Göttingen - Heidelberg. Springer-Verlag. apud KOLLMANN, F. F. P. & CÔ-TÉ, W. A. (1984). Principles of wood science and technology. Vol I Solid Wood. Re-print Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. Springer-Verlag. 1968-1984.

⁹ BODIG, J. (1966). Stress-strain relationship of wood in transverse compression. J. Mat. 1 (3). p.645-666. apud BODIG, J.; JAYNE, B. A. (1992). Mechanics of Wood and Wood Composites. New York. Van Nostrand Reinhold Company Inc.

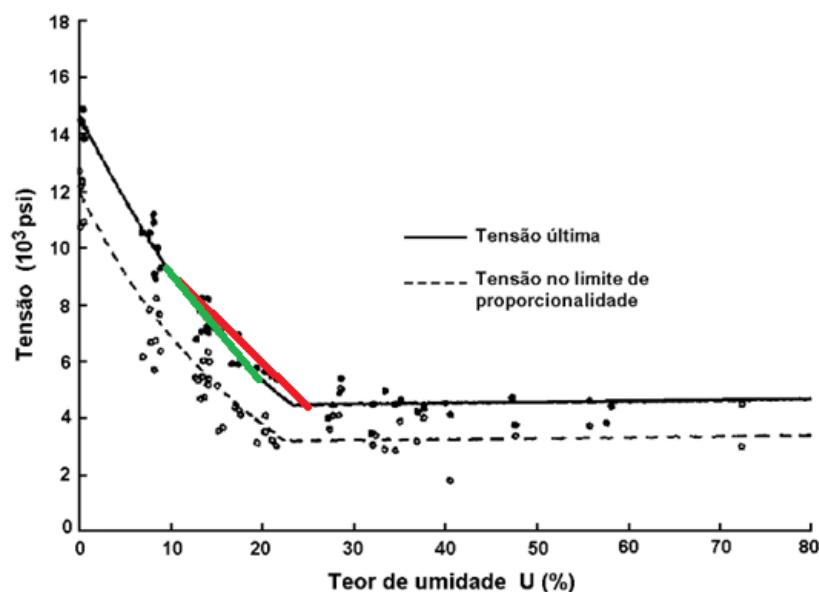


Figura 8 - Comportamento da Tensão Última e Tensão no Limite de Proporcionalidade de acordo com o Teor de umidade da peça de madeira (fonte: BODIG, J.; JAYNE, B. A. (1992))

Nas curvas da figura 12, é possível ver que tanto a Tensão Última quanto a Tensão no Limite de Proporcionalidade se comportam de forma muito semelhante, com o decréscimo da Tensão se aproximando de uma linha reta nos intervalos de 10% a 20% (representada pela linha verde).

No caso do intervalo de umidade entre 10% e 25%, observa-se que a aproximação da curva de tensão por uma equação linear (representada pela linha vermelha) resulta em diferenças relevantes de tensão.

Pode-se afirmar, portanto, que segundo este estudo, a correção das propriedades mecânicas para umidades além de 20% torna os resultados imprecisos.

Por outro lado, ao contrário do que indicam os estudos de Kollmann e Bodig & Jayne, é possível notar em alguns casos, um comportamento extremamente similar ao decréscimo linear do Módulo de Elasticidade com o aumento da umidade. É o que indica Matejak ¹⁰ & Starecka.

¹⁰ MATEJAK, M.; STARECKA, D. (1971). Effect of freezing of wood on its compression strength. (In German.) Holztechnol. 12 (3). p.144-146. apud BODIG, J.; JAYNE, B. A. (1992). Mechanics of Wood and Wood Composites. New York. Van Nostrand Rein-hold Company Inc.

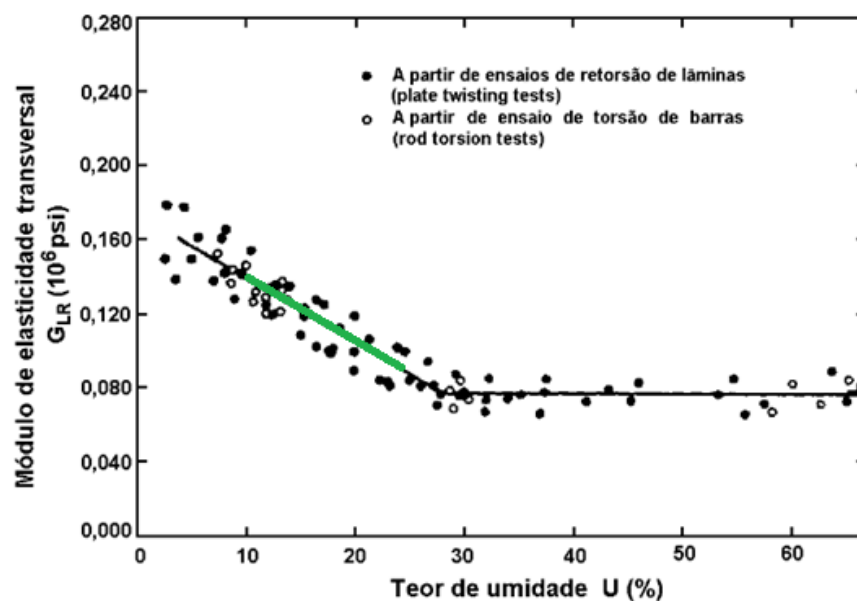


Figura 9 - Comportamento do Módulo de elasticidade transversal do Carvalho Vermelho Americano de acordo com o Teor de umidade (Fonte: MATEJAK & STARECKA apud BODIG & JAYNE (1992))

Pode-se notar na figura 13 que o decréscimo do Módulo de Elasticidade de acordo com o Teor de Umidade tem caráter linear entre as faixas de umidade de 10% a 25%, indicando a possibilidade de se estender os limites das equações de correção das propriedades da madeira para as condições de referência.

Por fim, segundo PORTEOUS¹¹ & KERMANI, há uma perda quase linear de resistência e rigidez conforme a umidade aumenta até 27%, percentual correspondente ao ponto de saturação da fibra. A partir deste ponto, o aumento da umidade não tem mais influência significativa na Resistência nem na rigidez da madeira.

¹¹ PORTEOUS, Jack; KERMANI, Abdy. Structural Timber Design to Eurocode 5. 2nd Edition. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2013.

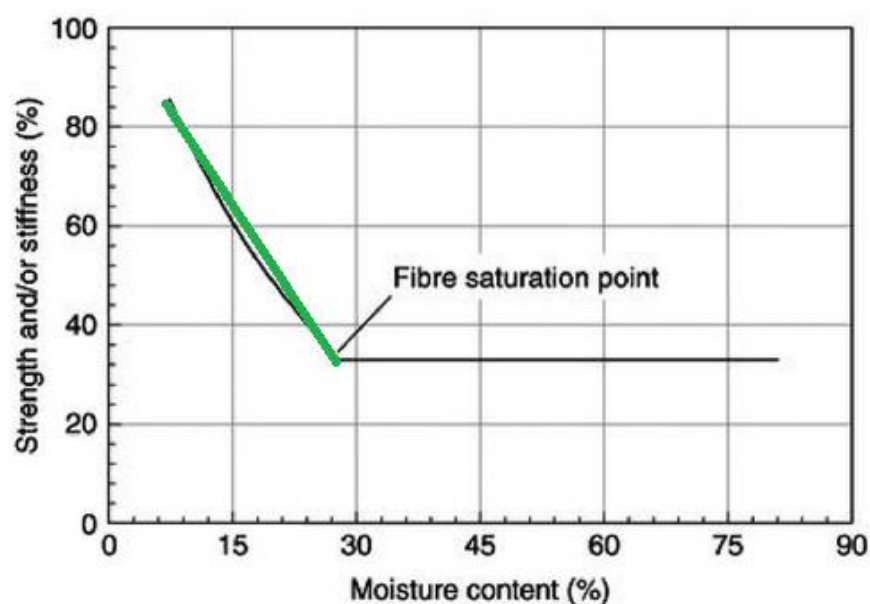


Figura 10 - Comportamento da Resistência e/ou rigidez de acordo com o Teor de Umidade (fonte: PORTEOUS, J. et KERMANI, A. (2013))

4.1.4.4 Classes de serviço

Originalmente, a norma indica que “as classes de serviço das estruturas de madeira são determinadas pelas classes de carregamento, definidas em 5.1.4 [Classes de carregamento].”. Na nova versão o item 5.1.4 não é mais citado, uma vez que não há mais um item específico para ações.

4.1.4.5 Caracterização das propriedades das madeiras

4.1.4.5.1 Classes de resistência:

No lugar das tabelas que classificam as madeiras como “Coníferas e Dicotiledôneas”, são introduzidas tabelas que classificam as madeiras como “Coníferas e folhosas”.

Os valores de Resistência ao Cisalhamento e Módulo de Elasticidade a 0º Médio, entretanto, diferem entre as tabelas, como pode ser visto a seguir:

Folhasas (Valores na condição-padrão de referência U = 12 %)				
Classes	$f_{c0,k}$ MPa	$f_{v0,k}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{aparente}$ kg/m³
D20	20	4	9500	650
D30	30	5	14500	800
D40	40	6	19500	950
D50	50	7	22000	970
D60	60	8	24500	1000

Figura 11 - Classes de resistência de folhasas, de acordo com o Projeto de Revisão (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

		Coníferas												Folhasas							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propriedades de resistência (em MPa)																					
Flexão	f_{mk}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tração paralela	$f_{t0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tração perpendicular	$f_{t90,k}$	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	$f_{c0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compressão perpendicular	$f_{c90,k}$	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	8,00	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cisalhamento	$f_{vj,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,00	4,0	3,4	4,00	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propriedades de rigidez (em MPa)																					
Módulo de elasticidade a 0º médio	$E_{0,m}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidade a 0º característico	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidade a 90º médio	$E_{90,m}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Módulo de elasticidade transversal médio	G_m	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidade (em 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
Nota1: Os valores dados para as resistências e módulos de elasticidade acima tabelados foram calculados conforme o PN 02:126.10-001-3																					
Nota 2: As propriedades tabeladas são compatíveis com madeira com teor de umidade em um ambiente de temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%.																					

Figura 12 - Classes de resistência de Coníferas e Folhasas, de acordo com o Projeto de Revisão (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

Tabela 8 - Classes de resistência das coníferas

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	¹⁾ $\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600
¹⁾ Como definida em 6.1.2.					

Tabela 9 - Classes de resistência das dicotiledôneas

Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	¹⁾ $\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000
¹⁾ Como definida em 6.1.2.					

Figura 13 - Classes de resistência de coníferas e dicotiledôneas segundo a Norma de 1997 (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

4.1.4.5.2 Coeficientes de modificação

A principal mudança neste item é a remoção do coeficiente de modificação k_{mod3} , que leva em conta a categoria da madeira de acordo com método de classificação visual normatizado e classificação mecânica.

A classificação visual normatizada garante que não haja grandes discrepâncias entre a rigidez das peças que compõem um mesmo lote de madeira, no

entanto, a versão de 1997 da norma não especifica quais critérios ou qual norma deve ser aplicada para esta categorização.

Embora não haja mais k_{mod3} no Projeto de Revisão, a classificação das peças de madeira ainda impacta a definição de suas propriedades, como a densidade, o módulo de elasticidade, e as resistências características à flexão, compressão e cortante.

Os critérios de classificação visual e mecânica são inclusos de forma objetiva e clara no Projeto de Norma *ABNT PN-2-126.10-001-1 – Madeiras – Critérios de classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira de florestas plantadas*. Esta inclusão elimina a subjetividade nas análises visuais e mecânicas.

No caso das classificações visuais, são descritos oito defeitos:

1 - Nós



Figura 14 - Nós (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

Nós são pontos de crescimento de galhos e ramos. A presença de nós reduz de forma significativa a resistência das peças de madeira, além de aumentar as chances de surgimento de rachas e quebras, desta forma, é essencial que todos os nós sejam devidamente identificados e mensurados.

Segundo a ABNT *PN-2-126.10-001-1* só podem ser utilizadas madeiras para fins estruturais se seus nós forem firmes. Caso a peça contenha nós cariados, soltos ou vazados, ela não pode ser usada para fins estruturais.

Para peças que contenham apenas um nó em sua face, são medidos o diâmetro (D) na seção transversal e a dimensão (L) da face considerada. A relação entre D e L , expressa em mm/mm é a grandeza a ser considerada para a classificação.

2 – Inclinação das fibras:

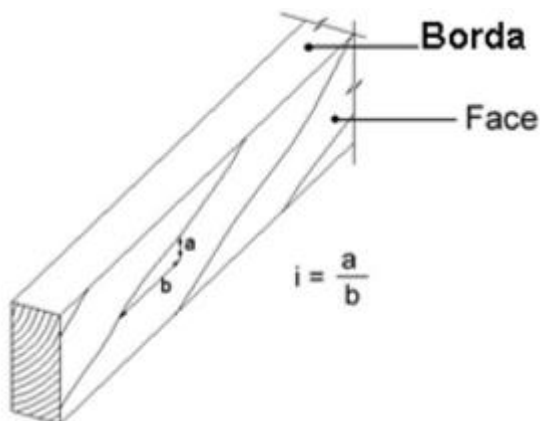


Figura 15 - Inclinação das fibras (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

A inclinação principal das fibras na peça decorre majoritariamente do corte da madeira bruta, no entanto, estão sempre presentes variações de inclinação ao longo de uma mesma fibra, uma vez que estes elementos não são perfeitamente retilíneos.

A presença de inclinações em uma peça compromete sua resistência à flexão e à compressão. No caso da tração, a ruptura ocorre pelo surgimento de tensões normais de tração, já no caso da compressão, a ruptura ocorre pelo cisalhamento paralelo às fibras.

Para a categorização A ABNT PN-2-126.10-001-1 exige que seja considerada a maior inclinação (i) ao longo da face da peça, desconsiderando desvios causados por nós.

3 – Fissuras

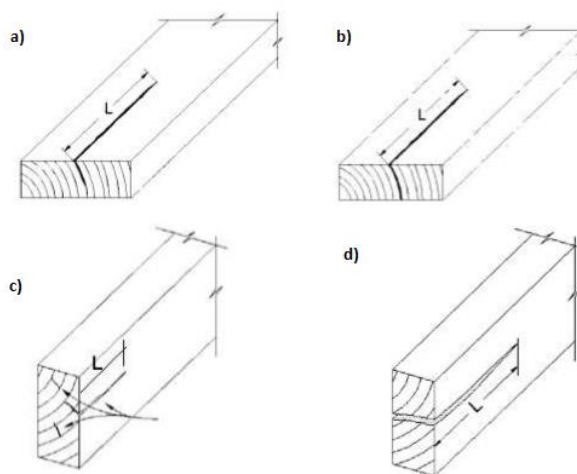


Figura 16 - (a) Racha não-passante (b) Racha passante (c) Fissura não-passante (d) Fissura passante (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

A presença de fissuras usualmente é decorrente da secagem da madeira ao ar-livre, não se caracterizando em um defeito severo que comprometa o uso estrutural da peça de madeira. A presença de fissuras, no entanto, torna a madeira mais suscetível a ataques biológicos, devido a sua maior superfície de contato.

A ABNT PN-2-126.10-001-1 determina que o comprimento da fissura (L) seja medido paralelamente ao comprimento da peça, e que a largura seja mensurada na seção transversal.

4 – Encurvamento

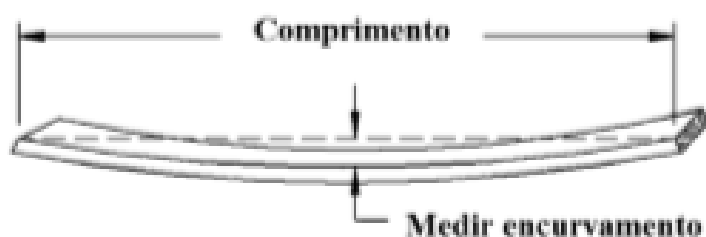


Figura 17 - Encurvamento (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

O encurvamento é definido como um empenamento de uma peça de madeira ao longo do menor eixo de inércia de sua seção transversal.

Segundo a norma, a medição do encurvamento deve ser realizada no maior ponto de deslocamento transversal da peça, com relação à linha imaginária que une as duas faces transversais opostas da peça.

5 - Arqueamento

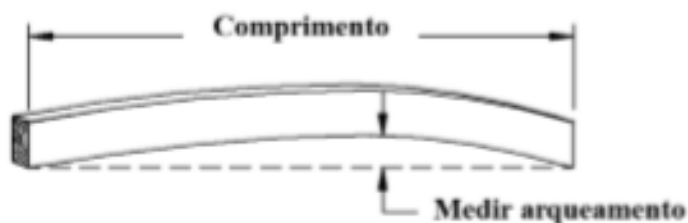


Figura 18 - Arqueamento (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

Outro tipo de empenamento é o arqueamento, segundo Martins (1988), o arqueamento é causado pela diferença de contrações longitudinais entre as laterais da peça de madeira, resultando em uma rotação ao longo do maior eixo de inércia da

face transversal da peça. Desta forma, a face longitudinal com maior retração, passa a ter um comprimento menor que a face longitudinal com menor retração.

Segundo a norma, de forma semelhante à medição do encurvamento, a medição do arqueamento deve ser realizada no maior ponto de deslocamento transversal da peça, com relação à linha imaginária que une as duas faces transversais opostas da peça.

6 - Torcimento



Figura 19 - Torcimento (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

O torcimento é causado por uma combinação de empenamentos da peça no maior e menor eixo de inércia transversal da peça. O resultado é uma deformação helicoidal da peça de madeira, em relação a seu eixo de maior dimensão.

A norma não deixa clara a forma adequada de se medir o torcimento de uma peça de madeira, sendo necessário inferir, a partir da figura fornecida, a dimensão que deve ser mensurada para o cálculo do torcimento.

7 - Encanoamento

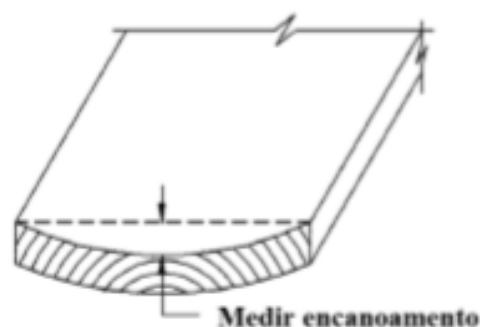


Figura 20 - Encanoamento (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

O anexo PN-02-126.10-001-1 - Madeiras – Critérios de classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira de florestas plantadas define o encanoamento como “um empenamento da peça de madeira, configurando uma face côncava e outra convexa”.

Deve ser medido no ponto de maior deslocamento em relação à linha reta que une as duas bordas da peça.

Segundo Gomide (1973), o encanoamento usualmente tem origem na secagem irregular da peça de madeira. É comum que, em determinadas situações de secagem, uma das faces seque mais rápido que outra e mesmo em situações de secagem uniforme o encanoamento pode ocorrer, influenciado pelo plano de corte da peça de madeira.

Assim como o encurvamento e o arqueamento, o encanoamento deve ser medido no maior ponto de deslocamento da peça, com relação à linha imaginária que une as duas faces opostas da peça.

8 - Esmoadado

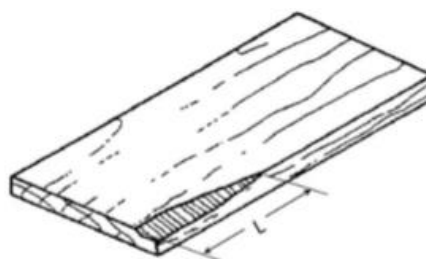


Figura 21 - Esmoadado (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

O anexo PN-02-126.10-001-1 - Madeiras – Critérios de classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira de florestas plantadas define o esmoado como “a ausência de madeira, causada por qualquer motivo, na quina de uma peça de madeira serrada.”

Todas as dimensões ortogonais do esmoado devem ser mensuradas, seu comprimento deve ser medido paralelamente ao comprimento da peça, e as suas dimensões transversais devem ser medidas ao longo das dimensões correspondentes na face transversal da peça.

Na versão de 1997 da Norma 7190, as classificações visuais e mecânicas determinam a categoria da madeira, representada pelo coeficiente de modificação k_{mod3} . A peça de madeira pode ser classificada como de primeira categoria ou segunda categoria, de forma que peças classificadas como primeira categoria têm seu valor $k_{mod3} = 1,0$ e peças classificadas como de segunda categoria têm seu valor $k_{mod3} = 0,8$.

A versão de 1997 da ABNT NBR 7190 determina que peças de madeiras possam ser classificadas como de primeira ordem apenas com a ausência de defeitos visuais e submissão à classificação mecânica que garanta a homogeneidade do lote. Desta forma, a classificação visual não é suficiente para garantir que uma peça de madeira seja considerada de primeira categoria. Por outro lado, peças podem ser consideradas de segunda categoria, com $k_{mod3} = 0,8$, se forem detectados quaisquer defeitos visuais citados acima.

Por fim, a versão de 1997 da ABNT NBR 7190 salienta alguns casos específicos para a determinação do k_{mod3} , são eles:

- a. $k_{mod3} = 0,8$ para peças estruturais maciças originárias de árvores coníferas, uma vez que há o risco da presença de nós de madeira indetectáveis visualmente.
- b. No caso das madeiras laminadas coladas, a versão de 1997 da norma indica que o k_{mod3} seja calculado a partir da curvatura da peça, de acordo com a seguinte equação:

$$k_{mod,3} = 1 - 2000 \left(\frac{t}{r} \right)^2$$

t – Espessura das lâminas (em cm)

r – Menor raio de curvatura das lâminas que compõem a seção transversal resistente

No Projeto *PN-02-126.10-001-1 - Madeiras – Critérios de classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira de florestas plantadas*, a identificação dos defeitos visuais é realizada de forma distinta, com intervalos de tolerância da presença dos defeitos identificados de forma visual.

Cada defeito deve ser mensurado e calculado como indicado pelo Projeto, e seus valores devem ser comparados com os Apêndices correspondentes. A seguir, é

apresentado o Apêndice 1, correspondente ao Pinus -spp, e a partir dele podemos observar os requisitos para as classificações visual e mecânica e propriedades das classes de resistência:

Classificação visual

Defeito	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Medula		Não se admite	
Nós	1/4	1/2	2/3
Inclin. das fibras (mm/mm)	1:9	1:6	1:3
Fissuras não passantes (m)	O comprimento das fissuras não deve ser maior que 1,0 m e nem ¼ da comprimento da peça		
Fissuras passantes (m)	Somente se permitem as fissuras passantes nos extremos e o comprimento não deve ser maior do que a largura da peça		
Encurv./arqueamento (mm)	Menor que 8 mm para cada 1 m de comprimento		
Torcimento (mm/m)	Menor que 1 mm para cada 25 mm de comprimento		
Encanoamento(mm)	Sem restrições		
Esmaoado (mm/mm)	Transversalmente menor que ¼da espessura ou largura da peça Sem restrições para o comprimento		
Ataques biológicos	Não se admitem zonas atacadas por fungos causadores de podridão Admitem-sezonas atacadas por fungos cromógenos Admitem-se orifícios causados por insetos com diâmetro inferior a 2mm.		
Madeiras de reação (mm.mm ⁻¹)	Menor ou igual a 1/5		
Outros	Danos mecânicos, presença de bolsa de resina e outros defeitos se limitam por analogia com alguma característica similar		

Classificação mecânica

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade (kg/m ³)	600	500	400
MOE (MPa)	>14000	>10000	>6000

Figura 22 - Requisitos para as classificações visual e mecânica e propriedades das classes de resistência (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

Desta forma, as classificações visual e mecânica passam a determinar as propriedades mecânicas das peças de madeira, de acordo com suas classes (Classe 1, Classe 2 ou Classe 3).

Classes de resistência

(adotar a menor das classes atribuída nas classificações visual e mecânica)

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade (kg/m^3)	600	500	400
MOE (MPa)	14000	10000	6000
MOR (MPa)	35	30	25
$f_{c0,k}$	30	25	20
$f_{v,k}$	6	5	4

Figura 23 - Requisitos para as classificações visual e mecânica e propriedades das classes de resistência (fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-1)

4.1.4.5.3 Coeficiente de modificação k_{mod1}

Como não há mais um item específico na norma sobre ações (Antigo Item 5), a tabela 4 passa a incluir informações sobre a “Ação variável principal da combinação” na escolha de k_{mod1} . Além disso, são dadas instruções sobre classes de carregamento e combinações de ações, com citações ao item 5.1.2.

Classes de carregamento	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
Permanente	Permanente	Vida útil da construção	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Mais de seis meses	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

Figura 24 - Valores de k_{mod1} (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

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

Figura 25 - Valores de k_{mod} (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

4.1.4.5.4 Coeficiente de modificação k_{mod}

As classes de umidade são desagrupadas e cada uma passa a ter um valor de k_{mod2} específico.

Na Classe de umidade 2, o k_{mod2} é rebaixado de 1 a 0,9 para a Madeira serrada, Madeira roliça, Madeira lamelada colada e Madeira Laminada colada. Para a madeira recomposta, o k_{mod2} é rebaixado de 1 a 0,95.

Na Classe de umidade 3, o k_{mod2} é elevado de 0,9 a 0,93 para Madeira serrada, Madeira roliça, Madeira lamelada colada e Madeira Laminada colada.

Na Classe de umidade 4, o k_{mod2} é rebaixado de 0,8 a 0,7 para a Madeira serrada, Madeira roliça, Madeira lamelada colada e Madeira Laminada colada. O rebaixamento na Classe de umidade 4 não ocorre para a madeira recomposta, de forma que o k_{mod2} neste caso continua a valer 0,9.

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

Figura 26 - Valores de k_{mod2} (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

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

Figura 27 - Valores de k_{mod2} (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

O desagrupamento das classes de umidade para o k_{mod2} permite uma precisão maior no dimensionamento e verificação das estruturas, sem comprometer a simplicidade do processo.

4.1.4.5.5 Estimativa da resistência característica e módulo de elasticidade característico

Item deixa de ser denominado apenas “Estimativa da resistência característica”

A umidade sob a qual foram realizados ensaios de resistência e elasticidade em laboratórios idôneos deixa de ser especificada como $U \leq 20\%$, no entanto, os valores de referência para a resistência ainda são obtidos ou calculados para umidade de 12%.

4.1.4.5.6 Estimativa da rigidez

Nas verificações de segurança, o valor empregado do módulo de elasticidade paralelamente às fibras passa a ser subdividido em dois casos:

- Compressão e flexocompressão: Valor característico

$$E_{0,05} = 0,7 * E_{c0,m}$$

- Estabilidade lateral: Módulo de elasticidade efetivo

$$E_{c0,ef} = k_{mod1} * k_{mod2} * E_{c0,m}$$

Onde

$E_{c0,m}$ é o valor médio do módulo de elasticidade medido na direção paralela às fibras da madeira;

O módulo de elasticidade transversal passa a ser calculado por:

$$G = \frac{E}{15}$$

e não mais

$$G = \frac{E_{c0,ef}}{20}$$

Nas verificações de estados limites últimos que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade paralelamente às fibras deve ser tomado com o valor característico para a verificação de peças comprimidas e flexocomprimidas e o módulo de elasticidade efetivo para a verificação da estabilidade lateral das vigas:

$$E_{0,05} = 0,7 \cdot E_{c0,m}$$

$$E_{c0,ef} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot E_{c0,m}$$

Nas verificações de estados limites de serviço deve ser considerado o valor médio do módulo de elasticidade.

Quando necessário o módulo de elasticidade transversal deve ser calculado por:

$$G = \frac{E}{15}$$

Figura 28 - Estimativa de rigidez de acordo com o Projeto de Revisão (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

Nas verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade paralelamente às fibras deve ser tomado com o valor efetivo

$$E_{c0,ef} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \cdot E_{c0,m}$$

e o módulo de elasticidade transversal com o valor efetivo

$$G_{ef} = E_{c0,ef} / 20$$

Figura 29 - Estimativa de Rigidez de acordo com a Norma de 1997 (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

4.1.5 DIMENSIONAMENTO - ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (Item 5, originalmente: 7 Dimensionamento - Estados limites últimos)

4.1.5.1 - Esforços atuantes em estados limites últimos

4.1.5.1.1 - Critérios Gerais

É removido trecho que indica que as estruturas só podem ser consideradas hiperestáticas se suas ligações forem do tipo rígidas. São removidas considerações sobre furos nas zonas tracionadas e zonas comprimidas.

Como não há mais um item específico sobre ações, são removidas citações sobre este item e são incluídas citações à ABNT NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas. São incluídas também considerações gerais sobre os coeficientes de ponderação γ_g , sendo feita uma distinção entre γ_g de elementos estruturais de madeira em geral e elementos estruturais de madeira industrializados.

4.1.5.2 – Flexão Simples Oblíqua

A flexão simples oblíqua está submetida aos seguintes critérios de segurança:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1$$

e

$$k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1$$

Onde:

($\sigma_{Mx,d}$) tensão máxima devido a flexão em x

($\sigma_{My,d}$) tensão máxima devido a flexão em y

(f_{wd}) resistência de cálculo

(k_M) coeficiente de correção

No caso das seções retangulares, o projeto de revisão passa a considerar $k_M = 0,7$ e não mais $k_M = 0,5$. É possível avaliar o impacto desta mudança considerando uma situação de flexão simples oblíqua na qual:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} = 0,5$$

e

$$\frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} = 0,75$$

Adotando $k_M = 0,5$ conforme a versão de 1997 da norma, tem-se:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$0,5 + 0,5 * 0,75 = 0,875 \text{ ok!}$$

e

$$k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$0,5 * 0,5 + 0,75 = 1 \text{ ok!}$$

Adotando $k_M = 0,7$ conforme o projeto de revisão, tem-se:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$0,5 + 0,7 * 0,75 = 1,025 \text{ não ok!}$$

e

$$k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1$$

$$0,7 * 0,5 + 0,75 = 1,1 \text{ não ok!}$$

É possível concluir, desta forma, que o aumento do coeficiente de correção k_M pode causar um aumento de até 10% dos valores de cálculo para a verificação de segurança das peças.

4.1.5.3 – Estabilidade

O cálculo de estabilidade sofreu profundas alterações no projeto de revisão, com mudanças nas condições de alinhamento das peças, introdução do conceito de esbeltez relativa e uma metodologia de verificação de estabilidade significativamente diferente.

A excentricidade acidental mínima, antes definida por:

$$e_a = \frac{L_0}{300}$$

Passa a ser dividida em dois casos:

Para peças de madeira serrada ou roliças: $e_a = \frac{L_0}{300}$

Para peças de madeira laminada colada: $e_a = \frac{L_0}{500}$

Adicionalmente, passa a ser introduzido o conceito de esbeltez relativa, correspondentes à flexão em torno dos eixos x e y. Os índices de esbeltez relativa para x e y são definidos respectivamente por:

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}}$$

e

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}}$$

Ademais, o limite inferior a partir do qual as peças não precisam ser verificadas com relação à estabilidade deixa de ser

$$\lambda \leq 40$$

e passa a ser

$$\lambda_{rel,x} \text{ e } \lambda_{rel,y} \leq 0,3$$

Para exemplificar as mudanças causadas por estas alterações, tal como a nova metodologia de verificação da estabilidade e os novos valores gerados por ela, será analisado o seguinte caso:

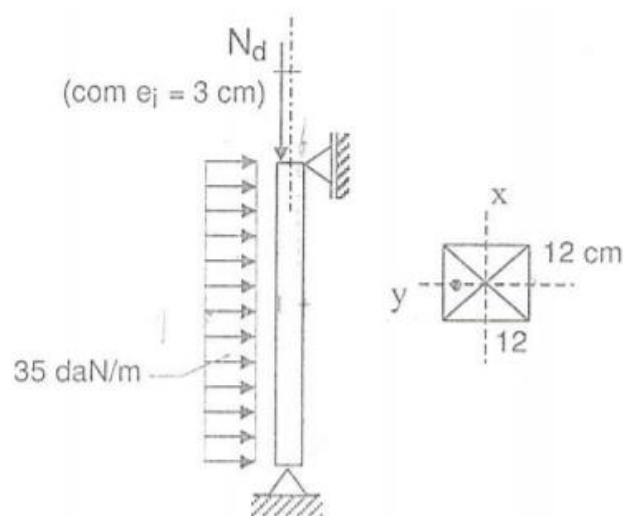


Figura 30 - Carregamentos na estrutura (fonte: VILELA, R, 2019)

Um pilar de madeira, com seção quadrada de 12cm, está submetido a uma força centrada axial composta de uma parcela permanente e outra devida ao vento, apresentando excentricidade de 3cm na direção y. Sobre o pilar também está atuando uma carga distribuída accidental devida ao vento, horizontal, de 35 daN/m.

Dados:

Carga vertical proveniente do Vento: $N_{q,k} = 514,29 \text{ daN}$

Comprimento do pilar = 3,6m

Madeira Dicotiledônea C60

Umidade Classe 1

4.1.5.3.1 Solução pelo método da ABNT NBR 71909(1997):

1.Cálculo do índice de esbeltez (λ):

$$\lambda = \frac{3,46 * l_{fl}}{a} = \frac{3,46 * 360}{10} = 104 > 80$$

Combinação normais de esforços solicitantes no Estado Limite Último:

$$N_{c,d} = 1,48 * N_{g,k} + 0,75 * 1,49 * N_{q,k}$$

$$N_{c,d} = 1,48 * 900 + 0,75 * 1,49 * 514,29 = 1800 \text{ daN}$$

2.Tensões atuantes:

2.1 Tensão proveniente da carga axial

$$\sigma_{Nd} = \frac{N_d}{A} = \frac{1800}{12 * 12} = 12,5 \text{ daN/cm}^2$$

2.2Tensão proveniente da carga distribuída

$$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{hor,d}}{I} = \frac{5953,5}{\sqrt{\frac{12 * 12^3}{12}}} * 6 = 20,67 \text{ daN/cm}^2$$

2.3 Tensão proveniente da carga axial:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E_{c0,ef} * I}{L_{fl}^2}$$

Onde

$$E_{c0,ef} = k_{mod} * E_{c0,m} = 0,56 * 245000 = 137200$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 137200 * \frac{12 * 12^3}{12}}{360^2} = 18055 \text{ daN}$$

$$e_i = \frac{M_{1gd} + M_{1qd}}{N_d} = \frac{11353,51}{1800} = 6,31 \text{ cm}$$

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = \frac{360}{300} = 1,2 \text{ cm}$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) * \left\{ \exp \left(\frac{\varphi * [N_{gk} + (\Psi1 + \Psi2) * N_q]}{F_E - [N_{gk} + (\Psi1 + \Psi2) * N_q]} \right) - 1 \right\} = 6,31 \text{ cm}$$

Onde:

$e_{ig} = 0$ (não há excentricidade inicial proveniente de carga permanente)

$\varphi = 0,8$ (carga permanente ou de longa duração e Classe

1)

Fatores devido a pressão dinâmica de vento: $\Psi1 = 0,2$ e $\Psi2 = 0$

$$e_c = 0,22 \text{ cm}$$

$$e_{1,ef} = e_i + e_a + e_c = 6,31 + 1,2 + 0,22 = 7,71 \text{ cm}$$

$$e_d = e_{1,ef} * \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right)$$

$$e_d = 7,71 * \left(\frac{18055}{18055 - 1800} \right) = 8,56 \text{ cm}$$

$$M_{1d} = N_{c,d} * e_d = 1800 * 8,56 = 15414,5 \text{ daNcm}$$

$$\sigma_{1d} = y * \left(\frac{M_d}{I} \right) = 6 * \frac{15414,5}{\frac{12 * 12^3}{12}} = 53,52 \text{ daN/cm}^2$$

$$M_{qd} = \frac{q_{sd} * l^2}{8} = 5953,5 \text{ daNcm}$$

$$\sigma_{qd} = y * \left(\frac{M_{qd}}{I} \right) = 6 * \frac{5953,5}{\frac{12 * 12^3}{12}} = 20,67 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mx,d} = \sigma_{qd} + \sigma_{1d} = 20,67 + 53,52 = 74,19 \text{ daN/cm}^2$$

Por fim, é feita a verificação das combinações:

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

$$\frac{12,5}{240} + \frac{74,19}{240} = 0,36 \leq 1 \text{ ok!}$$

4.1.5.3.2 Solução pelo método do projeto de revisão:

A seguir, a mesma estrutura será verificada pelo Cálculo do índice de esbeltez relativa ($\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$)

$$L_0 = k_E * L$$

$$L_{0,x} = L_{0,y} = 1 * 360 = 360 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{L_0}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{360}{\sqrt{\frac{12 * 12^3}{12 * 12 * 12}}}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = 104$$

Com os valores obtidos de λ , $f_{c0,k}$ e $E_{0,05}$ é possível calcular os índices de rigidez relativa:

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{104}{\pi} \sqrt{\frac{600}{0,7 * 245000}}$$

$$\lambda_{rel,x} = \lambda_{rel,y} = 1,9$$

Como $\lambda_{rel,x}$ $\lambda_{rel,y}$ são maiores que 0,3, é necessário realizar a verificação de estabilidade pelos critérios:

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cx} * f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

e

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cy} * f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

Com base na solução anterior, tem-se os valores:

$$\sigma_{Nc,d} = 12,5 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{c0,d} = 240 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{Mx,d} = 20,67 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{My,d} = 0 \text{ (não existem excentricidades ou cargas horizontais no eixo y)}$$

Por se tratar de uma seção retangular, deve-se adotar $k_M = 0,7$

Os coeficientes k_{cx} e k_{cy} são calculados por:

$$k_{cx} = \frac{1}{k_x + \sqrt{k_x^2 - \lambda_{rel,x}^2}}$$

e

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

em que:

$$k_x = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,x} - 0,3) + (\lambda_{rel,x})^2]$$

e

$$k_y = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + (\lambda_{rel,y})^2]$$

Sendo β_c definido por:

$$\beta_c = 0,2 \text{ para madeira maciça serrada e peças roliças}$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ para madeira lamelada colada e madeira laminada}$$

Tem-se, portanto:

$$k_x = k_y = 0,5 * [1 + 0,2 * (1,9 - 0,3) + (1,9)^2] = 2,46$$

e

$$k_{cx} = k_{cy} = \frac{1}{2,46 + \sqrt{2,46^2 - 1,9^2}} = 0,248$$

Por fim, são feitas as verificações:

$$\frac{12,5}{0,248 * 240} + \frac{20,67}{240} + 0,7 \frac{0}{240} \leq 1$$

$$0,296 \leq 1 \text{ ok!}$$

e

$$\frac{12,5}{0,248 * 240} + 0,7 * \frac{20,67}{240} + \frac{0}{240} \leq 1$$

$$0,270 \leq 1 \text{ ok!}$$

Pode-se observar, portanto, que ambas as metodologias de cálculo geram resultados semelhantes, sendo a metodologia apresentada no projeto de revisão menos conservadora e menos complexa.

4.1.5.4 – Ligações

Outro item que sofreu importantes alterações foi o item de ligações. Foram removidas todas as citações a ligações com cavilhas, foram adicionadas duas tabelas com os modos de falha para ligações de madeira com pinos metálicos, foi adicionado um item específico para pré-furações e foram alteradas as propriedades mínimas dos parafusos e pregos estruturais.

Para os parafusos estruturais:

O diâmetro nominal mínimo $d_{\min}$ passa de 10mm para 9,5mm

A resistência mínima característica de escoamento f_{yk} passa de 240MPa para 250MPa

Considerando o aumento do diâmetro nominal mínimo e o aumento da resistência característica mínima, é possível notar uma redução de 6% na força resistente do parafuso de diâmetro mínimo:

	Antes – NBR 7190(1997)	Depois – Projeto de Revisão	
d_{min}	1	0,95	[cm]
a_{min}	0,785398	0,708822	[cm ²]
f_y, k_{min}	240	250	MPa
$f_y k A$	0,01885	0,017721	MN
Variação		-6%	

O novo método de cálculo para ligações parafusadas com duas seções de corte passa a levar em consideração quatro modos de falha, desta forma, a ligação é analisada como um todo, em contraste com o método original, que orienta o cálculo individual para cada seção de corte.

Para exemplificar as mudanças causadas por estas alterações, tal como a nova metodologia de verificação das ligações e os novos valores gerados por ela, será dimensionada a seguinte ligação parafusada:

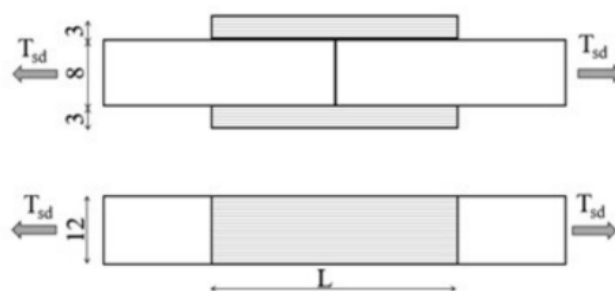


Figura 31 - Figura 34 - Carregamentos na estrutura (fonte: PONTES, R, 2019)

Dados:

Esforço de tração solicitante de cálculo $T_{sd} = 26$ kN

Madeira C25

Classe de umidade 2

$t_1 = 8$ cm

$$t_2 = 3\text{cm}$$

$$h = 12\text{cm}$$

4.1.5.4.1 Solução pelo método da ABNT NBR 7190(1997):

Dados:

$$f_{c0,k} = f_{t0,k} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,k} = 5 \text{ MPa}$$

$$E_{c0m} = 8500 \text{ MPa}$$

$$\varnothing_p = 10\text{mm}$$

$$f_{y,k} = 240 \text{ MPa}$$

$$f_{y,d} = 218,28 \text{ MPa}$$

$$k_{mod1} = 0,7$$

$$k_{mod2} = 1,0$$

$$k_{mod3} = 0,8$$

$$k_{mod} = 0,56$$

$$\gamma_{wc} = 1,4$$

$$\gamma_{wt} = 1,8$$

Resistências

$$f_{co,d} = k_{mod} * \frac{f_{co,k}}{\gamma_{wc}} = 10 \text{ MPa}$$

$$f_{to,d} = k_{mod} * \frac{f_{co,k}}{\gamma_{wt}} = 7,78 \text{ MPa}$$

$$f_{eo,d} = f_{co,d} = 10 \text{ MPa}$$

Verificação da ligação:

$$t = 3\text{cm (menor entre } t_1 \text{ e } t_2)$$

$$d = \varnothing_p + 0,5\text{mm} = 10,5\text{mm}$$

$$\beta = \frac{t}{d} = 2,86$$

$$\beta_{lim} = 1,25 \sqrt{\frac{f_{y,d}}{f_{eo,d}}} = 5,84$$

Como $\beta_{lim} > \beta$, deve ser verificada a flexão do pino:

$$R_{v,d1} = 0,625 * \frac{d^2}{\beta_{lim}} * f_{y,d} = 1,26 \text{ kN}$$

Considerando os seguintes espaçamentos:

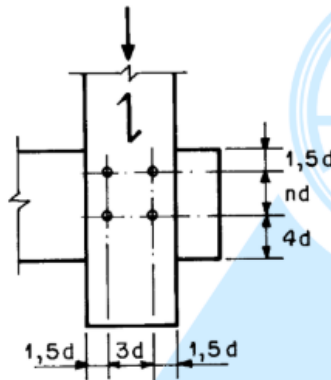


Figura 32 - Espaçamentos dos pinos (fonte: NBR 7190(1997))

o número de linhas de parafusos será

$$n_l = \frac{h}{3d} = \frac{12}{3 * 1,05} \cong 3 \text{ linhas}$$

e cada linha poderá resistir a

$$R_{v,d} = R_{v,d1} * n_l = 1,26 * 3 = 3,78 \text{ kN}$$

de forma que serão necessários

$$n_p = \frac{T_{s,d}}{R_{v,d}} = \frac{26}{3,78} \cong 7 \text{ parafusos por linha}$$

proporcionando uma área efetiva de

$$A_{ef,ext} = 2 * t_2 * (h - n_l * d) = 2 * 3 * (12 - 3 * 1,05) = 53,1 \text{ cm}^2$$

a tensão atuante nos parafusos será de

$$\sigma_{s,d1} = \frac{T_{s,d}}{A_{ef,ext}} = \frac{0,026}{0,00531} = 4,9 \text{ MPa}$$

por fim, é feita a verificação de ruptura da madeira:

$$\frac{\sigma_{s,d1}}{f_{t0,d}} = \frac{4,9}{7,78} \leq 1 \text{ ok!}$$

4.1.5.4.2 Solução pelo método do projeto de revisão:

Dados:

$$f_{c0,k} = f_{t0,k} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,k} = 5 \text{ MPa}$$

$$E_{c0m} = 8500 \text{ MPa}$$

$$\emptyset_p = 9,5 \text{ mm}$$

$$f_{y,k} = 250 \text{ MPa}$$

$$f_{y,d} = 227,28 \text{ MPa}$$

$$k_{mod1} = 0,7$$

$$k_{mod2} = 1,0$$

$$\gamma_{lig} = 1,4$$

$$\gamma_{wc} = 1,4$$

$$\gamma_{wt} = 1,8$$

$$n_{sp} = 2$$

$$t_1 = 8 \text{ cm}$$

$$t_2 = 3 \text{ cm}$$

$$f_{u,k} = 415 \text{ Mpa}$$

$$f_{e1,k} = f_{e1,k} = 25 \text{ Mpa}$$

$$d = \emptyset_p 0,5 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{f_{e1,k}}{f_{e2,k}} = 1$$

Resistências

$$f_{co,d} = k_{mod} * \frac{f_{co,k}}{\gamma_{wc}} = 12,5 \text{ MPa}$$

$$f_{to,d} = k_{mod} * \frac{f_{co,k}}{\gamma_{wt}} = 9,7 \text{ MPa}$$

$$f_{eo,d} = f_{co,d} = 12,5 \text{ MPa}$$

A resistência característica R_k da ligação será calculada por:

$$R_k = F_{v,Rk} * n_{sp} * n_{ef}$$

onde

$n_{sp} = 2$ é a quantidade de seções de corte por pino metálico)

n_{ef} é o número efetivo de pinos por ligação) $F_{v,Rk}$

$F_{v,Rk}$ é a resistência característica do pino, menor valor entre os quatro modos de falha Ia, Ib, II e III

Considerando o mesmo espaçamento do método anterior, o número de linhas de parafusos será

$$n_l = \frac{h}{3d} = \frac{12}{3 * 1,0} \cong 3 \text{ linhas}$$

e cada linha poderá resistir a

$$R_{v,d} = R_{v,d1} * n_l = 1,26 * 3 = 3,78 \text{ kN}$$

de forma que serão necessários

$$n_p = \frac{T_{s,d}}{R_{v,d}} = \frac{26}{3,78} \cong 7 \text{ parafusos por linha}$$

portanto o número efetivo de parafusos será

$$n_{ef} = n_p * n_l = 3 * 7 = 21 \text{ parafusos}$$

sequencialmente, o cálculo de $F_{v,Rk}$ deve ser feito para os quatro modos de falha:

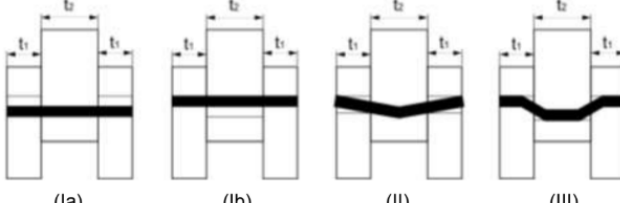
 (Ia) (Ib) (II) (III)	
Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
(Ia)	$F_{v,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$
(Ib)	$F_{v,Rk2} = 0,5 f_{e1,k} t_2 d \beta$
(II)	$F_{v,Rk3} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1}{2 + \beta} d \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(III)	$F_{v,Rk4} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
$F_{v,Rk}$ é o menor valor dentre os resultados dos quatro modos de falha.	

Figura 33 - Modos de falha (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

Empregando os valores já obtidos nas equações da figura acima, tem-se:

$F_{v,Rk1}$	7,5
$F_{v,Rk2}$	10
$F_{v,Rk3}$	4,88
$F_{v,Rk4}$	12,11

Considera-se, portanto, que a falha ocorrerá segundo o modo de falha II, com a flexão do pino na região central.

Com os valores de $F_{v,Rk}$, n_{sp} e n_{ef} , pode-se calcular:

$$R_k = F_{v,Rk} * n_{sp} * n_{ef} = 4,88 * 2 * 21 = 204,96 \text{ kN/cm}^2$$

$$R_d = k_{mod1} * k_{mod2} * \frac{R_k}{\gamma_{lig}} = 0,7 * 1,0 * \frac{204,96}{1,4} = 102,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$S_d = 26 \text{ kN}$$

$$R_d \geq S_d \text{ ok!}$$

4.1.6 VERIFICAÇÃO - ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO

Item anteriormente denominado “Dimensionamento - Estados Limites de Utilização”. Possivelmente para que a sigla “ELU” não seja confundida com “Estado Limite Último” foi feita a alteração para “Estado Limite de Serviço”, cuja sigla é “ELS”

4.1.6.1 Critérios gerais

4.1.6.1.2 Critério de verificação da segurança

É alterada a nomenclatura de “S_{d,uti}” para “S_{d,serv}”. A tabela 2 deixa de ser citada como fonte dos coeficientes de combinação Ψ_1 e Ψ_2 , em seu lugar, passa a ser citada a ABNT NBR 8681.

4.1.6.2 Deslocamentos limites para construções correntes

Nas combinações de ações de longa duração passa a ser usado o valor médio do módulo de elasticidade $E_{c0,m}$, e não mais o módulo de elasticidade efetivo $E_{c0,ef}$.

A flecha efetiva u_{ef} não é mais definida como a “soma das parcelas devidas à carga permanente u_G e à acidental u_Q ”, mas passa a ser definida da seguinte forma:

$$\begin{aligned}u_{ef} &= u_{ime} + u_c \\u_{ime} &= u_G + \Psi_2 * u_Q \\u_c &= \phi * (u_G + \Psi_2 * u_Q) \\u_{ef} &= u_G + \Psi_2 * u_Q + \phi * (u_G + \Psi_2 * u_Q) \\u_{ef} &= (1 + \phi)u_G + (1 + \phi) \Psi_2 * u_Q\end{aligned}$$

onde,

(u_{ef}) - Flecha efetiva

(u_{ime}) - Flecha imediata

(u_c) - Flecha devido à fluência

(u_G) - Flecha decorrida de ações permanentes

(u_Q) - Flecha decorrida de ações acidentais

(ϕ) - Coeficiente de fluência (tabela 22)

(Ψ_2) - Fator de combinação (ABNT NBR 8681)

Desta forma, a flecha efetiva passa a ser não apenas uma combinação das flechas devido às cargas permanentes e acidentais, mas passa a levar em consideração também a flecha devido à fluência da peça.

Adicionalmente, os valores limites flechas passam a ser mais rigorosos:

No caso dos vãos, o limite passa de 1/200 para 1/300

No caso dos balanços correspondentes, o limite passa de 1/100 para 1/150

Utilizando os valores mais extremos do coeficiente de fluência ϕ e do fator de combinação Ψ_2 , é possível calcular a maior e a menor mudança gerada pelo novo método de cálculo da flecha efetiva:

	Maior valor		Menor valor	
ϕ	2	Classe de umidade 4 e Carregamento Permanente ou de Longa Duração	0,1	Classe de umidade 1 / Carregamento de Curta duração
Ψ_2	0,6	Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens.	0	Pressão dinâmica do vento

Considerando uma flecha efetiva unitária $u_{ef} = 1$ cujo valor de u_Q é nove vezes maior que o de u_Q , tem-se:

Flecha efetiva pela versão da norma de 1997:

$$u_{ef} = u_G + u_Q$$

$$u_{ef} = 0,9 + 0,1 = 1$$

Maior aumento na flecha efetiva pelo Projeto de Revisão:

$$u_{ef} = (1 + \phi)u_G + (1 + \phi) \Psi_2 * u_Q$$

$$u_{ef} = (1 + 2)0,9 + (1 + 2)0,6 * 1 = 2,88$$

Menor aumento na flecha efetiva pelo Projeto de Revisão:

$$u_{ef} = (1 + \phi)u_G + (1 + \phi) \Psi_2 * u_Q$$

$$u_{ef} = (1 + 0,1)0,9 + (1 + 0,1)0 * 1 = 0,99$$

Conclui-se, portanto, que no caso mais favorável, haverá uma redução de 1% no valor da flecha calculada, enquanto no caso menos favorável, haverá um aumento de 188% no valor da flecha calculada.

4.1.7 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

É removido o item “Durabilidade da madeira” que orienta o projeto e execução de estruturas de madeira a se atentarem às condições que levam a uma durabilidade desejável da madeira.

É adicionado o item “Diâmetro equivalente para peças de seção circular variável”, que fornece a equação de cálculo para um diâmetro equivalente de peças de seção circular variável, tal que os cálculos sejam simplificados sem prejuízo para a segurança. O diâmetro equivalente só pode ser utilizado caso não supere 1.5x o diâmetro da menor seção circular.

4.1.7.1 Dimensões mínimas

Não há mais um item que especifique as dimensões mínimas de pinos e cavilhas.

O diâmetro dos pregos deve respeitar as exigências de 8.3.2; o diâmetro dos parafusos de 8.3.3 e o diâmetro das cavilhas de 8.4.

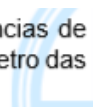


Figura 34 - Referência para a definição das dimensões dos pinos e cavilhas na versão de 1997 da Norma. (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

4.1.7.1.1 Dimensões mínimas das seções transversais

Há a adição de um novo parágrafo que especifica que estruturas industrializadas de madeira podem ter seções menores que as anteriormente indicadas, no entanto, cabe aos produtores das estruturas comprovar sua eficiência.

Em estruturas industrializadas de madeira, as seções mínimas de madeira e os diâmetros mínimos dos pregos e parafusos podem ser inferiores aos mencionados, desde que haja comprovação experimental ou teórica de sua eficiência. Nesses casos cabe à empresa produtora dessas estruturas o controle de qualidade desses materiais e de sua aplicação.

Figura 35 - Novo parágrafo no Projeto de Revisão, indicando os casos nos quais as seções e diâmetros podem ser diferentes dos mínimos estipulados (fonte: 2º PN Revisão ABNT NBR 7190(2013))

4.1.7.2 Execução

4.1.7.2.1 Disposições gerais

São removidos três parágrafos.

O primeiro diz que somente é permitido vergar artificialmente madeiras esquadrejadas ou cortar peças curvas de peças retas de maior seção quando não houver prejuízo para a segurança da estrutura.

O segundo diz que peças que não se adaptem perfeitamente à ligações ou tenham empenado prejudicialmente devem ser substituídas.

O último diz que todas as perfurações, escariações, ranhuras e fresamentos para ligações devem ser feitos à máquina e perfeitamente ajustados.

Somente é permitido vergar artificialmente madeiras esquadrejadas ou cortar peças curvas de peças retas de maior seção quando se demonstrar a possibilidade de aplicação desse processo sem prejuízo da segurança da estrutura.

As peças que na montagem não se adaptem perfeitamente às ligações ou que se tenham empenado prejudicialmente devem ser substituídas.

Todas as perfurações e escariações, bem como ranhuras e fresamentos para meios de ligações, devem ser feitos a máquina e perfeitamente ajustados.

Figura 36 - Parágrafos removidos da versão de 1997 da Norma (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

4.1.7.3 Classificação das peças

São removidas as condições que orientam a classificação da madeira em primeira e segunda categoria. É mantido o último parágrafo, que explicita os critérios de classificação de acordo com o $f_{c0,k}$ e quais fornecedores podem classificar um lote.

A classificação das peças de madeira deve respeitar as seguintes condições:

- a) as peças de madeira poderão ser classificadas como de primeira categoria somente se forem classificadas como isentas de defeitos por meio do método visual normalizado, e também submetidas a uma classificação mecânica para enquadramento nas classes de resistência especificadas em 6.3.5. Não se permite classificar as madeiras como de primeira categoria apenas por meio de método visual de classificação;
- b) as peças serão classificadas como de segunda categoria quando não houver a aplicação simultânea da classificação visual e mecânica;
- c) a utilização de máquinas automáticas de classificação mecânica permite enquadrar as peças em lotes de rigidez homogênea, mas não permite enquadrá-las nas classes de resistência especificadas em 6.3.5;
- d) para o enquadramento nas classes de resistência estabelecidas em 6.3.5, para as madeiras de primeira ou de segunda categoria, deve ser feita pelo menos a caracterização simplificada, definida em 6.3.3, de acordo com a amostragem definida em 6.4.8;
- e) a aceitação de um lote de madeira como pertencente a uma das classes de resistência especificadas em 6.3.5 é feita sob a condição $f_{c0k,ef} \geq f_{c0k,esp}$

Figura 37 - Parágrafos removidos do Projeto de Revisão (fonte: ABNT NBR 7190(1997))

4.1.7.4 Estruturas de madeira em situação de incêndio

Uma das maiores inovações do Projeto de Revisão da ABNT NBR 7190 foi a inclusão de um item específico para Estruturas de Madeira em Situação de Incêndio, em contraste direto com a versão de 1997 da ABNT NBR 7190, que não faz menção alguma ao termo “Incêndio”.

Um dos principais fatores que motivam esta mudança foi a publicação da *ABNT NBR 1443:2000 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações*, que passou a introduzir o conceito de Tempo Requerido de Resistência ao fogo (TRRF), que segundo a Norma Técnica 08/14 ¹² é necessário

¹² NORMA TÉCNICA 08/2014 -Resistência ao fogo dos elementos de construção – Corpo de Bombeiros Militar, Estado de Goiás.

para retardar o colapso da estrutura por tempo suficiente que permita a evacuação segura dos ocupantes da estrutura e o acesso das equipes do Corpo de Bombeiros para o combate ao incêndio.

O cumprimento desta Norma é exigido para qualquer material estrutural (Concreto, Aço, Madeira, etc.), o que impede a abordagem detalhada das características de projeto de cada um dos materiais; desta forma, a ABNT NBR 7190 passa a ser responsável por orientar o projeto e dimensionamento de estruturas de madeira de forma que os critérios de performance estabelecidos pela ABNT NBR 1443:2000 sejam atendidos.

Não há no Brasil uma política pública de divulgação oficial de dados sobre incêndios, o que torna difícil a aferição da eficácia das medidas exigidas pelas Normas *ABNT NBR 1443:2000* e *NT 08/14*, no entanto, desde 2012, o Instituto Sprinkler Brasil (ISB) publica relatórios anuais com a volumetria de incêndios estruturais em território brasileiro reportados pela imprensa.

Segundo o ISB¹³, o número de casos apurados não chega a representar 3% da quantidade real de ocorrências de incêndio, no entanto, os relatórios nos permitem ter uma noção da frequência com a qual ocorrem incêndios estruturais.

A figura 40 corrobora a necessidade de se estabelecerem critérios específicos em norma para o desempenho de estruturas em situações de incêndio; ademais, a figura 41 nos indica a necessidade de conhecer as particularidades de cada tipo de ocupação e finalidade de estrutura, mitigando riscos e preservando a vida humana.

¹³ ISB - Instituto Sprinkler Brasil. **ISB Estatísticas**. Disponível em: <
<https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/>>. Acesso em: 13, set. de 2019.

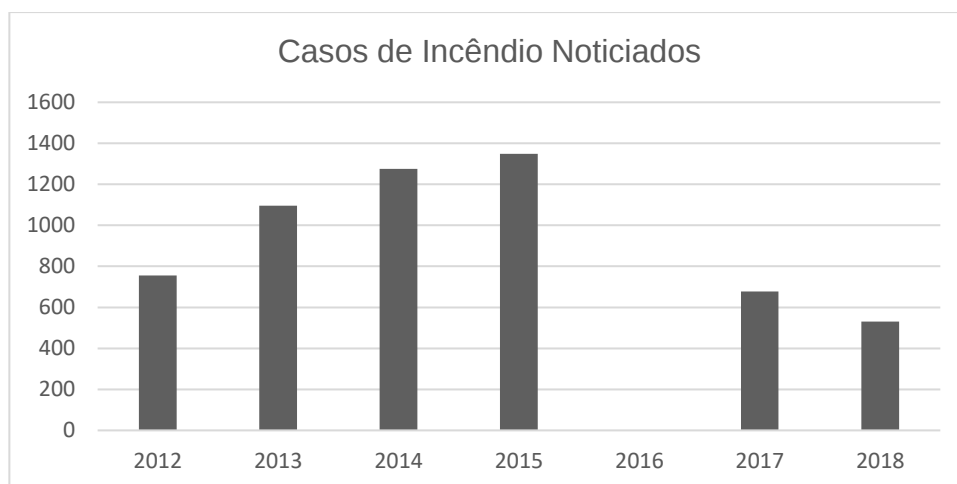


Figura 38 - Casos de Incêndio Noticiados de 2012 a 2018 (não há dados para 2016) (fonte: ISB - Instituto Sprinkler Brasil. ISB Estatísticas. Disponível em: <<https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/>>. Acesso em: 13, set. de 2019.)

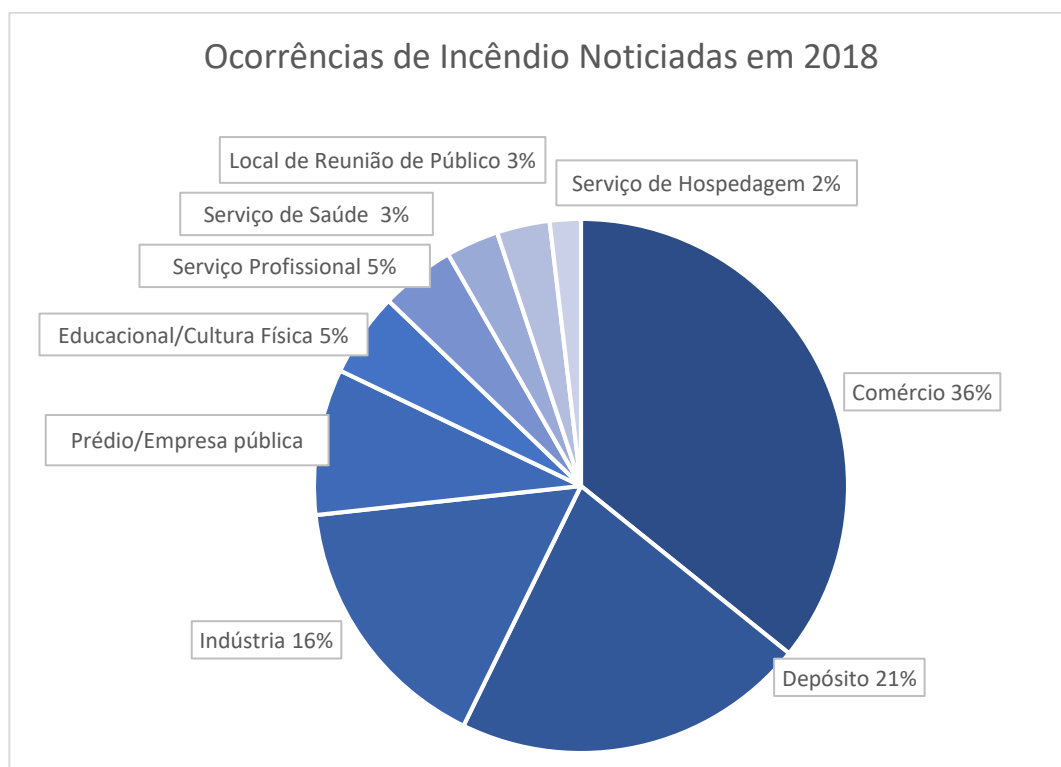


Figura 39- Distribuição das categorias de local para ocorrências de incêndio noticiadas em 2018 (fonte: ISB - Instituto Sprinkler Brasil. ISB Estatísticas. Disponível em: <<https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/>>. Acesso em: 13, set. de 2019.)

5 CONCLUSÕES

São apresentadas a seguir as conclusões relativas às análises das alterações mais relevantes entre a ABNT NBR 7190(1997) - Projeto de Estruturas de Madeira e seu Projeto de Revisão publicado no âmbito da ABNT em 2013.

5.1 ESCOPO

O item passa a informar que a norma “atende aos princípios e requisitos do método dos estados limites incluindo a durabilidade e situação de incêndio”. Ao longo desta nova versão da NBR 7190, assim como indica o item “Escopo”, é possível observar que é dada uma atenção muito maior ao desempenho de estruturas de madeira em situação de incêndio, o que não ocorria com a versão de 1997 da norma.

Essa inclusão é uma das mais importantes alterações realizadas na Norma e indica um olhar mais amplo e atual sobre as condições de desempenho das estruturas.

5.2 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

A citação de novas normas é essencial para manter a ABNT NBR 7190 atualizada e de acordo com o cenário legislativo atual, este é o caso da ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, norma que entrou em vigor em 2013 e que orienta os critérios de desempenho mínimo, intermediário e superior de diversos sistemas de uma edificação habitacional, dentre eles, os sistemas estruturais.

A citação de novas normas também é essencial para manter a ABNT 7190 atualizada de acordo com o cenário tecnológico atual, padronizando o uso estrutural de tecnologias como madeira compensada. Este é o caso da citação à normas como a ABNT NBR ISO 1096, Madeira compensada – Classificação, ABNT NBR ISO 1954, Madeira compensada - Tolerâncias dimensionais, ABNT NBR ISO 2426, Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial e ABNT NBR ISO 12466, Madeira Compensada - Qualidade de Colagem.

As Normas Técnicas costumam apresentar uma natureza reativa às novas tecnologias apresentadas pelo mercado e pela academia, desta forma, é esperado que ao ser atualizada, a NBR 7190 já esteja defasada neste aspecto. Atualizações mais frequentes e abordagens como a de desempenho mínimo são soluções para este problema.

5.3 GENERALIDADES

Mudanças de nomenclatura são uma das alterações mais triviais, no entanto, ainda sim relevantes. As mudanças de nomenclatura podem apresentar maior clareza e precisão na transmissão de informação, evitando redundâncias e confusões. Um exemplo de alteração de nomenclatura útil é a mudança de "Estado Limite de Utilização" para "Estado Limite de Serviço", uma vez que é comum a abreviação para a sigla "ELU", que eventualmente pode ser confundida com a sigla para "Estado Limite Último".

Nas nomenclaturas ainda são mantidos diversos anglicanismos, como o índice "w" para "madeira" e "vento" ("wood" e "wind" em inglês, respectivamente). O uso destes anglicanismos pode permitir uma compreensão mais universal das equações e a comparação com as equações de outros códigos e normas internacionais.

5.4 PROPRIEDADES DAS MADEIRAS

5.4.1 Condição-padrão de referência

Analisando os resultados apresentados pelos estudos de Kollmann (1951), Bodig & Jayne (1992) e Matejak & Starecka (1971), pode-se concluir que a flexibilização do intervalo limite da faixa de umidade de 10% a 20% para 10% a 25% na execução de ensaios de resistência e caracterização do módulo de elasticidade não é prudente.

Os dados apresentados indicam que o comportamento das propriedades analisadas frequentemente não se aproxima de uma reta nas faixas de 10% a 25% de teor de umidade, e desta forma, não podem ser corrigidas para a condição referência de 12% de umidade sem que seja sacrificada a precisão dos dados.

5.4.2 Classes de resistência:

A nova classificação entre "Coníferas e Folhosas" em substituição à "Coníferas e Dicotiledôneas" pode ser considerada mais precisa, uma vez que, segundo o Glossário de Termos Usados em Atividades Agropecuárias, Florestais e

Ciências Ambientais¹⁴, “Folhosa” é o termo utilizado para designar espécie florestal de madeira dura e de fibra curta, em contraste com “Coníferas”, termo utilizado para descrever árvores que fornecem geralmente madeira macia e de fibras longas, como os pinheiros. Adicionalmente, utiliza-se em tradução direta do Inglês “Softwood” para Coníferas e “Hardwood” para Folhosas.

5.4.3 Coeficientes de modificação

A remoção do k_{mod3} se dá por uma nova e mais completa abordagem na classificação das madeiras, de forma que a distinção entre madeira de primeira e segunda ordem cai em desuso. Em seu lugar, entram as classificações em três distintas Classes de Resistência (Classe 1, Classe 2, Classe 3), sendo adotada a menor das classes atribuída nas classificações visual e mecânica.

Embora a presença do k_{mod3} simplifique o processo de cálculo, sua remoção torna os resultados de projeto mais precisos e menos antieconômicos, desta forma, a mudança na metodologia de projeto pode ser considerada positiva.

5.4.4 Coeficiente de modificação k_{mod2}

O desagrupamento das classes de umidade permite uma maior precisão no cálculo de valores que envolvam o k_{mod2} , permitindo uma caracterização mais fiel à realidade. Assim como a remoção do k_{mod3} , esta pode ser considerada uma alteração positiva.

5.5 VERIFICAÇÃO - ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS

5.5.1 – Estabilidade

A modificação na metodologia de cálculo para a verificação de estabilidade das estruturas tornou o processo de cálculo mais complexo, no entanto, ambas as metodologias de cálculo geram resultados semelhantes, sendo a metodologia apresentada no projeto de revisão menos conservadora.

¹⁴ Ormond, José Geraldo Pacheco.O43gGlossário de termos usados em atividades agropecuárias,florestais e ciências ambientais / José Geraldo PachecoOrmond. – Rio de Janeiro : BNDES, 2006.316 p. ; 23 cm.

5.5.2 - Ligações

A modificação na metodologia de cálculo para a verificação das ligações tornou-se mais completa com o detalhamento dos modos de falha das conexões. A adição de um item específico para parâmetros de ligação de MLC demonstra que a norma não se mantém focada no desempenho das estruturas de madeira serrada, mas reconhece a importância da madeira engenheirada.

5.6 VERIFICAÇÃO - ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO

5.6.1 Deslocamentos limites para construções correntes

Neste item, observamos que há uma redução de 1/3 nos limites para as flechas, tanto para os vãos, quanto para os balanços. Esta redução mostra-se essencial para garantir o projeto e execução de estruturas com melhor usabilidade e conforto visual para o usuário final.

5.7 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

5.7.1 Dimensões mínimas das seções transversais

Neste item é possível observar a mudança no paradigma de algumas normas, tal como observado na ABNT NBR 15575 - Desempenho de edificações habitacionais. O foco deixa de ser no método de projeto e execução e passa a ser no desempenho da estrutura.

A mudança pode ser considerada positiva, uma vez que permite a implementação de inovações tecnológicas de forma mais rápida e natural, não barrando soluções pioneiras que atendam aos requisitos de desempenho.

5.8 ESTRUTURAS DE MADEIRA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

A adição de um item específico para situações de incêndio no Projeto de Revisão da ABNT NBR 7910 é essencial para garantir a segurança de estruturas de madeira em situações extremas, preservando bens materiais e principalmente salvando vidas em casos de desastre.

Outro impacto extremamente positivo causado por este item é o combate a um dos maiores equívocos que o público não especializado ainda possui com relação às estruturas de madeira: o de que elas são mais perigosas em situação de incêndio se comparadas às estruturas de concreto armado ou aço. O combate a este e outros pré-conceitos sobre estruturas de madeira é indispensável para a difusão da madeira como solução na Engenharia Civil.

Do ponto de vista acadêmico, espera-se um aumento significativo de pesquisas e estudos sobre a performance de estruturas de madeira em situação de incêndio, sejam estas estruturas fabricadas em madeira serrada ou em madeira engenheirada. Universidades como a UNICAMP têm grandes oportunidades de se tornarem pioneiras nesta linha de pesquisa, uma vez que contam com a infraestrutura apropriada para realizar experimentos sobre estruturas submetidas à altas temperaturas.

5.9 DESAFIOS PARA O USO DA MADEIRA NO BRASIL

Embora a o emprego da madeira apresente inúmeras vantagens na Construção Civil, como a facilidade de trabalho, durabilidade e segurança, ainda existem muitas barreiras que dificultam seu uso em larga escala no Brasil, sendo seu uso delegado majoritariamente para estruturas de cobertura.

Dentre estas barreiras pode-se citar a burocracia para o corte e comercialização das madeiras de reflorestamento, a falta de mão-de-obra especializada, o não conhecimento das propriedades da madeira pelo consumidor final, o preço de soluções estruturais em madeira e a falta de um padrão nacional de dimensão das seções das peças de madeira serrada.

Além dos desafios citados acima, nota-se um grau muito baixo de controle de qualidade e padronização das peças de madeira serrada. É comum que, para caracterizar as peças de madeira, fabricantes e comerciantes utilizem apenas a

experiência adquirida ao longo dos anos e fontes como os catálogos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas¹⁵ (IPT) e o Manual de Árvores Brasileira do Lorenzi¹⁶.

Por outro lado, empresas cujos produtos são madeira engenheirada, como o Cross Laminated Timber (CLT) e a Madeira Laminada Colada (MLC), costumam ter um grau muito maior de controle, garantindo uma maior padronização e caracterização precisa das propriedades mecânicas dos lotes de madeira.

O conhecimento destas barreiras é o primeiro passo para a expansão do uso da madeira como elemento estrutural no Brasil, e o Projeto de Revisão vai de encontro com algumas soluções para estas barreiras, normatizando, por exemplo, as ligações de MLC e o desempenho das estruturas de madeira em situação de incêndio.

¹⁵ Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil / [coordenação Augusto Rabelo Nahuz]. -- São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013. – (Publicação IPT ; 4371), 2013.

¹⁶ LORENZI, Harri. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992. v. 1; 2 ed. 2002, v. 2

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/CB-02 2º PN REVISÃO
ABNT NBR 7190 SETEMBRO:2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **PN 02:126.10-001-1**, Método de classificação visual da madeira

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **PN 02:126.10-001-2**, Método de caracterização da madeira com corpos de prova isentos de defeitos

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **PN 02:126.10-001-3**, Método de ensaio para caracterização de peças estruturais de madeira PN 02:126.10-001-4, Método de ensaio de ligações de estruturas de madeira

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **PN 02:126.10-001-5**, Método de ensaio de caracterização de elementos estruturais de madeira lamelada colada

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

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

BRAZOLIN, Sergio et al . **Propriedades físico-mecânicas do lenho deteriorado por fungos apodrecedores de árvores de Tipuana tipu**. CERNE, Lavras , v. 20, n. 2, p. 183-190, June 2014

CINIGLIO, Gianpaola. **Avaliação da secagem de madeira serrada de E. grandis e E. urophylla**. Piracicaba, 1998, 73 p. : il Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.

EN 1995 **Eurocode 5**: Design of timber structures

GOMIDE, J.L. **Secagem da madeira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1973. 76p.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP. **IPT Informações sobre madeiras Peroba-rosa**. Disponível em:
<http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=23>. Acesso em: 20, set. de 2019

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP. **IPT Informações sobre madeiras Pinus-elioti**. Disponível em:
<http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7>. Acesso em: 20, set. de 2019.

ISB - Instituto Sprinkler Brasil. **ISB Estatísticas**. Disponível em: <<https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/>>. Acesso em: 13, set. de 2019.

KOLLMANN, F.R. COTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin, Springer-Verlag, 1968. 592p.

LOGSDON, Norman Barros. **Elementos de Estrutura de Madeira**. 2012. Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

LOGSDON, NORMAN BARROS. **Influência da umidade nas propriedades de rigidez e resistência da madeira**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Paulo, SP, 1998.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF, 1988. 56 p.

MIOTTO, J.L.; DIAS, A.A. **Avaliação dos critérios de dimensionamento para peças comprimidas e flexocomprimidas de madeira**. Cadernos de Engenharia das Estruturas, São Carlos, v.8, n.33, p. 53-81, 2006.

MORESCHI, João Carlos. **Propriedades Tecnológicas da Madeira** 1ª. edição: fevereiro/ 2.005; 4ª edição: novembro/ 2.012 Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR Prof. Dr. João Carlos Moreschi

NORMA TÉCNICA 08/2014 -**Resistência ao fogo dos elementos de construção**. Corpo de Bombeiros Militar, Estado de Goiás.

PORTEOUS, Jack; KERMANI, Abdy. **Structural Timber Design to Eurocode 5**. 2nd Edition. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2013.

SÁ, Paulo Atanazio Duarte de. & Vito, Márcio. – **Estudo da Influência da Umidade Nas Propriedades Mecânicas da Madeira**. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC - como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil -UNESC- Universidade do Extremo Sul Catarinense – 2014/02

SANTOS, Caio Victor Fernandes dos. **Método de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento em elementos estruturais de madeira de Pinus spp.** / Caio Victor Fernandes dos Santos; Orientador Carlito Calil Junior -- São Carlos, 2016

SANTOS, Sonia Rose Costa Araujo Dos. **Histórico e Evolução dos Equipamentos de Secagem de Madeira para Uso Estrutural** - Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Orientador Prof. Dr. Mauro Augusto Demarzo - Campinas, SP, 2012
SATO, Julie Naomi. Estabilidade em Peças de Madeira: comparação de critérios normativos. Dissertação (Bacharelado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2018.

SILVEIRA, Denise Tolfo et al. **Métodos de pesquisa**. 2009. Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural, Universidade Aberta do Brasil, UAB/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SOUZA, Joel Telles de, et al. **Qualidade da Madeira Serrada Proveniente de Árvores Dominantes e Médias de Eucalyptus grandis Submetidas à Secagem**. 2011

SOUZA, P.F. 1973. **Terminologia florestal glossário de termos e expressões florestais**. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 304 p.